



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Genie civil



Projet De Fin Etude Pour L'obtention Du Diplôme
De master en Génie Civil
Option Infrastructure De Base Et Géotechnique

Thème

**Étude de la variation spatiale des conditions de site et application à
l'analyse dynamique d'un pont.**

Présenté Octobre 2013 par :

LATTI Farid Sâad-Ellah

HAFHAF Rafika

Devant le Jury composé de :

Mr. M.DJAFOUR

Président

Mme. Z.BENADLA

Examinatrice

Mr. ZENDAGUI

Examinateur

Mme. N.MEDDANE

Encadreur

Mr. B.DERRAS

Encadreur

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout le Dieu de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'études. Nous remercions également Nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous ayons Terminé nos études dans des meilleurs conditions.

Nous souhaitons exprimer, tout particulièrement, nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à nos encadreurs Mme N. MEDANE et Mr B. DERRAS pour leurs précieux conseils et motivations qui nous Ont permis d'être sur le droit chemin afin de réaliser ce modeste travail et de Nous avoir fait confiance accepté de diriger ce mémoire, malgré Leurs multiples obligations, et qui n'ont ménagés aucun effort pour Suivre cette étude de près pendant toute la durée du travail, nous Les remercions chaleureusement.

Nos remerciements s'adressent aussi à Mr M. DJAFOUR pour avoir accepté de présider notre jury.

Nos vifs remerciements vont aussi aux membres de jury Mr ZENDAGUI ET Mme. Z. BENADLA Pour avoir répondu positivement afin d'étudier et d'évaluer ce travail.

Enfin, Nos plus vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidés, encouragé et soutenus.

LATTI & HAFHAF

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Pour ceux qui m'ont entouré pour que rien n'entrave le déroulement de mes études, qui m'ont toujours aimé et encouragé moralement et matériellement, leur soutien et leurs sacrifices ... Je le dédie pour vous « mes chères parents », que dieu les garde.

*A mes chère frères : HASSANE, MUSTAPHA & REDHA
A ma chère sœur : NAÏMA et son mari BOUMEDIEN KLOUCHE ET mes
neveux, YASSINE RIYAD, DJAMEL ET ACHRAF*

A mes belles-sœurs : AICHA ET SARAH

A mes tantes et leurs maris et à tous Mes oncles et leur famille

*A toi RAFIKA mon binôme et à ta famille, c'est un honneur de travailler avec
vous.*

*Aux ARCHITECTES KLOUCHE DJEDID & KAHOUADJI
ABDELWAHEB POUR LEUR PROFITABLE CONTRIBUTION LORS
DE MES STAGES*

A Mes cousin: AMINE, AHMED ABDEL FETAH

A une personne chère pour moi qui ma motivée, à toi LEILA et ta famille.

*A TOUT mes amis , YASSINE , FETHI, AMINE TAREK ZAKI
ABDESLAM OUSSAMA & SAMI , CHAHINEZ, SOUHILA, ZAHIA,
IMENE, ZINEB ET tout la promotion IBG ET AUSSI à toute la famille
génie civil .*

*MA grande reconnaissance et mes sincères remerciements à l'ensemble de mes
respectueux professeurs qui m'ont encadré tout au long de mon cursus scolaire.*

À tous ceux qui me connaissent et que je n'ai pu citer ...

..... FARID

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Pour ceux qui m'ont entouré pour que rien ne m'entrave le déroulement de mes études, qui m'ont toujours aimé et encourager par leur patience, leur soutien et leurs sacrifices ... je le dédie pour vous « mes chères parents », que dieu vous garde.

*A mes chère frères : CHOUBAIB, Mohamed
A mes chères sœur : SOUMIA et sa famille, KHAWLA.*

Ma grande mère et mes ancles et mes tantes

A toi FARID mon binôme et à ta famille, je suis heureux de travailler avec vous.

*A mes amis FATIMA.B, FATIMA.B, FATIMA .k, NACERA, CHAHINEZ,
NAJET, SOUHILA, ZAHIA, IMENE, mes chaleureux remerciements pour
intégration dans votre groupe*

*À tous mes amis que mon crayon l'ont oublié mais ils sont toujours présents dans
mon cœur...*

.....Rafika

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Corrélation entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative.....	7
Tableau I. 2 : Informations sur les conditions de site et le nombre de spectre de réponse utilisé pour élaborer le système neuronal.....	10
Tableau I. 3 : Classification de site utilisée dans le choix du RNA.....	11
Tableau I. 4 : Paramètres de coefficient d'emplacement pour calculer des spectres de conception à différents appuis du pont	15
Tableau II. 1 Information sur les paramètres des stations et sur les trois niveaux d'enregistrements choisis.....	22
Tableau II. 2 Représentation des quatre profils de sol avec leurs Vitesses de cisaillement, poids spécifique.....	23
Tableau II. 3 : PGA ; PGV, amplification spectrale	29
Tableau III. 1 : longueur des travées	36
Tableau III. 2 : caractéristique de la section médiane.....	39
tableau III. 3 : caractéristique de la section d'about	40
Tableau III. 4: les modes principales et le facteur de la participation modale.....	42
Tableau IV. 1: les déplacements calculés par la relation	44
Tableau IV. 2 : résultats obtenus après analyse par accélération et déplacement imposé.....	45
Tableau IV. 3 : évolution du déplacement et accélération argile avant et après filtrage station 3	46
Tableau IV. 4 : évolution du déplacement roche avant et après filtrage station 3.....	47
Tableau IV. 5 : évolutions du déplacement sable avant et après filtrage station 3.....	48
Tableau IV. 6 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan longitudinal cas RRRR	50
Tableau IV. 7 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan transversal cas RRRR.....	50
Tableau IV. 8 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan longitudinal CAS RAAR)	50
Tableau IV. 9 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan transversal CAS RAAR).....	51
Tableau IV. 10 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan longitudinal CAS RSSR)	51
Tableau IV. 11 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan transversal CAS RSSR).....	51
Tableau IV. 12 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan longitudinal RSAR).....	52
Tableau IV. 13 : réactions du pont (moment & effort normal, déplacement et effort tranchant) suivant le plan transversal CAS RSAR)	52

Liste des figures

<i>Figure I. 1: Effet de site 1D d'une couche de sol reposante sur un substratum rocheux dans lequel ($f_{h0} = vS/4H$), correspondent au premier pic, qu'est appelée la fréquence de résonance fondamentale de la couche unidimensionnelle.....</i>	6
<i>Figure I. 2: Variation de F_a et F_v en fonction de V_{s30} (Borcherdt, 1994).....</i>	8
<i>Figure I. 3: Corrélation entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative (Derras, 2004).....</i>	9
<i>Figure I. 4 : Architecture du réseau de neurone</i>	12
<i>Figure I. 5 : Spectres de réponse d'accélération estimés par RNA et calculés à partir des enregistrements réels.....</i>	12
<i>Figure I. 6: Différents endroits de soutien du pont.</i>	15
<i>Figure I. 7 : Histoires simulées de temps d'accélération aux différents endroits.....</i>	16
<i>Figure I. 8 : Spectres de réponse d'accélération de tremblement de terre de conception de base à la roche en place de construction exposée</i>	18
<i>Figure I. 9 : Facteur d'amplification de couches superficielles du sol</i>	19
<i>Figure I. 10 : Conception spectre de réponse à l'accélération de terre à la surface du sol.</i>	19
<i>Figure II. 1: Situation géographique du tremblement de terre d'AULETTA en Italie. (http://fr.wikipedia.org/wiki/Tremblement_de_terre_de_1980_dans_l'Irpinia).....</i>	
<i>Figure II. 2: Accelérogramme de la station 1 d'Auletta avec une PGA dans la direction nord-sud égale</i>	22
<i>Figure II. 3 : Accélérogramme au niveau de la station 2 de Bagnoli Irpino, $PGA = 1.867m/s^2$.....</i>	22
<i>Figure II. 4: Accelérogramme au niveau de la station 3 (Sturno,) , $PGA=3.19 m/s^2$.....</i>	22
<i>Figure II. 5 : Propriétés mécaniques et géométriques des 4 modèles.....</i>	24
<i>Figure II. 6: Représentation des résultats données par les 3 méthodes proposés</i>	26
<i>Figure II. 7: Spectre de réponse des 3 profile étudié pour la station 1 à $0.5921m/s^2$.....</i>	27
<i>Figure II. 8: Spectre de réponse des 4 profile étudié pour la station 2 à $1.867 m/s^2$.....</i>	28
<i>Figure II. 9: Spectre de réponse des 4 profile étudié pour la station 3 à $3.1993 m/s^2$.....</i>	29
<i>Figure II.10 courbe PGA la surface et PGA de références.....</i>	30
<i>Figure III. 1: Photo réelle du pont.....</i>	
<i>Figure III. 2: Profil en travers</i>	36
<i>Figure III. 3: section médiane</i>	38
<i>Figure III. 4: section d'about.....</i>	39
<i>Figure III. 5: Fenêtre principale de SAP2000</i>	40
<i>Figure III. 6: model du pont en 3D</i>	41
<i>Figure IV. 1 : déplacements argile station 3 avant correction</i>	
<i>Figure IV. 2 : déplacement argile station 3 après la correction par la correction de la ligne de base et par « TSS-RisAM »</i>	46
<i>Figure IV. 3 : déplacement roche station 3 avant correction</i>	47
<i>Figure IV. 4 : déplacement de la roche station 3 après la correction de la ligne de base et par « TSS-RisAM »</i>	47
<i>Figure IV. 5 : déplacements sable station 3 avant correction.....</i>	48

<i>Figure IV. 6 : déplacement sable station 3 après la correction de la ligne de base et par.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure IV. 7 : représentation de cas RRRR</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV. 8 : représentation de cas RAAR.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV. 9 : représentation de cas RSSR</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV. 10 : représentation de cas RSAR</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV. 11 : Spectre de réponse des profils de sable ;argile200 ; argile200 ;roche et station 3.....</i>	<i>53</i>

Introduction générale

Depuis toujours, les catastrophes naturelles surviennent cycliquement, néanmoins leur gestion s'est toujours inscrite dans la fatalité et le caractère catastrophique, malgré qu'en plus de pouvoir prévenir ces cas, on peut travailler en amont à l'effet de limiter au maximum les dégâts en cernant le mieux possible tous les facteurs influençant et rentrant dans l'équation structure-site-sollicitations-méthodes d'analyse. La bonne connaissance du comportement des structures sous sollicitations sismiques, est très importante pour l'atténuation des risques, outre l'aspect sociologique et l'aspect technique.

L'étude de la dynamique des structures est une technique d'ingénierie permettant de caractériser des structures soumises à des sollicitations dynamiques (excitations vibratoires ou chocs). Alors qu'il est possible de prédire avec précision le comportement des structures soumises à des sollicitations statiques, l'application de contraintes dynamique présente certains paramètres, comme l'amortissement de la structure, qui rendent la modélisation et la prédiction plus difficile à réaliser. La prédiction du comportement dynamique des structures sous sollicitations sismiques est un enjeu très important dans l'évaluation de leurs sécurités en zones sismiques. Ceci exige essentiellement une connaissance rationnelle de l'action sismique agissante sur tous les points de liaison de la structure avec le sol de fondation. Les procédures d'analyse sismique des structures sont souvent approchées par des hypothèses simplificatrices. Parmi les plus importantes est celle qui suppose que le signal sismique est uniforme même en sites variables.

Pour les structures étendues tel que les ouvrages d'art, cette simplification ne peut plus être retenue. Il y a en effet l'influence d'un facteur supplémentaire, c'est la variabilité spatiale du mouvement sismique. L'effet de site en place est l'un des causes directes contribuant à l'apparition de cette variabilité spatiale du signal sismique engendrant des dégâts ennuis aux structures étendues la nature du sol d'assise semble avoir une influence significatif pas moins que la vitesse des ondes de cisaillement ou de la fréquence de résonance sur l'estimation de la réponse du sol lors d'une secousse tellurique.

L'objectif principal de ce travail est de mener une étude dynamique d'un ouvrage d'art sous un chargement sismique différentiel ; pour prévoir leur comportement vibratoire de chaque

élément de pont. Pour cela nous avons consacré la première partie de ce mémoire à l'estimation de la réponse dynamique de sol par l'approche linéaire équivalente (ALE) en étudiant l'influence des certains paramètres de site en prenant un cas réel. Nous revenons dans cette partie sur les représentations du mouvement sismique du sol par des paramètres de nocivité et notamment le pseudo-spectre de réponse. Puis nous y intégrons la variabilité spatiale des ondes sismiques en rappelant les phénomènes physiques qui en sont à l'origine. La deuxième partie est consacrée à la réponse des ouvrages d'art en termes de sensibilité aux variations spatiales des mouvements de sol. L'ouvrage étudié est modélisé en trois dimensions par la méthode des éléments finis en utilisant le code de calcul SAP 2000.

Organisation du mémoire

Afin d'atteindre ces objets, le travail est scindé en quatre chapitres:

Chapitre I : étude bibliographique et définition. L'essentiel de ce chapitre est consacré à une revue et une courte discussion des diverses études passées en vue de l'estimation du chargement sismique auquel les structures étendues sont soumises.

Chapitre II : Etude de la réponse sismique du sol : Application aux données Italiennes. . Cette étude paramétrique par l'ALE s'intéresse à la prédiction des paramètres scalaires et spectraux du sol sous les effets des trois enregistrements de références, le mouvement sismique et les stations de références sont situées en Italie.

Chapitre III : Présentation de l'ouvrage et modélisation. Dans ce chapitre nous définissons les caractéristiques du pont et la présentation de l'analyse modale et ce à l'aide du logiciel de calcul SAP 2000

Chapitre VI : Analyse dynamique des ponts en considérant l'effet de site. Ce chapitre est consacré dans sa première partie au traitement du problème d'intégrabilité des signaux sismiques en utilisant une méthode simplifiée de correction nommée du code RISAM signal. Cette méthode consiste d'abord à filtrer le signal sismique. Les résultats obtenus en termes de déplacements temporelles sont appliqués pour déterminer la réponse dynamique du pont sous un site variable.

Conclusion générale : Dans cette partie nous rappelons les conclusions retenues de ce travail et nous proposons quelques perspectives pour les prochains travaux.

Etude bibliographique et définitions

I.1 Introduction

Le présent chapitre donne un ensemble de définitions et aperçus sur les travaux antérieurs susceptibles de nous aider à bien assimiler le phénomène de la variation des conditions de sites (effet de site) d'un point à un autre. Et de voir son influence sur la réponse des structures élancées.

L'estimation de l'effet de site peut s'effectuer par plusieurs approches. Le principe de ces différentes approches sont données dans le présent chapitre. Avec une étude critique sur l'approche qui s'adapte le mieux au contexte de la présente étude. Par la suite l'influence de ce phénomène sur les ponts élancés avec un exemple illustratif sont évoqués. A la fin de ce chapitre nous avons essayé de construire une idée sur la façon avec laquelle les règles algériennes (RPA) prennent en considération l'effet de site et de positionner ces RPA vis-à-vis des règles Japonaises.

I.2 Aperçu bibliographique

L'une des premières études menées pour modéliser la VARIabilité SPatiale du Signal Sismique (VASPA) a été élaborée suite au déploiement d'un réseau d'accélérographes dit SMART' I, sur le site de Lotung (Taiwan). Les travaux d'Harichandran et de Vanmarcke (1984) basés sur le traitement statistique des données. Depuis, plusieurs études ont été menées et se distinguent par une diversité dans l'approche utilisée. Il s'agit essentiellement des travaux de Luco-Wong (1986), de Der Kiureghian (1996) et de Zendagui et al. (1999).

L'estimation de l'effet de la VASPA sur les structures étendues a fait l'objet d'intenses études et a porté sur, d'une part l'élaboration de méthodologies d'incorporation des modèles développés dans une étude parasismique et sur d'autre part des études de structures réelles telles que par exemple les barrages et les ponts. A titre d'exemple, on citera les travaux de Zerva (1993), de Zembaty (1998).

La VASPA Elle résulte de ces effets distincts selon (Der Kuirghian, 1996): La perte de cohérence du mouvement sismique due aux réfractions et réflexions multiples des ondes sismiques le long de leurs trajets du foyer au site considéré, dénommé effet de perte de cohérence. La différence de temps d'arriver des ondes sismiques aux stations

d'enregistrement du fait de la variation de leur vitesse de propagation, connu par l'effet de passage d'onde. La variation spatiale des caractéristiques locales du profil de sol, appelé effet de site.

La part de l'estimation de la variation des conditions de site et son influence sur le mouvement sismique et la structure reste un souci majeur de l'ingénieur. Dans ce cadre, un travail a été effectué par Derras et Maachou (2000) et c'en utilisant le modèle de Der Kiureghian (1996) et celui de Zembaty (1998). Les travaux ont porté sur une étude paramétrique relative aux déplacements dynamiques et aux efforts tranchants (au niveau de la base) d'un portique sur deux appuis. Toutefois on note que la fonction de cohérence utilisée s'appuie sur la fonction de transfert de Kanai-Tajimi (1975) développée sur la base de concept mathématique. Il serait en fait intéressant d'introduire à ce stade d'étude une fonction de transfert basée sur des concepts physiques et principalement sur la théorie de propagation d'ondes sismiques. (1996) [1].

La variation spatiale liée aux changements des propriétés géotechniques d'un point à un autre a un effet important sur la réponse des structures étendues telles que les ponts, des canalisations, des systèmes de transmission de communication, etc. Puisque ces structures se prolongent au-dessus de longues distances, leurs appuis subissent différents mouvements pendant un tremblement de terre. Ce mouvement différentiel peut influencer sur la réponse de ce type de structures.

I.3 Définition d'effet de site

L'effet de site présente l'amplification des ondes sismiques qui se produisent principalement dans deux cas : au sommet des collines et des montagnes, et lorsque une vallée a fait l'objet d'une importante sédimentation peu consolidée (par exemple vallée remplie par les alluvions récentes, les marais ou les tourbières). Dans les deux cas, les ondes sismiques sont piégées dans la structure (dans la montagne, elles se réfléchissent d'un côté à un autre ; dans la vallée, une fois elles ont pénétré dans la zone d'alluvions, meubles elles ne peuvent pas s'échapper et se réfléchissent sur les côtés et sur le fond de la vallée). Les études théoriques montrent que l'amplitude des ondes peut être amplifiée d'un facteur 10 ou 20 par de tels effets. Par ailleurs, dans le cas de la vallée, l'effet disparaît dès que l'on quitte la zone d'alluvions et que l'on gagne le flanc rocheux de la vallée.

I.3.1 Effet de site 1D

Les effets de stratigraphie se manifestent lorsque les variations latérales des propriétés mécaniques et géométriques du sous-sol sont négligeables comme dans le cas des vallées peu encaissée et des bassins sédimentaires. Le modèle de sol est constitué d'une superposition de couche homogènes, horizontales d'épaisseur constante surmontant un substratum rocheux.

Les causes des effets de site dans ce cas sont dues aux manifestations de deux phénomènes la première lorsque le contraste d'impédance est marqué entre les deux milieux, l'amplitude de l'onde réfractée est amplifiée par rapport à celle de l'onde incidente. La deuxième cause quand les ondes sismiques arrivant à la surface se réfléchissent aux interfaces entre différentes couches et restent piégées aux abords de la surface ; l'énergie est donc piégée à l'intérieur de la couche sédimentaire superficielle.

Pour illustrer les caractéristiques principales des effets stratigraphiques (ou l'effet de site 1D), considérons un cas simple d'une seule couche au-dessus d'un espace semi-infini élastique soumise à une onde SV d'incidence verticale plane et harmonique (figure. I.1). En comparaison avec Le mouvement de référence correspondant à la réponse sismique du substratum sans la couche de sol au-dessus, le mouvement en surface de la couche supérieure est soit amplifié, soit atténué. Les amplifications résultent de l'addition de différentes ondes réfléchies, qui arrivent en phase ; tandis que les arrivées en opposition de phase peuvent, au contraire, produire des atténuations. Par des calculs simples, le rapport de l'amplitude spectrale du mouvement au point A, située à la surface, à celle du mouvement au point B, située l'interface entre la couche et le substratum, est déterminé par la formule [Kramer, 1996] :

$$\frac{u_A}{u_B} = \frac{1}{\sqrt{\cos^2(k_s H) + \alpha^2 \sin^2(k_s H)}}$$

Où H désigne l'épaisseur de la couche ; $(k_s = 2 \pi f / v_s)$ indique le nombre d'ondes ou v_s est la vitesse de propagation de l'onde SV et f est la fréquence prédominante de l'excitation sismique ; α est le rapport d'impédance entre la couche et le substratum rocheux :

$$\alpha = \frac{\rho_s v_s}{\rho_r v_r}$$

$\rho_s v_s$ et $\rho_r v_r$ sont respectivement les masses spécifiques et les vitesses de l'onde de cisaillement du substratum rocheux et de la couche superficielle.

Comme montre sur la figure. I.1., le mouvement à la surface de la couche est toujours amplifié ($u_A/u_B \geq 1$) si le rapport d'impédance est inférieure ou égale à l'unité $\alpha \leq 1$, ce qui est pratiquement justifié. La valeur maximale de l'amplitude est donnée par

$$\left(\frac{u_A}{u_B} \right)_{\max} = \frac{1}{\alpha}$$

Cette amplification maximale du mouvement de surface se produit à des fréquences particulières, caractéristiques de la résonance de la couche superficielle. Ces fréquences sont fonction de la vitesse des ondes et de l'épaisseur de la couche :

$$f_n = (2n + 1) \frac{v_s}{4H}$$

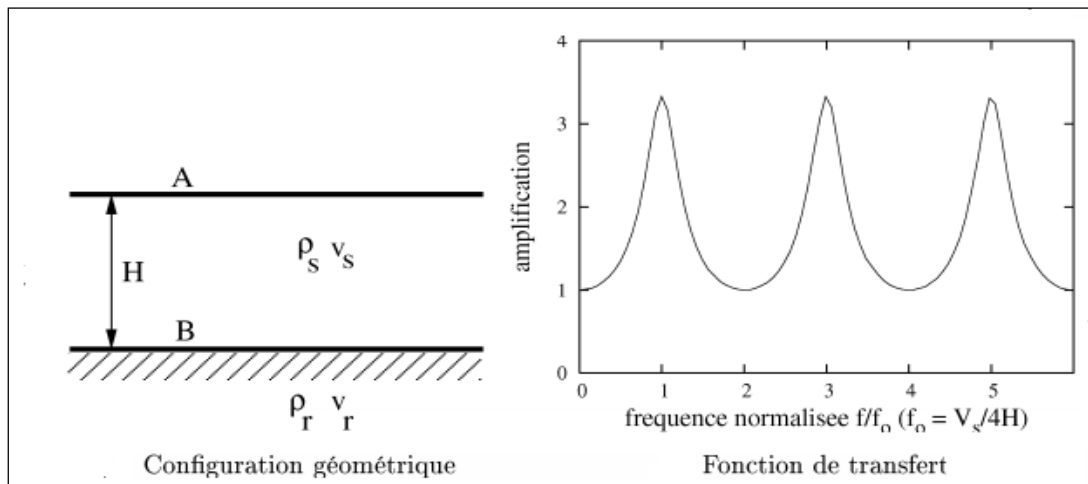


Figure I. 1: Effet de site 1D d'une couche de sol reposante sur un substratum rocheux dans lequel ($f_n = v_s/4H$), correspondent au premier pic, qu'est appelée la fréquence de résonance fondamentale de la couche unidimensionnelle

I.4 Méthodes d'estimation de l'effet de site

I.4.1. Approche empirique :

a) Paramètres géotechniques/amplification

Particulièrement dans les grandes villes où le développement des projets est important, les données géotechniques sont disponibles, en outre de l'information simple sur la géologie extérieure. Cette situation a motivé des chercheurs, à élaborer des modèles afin de relier les paramètres géotechniques à l'amplification locale. Cependant, le paramètre de site le plus important est la vitesse des ondes de cisaillement moyenne sur les premiers mètres V_s . Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre V_s (dont certains ont ajouté la profondeur du profil sédimentaire) et l'amplification relative. La comparaison entre certaines relations est mentionnée sur le tableau. I.1 (Derras, 2004).

Chercheurs	Equations
(Midorikawa, 1987)	$A=68 \cdot V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100$ m/s) $A=1$ ($V_1 > 1100$ m/s)
(Joyner et Fumal, 1984)	$A=23 \cdot V_2^{-0.45}$
(Borcherdt.R.D, et al 1991)	AHSA1=700/ V_1 (pour des mouvements faibles) AHSA1=600/ V_1 (pour des mouvements forts)
(Borcherdt.R.D, et al 1994)	$F_a=(V_r/V_{s30})^{m_a}$ (signaux de courte période) $F_v=(V_r/V_{s30})^{m_v}$ (signaux de période intermédiaire)
(Field.E.H, 2001)	$AHSA2=(V_0/1000)^{-0.704} \cdot \exp(0.12 \cdot B_depth)$

Tableau I. 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.

