



Journal of Materials and Engineering Structures

Research Paper

Dérivation d'un spectre de réponse spécifique au site de la grande mosquée d'Alger (Algérie)

Deriving a specific response spectrum from the site of the Algiers Grand Mosque (Algeria)

Tounsia Boudina ^{a,b,*}, **Ahcene Seridi** ^c, **Dalila Benamara** ^{b,d}

^a Civil Architecture Department, University of Bejaia, Bejaia, Algeria;

^b Civil Engineering Research Laboratory, University of Biskra, Biskra, Algeria;

^c Laboratoire LMSS, University of M'hamed Bougara Boumerdès, Boumerdès, Algeria ;

^d Civil Engineering Department, University of Djelfa, Djelfa, Algeria

ARTICLE INFO

Historique de l'article :

Reçu : 25 Aout 2018

Révisé : 6 Juin 2019

Accépté : 10 Juin 2019

Mots clés:

Analyse numérique

Mosquée d'Alger

Effet de site

Réponse sismique non linéaire

Keywords :

Numerical analysis

Great Mosque Of Algiers

Site effect

Non-linear seismic response

RESUME

L'estimation de la réponse sismique en surface du sol peut être faite par plusieurs méthodes expérimentales, approchées et numériques. Cette étude consiste à utiliser la simulation numérique pour déterminer la réponse en surface en termes d'accélération maximale et spectre de réponse des profils de sol localisé au niveau du site de la mosquée d'Alger en tenant compte de la non-linéarité du comportement du sol, avec un comportement linéaire équivalent (dégradation hystérésis du module de cisaillement G). Les réponses calculées en surface qu'elles soient amplifiées ou dés-amplifiées par rapport à l'excitation à la base (séisme du 21 Mai 2003 à Boumerdès) nous indiquent la présence des effets de site et ce qui permet la dérivation d'un spectre de calcul spécifique au site étudié.

ABSTRACT

The estimation of the soil seismic response at the surface can be made by several experimental methods, approximate and numerical. This study consists in using numerical simulation to determine the surface response in terms of maximum acceleration and response spectrum of soil profiles located at the site of the Grand Mosque of Algiers, taking into account the soil's non-linearity behavior, with an equivalent linear behavior (hysteresis degradation of the shear modulus G). The responses calculated on the surface that they are amplified or de-amplified compared to the excitation at the base (earthquake of May 21, 2003 in Boumerdès) indicate the presence of the site effects and which allows the derivation of a spectrum calculation to the studied site.

* Corresponding author.

E-mail address: boudina_tounsia@yahoo.fr

1 Introduction

Les séismes au cours des 50 dernières années ont démontré le rôle des effets de site dans la distribution et la magnitude des dommages associé à un événement sismique. En 1985, un séisme de magnitude 8,1 a causé des pertes significatives et des considérables dégâts dans la ville de Mexico [5]. L'occurrence d'un dommage dans une ville située à 350 km de l'épicentre du séisme a attribué à l'amplification des ondes sismiques tout au long de dépôt de la ville. Les événements sismiques tels que Loma Prieta (1989), Northridge (1994) Kobe (1995), Chi-Chi (1999) et le séisme de Boumerdès (2003) ont corroboré l'importance de la géologie locale et des conditions géomorphologiques sur la réponse sismique du sol.

Le comportement du sol sous une charge cyclique est souvent non linéaire même à petite déformation, et dépend de plusieurs facteurs comme l'amplitude de la charge, nombre de cycles et le type de sol. Ainsi il est nécessaire d'incorporer la non-linéarité de sol dans n'importe quelle analyse de réponse de site.

Des méthodes d'analyse unidimensionnelles de réponse de site sont largement répandues pour mesurer l'effet des dépôts de sol sur les propagations des mouvements du sol dans la recherche et la pratique. Ces méthodes peuvent être divisées en deux catégories principales: (1) analyses dans le domaine fréquentiel (méthode linéaire équivalente y compris, par exemple SHAKE 91 (1972) [4]) et (2) analyses dans le domaine de temps (analyses non linéaires y compris).