V_0 : vitesse de cisaillement moyenne sur 30 m de profondeur (km /s)

V_1 : vitesse de cisaillement moyenne sur 30 m de profondeur (m /s)

V_2 : 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 2.5 km/s.

V_r : est une vitesse de référence =1050m/s dans une roche dure.

V_{s30} est la valeur moyenne de la vitesse de cisaillement sur 30m de profondeur.

m_a et m_v représentent l'influence de l'intensité de mouvement du sol sur l'amplification comme indiqué sur les deux figures suivantes :

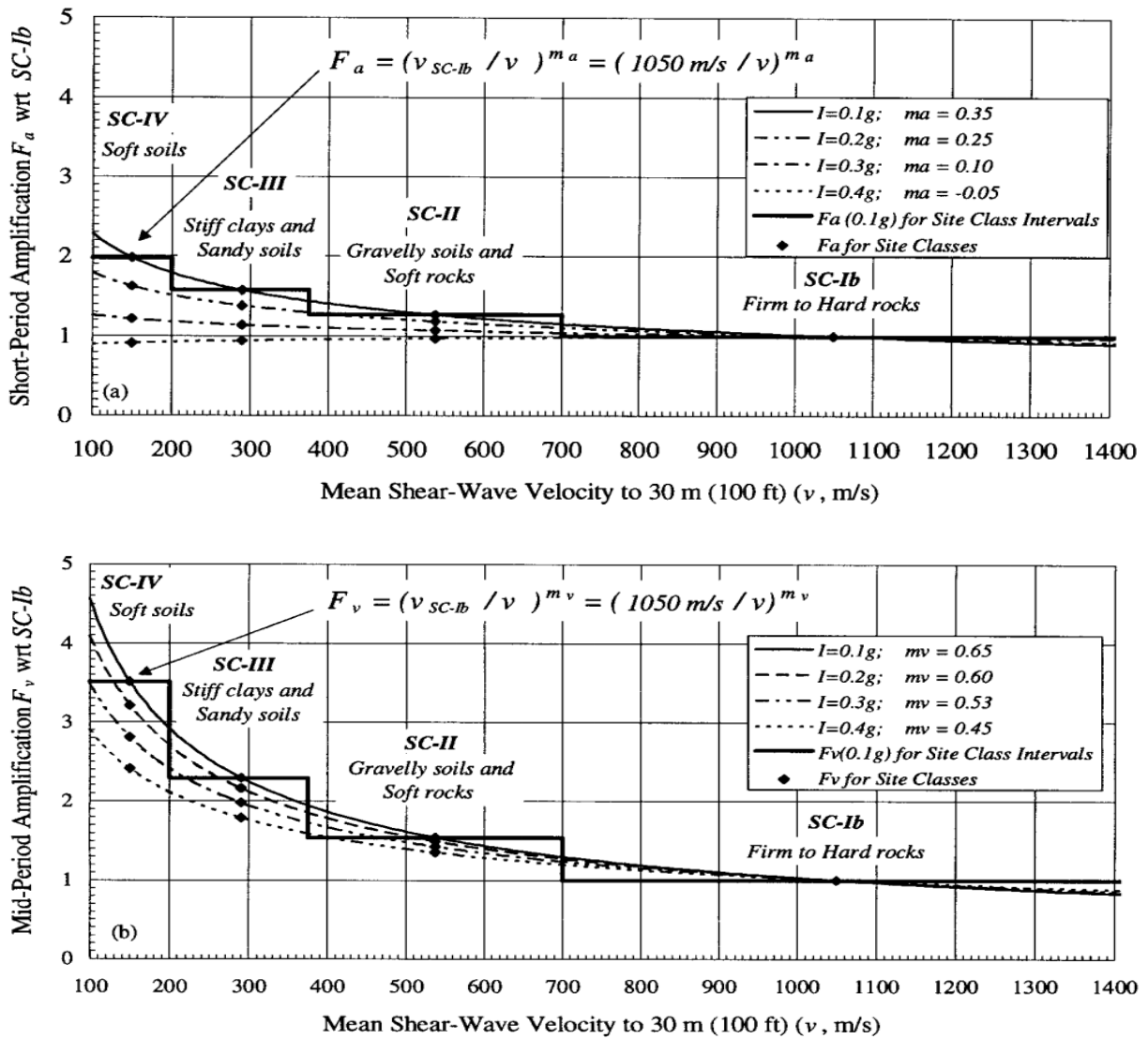


Figure I. 2: Variation de F_a et F_v en fonction de V_{30} (Borcherdt, 1994)

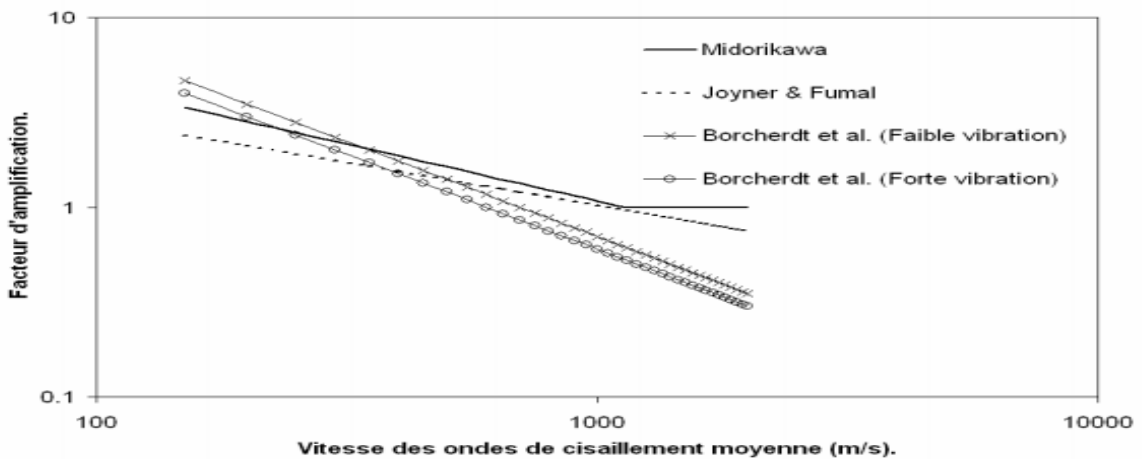


Figure I. 3: Corrélation entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative (Derras, 2004)

On peut remarquer à partir de la figure. I.3 que le facteur d'amplification des quatre modèles s'atténue avec la vitesse de cisaillement du sol, plus la vitesse augmente plus l'amplification diminue, sauf pour le modèle 1 développé par (Midorikawa, 1987) qui donne un seuil pour la vitesse. Ce seuil est égal à 1000 m/s, au-delà de cette vitesse l'amplification égale à l'unité (substratum rocheux).

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 certains ont ajouté la profondeur du profil sédimentaire) et l'amplification relative.

I.4.2 Approche neuronales :

a) Réseaux de neurones :

Les réseaux de neurones artificiels ou réseaux connexionnistes sont fondés sur des modèles qui tentent de mimer les cellules du cerveau humain et leurs interconnexions. Le but, d'un point de vue global, est d'exécuter des calculs complexes et de trouver, par apprentissage, une relation non linéaire entre des données numériques et des paramètres.

Derras et al., (2010) ont élaboré un système de plusieurs RNA. Le but est de tester la capacité de la méthode neuronale à tracer le spectre de réponse à la surface libre de la terre à partir de celui enregistré en profondeur est présentée. Pour ce faire, les auteurs ont utilisé un sous ensemble de la base de donnée KiK-net (tableau I.2).

Classes	Code des Profils	V_{s30} (m/s)	H_T (m)	H_s (m)	F_0 (Hz)	Nombre total des enregistrements utilisés	Le nombre des enregistrements utilisé dans la phase d'apprentissage	Le nombre des enregistrements gardés pour le test
A1	KGWH02	180	200	54	1.09	22	21	1
B2	EHMNH04	254	200	64	1.41	14	13	1
	SMNH07	318	209	60	1.74	12	11	1
	EHMNH07	391	200	20	3.2	15	14	1
C3	SMNH03	445	101	34	3.35	12	11	1
	SMNH02	503	101	25	4.6	12	11	1
	KOCH03	668	100	32	5.30	16	15	1
	SMNH05	711	101	14	7.5	12	11	1
D4	EHMNH03	802	101	10	11.42	13	12	1
	KOCH05	1072	100	6	15.42	12	11	1

Tableau I. 2 : Informations sur les conditions de site et le nombre de spectre de réponse utilisé pour élaborer le système neuronal.

Les spectres de réponses en accélération (S_a) adoptés sont de l'ordre de 140 couples entrés/sorties [les deux composantes NS (nord-sud) et EW (est-ouest) sont utilisées] c'est-à-dire 140 (S_a) à la surface libre de la terre et 140 (S_a) enregistrés à une profondeur variant entre -100m à -200m. Le nombre des (S_a) réservés à l'apprentissage est de 130 et 10 (S_a) sont conservés à la phase test.

Le système neuronal est un ensemble de RNA. Chaque RNA est caractérisé par une classe de site (tableau I.3) et par la valeur maximale spectrale de référence. L'apprentissage est effectué avec la technique de la rétro propagation avec un pas constant.

Type de sol	Vitesse de cisaillement V_{s30} (m/s)	La fréquence de résonance f_0 (Hz)
A1 : très meuble	<200	<1.67
B2 : meuble	$200 \leq V_{s30} < 400$	$1.67 \leq F_0 < 3.33$
C3 : Ferme	$400 \leq V_{s30} < 800$	$3.33 \leq F_0 < 6.67$
D4 : rocheux	≥ 800	≥ 6.67

Tableau I. 3 : Classification de site utilisée dans le choix du RNA

Trois paramètres de site ont été utilisés, il s'agit de V_{s30} , H_{800} représente l'épaisseur jusqu'à une vitesse de cisaillement égale à 800 m/sec et la fréquence de résonance f_0 donnée par la relation suivante :

$$F_0 = \frac{V_m}{4 \times H_{800}}$$

V_m : Vitesse moyenne de cisaillement défini par la relation :

$$V_m = \frac{\sum_i^n h_i}{\sum_i^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

h_i : Épaisseur de la couche i . $\sum_i^n h_i = H_{800}$

V_{si} : Vitesse de cisaillement à travers la couche i .

Les inputs de chaque RNA sont l'ordonnée spectrale en accélération et la période correspondante. La seule sortie est donnée par l'ordonnée spectrale en accélération à la surface libre. L'architecture du RNA est donnée sur la figure I.4.

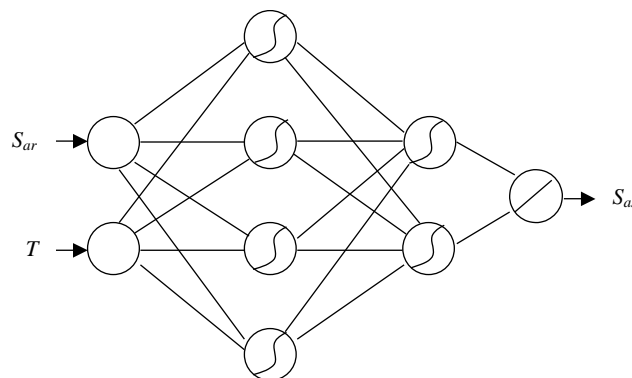


Figure I. 4 : Architecture du réseau de neurone

Les 10 spectres de réponse gardés pour la phase test ont été représentés conjointement avec ceux simulés par le système neuronal. On donne ici quatre exemples (figure I.5). Une lecture rapide de ces tracés montre la ressemblance entre les cas réels et les simulations. Le problème de l'estimation des pics spectraux persiste toujours : dépendance de la base de données initiale.

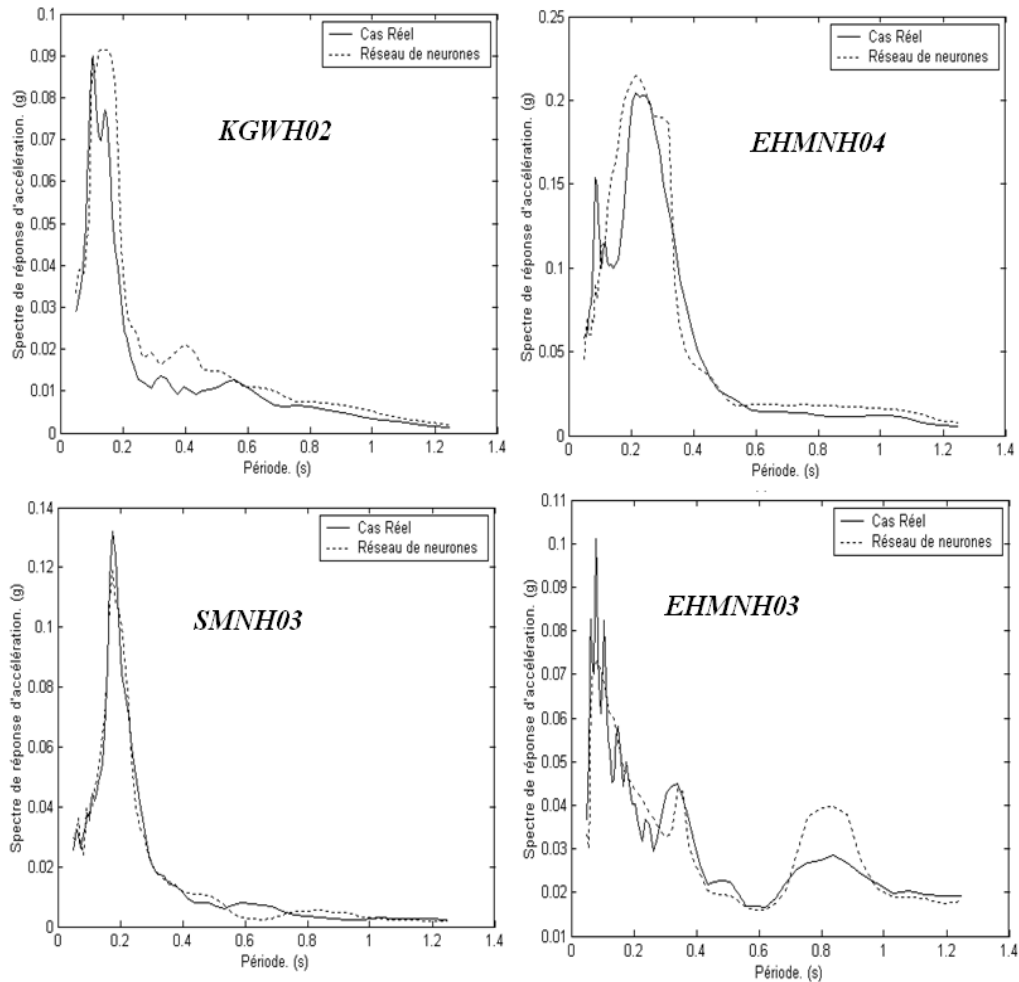


Figure I. 5 : Spectres de réponse d'accélération estimés par RNA et calculés à partir des enregistrements réels.

[2]

Dans cette étude les auteurs ont utilisé les mêmes sites que ceux de la phase apprentissage, et cela explique la ressemblance existante entre les enregistrements et les simulations.

Génération d'un accélérogramme (surface libre/ substratum rocheux) :

Hurtado et al (2001) ont utilisé la méthode des réseaux de neurones (RNA) pour estimer l'histoire de l'accélération sismique à la surface libre de la terre d'un profil de sol à partir de l'histoire de l'accélération sismique au niveau du substratum rocheux calculée par simulation numérique basée sur la méthode de Shinozuka (Shinozuka, M, et al, 1987).

Le programme SHAKE a été employé pour obtenir les enregistrements à la surface libre d'un profil unidimensionnel composé de cinq couches de sable, de gravier et d'argile. Les paramètres du RNA sont déterminés par un procédé de formation, se composant réduisant au minimum l'erreur existant entre les résultats réels (les histoires des accélérations générées par le SHAKE) et les évaluations données par le réseau. Après que cette erreur avait été réduite à un niveau acceptable, le réseau peut être employé comme dispositif d'extrapolation pour des données d'entrée non présentées auparavant.

Les modèles unidimensionnels intègrent une représentation stratigraphique du sous-sol, et vu leur simplicité de mise en œuvre et d'application, ils sont très usités en génie parasismique (interaction sol/structure). Certains logiciels (SHAKE, Cyberquake) permettent même d'intégrer des lois de comportement linéaire équivalent ou non-linéaire dans les différentes couches. L'analyse unidimensionnelle est également à la base des normes parasismiques pour la prise en compte de l'influence de l'hétérogénéité verticale du sol sur le mouvement sismique de surface.

Cette approximation montre cependant ses limites quand l'influence des hétérogénéités latérales du sous-sol sur la réponse sismique n'est plus négligeable [Pitilakis, 1999]. Pour cela, cette méthode n'est valable qu'à l'échelle très locale d'un bâtiment isolé ou dans le cas des vallées alluvionnaires peu encaissées [Semblat, 2000b].

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

- La première est la collecte de données sur le comportement mécanique des terrains formant le site.
- La deuxième est la modélisation théorique de la structure étudiée.
- 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).

I.5 Analyse dynamique des ponts avec la prise en compte de la variabilité spatiale du mouvement du sol et les effets de site :

Pendant le mouvement de terrain fort on s'attend à ce que des structures élancées (telles que les ponts) soient soumises à une excitation qui varie le long de leur axe longitudinal en termes du temps d'arrivée, d'amplitude et du contenu de fréquence, un fait principalement attribué à l'effet de passage d'onde, la perte de concordance et l'effet de site.. Nous représentons à titre d'exemple l'étude récemment effectuée par Karmakar et Sinduzukka (2012) qui concerne l'évaluation sismique de la réponse du cas de pont de Vincent Thomas sous des mouvements sismiques variables dans l'espace.

Dans cette étude, un modèle en éléments finis a été créé pour ce pont. Afin de montrer la convenance du modèle, les propriétés propres du modèle de pont sont évaluées et comparées aux résultats de l'identification de système de la vibration ambiante et des données de réponse aux séismes de collines de Chino de 2008. Une nouvelle technique de simulation est développée dans cette étude pour produire des mouvements sismiques variables spatiaux compatibles aux spectres. La réponse du pont de Vincent Thomas sous le mouvement sismique variable est évaluée par une analyse non linéaire temporelle. Les auteurs ont découvert que la réponse dans quelques endroits du tablier du pont, peuvent être sous estimés même si le mouvement avec l'intensité maximale soit uniformément appliqué à tous les appuis.

Dans cette étude, six histoires de temps d'accélération synthétiques sont générés à six points d'appui différents. En général, tous les six différents endroits d'application des signaux ont des conditions locales spécifiques du sol tirées du rapport de sol du pont.

Dans cette étude, les mouvements du sol sont appliqués dans le sens latéral, c'est à dire perpendiculaire à l'axe longitudinal du pont, et l'effet de passage d'onde est négligé.

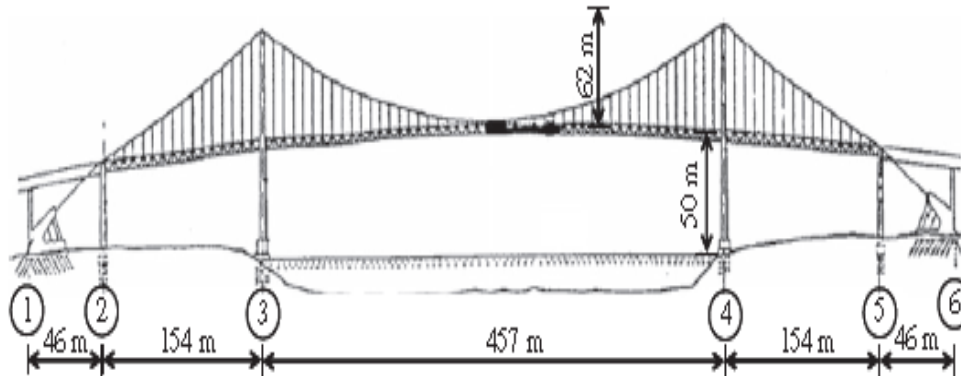


Figure I. 6: Différents endroits de soutien du pont.

Numéro de support	Distance	f_Q	f_V	Classe de site	Propriété de sol
1	0	1.0	1.5	D	Sol dure
2	46	1.0	1.5	D	Sol dure
3	200	0.9	2.4	E	Sol argileux
4	657	0.9	2.4	E	Sol argileux
5	811	1.0	1.5	D	Sol dure
6	857	1.0	1.5	D	Sol dure

Tableau I. 4 : Paramètres de coefficient d'emplacement pour calculer des spectres de conception à différents appuis du pont

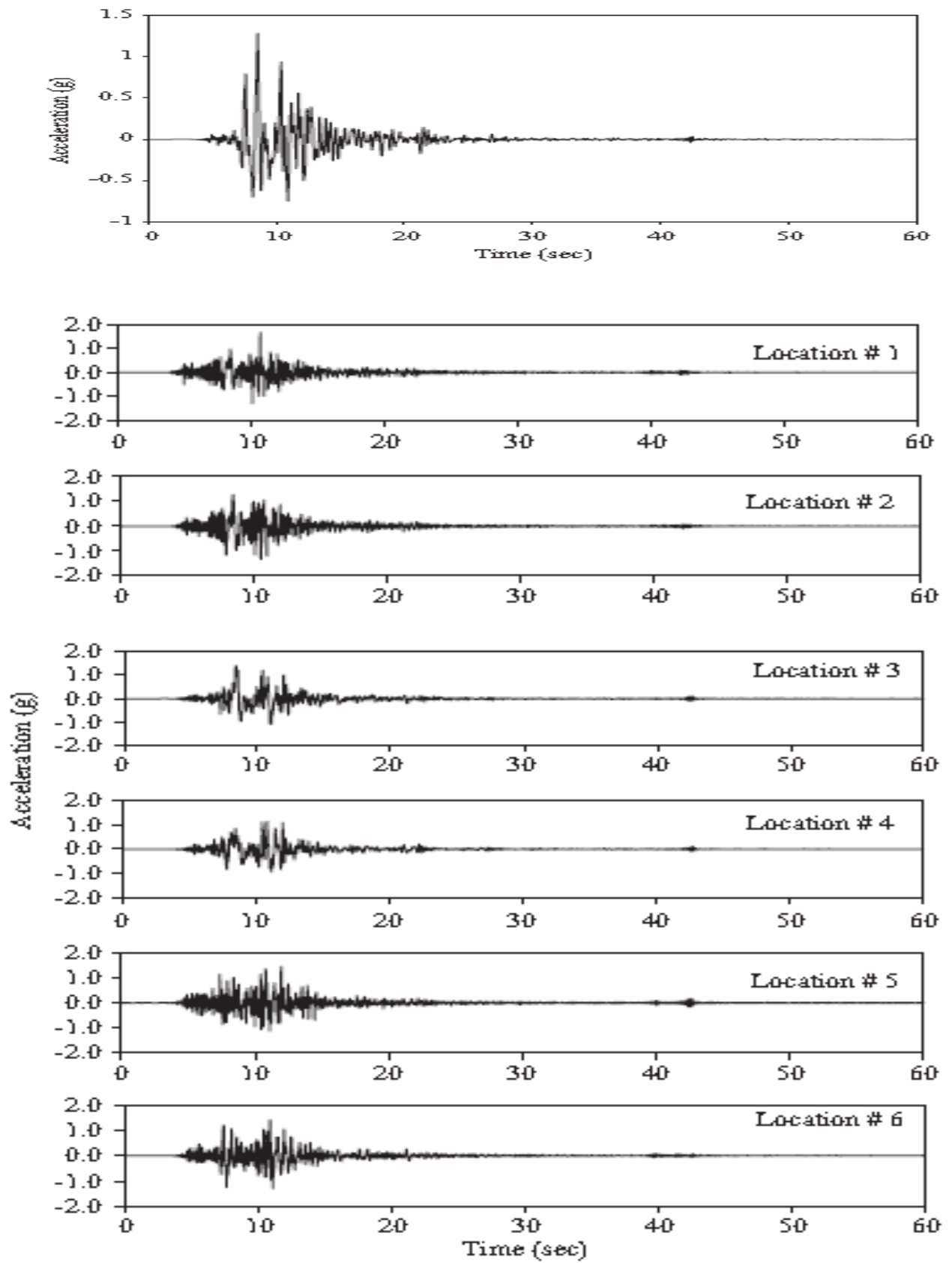


Figure I. 7 : Histoires simulées de temps d'accélération aux différents endroits. [3]

Les mouvements de terrain variables simulés dans la section précédente sont employés pour le calcul de la réponse du pont. En plus des mouvements de terrain sismiques variables spatiaux, deux mouvements de terrain, qui doit être uniformément appliqué à tous les appuis, sont également considérés pour le but de comparaison. Les six histoires temporelles en accélération simulées, ainsi le scénario qui a le plus grand déplacement maximal (PGD) a été considéré. La raison derrière choisir PGD comme mesure d'intensité de mouvement de terrain est la période fondamentale du pont se produisant dans la zone sensible de déplacement cible. Dans ce cas, une histoire temporelle d'accélération l'emplacement 3 (sol argileux mou) avec PGD 73.20 cm est considéré comme le scénario le plus défavorable et l'histoire temporelle d'accélération à l'emplacement 6 (sol raide) avec PGD 15,68 cm est considéré comme le scénario le moins défavorable

La réponse sismique du pont est calculée à l'aide de ces trois cas différents et une étude comparative a été effectuée en termes de demande sismique de déplacement d'effort interne.

I.6 Comment les règles algériennes prennent en considération l'effet de site ?

La réponse sismique de site en termes de mouvement en surface est significativement affectée par l'effet combiné de la rigidité dynamique et l'épaisseur des dépôts superficiels. Le règlement parasismique Algérien (RPA99-2003), distingue quatre catégories de sites. Ils sont établis à partir des données géotechniques moyennes et spécialement la vitesse d'onde de cisaillement sur les 20 premiers mètres.

Cette épaisseur de référence permet de classer les sites fermes et ne traduit pas les conditions réelles des sites meubles à très meuble. Une épaisseur de référence plus importante est donc conseillée [2]. D'autre part, les RPA ne tient pas en compte de la nature des couches constituant le profil du sol et du comportement rhéologique engendré par cet effet lithologique.

I.7 l'effet de site en Règlement japonaise :

Les procédures de vérification pour l'exécution séismique contre les mouvements de tremblement de terre de conception dans le nouveau code sont essentiellement un mélange de la modélisation d'ESDOF d'un bâtiment et des concepts dépendants de spectre de réponse d'emplacement, et l'application d'une analyse non linéaire de facilité et de l'analyse modale.

Les nouvelles procédures rendent la prévision possible de l'effet structural maximum contre des mouvements de tremblement de terre sans employer l'analyse d'histoire de temps. [5]

I.7.1 Conception spectre de réponse au niveau substratum ;

Le mouvement du sol de tremblement de terre utilisée pour la conception parasismique à l'état limite de sécurité des personnes est le mouvement spécifique au site d'un tremblement de terre extrêmement rare, ce qui devrait se produire une fois en près de 500 ans. Le fondement de l'ingénierie est supposé être une couche de sol dont la vitesse des ondes de cisaillement est égale ou supérieure à environ 400 m / s. Le spectre de base de conception de tremblement de terre d'accélération de réponse, S_0 , du mouvement sismique à l'(affleurement) socle technique exposée est représentée sur la figure. I .8 [5]

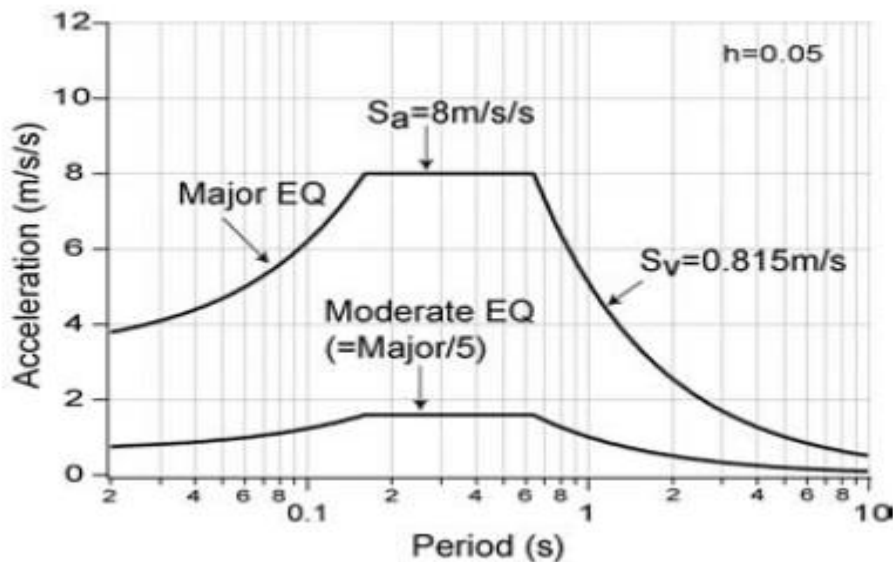


Figure I. 8 : Spectres de réponse d'accélération de tremblement de terre de conception de base à la roche en place de construction exposée

I.7.2 Conception spectre de réponse à la Surface libre

En multipliant le spectre de réponse à l'assise d'ingénierie par le sol facteur d'amplification de la couche de surface G_s , comme le montre la Fig. I.9, le spectre de réponse du séisme de calcul à la surface du sol, S_a , est obtenu comme illustré sur la Fig. I.10 [5]

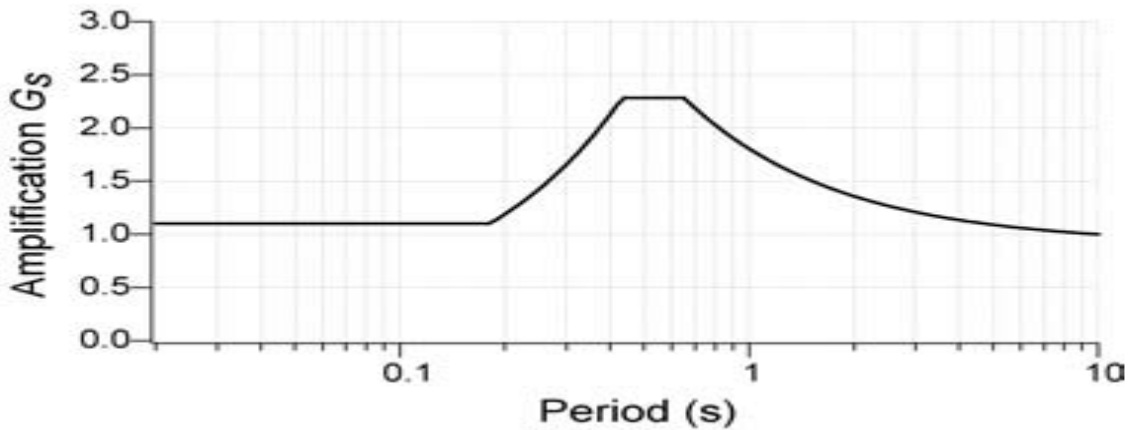


Figure I. 9 : Facteur d'amplification de couches superficielles du sol

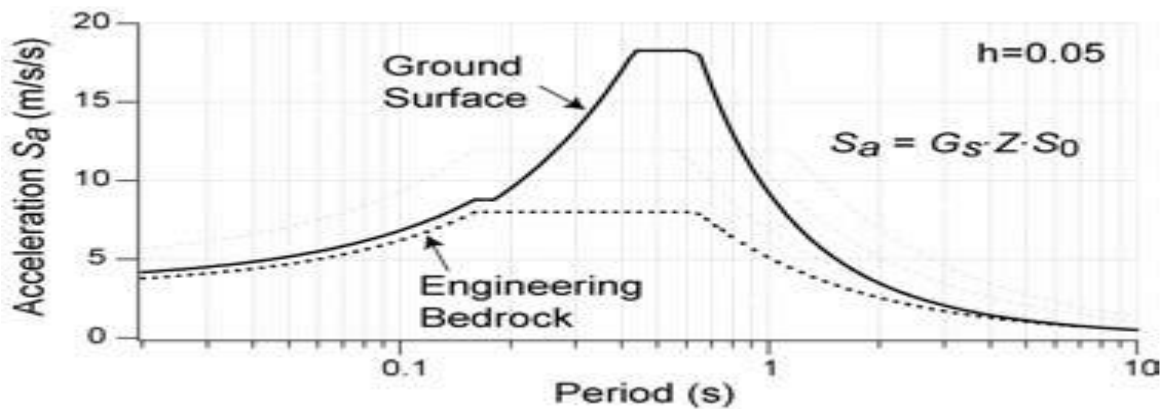


Figure I. 10 : Conception spectre de réponse à l'accélération de terre à la surface du sol.

I.8 Conclusion :

Dans cette recherche bibliographique on a déduit à la file des recherches déjà entreprises, que la réponse sismique des ponts peut être affectée par beaucoup de facteurs, notamment l'effet du site qui est un paramètre non négligeable, qui à son tour est influencée par les conditions géotechniques et géologiques du sol.

Dans le chapitre suivant, nous présentons des études de la variabilité spatiale des conditions de site, avec le traitement du sous-ensemble de données (rapport spectraux et données de site). Nous proposons d'illustrer l'effet de déphasage produit par un changement de nature de sol entre appuis

Etude de la réponse sismique du sol : Application aux données Italiennes

II.1. Introduction

Après avoir vu l'intérêt de la prise en compte de la variation spatiale des conditions de sites sur le calcul de la réponse des structures étendues et les méthodes jaillissant la considération de l'effet de site. Nous allons dans le présent chapitre, se focaliser sur l'application de la méthode linéaire équivalente et son aspect général de calcul.

Pour ce faire, un cas réel est adopté. Le but est de calculer les différents paramètres de nocivité à la surface libre. Quatre colonnes monocouches de sol de nature argileuse, sableuse et rocheuse sont considérées. Les quatre ont une profondeur égale à 30 mètres. Le site de référence est représenté par un affleurement rocheux.

Une étude critique est menée à la fin de ce chapitre pour garantir un choix meilleur du paramètre de nocivité assurant une prise en compte fleurissante de l'effet de site en tenant compte de l'amplitude, la durée et la fréquence de résonance de site.

II.2. Etude de cas : Séisme de l'Irpinia:

L'étude de l'effet de site est menée en adoptant des sites monocouche surmontant un substratum rocheux. L'amplification du mouvement sismique est analysée en considérant les paramètres suivants : la vitesse des ondes de cisaillement moyenne sur trente mètres de profondeur (V_{s30}), le Poids spécifique et l'épaisseur de la couche. L'approche linéaire équivalente est utilisée pour générer les paramètres de nocivités (PN) dans des points distincts. Le code de calcul **EERA** (equivalent linear site response analyses) et DeepSoil représentent les outils de base de cette analyse.

Dans ce contexte, nous avons pris trois sites de références pour un même évènement sismique. Il s'agit du tremblement de terre du 23 novembre 1980 d'Irpinia en Italie qui a secoué la région vers 18h34min heure locale. Ce seisme vionlant avait une magnitude du moment M_w égale 6.9 avec une profondeur focale de 16 km et une faille normale. La figure.II.1 représente la situation géographique du foyer sismique. Ce tremblement de terre a fait 800 morts et fu ressentie dans tout le pays.

Les 3 sites de références représentent trois niveaux croissants d'amplitude et sont en champ proche par rapport à l'épicentre, avec des V_{s30} mesurées sur site presque identiques.



Figure II. 1: Situation géographique du tremblement de terre d'AULETTA en Italie.
(http://fr.wikipedia.org/wiki/Tremblement_de_terre_de_1980_dans_l'Irpinia)

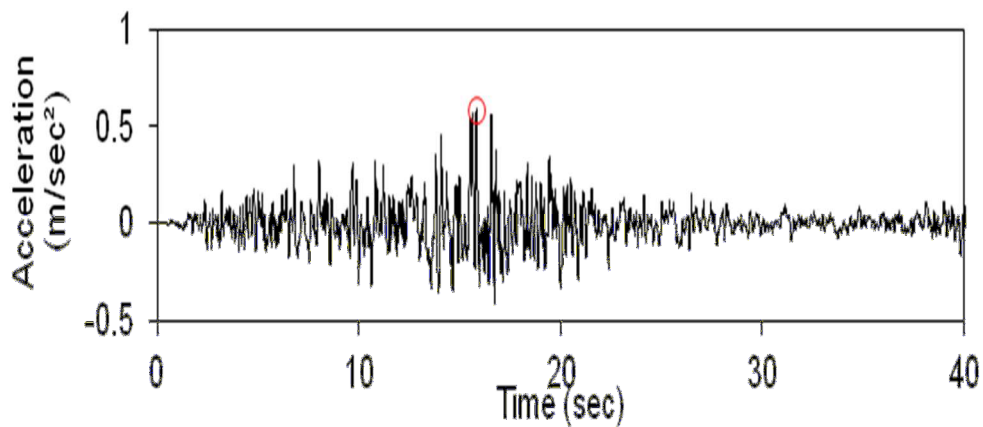


Figure II. 2: Accelérogramme de la station 1 d'Auletta avec une PGA dans la direction nord-sud égale à $0,5921 \text{ m/sec}^2$

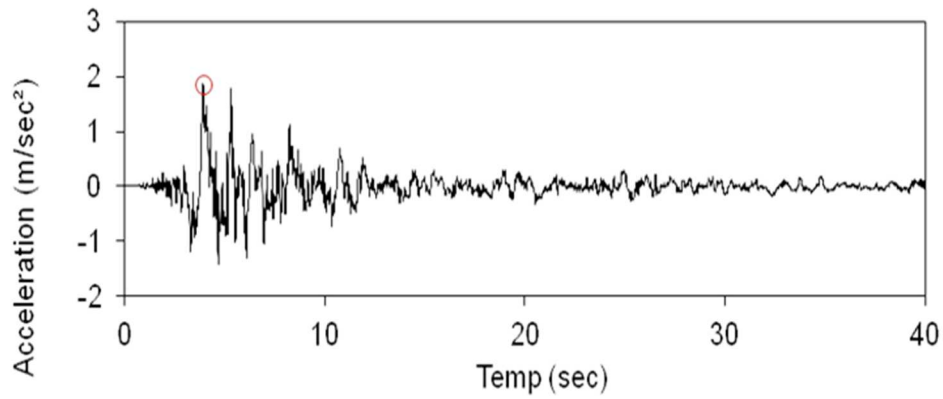


Figure II. 3 : Accélérogramme au niveau de la station 2 de Bagnoli Irpino, $PGA = 1.867m/s^2$

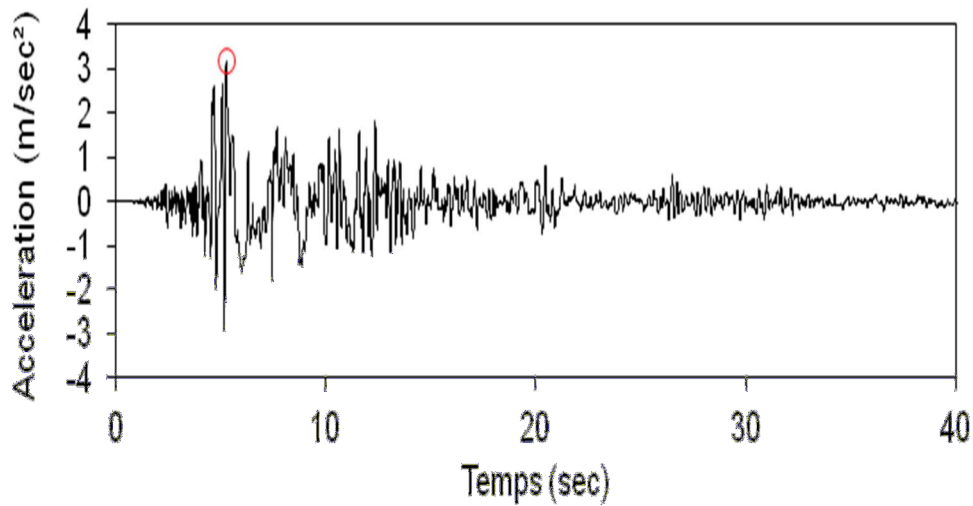


Figure II. 4: Accélérogramme au niveau de la station 3 (Sturno), $PGA=3.19 m/s^2$

Stations de référence		PGV (m/sec)		PGA (m/sec ²)		CAV (m/sec)	
Numéro	V_{s30} (m/s)	EW	NS	EW	NS	EW	NS
1	1122.197	0.0616	0.0577	0.5756	0.5921	3.4018	3.5689
2	1152.829	0.2005	0.3599	1.3698	1.863	6.9017	7.1925
3	1121.968	0.3595	0.6757	2.1635	3.1993	13.1917	13.0718

Tableau II. 1 Information sur les paramètres des stations et sur les trois niveaux d'enregistrements choisis

II.3. Profils du sol

L'objectif de cette partie de mémoire est de tester l'influence de la nature rhéologique du sol sur l'effet de site linéaire et non linéaire. Nous essayons donc de répondre à la question suivante : est-ce qu'à des différents niveaux d'excitation sismique (trois sites de références) la vitesse de cisaillement suffit à elle seule à caractériser un site ?.

Pour y répondre nous avons choisi quatre colonnes de 30 m de profondeur chacune et de nature différentes : Argile, sable et rocher. Ainsi nous avons complété cette analyse en prenant une argile et un sable de même vitesse de cisaillement (tableau.II.2).

Nature de sol	Vs (m/s)	Poids spécifique (KN/m ³)
Argile	200	19.66
Argile	400	19.66
Sable	400	20.45
Roche	800	21

Tableau II. 2 Représentation des quatre profils de sol avec leurs Vitesses de cisaillement, poids spécifique.

Ainsi les modèles de sol proposés sont constitués d'une couche homogène, horizontale d'épaisseur constante égale à 30 m surmontant un substratum rocheux, caractérisés par des propriétés rhéologiques distinctes illustrées sur la figure II.5

L'utilisation des enregistrements des sites de références consiste à comparer le signal enregistré sur le site de référence à celui enregistré à la surface en utilisant les quatre profils de sol suscités dans le tableau.II.2

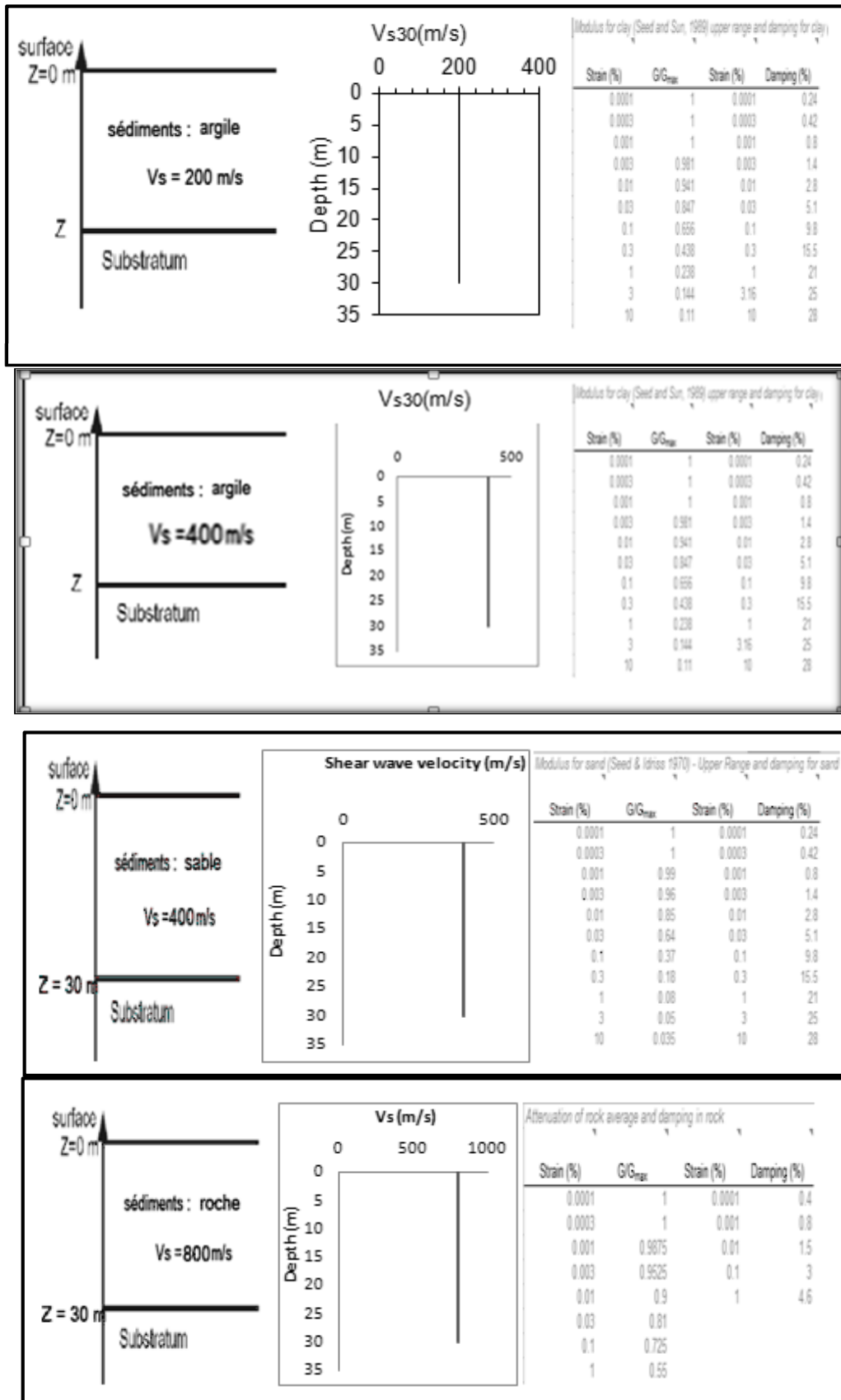


Figure II. 5 : Propriétés mécaniques et géométriques des 4 modèles

Le calcul de la réponse des 4 profils a été effectué par le code de calcul sous Excel EERA et complété par le logiciel DeepSoil (voir annexe I). L'interface graphique simple et la méthode linéaire équivalent dont EERA est équipé, nous a motivé à le choisir comme un outil de l'analyse de l'effet de site. La prise en compte simpliste de l'effet de site est assurée généralement par des paramètres simples tels que la vitesse des ondes de cisaillement sur trente mètres de profondeur V_{s30} et/ou la fréquence de résonance f_0 .

II.4. Paramètres physiques caractérisant un site

Deux types de paramètres physiques des sites sont définis dans cette étude. La vitesse des ondes de cisaillement sur 30 m. Sa Formule est donnée par :

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}} \quad (\text{II.1})$$

h_i représente l'épaisseur de la couche numéro i et V_{si} est la vitesse des ondes de cisaillement mesurée dans la couche i . n : nombre de couches situées entre la surface et 30 m de profondeur.

L'autre paramètre supposé pertinent à la caractérisation de site est la fréquence caractéristique (fréquence de résonance) du site f_0 , fut déterminée dans cette étude par trois méthodes :

II.4.1. Méthode de 1/4 d'onde

Dans le cas d'une couche homogène reposant sur un demi-espace (milieu 1D), la fréquence de résonance des ondes S est reliée aux paramètres du sol selon la relation suivante :

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (\text{II.2})$$

Avec f_0 , la fréquence de résonance ; V_s la vitesse des ondes S dans la couche sédimentaire ; H représente l'épaisseur de la même couche.

II.4.2. Méthode des Rapports des Spectres de Réponse (RSR) :

Ce rapport est défini comme étant le rapport des spectres d'amplitude de réponse du capteur en surface sur le capteur en fond de forage ou affleurement rocheux. La fréquence de résonance correspond donc au premier pic notable du rapport moyen. Ce rapport est

représentatif de la fonction de transfert qui existe entre le capteur en surface et le capteur en profondeur ou affleurement rocheux.

II.4.3. Méthode des Rapports des Spectres de Fourier (RSF) :

C'est le rapport des spectres d'amplitude de Fourier du capteur en surface sur le capteur en fond de forage. Il s'agit du rapport moyen des 10 composantes horizontales. C'est la fréquence qui correspond au premier pic notable du rapport moyen. Ce rapport est représentatif de la fonction de transfert qui existe entre le capteur en surface et le capteur en profondeur.

La fréquence de type RSF se révèle la plus exacte, du fait qu'elle est calculée à partir de les deux enregistrements Site/référence en domaine fréquentiel. Cependant, ce type de donnée (accélérogramme) n'est pas toujours disponible. Ce qui nous a amené à tester l'exactitude des trois autres fréquences. La figure.II.6 regroupe les différentes valeurs des f_0 en utilisant les 4 profils de sol sous l'effet des 3 enregistrements de références.

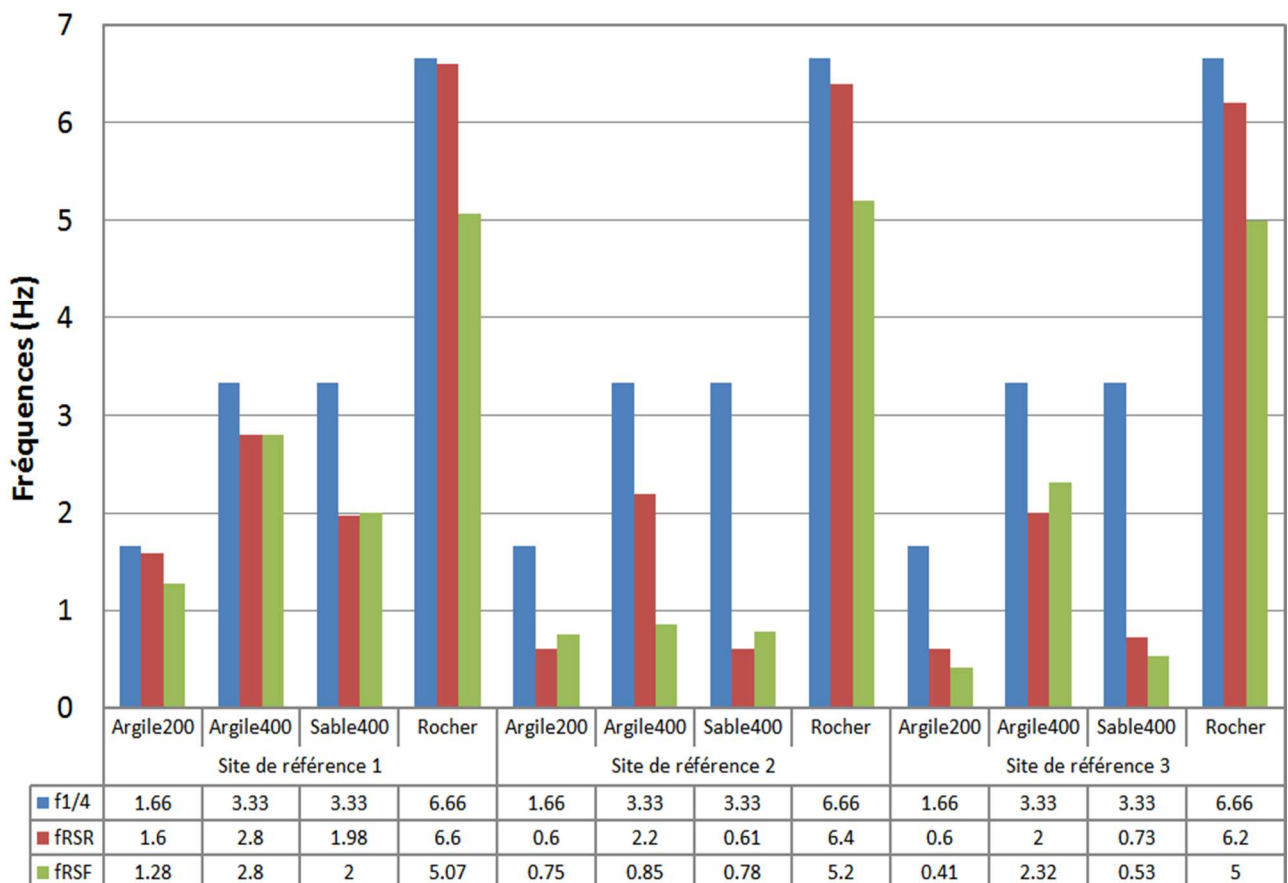


Figure II. 6: Représentation des résultats donnés par les 3 méthodes proposés

Si nous supposons que f_{RSF} représente la fréquence de référence, nous pouvons constater à partir de la figure II.6 que $f_{1/4}$ (en bleu) est plus élevée par rapport à f_{RSR} et ce pour tous les profils de sol. En outre, l'évidence du fait que les sols raides possèdent des fréquences plus élevées que les sols mous restent valables partout. Nous considérons à présent les profils avec $V_{S30} = 400$ m/sec, nous pouvons remarquer que, même avec la même vitesse, f_{RSF} et f_{RSR} sont différentes surtout pour les profils des sols du site de références 2 e 3 (mouvement fort). Sous une sollicitation forte le comportement du sol devient non linéaire et le degré de non linéarité change suivant la nature rhéologique du sol ce qui nous donne des fréquences distinctes. Exemple : dans le tableau de la figure.II.6 (site de référence 3) nous avons pour l'argile₄₀₀ une $f_{RSR}=2$ Hz ($T=0.5$ sec) et pour le sable₄₀₀ $f_{RSF}=0.73$ Hz ($T=1.37$ sec). Ce grand écart, qui représente un résultat préliminaire et sommaire en lui-même, nous laisse penser quand même d'ajouter la nature du profil du sol aux spectres de réponses réglementaires.

II.5. Classification des sites

Dans les codes parasismiques, l'effet de site est pris en compte par l'introduction de certains paramètres caractérisant le sol. Le plus souvent utilisé en géotechnique sont la vitesse de cisaillement V_s des ondes et la fréquence de résonance de site f_0 . De part de leur simplicité. Toutefois cette dernière engendre la perte de précision lors de la modélisation du comportement dynamique du site. la prise en compte de la nature géotechnique des couches par un procédé de calcul numérique telle que l'approche linéaire équivalamment peut nous renseigner d'avantage sur le comportement réel d'une colonne du sol.

II.6. Influence de la nature géotechnique du sol sur la réponse du sol

L'un des paramètres les plus utilisés en génie parasismique pour démontrer le comportement d'un sol lors d'une secousse tellurique est les ordonnées spectrales : PGA,

PGV, SA(T). Dans ce contexte, nous avons tracé les courbes spectrales des 4 profils du en les comparant avec les 3 spectres de références (figure.II.7, 8 et 9).

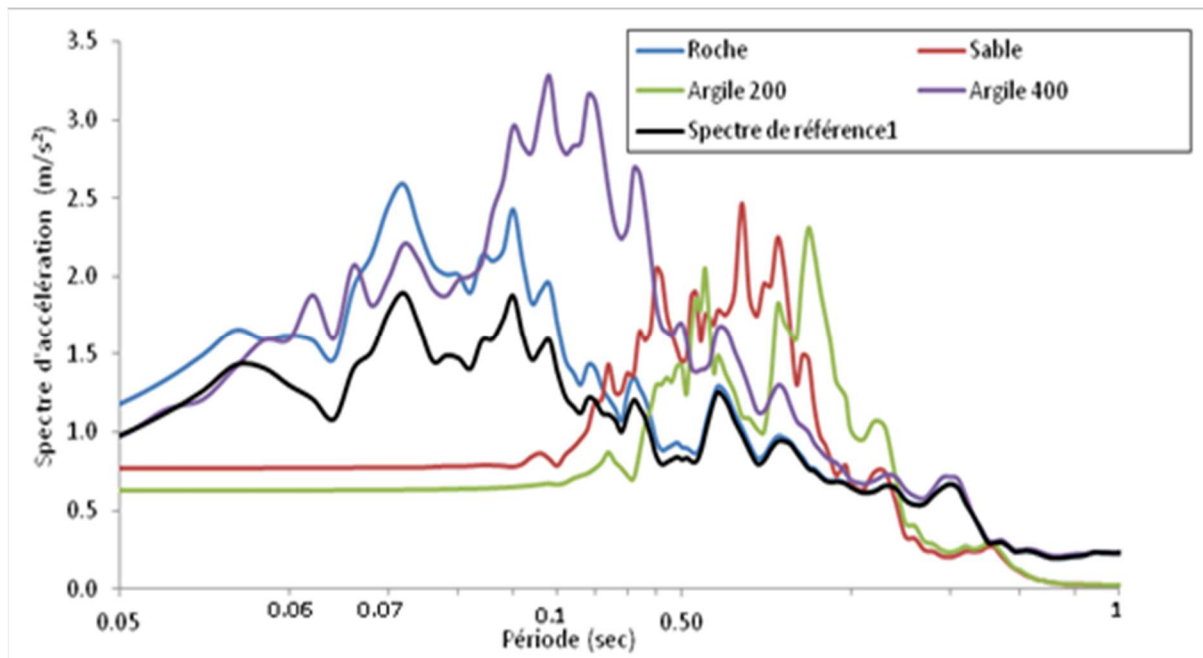


Figure II. 7: Spectre de réponse des 4 profils du sol étudiés sous l'enregistrement de référence 1.

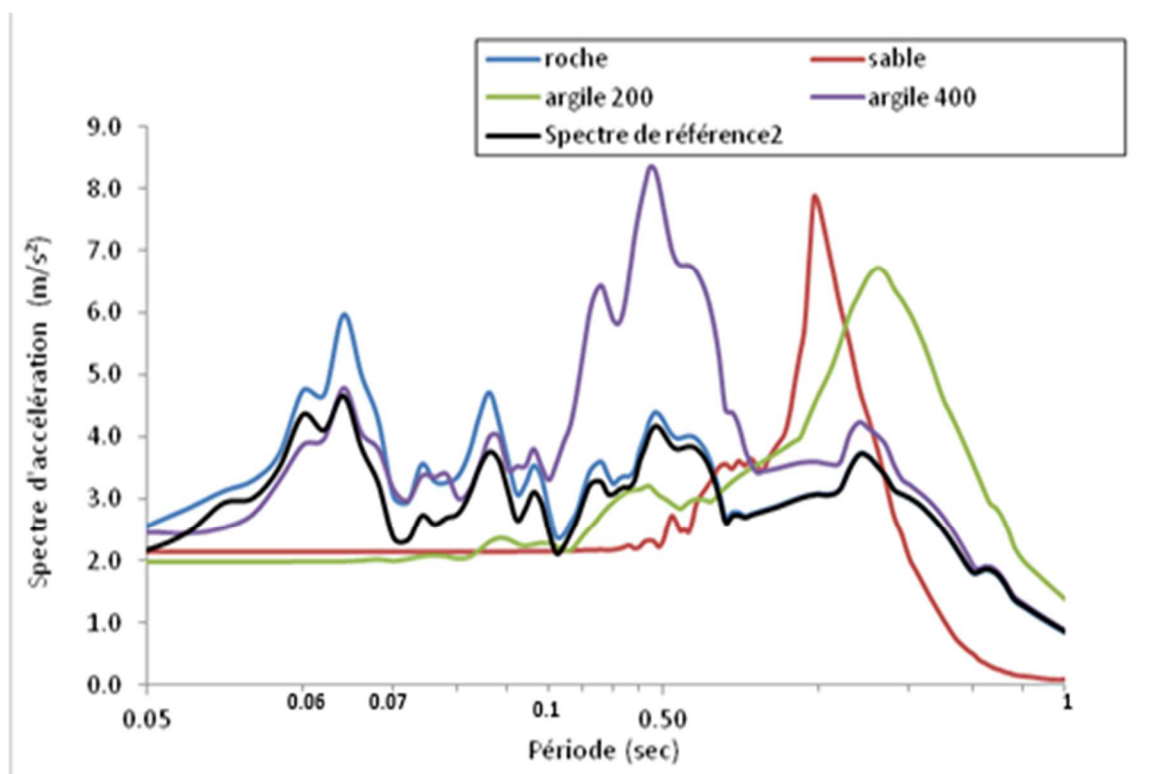


Figure II. 8: Spectre de réponse des 4 profils du sol étudiés sous l'enregistrement de référence 2.

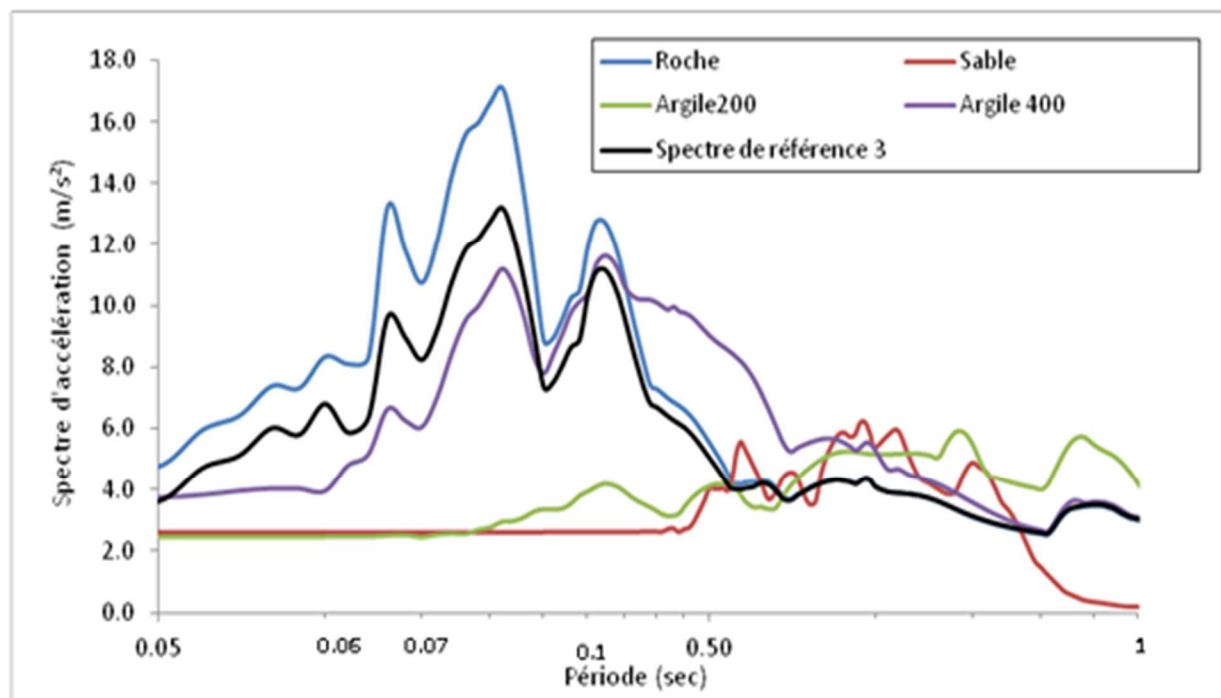


Figure II. 9: Spectre de réponse des 4 profils du sol étudiés sous l'enregistrement de référence 3.

En rappelant que les stations 1, 2 et 3 sont considérées comme des références ($V_{s30} > 1100$ m/sec). Les valeurs spectrales enregistrées au niveau de ces sites sont faibles par rapport à celles estimées pour les quatre sites. En outre, les valeurs significatives de ces spectres de références appartiennent aux hautes fréquences (petites périodes). Sur ces trois figures nous remarquons également, pour les sites rocheux, que l'allure des courbes spectrales suit celles de références : pas de changement du contenu fréquentiel. Par contre pour un sol, nous voyons un décalage vers les faibles fréquences (grandes périodes) par rapport aux sites de références ou rocheux avec des niveaux d'amplification différents. La période (T) augmente proportionnellement avec l'inverse de la V_{s30} , ce résultat est illustré également à la figure.II.6. Focalisons désormais sur les deux profils du sol Argile400 et sable400. Ils ont la même vitesse. La nature du sol influence la réponse sismique. La période T_0 du sable est plus grande que celle d'argile. En revanche, les valeurs spectrales obtenues par l'argile400 sont plus grandes que celles du sable400. En plus, nous remarquons la présence d'un effet non

linéaire pour le sable passage d'un pic 7.5 à T_0 pour un niveau d'excitation 2 à 6 à T_0 pour un excitation de niveau 3.

Cette non-linéarité est illustrée clairement sur la figure.II.10.

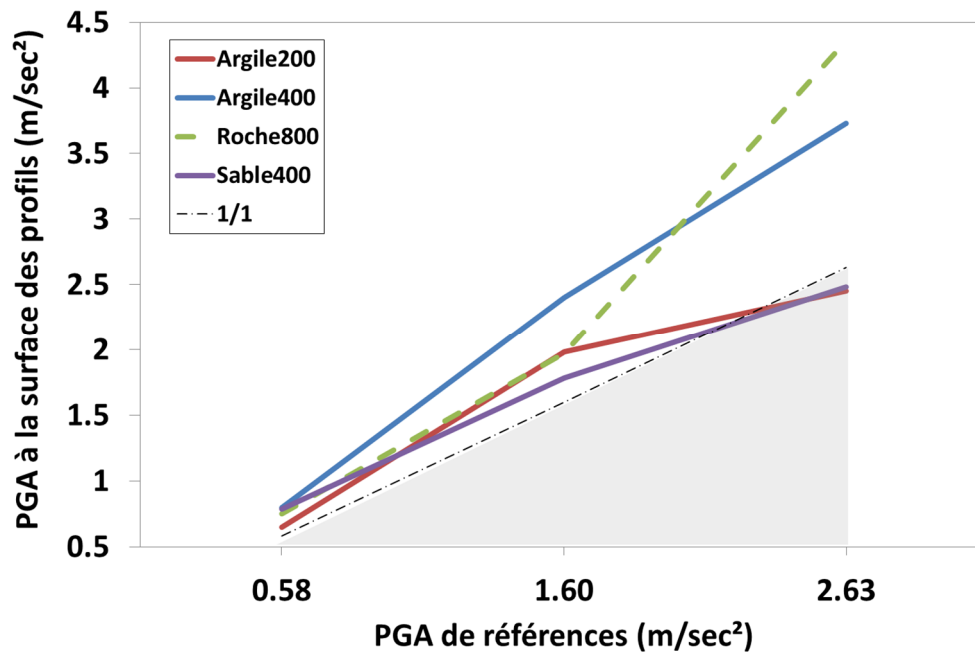


Figure II.10 Effet de site linéaire et non linéaire par les deux accélérations maximales PGA sol et PGA référence. (La moyenne géométrique des PGA NS et EW est utilisée lors de la représentation de ces graphes)

La figure.II.10 nous montre que pour des PGA de référence de niveau 1 à 2 le PGA de l'argile₄₀₀ demeure plus grandes que les autres y compris le sable qui a la même V_{s30} . Au-delà de niveau 2 nous remarquons l'apparition d'un comportement non-linéaire pour l'argile₂₀₀ et le sable₄₀₀. Tandis que pour la roche et l'argile₄₀₀ les PGA continuent de grimper avec un degré plus grand pour la roche.

Pour voir l'influence de la rhéologie des sols sur les autres paramètres de nocivités nous avons calculés en plus des PGA pour les 4 profils les PGV le CAV (chapitre. I) et le facteur d'amplification spectrale à fRSF (tableau.II.4).

	Profils des sols_(Vs30)	PGA (m/s²)	PGV (m/s)	CAV (m/s)	Rapport d'amplification Spectrale (RAS) à f=(fRSf)
Station de référence 1	Argile₂₀₀	0.652	0.1372	40.6375	3.097
	Argile₄₀₀	0.800	0.1412	51.2932	2.730
	Roche	0.754	0.0960	47.2952	1.450
	Sable₄₀₀	0.788	0.1033	49.2947	2.880
Station de référence 2	Argile₂₀₀	1.982	0.4491	76,2911	2 .195
	Argile₄₀₀	2.401	0.4521	88.3781	2.240
	Roche	1.972	0.3626	84.2521	1.483
	Sable₄₀₀	1.784	0.4391	83 ,3337	2.010
Station de référence 3	Argile₂₀₀	2.451	0.8177	85,9290	2.248
	Argile₄₀₀	3.730	0.8212	116,1257	2.181
	Roche	4.359	0.6914	123.8930	1.441
	Sable₄₀₀	2.483	0.8132	89 ,5205	2.170

Tableau II. 4 PGA ; PGV, amplification spectrale

Une lecture rapide du tableau.II.4 nous dévoile que pour un niveau d'excitation faible la nature du sol n'influe pas trop sur les trois paramètres de nocivité. Par contre cette variation est visible pour le RAS à tous les niveaux d'excitation si nous comparons les 3 sites d'un côté et la roche de l'autre côté. $RAS = 3$ pour l'argile₂₀₀ et 1.4 pour la roche₈₀₀. Par ailleurs, la différence entre site-site est négligeable.

Cette influence trouve son apparition permanente à partir du niveau 2 et surtout sur les PGA. Au niveau 3, c'est-à-dire pour une excitation forte du support, la différence des valeurs devienne marquante. Et cela reste valable même pour des V_{s30} équivalents. Cette différence est significatif surtout pour le CAV, il est de l'ordre de 89 m/sec pour le sable₄₀₀ et est égale à 116 m/sec pour l'argile₄₀₀

II.8 Conclusion

A la lumière des travaux présentés dans ce chapitre nous pouvons conclure que la réponse d'un sol n'est pas toujours linéaire, le paramètre de vitesse qui est un paramètre scalaire valable pour la description du comportement linéaire du sol ne suffit pas pour une présentation complète du comportement du sol sous un niveau d'excitation sismique élevée.

A partir des résultats obtenus nous pouvons dire que pour des V_{s30} égales à 800 m/s² nous remarquons la présence d'une amplification. Donc la référence 800 m/sec ne caractérise par un rocher mais plutôt un site raide. Les tests effectués dans le présent chapitre par le biais de la méthode linéaire équivalente nous renseignent sur la réponse sismique des différents types de sol (argile, sable et roche). La réponse sismique est présentée par les paramètres scalaires de nocivité et par les ordonnées spectrales. Cette hétérogénéité du sol peut provoquer des déplacements différentiels d'un point à un autre. Cette problématique nous a motivé à tester ces résultats sur un ouvrage étendu de type pont. Le but est de divulguer le taux d'influence

de cette variabilité spatiale des conditions de site sur la réponse des structures. Dans le chapitre suivant, nous présenterions les caractéristiques générales d'ouvrages d'art sujet d'étude.

Sommaire

<i>Etude de la réponse sismique du sol : Application aux données Italiennes</i>	20
II.1. Introduction.....	20
Après avoir vu l'intérêt de la prise en compte de la variation spatiale des conditions de sites sur le calcul de la réponse des structures étendues et les méthodes jaillissant la considération de l'effet de site. Nous allons dans le présent chapitre, se focaliser sur l'application de la méthode linéaire équivalente et son aspect général de calcul.	20
Pour ce faire, un cas réel est adopté. Le but est de calculer les différents paramètres de nocivité à la surface libre. Quatre colonnes monocouches de sol de nature argileuse, sableuse et rocheuse sont considérées. Les quatre ont une profondeur égale à 30 mètres. Le site de référence est représenté par un affleurement rocheux.....	20
II.2. Etude de cas : Séisme de l'Irpinia:	20
II.3. Profils du sol	23
II.4. Paramètres physiques caractérisant un site	25
II.4.1. Méthode de 1/4 d'onde	25
II.4.2. Méthode des Rapports des Spectres de Réponse (RSR)	25
II.4.3. Méthode des Rapports des Spectres de Fourier (RSF).....	26
II.5. Classification des sites.....	27
II.6. Influence de la nature géotechnique du sol sur la réponse du sol	27
II.8 Conclusion	32
 <i>Figure II. 1: Situation géographique du tremblement de terre d'AULETTA en Italie.</i> <i>(http://fr.wikipedia.org/wiki/Tremblement_de_terre_de_1980_dans_l'Irpinia)</i>	21
<i>Figure II. 2: Accélerogramme de la station 1 d'Auletta avec une PGA dans la direction nord-sud égale</i>	21
<i>Figure II. 3 : Accélerogramme au niveau de la station 2 de Bagnoli Irpino, $PGA = 1.867m/s^2$</i>	22
<i>Figure II. 4: Accélerogramme au niveau de la station 3 (Sturno,) , $PGA=3.19 m/s^2$</i>	22
<i>Figure II. 5 : Propriétés mécaniques et géométriques des 4 modèles.....</i>	24
<i>Figure II. 6: Représentation des résultats données par les 3 méthodes proposés</i>	26
<i>Figure II. 7: Spectre de réponse des 3 profile étudié pour la station 1 à $0.5921m/s^2$</i>	28
<i>Figure II. 8: Spectre de réponse des 4 profile étudié pour la station 2 à $1.867 m/s^2$</i>	28
<i>Figure II. 9: Spectre de réponse des 4 profile étudié pour la station 3 à $3.1993 m/s^2$</i>	29

Présentation de l'ouvrage et modélisation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter l'ouvrage étudié dans ce mémoire. Il s'agit d'un pont à poutres déjà réalisé. On va aussi présenter une analyse modale pour vérifier la période propre du pont et analyser ses modes de vibrations.

III.2 Présentation de l'ouvrage :

L'ouvrage est composé de trois travées indépendantes : deux travées de **33,15m** et une travée de **33,90 m**. L'ouvrage a une largeur de **10 m** portant **2** voies de **3,75m** chacune deux trottoirs de 1,25, le tablier repose sur deux culées et deux piles en béton armé encastrées sur des fondations profondes.

Notre projet consiste alors l'étude d'un ouvrage d'art qui est situé à environ 3 km de la localité **Asla**, sur la liaison **Asla. RN 47**(Wilaya de Naama) et permettra le franchissement de oued **Khneg Tayeb**. La figure 3.1 présente le pont étudié.



Figure 3.1. Photo réelle du pont

Les portées des travées de l'ouvrage étudié sont comme suit :

Travées	1.2	2.3	3.4
Portée	33,15	33,90	33,15

Tableau3.1 : longueur des travées

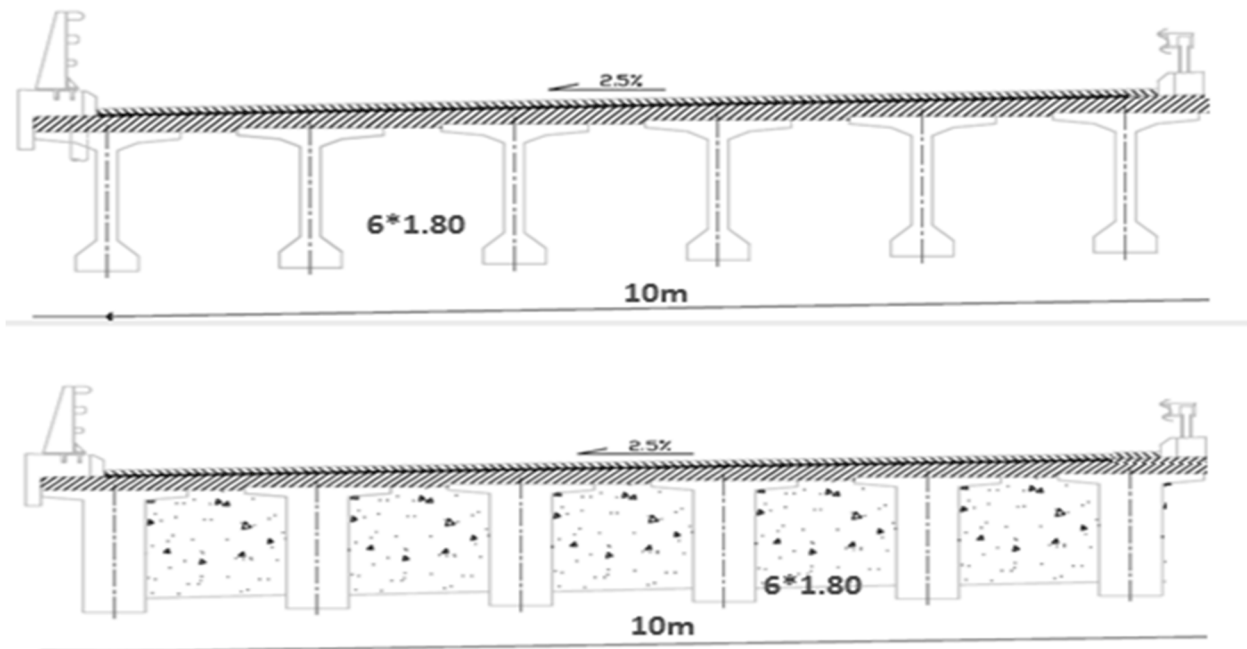


Figure 3.2. Profil en travers

III.3 Caractéristiques géométriques des sections des poutres

Chacune des travées du pont est composée de 6 poutres en béton précontraint (figure 3.2). Pour simplifier les calculs, on décomposera chacune de ces poutres en éléments simples tels que : trapèzes, rectangles, carrés, triangles.

III.3.1 Notations

Soit Nous devons étudier les deux sections : section d'about (figure 3.4), et section médiane (figure 3.3), ainsi que les cas avec et sans hourdis pour les deux sections.

B_i : la section brute

Z_i : Distance du centre de gravité de la 1^{er} section à la base de la poutre

S_i : Moment statique de la section $S_i = B_i \cdot X_i$

I_i : moment d'inertie de la section par rapport à son centre de gravité

V : Distance du centre de gravité de la section total à la fibre supérieure (à vide et en charge)

V' : Distance du centre de gravité de la section total à la fibre inférieure (à vide et en charge)

ρ : Rendement de la section (meilleure qualité ou moindre cout) $\rho = \frac{I_a}{B_i V' V}$

I_0 : Moment d'inertie total par rapport au centre de gravité de la section total (à vide et en charge)

- Pour une section rectangulaire $I_a = \frac{bh^3}{12}$
- Pour une section triangulaire $I_a = \frac{bh^3}{36}$
- Le moment d'inertie total par rapport au centre de gravité de la section total
 $I = I_0 + BX_i^2$

III.3.2 Caractéristiques géométriques de la section médiane

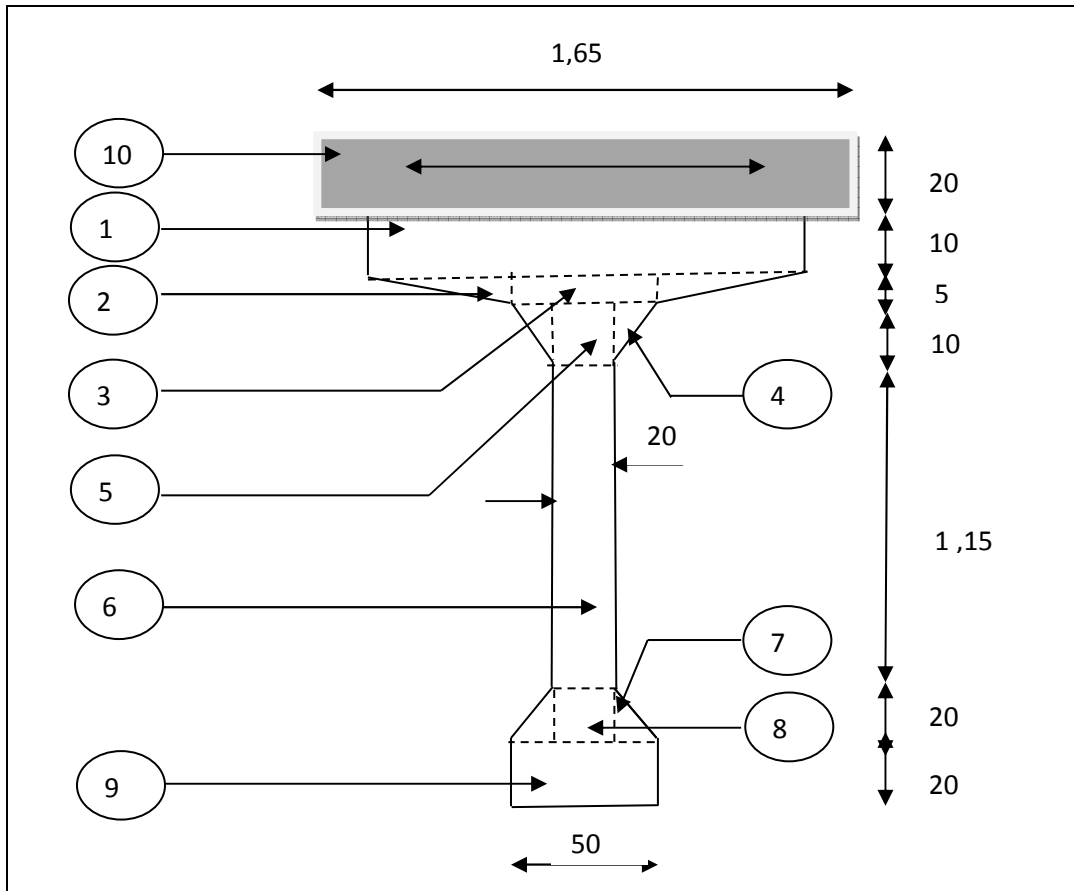


Figure 3.3 : section médiane

section	Dimensions	$B_i(m)$	$Z_i(m)$	$S=B_i Z_i^2$	$I_0(m^4)$
(1)	1,40x0,10	0,14	1,75	0,245	$1,17 \cdot 10^{-4}$
(2)x2	0,45x0,05	0,0225	1,68	0,0378	$3,125 \cdot 10^{-6}$
(3)	0,50x0,05	0,025	1,675	0,042	$5,21 \cdot 10^{-6}$
(4)x2	0,15x0,10	0,015	1,617	0,024	$8,33 \cdot 10^{-6}$
(5)	0,20x0,10	0,02	1,6	0,032	$1,67 \cdot 10^{-5}$
(6)	0,20x1,15	0,23	0,975	0,224	0,025
(7)x2	0,15x0,20	0,03	0,267	0,08	$6,67 \cdot 10^{-5}$
(8)	0,20x0,20	0,04	0,3	0,012	$1,33 \cdot 10^{-4}$
(9)	0,50x0,20	0,1	0,1	0,01	$3,33 \cdot 10^{-4}$
Poutre seule		0,6625		0,635	

(10)	1,65x0,20	0,33	1,9	0,627	0,0011
Poutre+dalle		0,9525		1,2622	
A vide(poutre seule)					
V'(m)	V(m)	I_i (m⁴)		ρ(%)	
1,02	0,78	0,2558		51,65	
En charge (poutre+dalle)					
1,32	0,68	0,423		49,47	

Tableau 3.2 : caractéristique de la section médiane

III.3.3 Caractéristiques géométriques de la section d'about

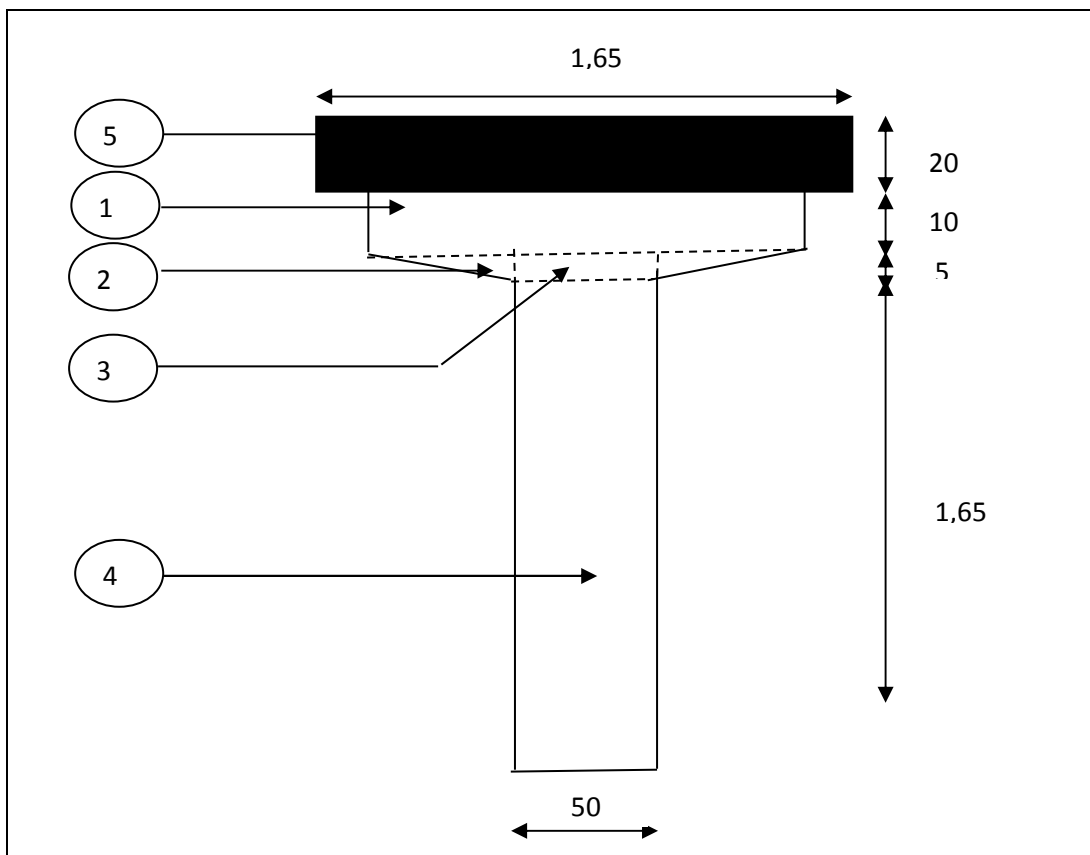


Figure 3.4 section d'about

section	Dimensions	$B_i(m)$	$Z_i(m)$	$S=B_i Z_i^2$	$I_o(m^4)$
(1)	1,40x0,10	0,14	1,75	0,245	$1,17.10^4$
(2)x2	0,45x0,05	0,0225	1,68	0,0756	$3,125.10^{-6}$
(3)	0,50x0,05	0,025	1,675	0,0419	$5,21.10^{-6}$
(4)	0,15x1,45	0,825	0,825	0,68	0,187
Poutre seule		0,0125		1,0425	
(5)	1,65x0,20	0,33	1,9	0,625	0,0011
Poutre dalle		1,3425		1,67	
A vide(poutre seule)					
$V'(m)$	$V(m)$	$I_i(m^4)$		$\rho(\%)$	
1,03	0,77	0,3152		40	
En charge(poutre+dalle)					
1,24	0,76	0,554		44	

Tableau 3.3 : caractéristique de la section d'about

III.4 Modélisation

Nous avons utilisé dans ce projet le **SAP2000** pour la modélisation du pont en éléments finis. C'est un logiciel de calcul et de conception des structures d'ingénierie particulièrement adapté aux ouvrages de génie civil. Il permet la saisie graphique des ouvrages avec une bibliothèque d'élément autorisant l'approche du comportement de ce type de structure. Il offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques. la figure 3.5 présente....

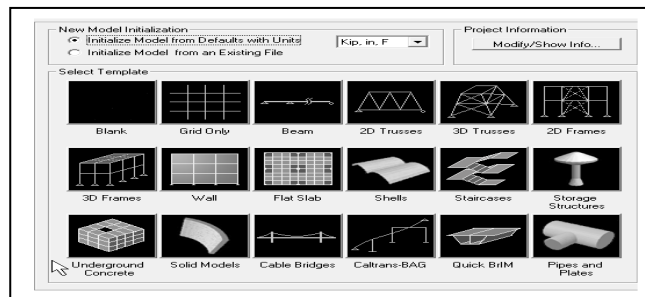


Figure 3.5 : Fenêtre principale de SAP2000

III.4.1 Principe de la méthode

Le pont a été modélisé en **3D** par la méthode des éléments finis ceci en utilisant le logiciel 'SAP 2000 version 14.2'.

Le tablier et les piles ont été modélisés par des éléments poutres «**Frames**», ainsi les appareils d'appui ont été modélisés par des éléments de liaison «**Link**».

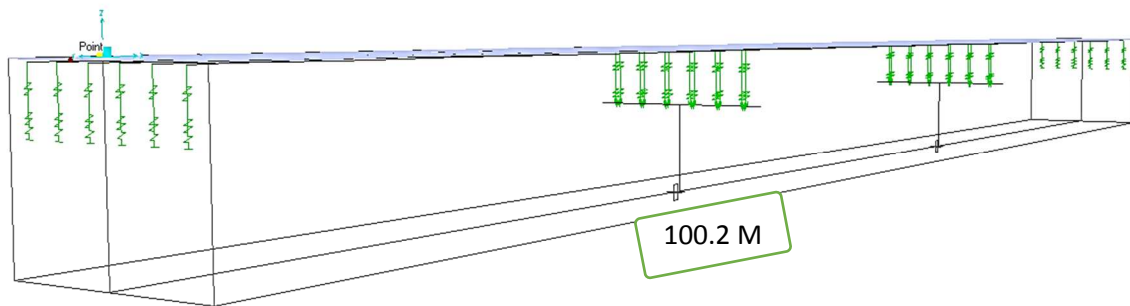


Figure 3.6 : model du pont en 3D

La figure 3.6 présente le modèle établi pour le pont étudié Pour le chargement nous avons considérés que les charges permanentes

III.4.2 Analyse modale :

Pour que la somme de la masse modale effective atteigne 90% de la masse totale du pont dans les deux sens horizontales et le sens verticale, nous avons considéré 72 modes.

On présente par le tableau 3.4 certaines modes :

Modes	Période (sec)	Ux	Uy	Uz	Sum UX	SumUy	Sum Uz
Mode 1	0.88	0.64	5E-22	5E-21	0.644	0.000	0.000
Mode 2	0.87	0.00	4E-01	1E-23	0.644	0.371	0.000
Mode 3	0.86	0.00	2E-12	8E-24	0.644	0.371	0.000
Mode 4	0.86	0.00	4E-01	3E-23	0.644	0.798	0.000
Mode 5	0.86	0.00	3E-17	4E-12	0.644	0.798	0.000

Mode 6	0.85	0.17	6E-28	4E-21	0.815	0.798	0.000
Mode 7	0.53	0.00	3E-19	6E-20	0.815	0.798	0.000
Mode 8	0.52	0.00	4E-05	2E-20	0.815	0.798	0.000
Mode 9	0.52	0.00	4E-16	2E-19	0.815	0.798	0.000
Mode 10	0.35	0.64	5E-22	5E-21	0.644	0.000	0.000
Mode 11	0.34	0.00	8E-24	1E-14	0.815	0.798	0.215
Mode 12	0.34	0.00	3E-23	4E-01	0.815	0.798	0.602
Mode 13	0.094	0.136	3.30E-17	1.58E-17	0.95	0.79	0.60
Mode 47	0.022	0.00	0.11	2E-14	0.97	0.939	0.696
Mode 72	0.015	1.13E-17	8.06E-14	0.096	0.97	0.98	0.92

Tableau 3.4 : les modes principales et le facteur de la participation modale

Le tableau 3.4 montre que les périodes propres des modes et les valeurs de participation de la masse de chaque direction, On remarque qu'on atteint 90% de la masse au 13^{ème} mode suivant la direction X et au 42^{ème} mode suivant la direction Y et au 72^{ème} mode suivant la direction Z.

III.5 Conclusion

Le pont étudié est droit, il est composé de deux travées, sept poutres espacées de 1.67m et de deux piles en voile de hauteurs égal, Ainsi que l'appareil d'appuis utilisé est au néoprène fretté. la période du pont elle est petite de l'ordre de 0.88s et pour les modes propre 90% de la masse total participe à partir du mode 72

Analyse dynamique de pont En considérant l'effet de site

IV.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'analyse dynamique du pont déjà présenté en chapitre 3, cette analyse va être effectuée en considérant l'effet de site. Les signaux évalués dans le chapitre 2 pour la station 3 sont utilisés. Il sera composé de deux parties, la première concerne l'évaluation des signaux imposés et dans la deuxième partie nous effectuons une analyse dynamique temporelle du pont, en imposant des déplacements aux piles et aux culées.

IV.2 Mouvement sismique imposé

Deux types de mouvements sismiques sont utilisés pour l'étude dynamique du pont considéré. Le premier type concerne le cas d'un site uniforme le long des supports du pont tandis que pour le second type le site est variable d'un support à un autre, c'est-à-dire à chacun des supports correspond un signal sismique. Ce dernier peut être imposé dans ce cas soit sous forme d'accélération ou bien de déplacements. Cependant dans le logiciel Sap2000 le signal sismique variable ne peut être imposé que sous forme de déplacement. En conséquence pour atteindre notre objectif nous devons évaluer les déplacements à partir des accélérations.

Par ailleurs, l'expérience indique que l'intégration directe de l'histoire temporelle de l'accélération entraîne souvent des dérives non réalistes dans la vitesse et le déplacement obtenus (Yang, 2006), ceci est dû en particulier aux bruits introduits lors de l'enregistrement du signal sismique et la conversion de l'analogique vers le numérique (Boore et al, 2005). Pour remédier à ces problèmes nous devons d'abord corriger les accélérations.

IV.2.1 Procédure de correction :

Les signaux sont corrigés par le code informatique RisAM Signal (Boukli et al, 2010) qui a été développé afin de traiter le problème d'intégrabilité des signaux sismiques en utilisant une méthode simplifiée de correction nommée TSS-RisAM. Cette méthode consiste d'abord à filtrer le signal sismique, si c'est nécessaire. Par la suite, les quelques premières valeurs de l'accélération sont corrigées pour imposer des conditions initiales nulles tout en assurant la compatibilité des intervalles intégrés.

Ce code permet alors la correction des accélérations temporelles pour aboutir à des déplacements réalistes. La procédure de correction utilisée est combinée de deux étapes le filtrage et la correction des conditions initiales des accélérations, vitesses et déplacements. Le filtrage se fera en « HIGHTPASS » c'est-à-dire, on filtre les petites fréquences qui sont considérées parmi les causes provoquant des déplacements irréalistes. La problématique dans la procédure de filtrage reste dans l'estimation de la fréquence de coupure.

Comme première tentative, le filtrage est effectué en variant les fréquences tous en vérifiant les déplacements maximums qui doivent être égales aux déplacements cibles issues de la formule suivante tiré de l'EURECODE 8 :

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \dots\dots (IV.1)$$

tel que,

a_g accélération de calcul pour un sol rocheux;

T_C limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;

T_D valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant ;

S paramètre du sol ;

Les déplacements calculés par la relation IV.1 pour les signaux correspondant aux stations de référence 2 et 3 sont illustrés par le tableau IV.1

	Argile			Roche			Sable		
Paramètre	S=1.2	Tc=0.50	Td=3	S=1	Tc=0.30	Td=3	S=1.1	Tc=0.40	Td=3
Station de référence 3	0.196			0.098			0.144		

Tableau IV. 1: les déplacements calculés par la relation IV.1

Après plusieurs essais nous avons constaté que le filtrage basé sur les déplacements cibles obtenus par l'équation 4.1 nécessite des fréquences de coupure de l'ordre de 0.6 Hz ce qui a une incidence directe sur l'accélération. Donc nous avons conclu que cette démarche n'est pas recommandée dans ce cas.

Alors nous avons utilisé une autre approche qui consiste à comparer les résultats donnés par une accélération imposée et les résultats donnés par un déplacement imposé. Ce pour un même type de sol tout au long du pont et en négligeant l'amortissement.

Pour aboutir aux résultats d'accélération dans le cas amorti il nous faut un paramètre en plus de déplacement qui est la vitesse alors qu'on ne peut pas introduire deux paramètres au même temps au sap 2000. C'est pour cette raison que nous avons effectué la comparaison dans le cas non amorti .Nous avons donc effectué une analyse dynamique au pont sous accélération imposée les résultats de cette analyse sont comparés avec ceux obtenus à partir des déplacements évalués par le code RisAM Signal en variant la fréquence de filtrage. La comparaison en termes de moments obtenus par accélération imposée et déplacement imposé est donnée par le tableau 4.2 dans le cas d'une fréquence de filtrage de 0.1 HZ.

	Site uniforme le long du pont	Moment donné par déplacement imposé	Moment donné par l'accélération imposée	Différence
Station 3	Sable	32321.15	30521.07	5.5%
	Argile	33925.89	31711.25	6.5%
	Roche	29786.21	27620.14	7%

Tableau IV. 2 : Résultats obtenus après analyse par accélération et déplacement imposés

Les résultats obtenus montrent qu'un filtrage de 0.1 Hz donne des moments en imposant le déplacement proche de ceux donnés par l'accélération, Le tableau IV.2 nous le montre clairement. Nous constatons que la différence maximale entre les résultats est de 7%. Donc l'utilisation des déplacements filtrés à 0.1 Hz est recommandée dans ce cas.

Par la suite nous représentons pour la station de référence3 et pour les trois types de sol les déplacements obtenus par le code RisAM Signal avant et après correction (voir Figure IV.1 à VI.6). et dans les tableaux IV.3 à IV.5 nous comparons les valeurs maximales avant et après correction.

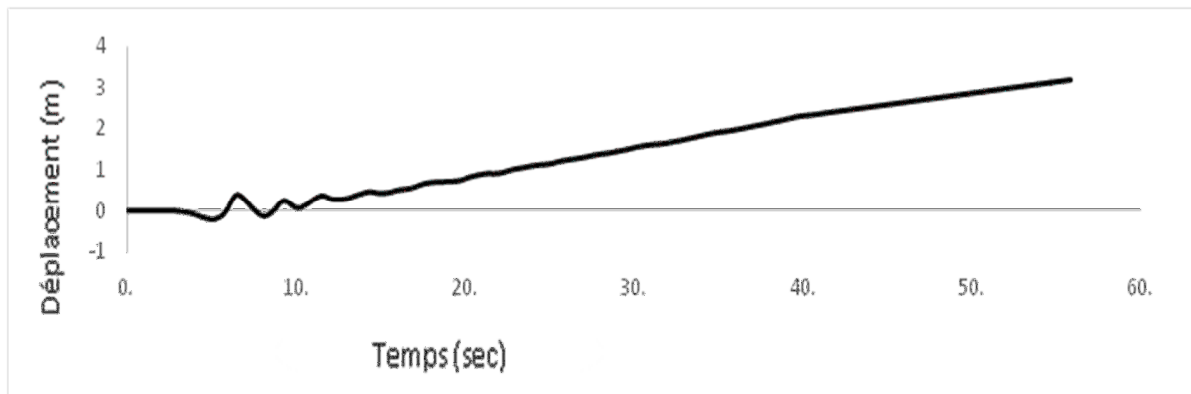


Figure IV. 1 : Déplacements en site argileux avant correction

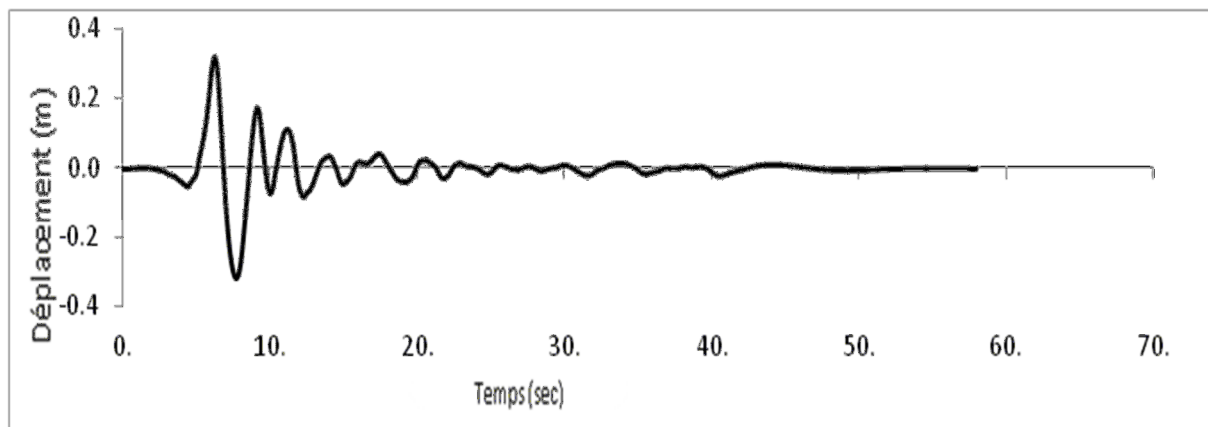


Figure IV. 2 : Déplacement en site argileux après correction

	Avant	Après
Fréquence de filtrage (Hz)		0.1
Accélération maximale (m/s^2)	2.4000	2.4014
Déplacement maximum (m)	3.2907	0.3199

Tableau IV. 3 : Déplacement et accélération maximums en site argileux avant et après correction

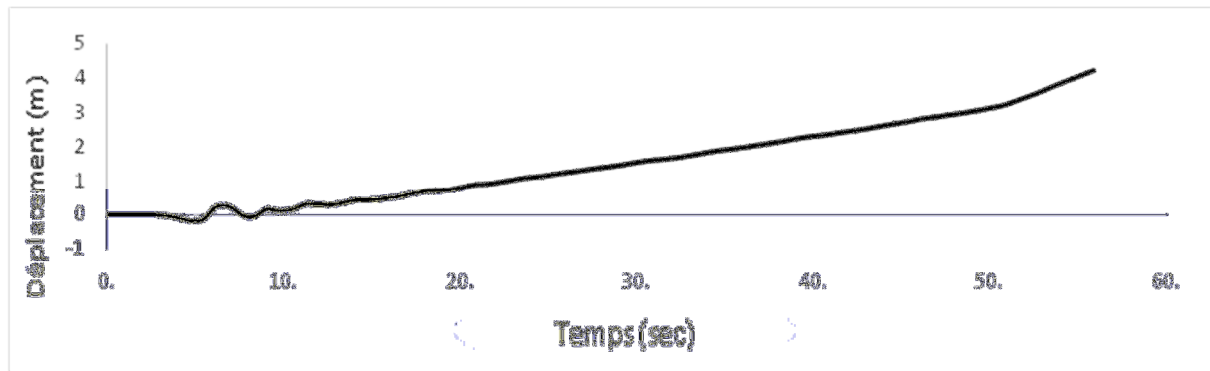


Figure IV. 3 : Déplacement en site rocheux avant correction

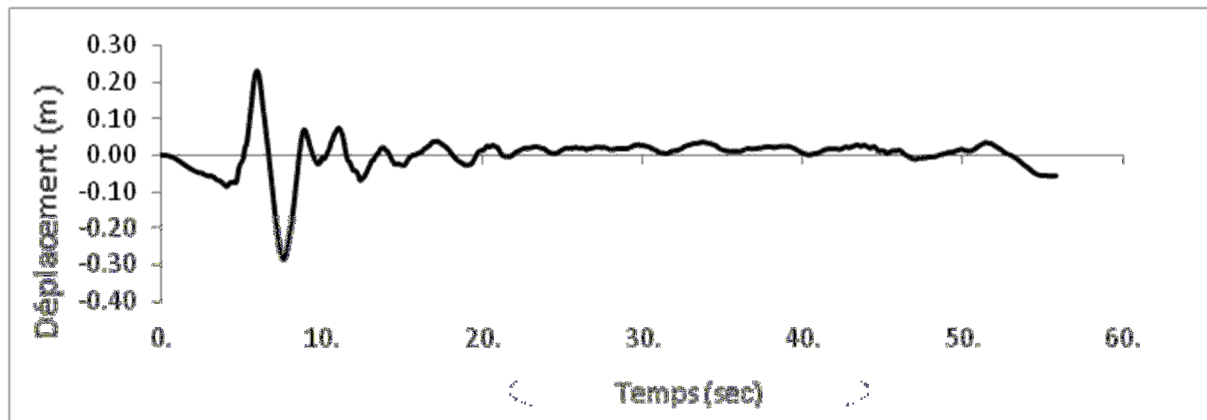


Figure IV. 4 : Déplacement en site rocheux après correction

	Avant	après
Fréquence de filtrage (Hz)		0.1
Accélération maximale (m/s ²)	4.359	4.3072
Déplacement maximale (m)	4.6497	0.2854

Tableau IV. 4 : Déplacement et accélération maximums en site rocheux avant et après correction

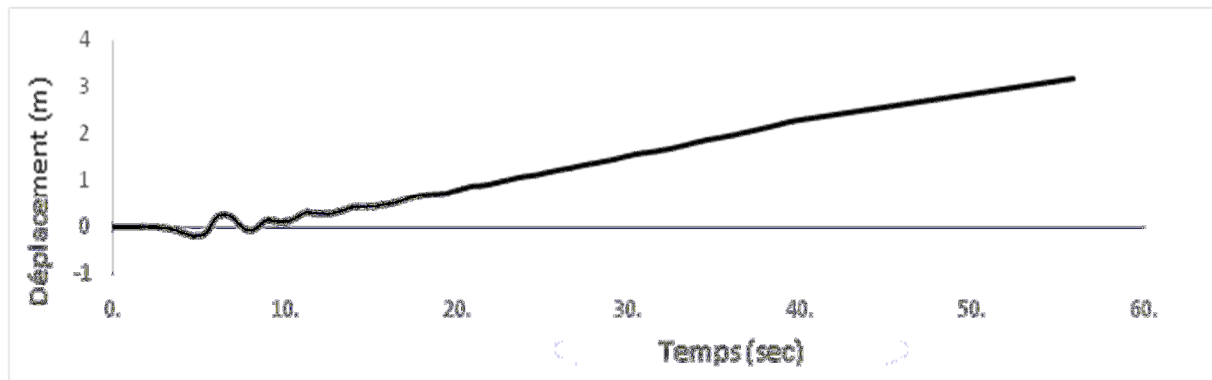


Figure IV. 5 : Déplacements en site sableux avant correction

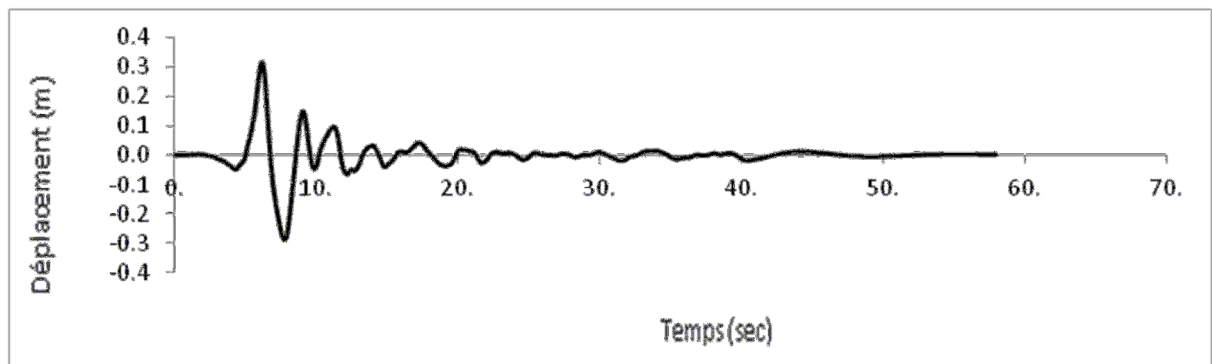


Figure IV. 6 : Déplacement en site sableux après correction

	Avant	Après
Fréquence de filtrage (Hz)		0.1
Accélération maximale (m/s^2)	2.6049	2.6063
Déplacement maximum (m)	3.1645	0.3134

Tableau IV. 5 : Déplacement et accélération maximums en site sableux avant et après correction

On remarque clairement qu'il y a des dérives dans les signaux de déplacements calculés, comme le montre les figures IV.1, IV.3 et IV.5. Les figures IV.2, IV.4 et IV.6 montrent que l'application de cette approche de correction conduit à un signal de déplacement « raisonnable ». La correction est faite à 0.1 Hz. Dans ce cas l'accélération corrigée et non corrigée sont identiques (voir tableaux IV.3 à IV.5). Ce qui justifié encore une fois que notre choix de filtrage à 0.1Hz est correct.

IV. 3 Analyse dynamique du pont

IV.3.1 Les cas d'analyse effectuée

Les cas d'analyse effectués sont représentés par la suite :

- RRRR : site rocheux le long du pont (Figure IV.7);
- RAAR : site rocheux au niveau les culée et les deux piles sont fondées sur un sol argileux (Figure IV.8);
- RSSR : site rocheux au niveau des culées et les deux piles sont fondées sur un sol sableux (Figure IV.9);
- RSAR : site rocheux au niveau les culées avec l'une des piles est fondée sur un site sableux et l'autre sur un site argileux (figure IV.10);

Et tous ces cas-là seront étudié selon deux directions, longitudinales et transversales.

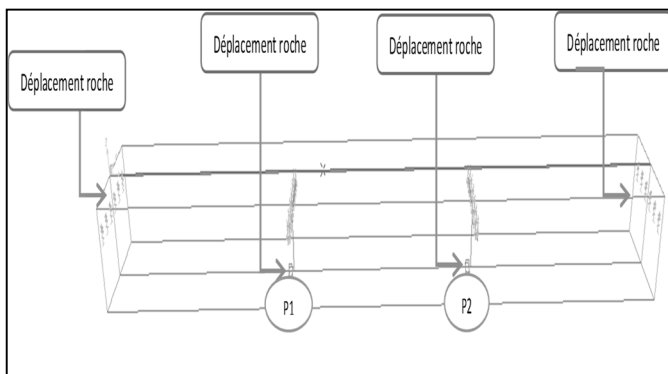


Figure IV. 7 : Représentation de cas RRRR

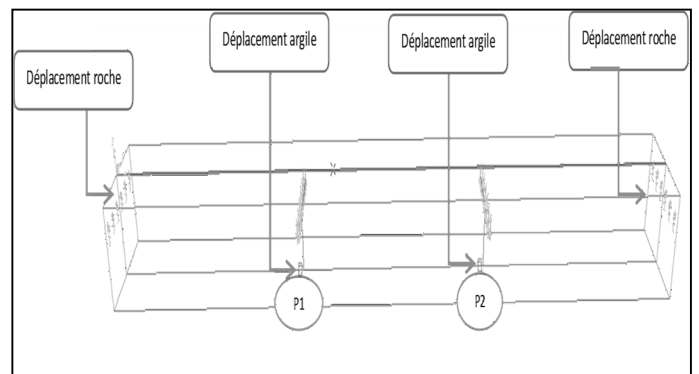


Figure IV. 8 : Représentation de cas RAAR

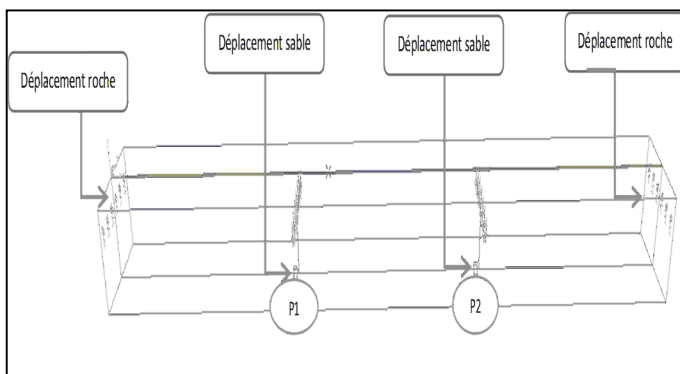


Figure IV. 9 : représentation de cas RSSR

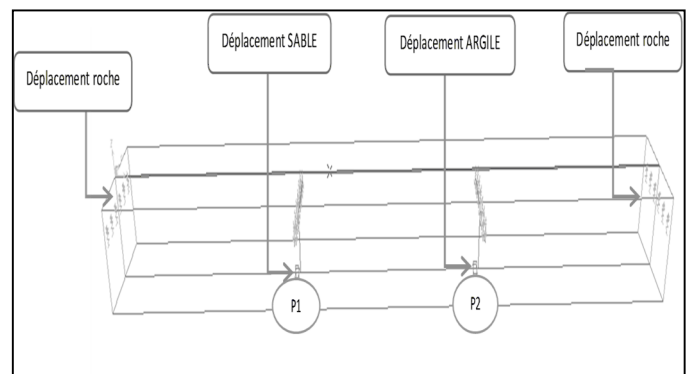


Figure IV. 10 : représentation de cas RSAR

Les tableaux (IV.6 ; IV.7 ; IV.8 ; IV.9 ; IV.10 ; IV.11 ; IV.12 ; IV.13) résument les résultats obtenus suivant les deux directions longitudinale et transversale.

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	13390.36	13390.36
Effort normal (N) KN	92.34	92.34
ρ (rapport des déplacements)	0.97	0.97
Effort tranchant (T) KN	2340.36	2340.36

Tableau IV. 6 : Résultats du pont suivant le plan longitudinal (cas RRRR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	17431.84	17431.84
Effort normal (N) KN	97.36	97.36
ρ (rapport des déplacements)	0.815	0.815
Effort tranchant (T) KN	3020.11	3020.11

Tableau IV. 7 : Résultats du pont suivant le plan transversal (cas RRRR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	17804.92	17804.92
Effort normal (N) KN	89.35	89.35
ρ (rapport des déplacements)	0.847	0.847
Effort tranchant (T) KN	2345.28	2345.28

Tableau IV. 8 : Résultats du pont suivant le plan longitudinal (cas RAAR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	22164.59	22164.59
Effort normal (N) KN	111.055	111.055
ρ (rapport des déplacements)	0.68	0.68
Effort tranchant (T) KN	3903.31	3903.31

Tableau IV. 9 : Résultats du pont suivant le plan transversal (cas RAAR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	15263.92	15263.92
Effort normal (N) KN	81.15	81.15
ρ (rapport des déplacements)	0.85	0.85
Effort tranchant (T) KN	2298.57	2298.57

Tableau IV. 10 : Résultats du pont suivant le plan longitudinal (cas RSSR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	21995.06	21995.06
Effort normal (N) KN	98.274	98.274
ρ (rapport des déplacements)	0.68	0.68
Effort tranchant (T) KN	3615.6	3615.6

Tableau IV. 11 : Résultats du pont suivant le plan transversal (cas RSSR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	16269.82	17893.01
Effort normal (N) KN	92.86	73.81
ρ (rapport des déplacements)	0.86	0.864
Effort tranchant (T) KN	2264.07	2372.54

Tableau IV. 12 : Résultats du pont suivant le plan longitudinal (cas RSAR)

	Pile1	Pile2
Moment (M) KN M	21115.06	22164.35
Effort normal (N) KN	99.10	111.25
ρ (rapport des déplacements)	0.666	0.68
Effort tranchant (T) KN	3821.25	3912.15

Tableau IV. 13 : Résultats du pont suivant le plan transversal (cas RSAR)

Suivant le plan longitudinal, les moments obtenus montrent clairement que l'effet de site a une incidence sur la réponse. A partir des tableaux IV.6 ; IV.8 ; IV.10, on remarque que les résultats obtenus en site argileux sont supérieurs par rapport à ceux obtenus au niveau d'un site sableux, ces derniers sont plus importants à ceux d'un site rocheux. En conséquence la différence des typologies de sol a une influence sur le dimensionnement des ponts. Le tableau; IV.12 correspond au cas où les piles sont sollicitées par des mouvements variables, dans ce cas nous observons une différence de réponse entre les deux piles. Ainsi nous retenons que l'effet de site variable d'une pile à une autre a une influence sur la réponse dynamique des ponts, dans ce cas précis la différence n'est pas très importante ceci va être expliqué par la suite. Les mêmes remarques peuvent être faites à partir des résultats obtenus dans le sens transversal.

La figure IV.11 confirme les résultats obtenus. Malgré qu'il ait une amplification importante au niveau du site rocheux, la valeur de la période fondamentale du pont est loin de cette zone d'amplification. On remarque à partir de cette figure qu'il n'y pas une grande différence entre les valeurs spectrales obtenues pour cette période en conséquence les résultats obtenus ont le

même ordre de grandeur. Par contre, si nous allons effectués la même analyse dynamique à des structures de période < 0.5 (ponts ou bâtiments (R+0 R+1 R+2.....R+5) surement l'effet de site que ce soit uniforme ou variable deviendra plus important. Ceci reste à confirmé par les prochains études.

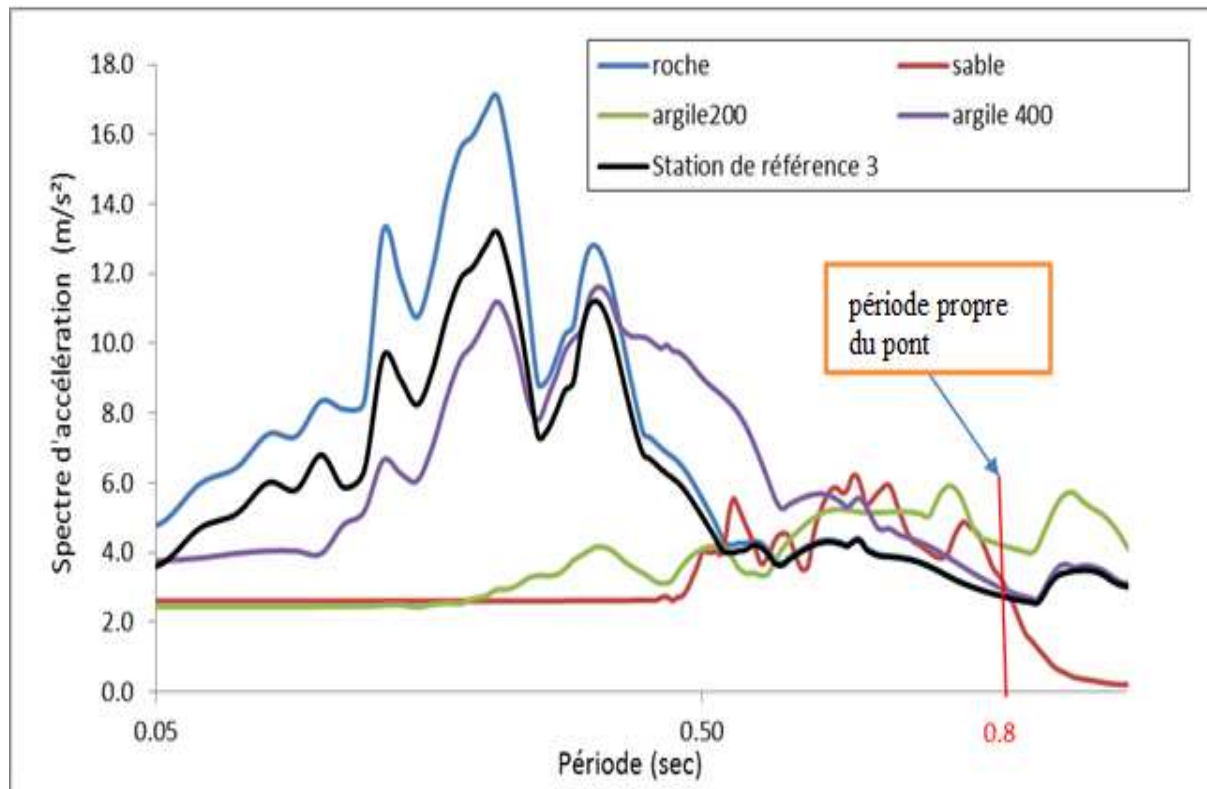


Figure IV. 11 : Spectres de réponse des profils de sable ; argile200 ; argile400 ; roche et station 3

IV.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons commencé par la génération des déplacements qui est montré dans la première partie de ce chapitre par l'utilisation de l'approche TSS Risam se qui nous a donné une idées sur le traitement de signal. Puis dans la 2eme partie les résultats montrent clairement qu'un pont situé dans un site rocheux, argileux ou sableux n'a pas la même réponse dynamique. L'amplification obtenue dans ces types prouve que la connaissance approfondit de la typologie des sols et recommandée. Pour Le 4eme cas la déférence de réponse dans 2 piles été petite parce que la déférence entre les déplacements été petit.

Conclusion général

La prise en compte des effets de site est une étape essentielle lors de la conception parasismique des structures ; notamment pour les ouvrages d'art. Les études antérieures ont montré la nécessité de les prendre en compte pour réduire le risque sismique.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier d'abord l'effet de la variation des conditions de site sur la réponse du sol. Par la suite l'influence de cet effet sur la réponse dynamique des ouvrages d'art sera évaluée.

Dans la première partie du présent travail nous avons déterminé la réponse du sol soumis à trois niveaux de sollicitations sismiques différentes. À la lumière des résultats obtenus, nous pouvons dire que pour l'effet de site linéaire, et pour des signaux à faible PGA la vitesse des ondes de cisaillement ne suffit pas à elle seule caractériser un sol surtout pour des sollicitations fortes ou le comportement du sol devient non linéaire. De ce fait l'identification correcte du comportement dynamique du sol passe par la prise en compte de sa nature rhéologique. La différence que nous avons pu constater entre deux sols (argile et sable) de même vitesse $V_{s30}=400\text{m/s}^2$ nous confirme l'importance de la nature du sol à la bonne estimation de la réponse sismique à la surface d'un profil du sol. Alors que le présent règlement RPOA ne prend pas en considération la nature de sol donc un paramètre de moins. En outre nous avons conclu qu'un site rocheux de vitesse égale à 800m/s^2 ne peut pas être considéré comme un site de référence vu l'amplification obtenue.

Dans la 2ème partie de ce mémoire quatre cas d'étude ont été traités. Le premier cas étant un pont situé sur un site rocheux sur toute sa longueur, les deux cas qui suivent les piles de pont fondées sur un site sableux et argileux ; le quatrième cas représente le phénomène de la variabilité spatiale tel que l'une des piles fondées sur un site argileux et l'autre sur un site sableux. Les résultats obtenus montrent que l'effet de site a une incidence directe sur la réponse du pont considéré.

L'analyse des spectres de réponse des signaux générés à partir de la station 3 montre que l'effet de site peut devenir plus important pour des périodes de 0.2 à 0.5 qui correspondent à

des amplifications importantes surtout au niveau de la roche. Donc pour les futurs travaux nous proposons d'effectuer la même analyse en considérant des structures ayant des fréquences proches des fréquences d'amplification.

Perspectives :

Conscients des limites de la présente étude, nous proposons des pistes à suivre pour améliorer et compléter ce travail :

- On propose de faire la même étude avec des profils du sol réels,
- futurs travaux nous proposons d'effectuer la même analyse en considérant des structures ayant des fréquences proches des fréquences d'amplification.
- On recommande pour les travaux futurs de mettre une colonne de sol multicouche de différente caractéristique ; effectuer la même démarche par la prise en compte l'effet de site non linéaire
- Aussi une étude à des profondeurs variables sera intéressante
- On recommande aussi d'utilisé un modèle dynamique pour le sol élasto plastique
- On propose de faire cette étude à l'aide des logiciels originaux et des moyens de laboratoire
- Un pont plus étendu avec des variations plus nous donneras des résultats important

1. Logiciel SHAKE :

SHAKE suppose que le comportement cyclique de sol puisse être simulé a un modèle linéaire équivalent. Ce programme calcule la réponse dans un système horizontalement posé de sol-roche soumis aux ondes de cisaillement de déplacement passagères et verticales.

2. Logiciel EERA :

Il s'agit du Shake sous Excel. En 1998, le programme informatique EERA a été développé en Fortran 90 à partir des mêmes concepts de base que la **SHAKE.EERA** (analyse Équivalent-linéaire de réponse d'emplacement de tremblement de terre) est une exécution moderne du concept de l'analyse linéaire équivalente de la réponse du sol

La figure.A1.1 illustre son interface.

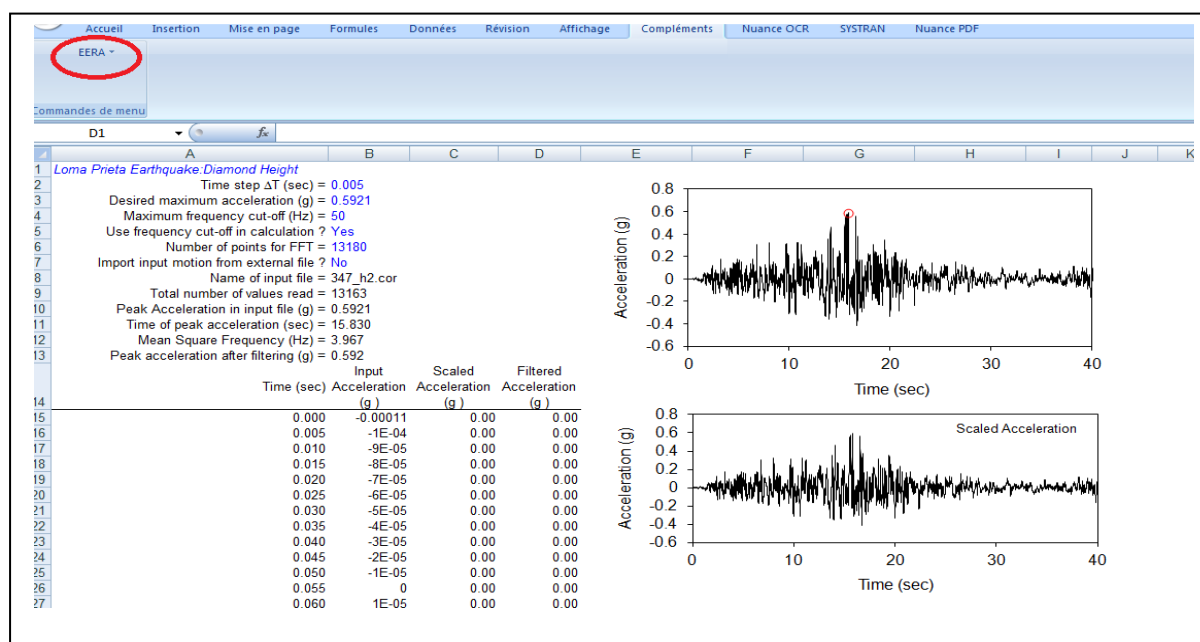


Figure.A1.1: Fenêtre principale de EERA (étiquette d'analyse).

L'exécution du concept linéaire équivalent pour l'analyse de la réponse de site lors d'un séisme est entièrement intégrés dans le programme de Microsoft Excel. Ce concept a résolu la limitation qui existent dans la **SHAKE** originale, telle que le nombre illimité de propriétés de sol et de couches de sol, nombre illimité d'itération pour l'évaluation que la contrainte de cisaillement jusqu'à obtiennent la valeur acceptable de convergence pour le module de cisaillement et des valeurs d'atténuation. Les principes théoriques sont fondamentalement mêmes, avec de la connaissance additionnelle s'accordant avec les nouvelles recherche exécuté sur le champ géotechnique de technologie.

On présente une approche linéaire qui prévoit la réponse des sols contre des mouvements d'entrée. La constante d'amortissement linéaire équivalente et le module normalisé de cisaillement pour différents sols sont employés pour examiner l'adéquation de l'analyse de réponse.

Les étapes :

La fenêtre principale du logiciel EERA nous donne la possibilité de faire entrer l'histoire temporelle de séisme étudié par un simple copie/collé. Dans la fenêtre suivante nous pouvons introduire les profils du sol selon les matériaux prédéfinir par EERA (V_{s30} ; profondeur ...). Un exemple est donné dans la figure.A1.2 et A1.3.

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
6	Surface	1	30.0	73.39		18.00	200			15.0	270.00
7	Bedrock	17		2626.68	1	22.02	1122.197	Outcrop		30.0	540.00

Figure.A1.2 : propriété mécanique de profil choisi

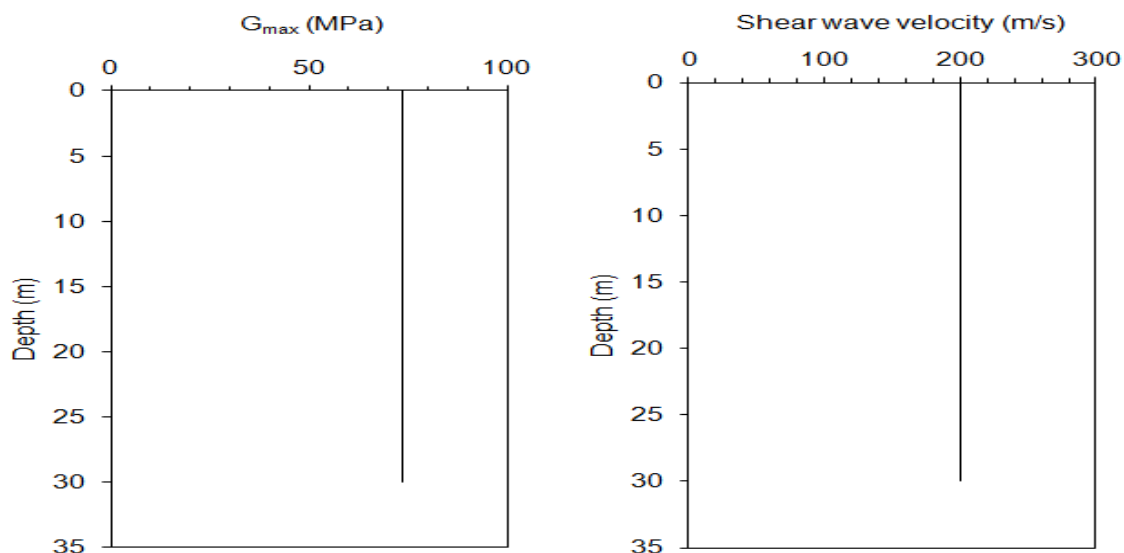


Figure.A1.3 : présentation de profil

Le modèle linéaire équivalent utilise un procédé itératif dans le choix des propriétés de module de cisaillement et de sol de constante d'amortissement. Ces propriétés peuvent être définies par les points discrets ou en définissant les paramètres de sol à employer dans le modèle hyperbolique. L'option de définir les courbes de sol à l'aide des points discrets s'applique seulement pour l'analyse linéaire équivalente. Pour cette option, les G/G_{max} et la constante d'amortissement sont définis comme fonctions de contrainte de cisaillement. L'étape suivante consiste à lancer l'exécution et déclencher le processus de calcul itératif (figre.A1.5).. La dernière étape est de faire apparaitre les données et les graphes des différents paramètres de nocivité (figre.A1.5).

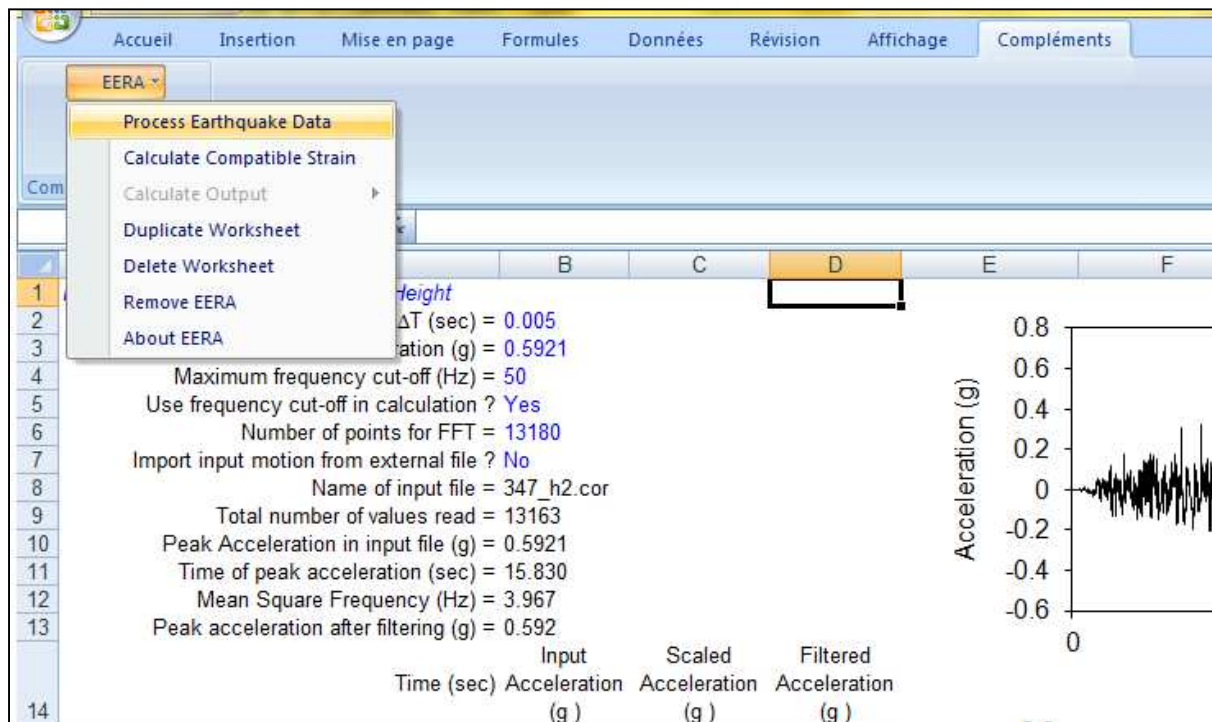


Figure.A1.4

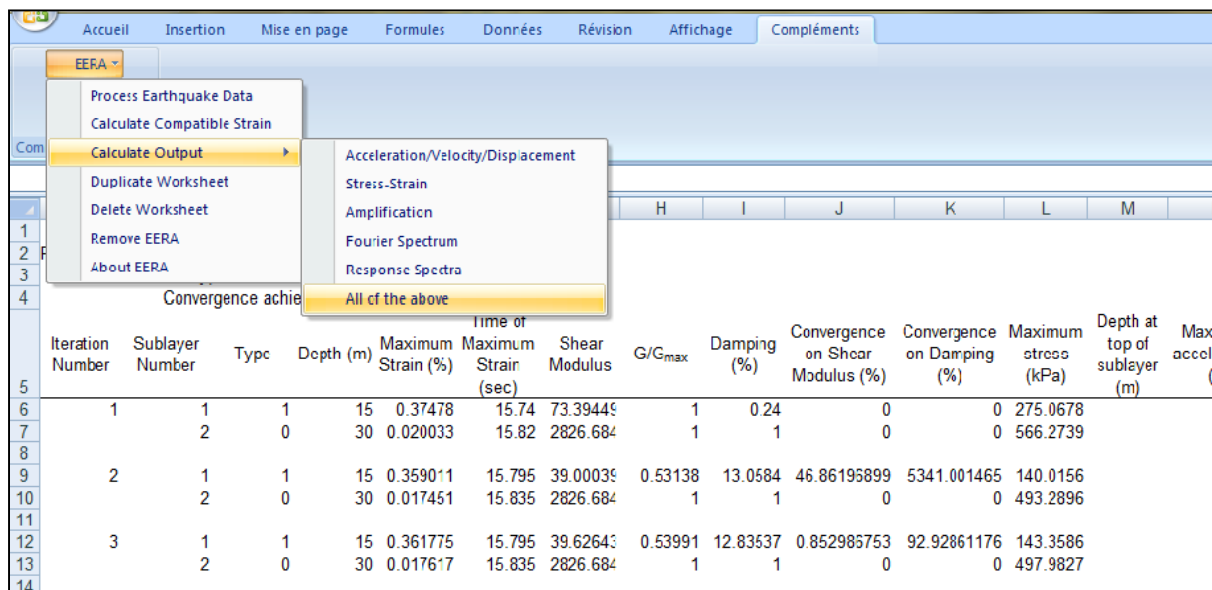


Figure.A1.5

durant le calcul de la réponse sismique du sol de type sablonous avons rencontré des difficultés liées à un bug informatique non décelé. Cette situation nous a obligé de s'orienter vers un autre logiciel de même type. Il s'agit DEEPSOIL qui est un code de calcul gratuit.

2. Logiciel DEEPSOIL :

DEEPSOIL est un programme d'analyse de la réponse unidimensionnel de site qui peut s'exécuter en analyses linéaires équivalentes d'un milieu 1-D. ce code comporte une interface graphique de type orienté objet

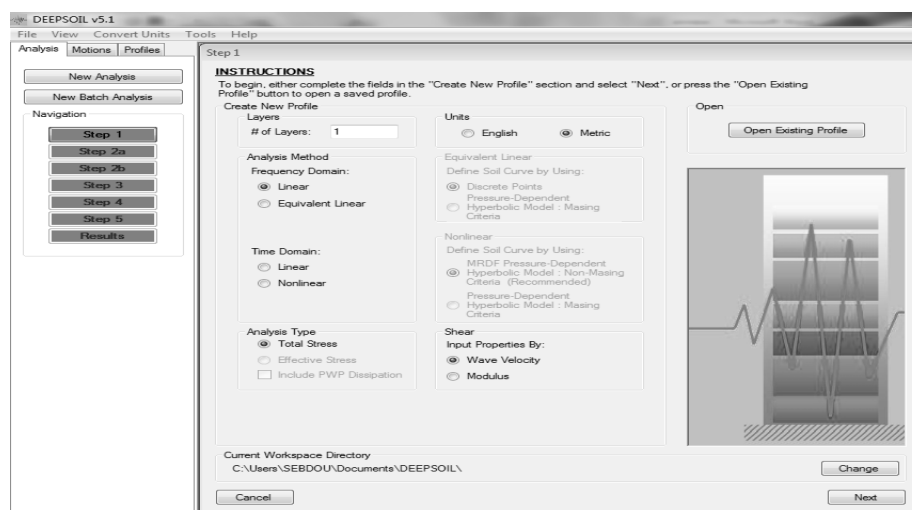
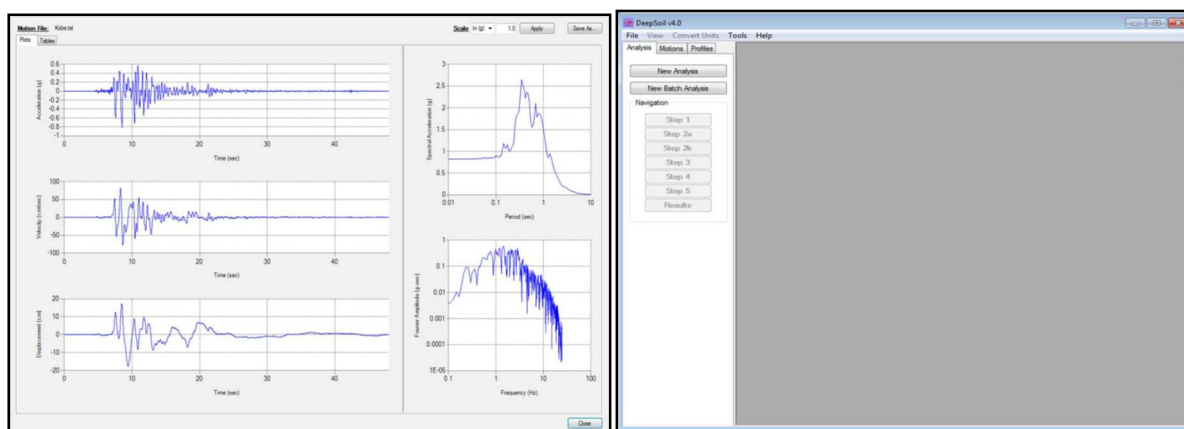


Figure A1.6: Fenêtre principale de DEEPSOIL (étiquette d'analyse).



La première étape exige le choix du type d'analyse. La figure A1.6 montre la page d'accueil. Nous avons deux possibilités soit ouvrir un profil précédemment sauvegardé en cliquant sur le bouton existant « ouvert de profil », ou créer une nouvelle analyse. L'utilisateur peut également spécifier un dossier de travail. L'étape suivante, consiste la définition des propriétés de profil et de modèle de sol. Cette étape est divisée en deux sections ; La première à considérer exige à l'utilisateur de définir le profil de sol et de spécifier les propriétés de sol de chaque couche. Le type d'entrée dépend des paramètres d'analyse choisis dans l'étape 1. Par la suite nous devons définir les propriétés du substratum rocheux ou de l'affleurement et les propriétés du sol dans chaque couche.

a)

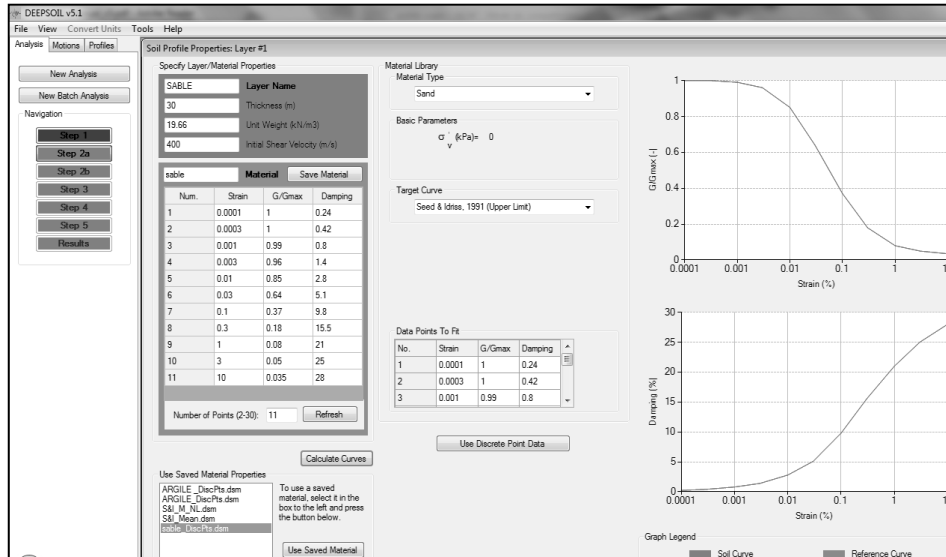


Figure A1.7 propriété de sol

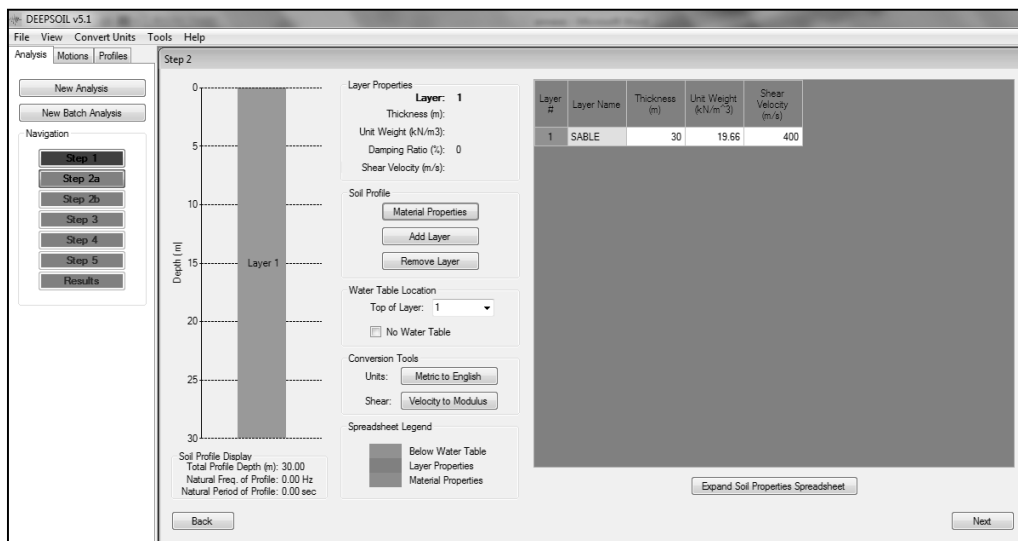


Figure A1.8 propriété de profil de model

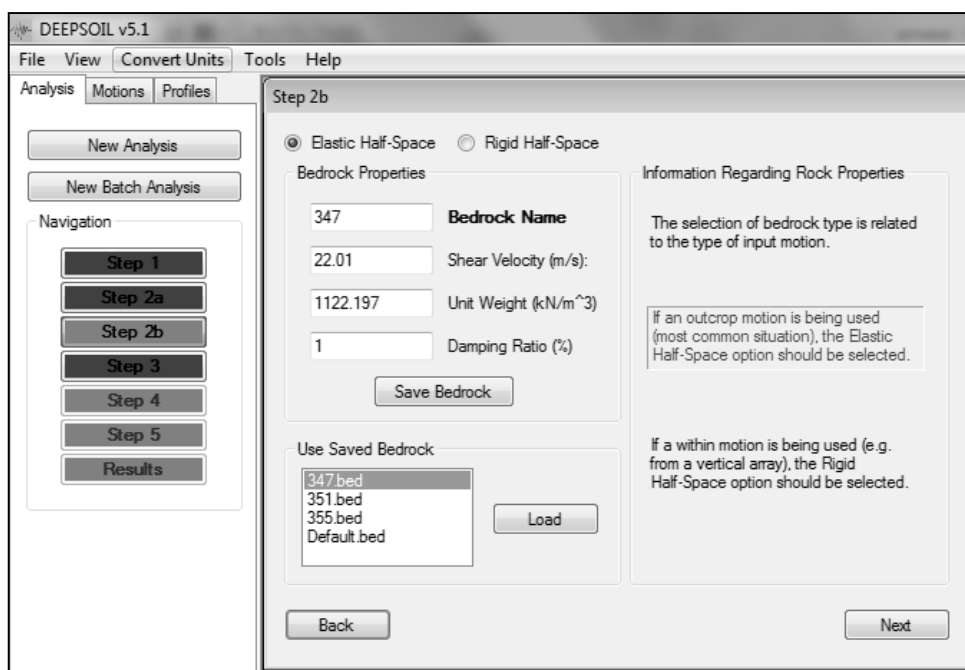


Figure A1.9 propriété de la substratum

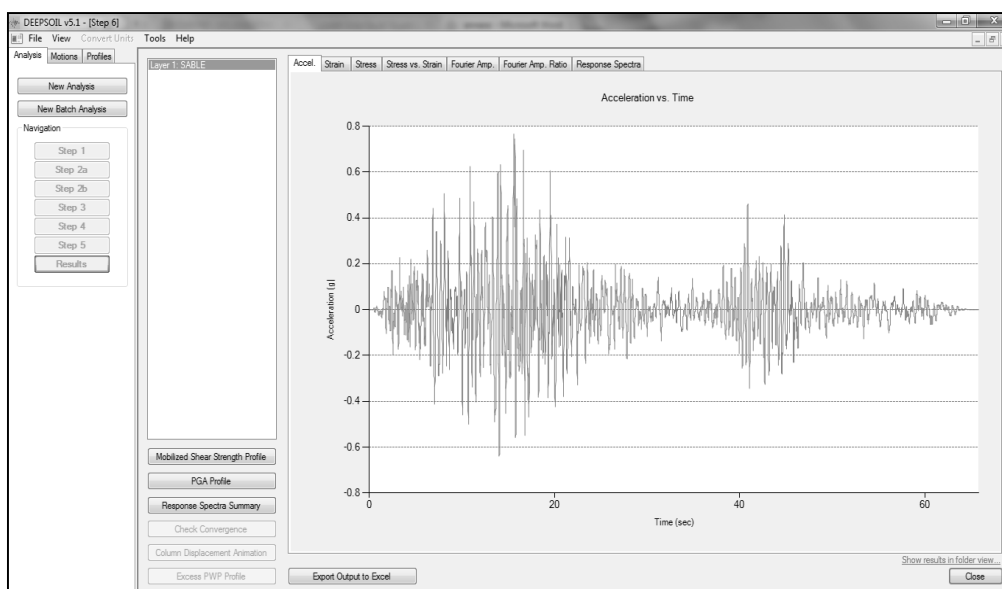


Figure A1.10 accélération obtenue par deepsoil a la surface libre

Les logiciel EERA et DEEPSOIL travaillent de la même manière. Pour montrer cette similitude nous avons effectué une étude comparative avec le même profil d'argile et pour les trois site de références (Chapitre II).

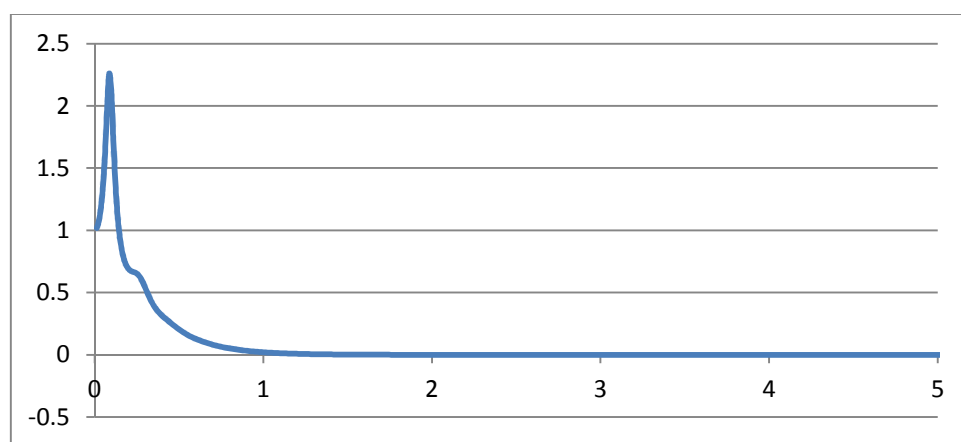
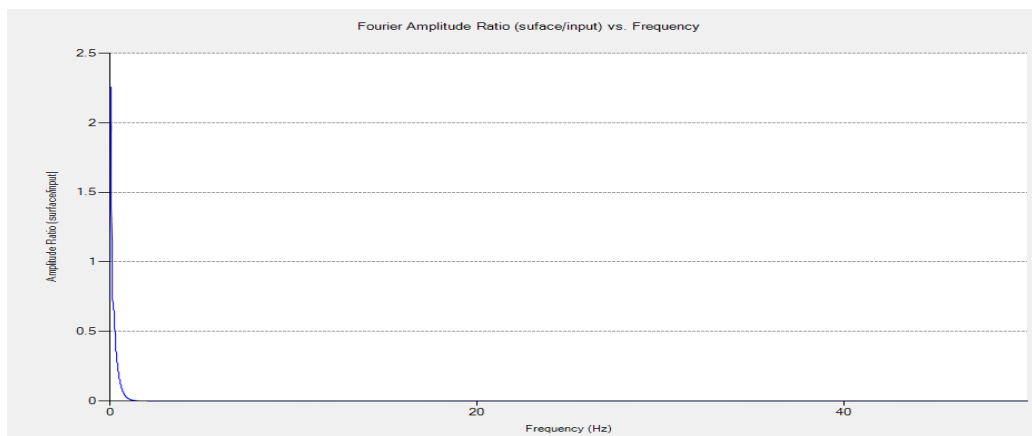


Figure A1.11 : amplification d'argile en station 2 obtenue par DEEPSOIL

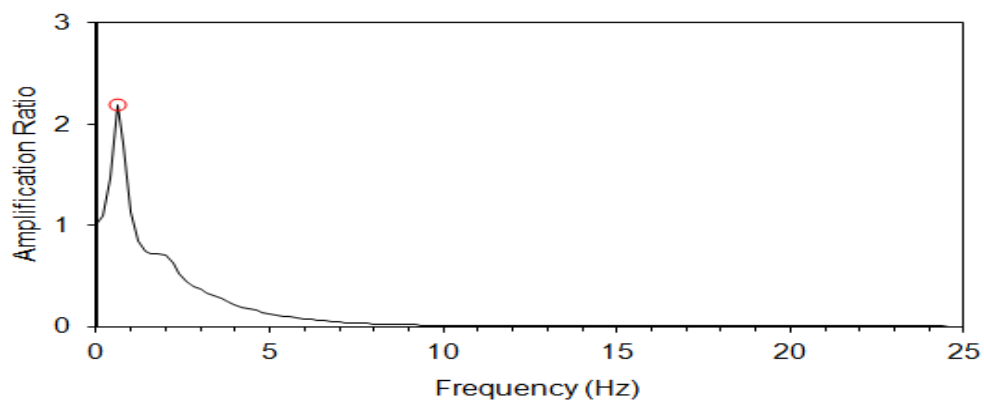


Figure A1.12 : amplification d'argile en station 2 obtenue par EERA

Les résultats de la réponse de sol argileux et rocheux obtenue par DEEPSOIL sont les mêmes que de EERA ; donc on peut utiliser DEEPSOIL pour étudier la réponse de sol sableux.

3. Logiciel de Traitement de Signal Sismique RISAM SIGNAL

RISAM Signal est un logiciel développé par le labo RISAM de université de TLEMCEN à base de **MATLAB** il est un outil rapide, efficace et utile dans le sens où les spectres obtenus par accélération imposée ou par déplacement imposé sont simplement identiques.



Figure A1.13 interface du logiciel RISAM SIGNAL

RISAM utilise une méthode simple de correction nommée TSS-RisAM. Cette méthode consiste d'abord à filtrer le signal sismique.

L'approche TSS-RisAM permet de résoudre le problème d'intégrabilité (l'accélération d'un signal sismique contient souvent des valeurs irréalistes dues à des bruits présents dans l'Accélérogramme enregistré), ceci en corrigeant juste quelques premières valeurs de l'accélération sismique pour imposer des conditions initiales nulles.

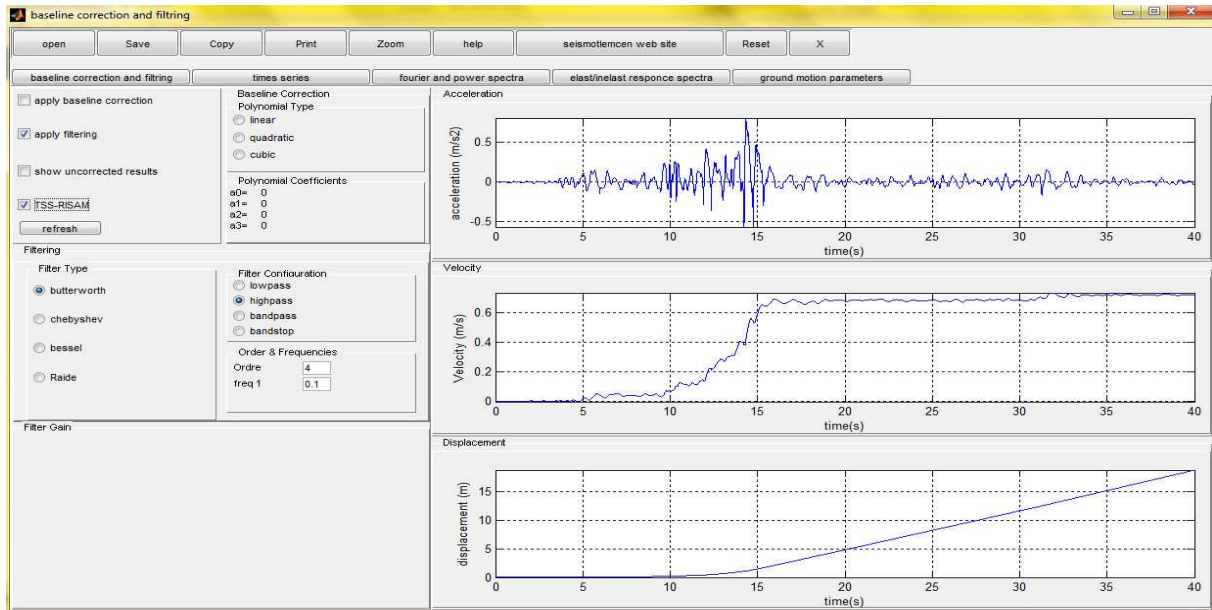


Figure A1.14: exemple des signaux sismique avant correction

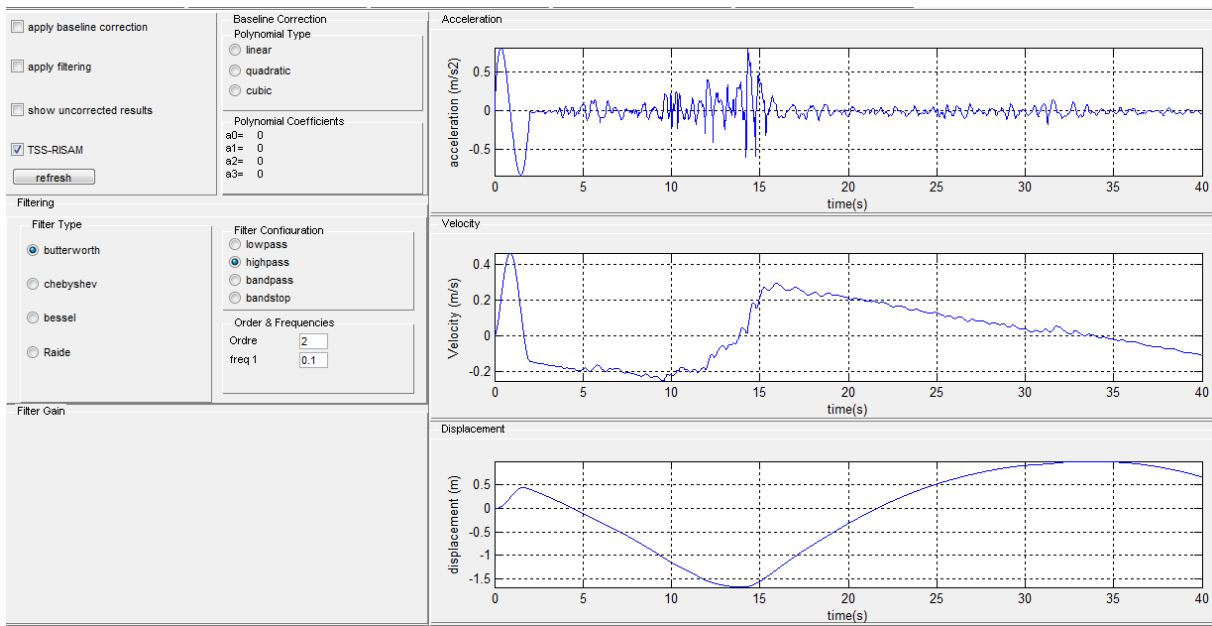


Figure A1.15 : les signaux sismiques après correction

4. Le déplacement imposé

Les déplacements introduit au sap 2000 par la fonction « Time History... » La figure suivante 4.16 montre la démarche à suivre :

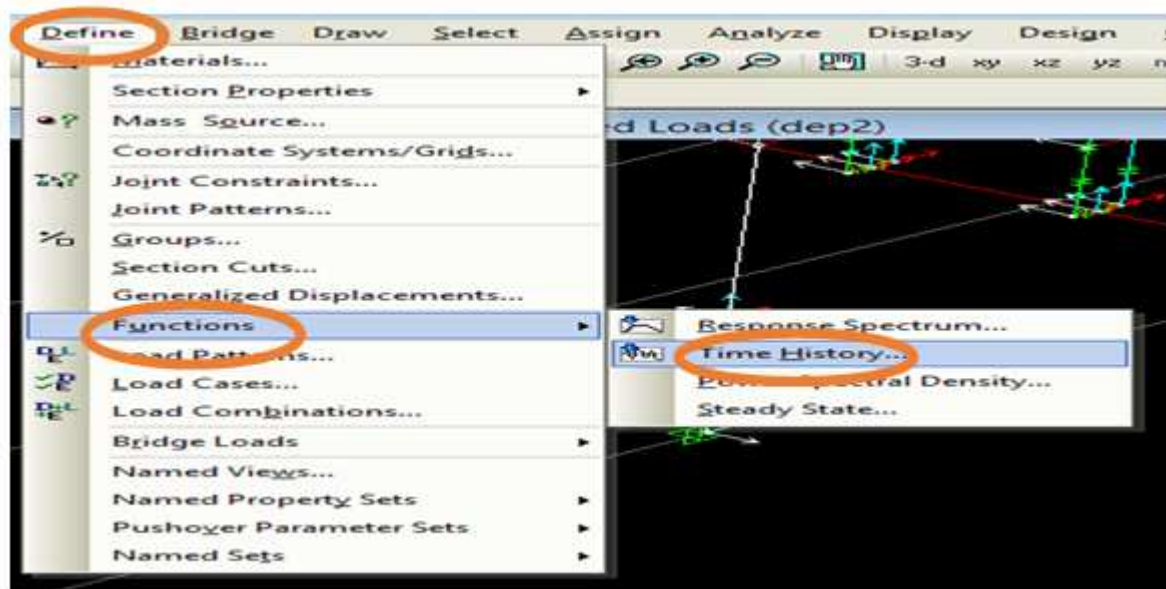


Figure A1.16. Fenêtre du SAP 2000 montrant la démarche d'introduction des déplacements

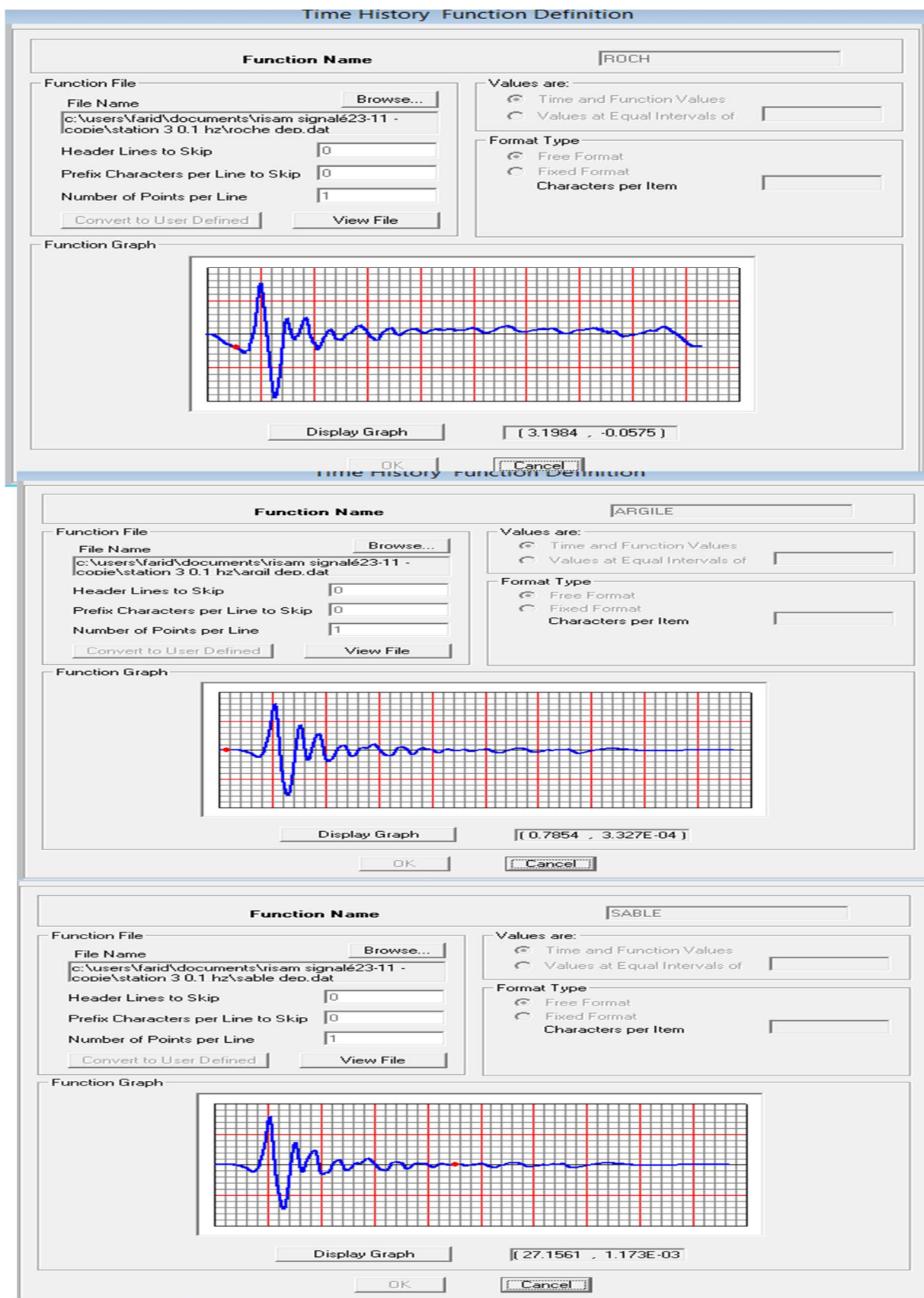


Figure A1.17 les déplacements introduit au sap 2000

La Figure A1.17 nous montre les déplacements sur le sap 2000, pour les 3 types de sol (argile, roche, et sable) (chapitre IV)

Références bibliographiques

- Field E.H et Jacob, K.H. (1995). *A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent* . USA : Bulletin of the sismological society of america .
- Amar Khaled, ing, M.Sc.A.;Robert Tremblay, ing., Ph.D.;Bruno Massicotte, ing., Ph.D. (mai 2007). *Comportement des piles rectangulaires de ponts sous l'effet. 14e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art*. paris.
- Bertrand Galy,Amar Khaled,Marie-José Nollet,. (s.d.). *Effets de la catégorisation sismique des sites sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts de la ville de Québec*. france .
- Bonilla L. F.;Steidl J.H.;Lindley G.T.;Tumarkin A.G.;Archuleta R.J. (1997). *site amplification in San fernando Valley,California: variability of site effect estimation using the S-wave, coda and H/V methods* . USA: Bulletin of the Sismological Society of America .
- borcherdt, R. (1970). *effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay*. USA: bulletin of the sismological society of america .
- Boumédiène Derras , Abdelmalek Bekkouche ,Djawad Zendagui. (2010). *Neuronal Approach and the Use of KIK-NET Network to Generate Response Spectrum on the Surface*. *Journal of Civil Engineering*(4).
- Boumédiène DERRAS ; Abdelmalek BEKKOUCHE; Djawed ZENDAGUI. (2006). *NEURONAL MODEL FOR THE HAZARD RELATED TO THE SOIL AMPLIFICATION ESTIMATION*. FRANCE: Grenoble, France.
- DERRAS .B ; MAACHOU .O. (2000). *effets de la variabilité spaciale du signal sismique sur les structures etendues*. tlemcen: université abou bakr belkaied.
- DERRAS, B. (2011). *Contribution des données accélérométriques de KiKNet à la prédiction du mouvement sismique par l'approche neuronale avec la prise en compte des effets de site*. tlemcen.
- Dreier, D. (September 11 – 13, 2008). *Influence of soil-structure interaction on structural behaviour of integral bridge piers* (éd. 7th fib PhD Symposium in Stuttgart). Germany.
- Duval Anne-Marie ; Mechler P. (1994). *Détermination de la réponse d'un site aux séismes à l'aide du bruit de fond* (éd. Travaux Universitaires - Thèse nouveau doctorat). Paris, FRANCE.
- Duval, A.-M. (2007). *Des effets de site aux scénarios de crise sismique*. Paris: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Fukunaga, K. (1990). *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. New York: 2nd edn. Academic Press.

- Giacinto, G., R. Paolucci, F. Roli. (1997). *Application of neural networks and statistical pattern recognition algorithms to earthquake risk evaluations.*
- Hurdado J.E; Londono J.M.; Meza M.A. (2001). *on the applicability of neural networks for soil dynamic amplification analysis.* soil dynamics and earthquake engineering.
- i.boukli hacene a, m.rachedi b ,m.djafour ,n.benmansour. (s.d.). Un Logiciel de Traitement de Signal Sismique « RisAM signal ».
- Jean-Armand CALGARO; Anne BERNARD-GÉLY. (s.d.). *Conception et dimensionnement des principaux ouvrages.*
- K.Dowell, R. (2005). *Seismic analysis of the Sylmar Interstate 5 and Highway 14 Connector Bridge.*
- KAHAN, M. M. (1996). *APPROCHES STOCHASTIQUES.*
- KHAM, M. (s.d.). *propagation d'ondes sismiques dans les bassins sédimentaires : des effets de site à l'interaction site-ville .*
- KHAM, M. (s.d.). *propagation d'ondes sismiques dans les bassins sidémentaires .* Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- Mistumasa Midorikawa; Izuru Okawa; Masanori Iiba; Masaomi Teshigawara. (s.d.). *Performance-Based Seismic Design Code for Buildings in Japan.* Japan.: Building Research Institute, 1 Tachihara, Tsukuba, Ibaraki, 305-0802, Japan.
- N, L. (1998). *éléments de compression des effets de site amplification des mouvement sismique par une couche de sol.* centre national de recherche appliqué en génie parasismique, C.G.S.
- NOALWENN DUBOS, ANNIE SOURIAU, CHRISTIAN PONSOLLES,. (2003). *Etudes des effets de sites dans la ville de Lourdes (Pyrénées, France).* FRANCE .
- Nourredine Mezouer, Mohamed Hadid, Akila Messaoudi. (2007). *Effets de models de sol sur la réponse sismique de site. 7ème Colloque National AFPS 2007 – Ecole Centrale Paris.* Paris.
- P., L. (2001). *calcul du mouvement sismique associé à un siésme de référence pour un site donné avec prise en compte de l'effet de site. Méthode empirique linéaire et modilisation de l'effet de site non-linéaire.* université Joseph Fourier-Grenoble.
- Paolucci R; Colli P ; Giacinto G . (2000). *Assesement of siesmic site effect in 2-D alluvial Valleys Using Neural Network.*
- Riepl, J.; Gariel, J; bard P. (1998). *About the coda wave signals on to estimate local site amlification factors.* Yokohama japon: second international symposium on the effects of surface geology on seismic motion .
- Shinozuka, M, . (1987). *stochastic fieds and digital simulation.* stochastic methods in structural dynamics, doctorecht: martinus nijhoff.

Théodolidis N.;Bard P.Y.;archuleta R.J.; Bouchon M. (1996). *horizontal to vertical spectra radio and geological conditions:the case of Garner valley downhole array in southern California.*
Bull.Seism.Soc.am.

Grine S, Achour F. (2010) étude d'un pont a poutre précontrainte sur RN47 SUR OUED
KHNEG TAYEB PK53 W NAAMA

Notation

PGV: peak ground velocity

PGA: peak ground acceleration

RSR : le rapport moyen des spectres de réponse de la station en surface sur une station de référence en surface ou en profondeur

RSF : Le rapport moyen des spectres de Fourier de la station en surface sur une station de référence en surface ou en profondeur

RNA : réseaux de neurones artificiels

V_s : Vitesses de cisaillement

V_{s30} : la vitesse moyenne de cisaillement sur 30m de profondeur

ρ_s : masses spécifiques du substratum rocheux

ρ_r : masses spécifiques de la couche superficielle

f_0 : Fréquence de résonance du profile de sol déterminé par la méthode $\frac{1}{4}$ d'onde

f_{0RSR} : Fréquence de résonance du profile de sol déterminé par la méthode RSR

f_{0RSF} : Fréquence de résonance du profile de sol déterminé par la méthode RSF

C A V: Cumulative Absolute Velocity

argile200 : sol argileux de vitesse de cisaillement égal a 200 m/s

argile400 : sol argileux de vitesse de cisaillement égal à 400 m/s

ζ : Amortissement matérielle

M : Moment (KN.m)

N : Effort normal KN

T : Effort tronchant KN

Dc : Déplacement (m)

D_{imp} : déplacement imposé (m)

ρ : rapport des déplacement imposé (D_c/D_{imp})

T : Effort tronchant (KN)

Résumé

Le but principal de ce travail est d'étudier par l'approche linéaire équivalente (ALE) l'effet de l'hétérogénéité du sol sur les structures élancées. Un évènement sismique en Italie avec 4 profils de sol de trois types (argile, sable et roche) à 30 mètres de profondeurs sont utilisés pour l'obtention de la réponse sismique. Les résultats obtenus exhibent l'influence de la nature rhéologique du sol (NRS) autant que les autres paramètres scalaire V_{s30} , f_0 et la profondeur du sédiment sur l'amplitude et le contenu fréquentiel. Tout en signalant la présence d'un effet de site non linéaire.

La structure sujette de test dans cette étude est un pont. Une correction des signaux obtenus par ALE est effectuée afin d'obtenir des déplacements correctes. Des tests sont réalisés sur un sol d'assise du pont homogène (roche) puis sur site hétérogène (roche, argile, sable). Les résultats obtenus montrent que la réponse dynamique du pont dépend de la nature variable du sol et de sa rhéologie. D'après ces résultats l'étude dynamique non-linéaire de la réponse du sous-sol le long des structures élancées demeure d'une importance vitale.

Mots clés : variabilités spatiales ; effet de site ; spectre de réponse ; mouvement sismique du sol ; traitement de signal ; résonance

Abstract

The principal goal of this work is to study by the equivalent linear approach (ALE) the effect of the heterogeneity of the ground on the slim structures. A seismic event in Italy with 4 profiles of ground of three types (clay, sand and rock) to 30 meters of depths are used for obtaining the seismic answer. The results obtained exhibit the influence of the rheological nature of ground (NRS) as much as the other parameters V_{s30} scalar, f_0 and the depth of the sediment on the amplitude and the frequential contents. While announcing the presence of an effect of site nonlinear.

The prone structure of test in this study is a bridge. A correction of the signals obtained by ALE is carried out in order to obtain displacements correct. Tests are carried out on a ground of sat homogeneous bridge (rock) then on heterogeneous site (rock, clay, sand). The results obtained show that the dynamic response of the bridge depends on the variable nature of the ground and its rheology. According to these results the non-linear dynamic study of the answer of the basement along the slim structures remains of vital importance.

Key words: space variability; effect of site; spectrum reponses; seismic movement of the ground; signal processing; resonance

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير عدم التجانس التربة على المنشآت الهندسية وذلك بواسطة التحليل الخطي (ALE)، حدث زلزالي في إيطاليا بالاضافة الى أربعة ملامح للتربة من ثلاثة أنواع (الطين والرمل والصخر) بعمق 30 مترا تستخدم للحصول على الاستجابة الزلزالية، النتائج تظهر تأثير طبيعة الريولوجية للتربة (NRS) وكذلك الخصائص العددية الأخرى Vs30 ، F0 وعمق الرواسب على السعة والمحتوى تردد. بينما تلاحظ وجود تأثير من للموقع غير الخطي

للحصول على حركة الصحيحة تم تطبيق النتائج على بنية جسر. بعد إجراء تصحيح للإشارات المحصل عليها بواسطة (ALE) تم كذلك إجراء اختبارات على التربة الحاملة للجسر الأولى ذات طبيعة موحدة (صخرة) ثم مواقع غير المتجانسة (الصخور، طين ورمل). وتظهر النتائج أن الاستجابة الديناميكية للجسرتعتمد على الطبيعة المتغيرة للتربة والريولوجيا لها. وبناء على هذه النتائج دراسة الديناميكية غير الخطية لاستجابة الارضية على طول هياكل رقيقة تظل ذات أهمية كبيرة.

الكلمات الأساسية: التباين المكاني ؛ تأثير الموقع؛ طيف الاستجابة ؛ التضخيم ؛ حركة الزلزالية للأرضية ؛ التصحيح الإشارة ؛ تردد الرنين