La future grande mosquée d'Alger s'élèvera au milieu de la baie d'Alger sur un terrain de 275.000 m² tout près de la mer. Elle sera quant à la grandeur la troisième grande mosquée du monde tout juste après les mosquées de La Mecque et de Médine, et qui vient détrôner celle de Hassan II à Casablanca, La mosquée est conçue pour la réception chaque jour jusqu'à 120.000 visiteurs. Ce qui rend ce projet une construction de grand importance.

2 Aperçu géologique local

La carte géologique d'Alger (feuille au 1/50 000) montre que le terrain du projet, se situe sur un lambeau d'alluvions anciennes appartenant à la série d'argile caillouteuse de la Mitidja. Sur ce dépôt du quaternaire repose la série récente comprenant des sables plus ou moins argileux et plus moins rubéfiés (voir figure 1). De point de vue hydrogéologique, le terrain est caractérisé par une très forte perméabilité des alluvions qui constituent un réservoir important.

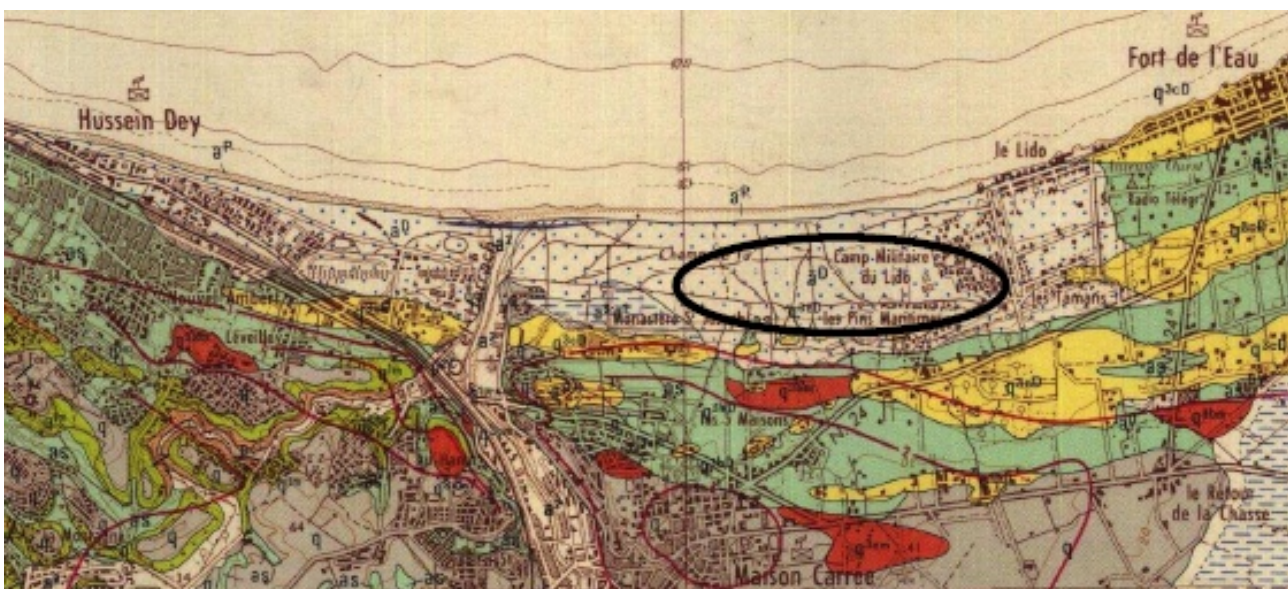
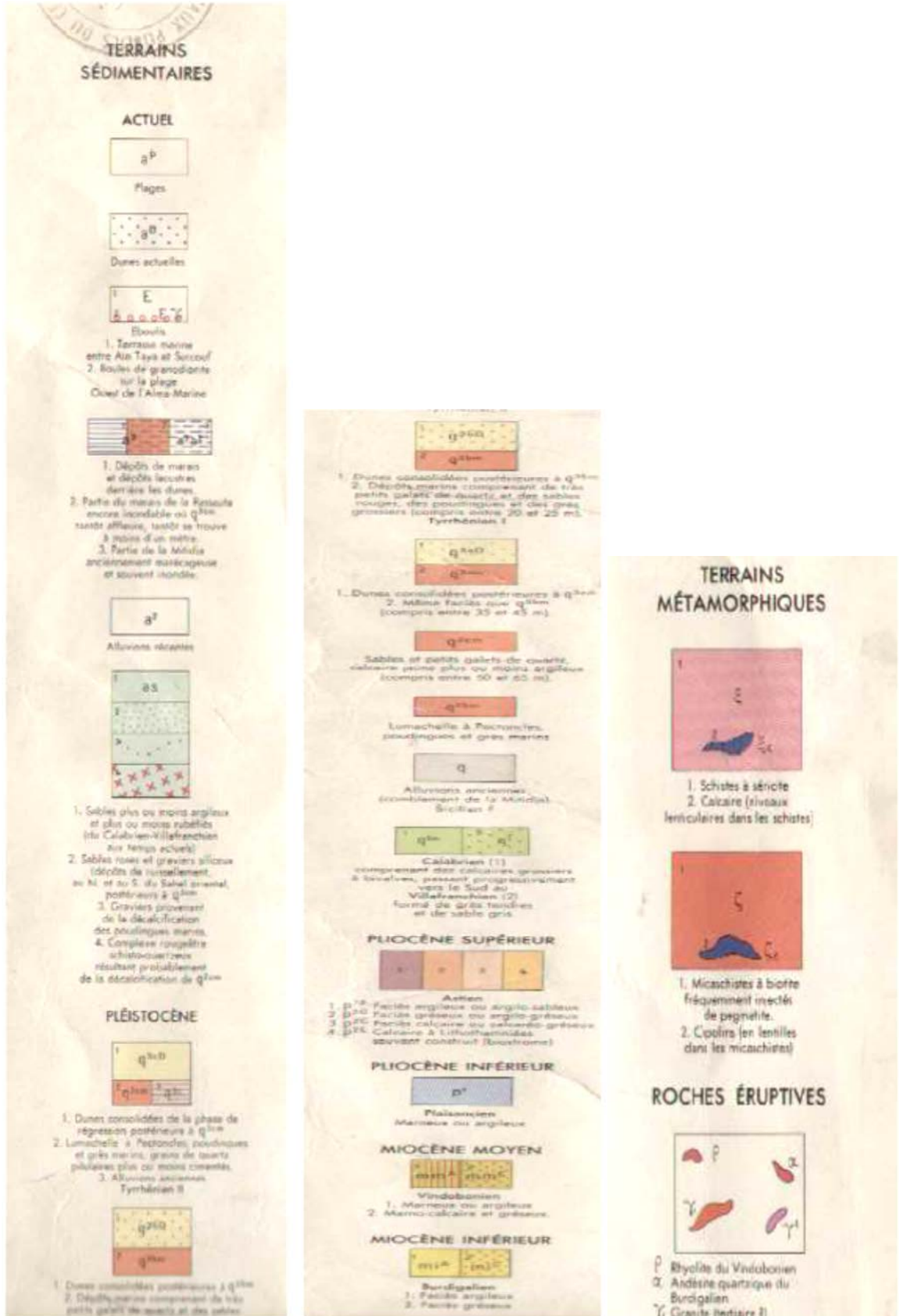


Fig.1 – Extrait de la carte géologique D'Alger (A. Aymé, 1964 – 1 / 50 000)

Légende (Fig.1)



3 Sismicité de la région

La conception et la réalisation du projet de la Mosquée d'Alger (en Algérie) devront tenir compte de la sismicité de site, car cette région est située dans une zone de forte sismicité.

Le signal du chargement est la composante EO de l'enregistrement d'accéléromètre à la station de Keddara pour le choc principal du séisme de Boumerdès (Algérie) le 21 mai 2003 (de magnitude 6.8), dénoté comme Keddara St1 E-O [7]. Les données ont été prélevées à 200 hertz pour un nombre total de 7200 points d'inscription.

L'histoire d'accélération dans le temps choisi après la manipulation et le spectre correspondant d'amplitude de Fourier sont données dans la figure 2.

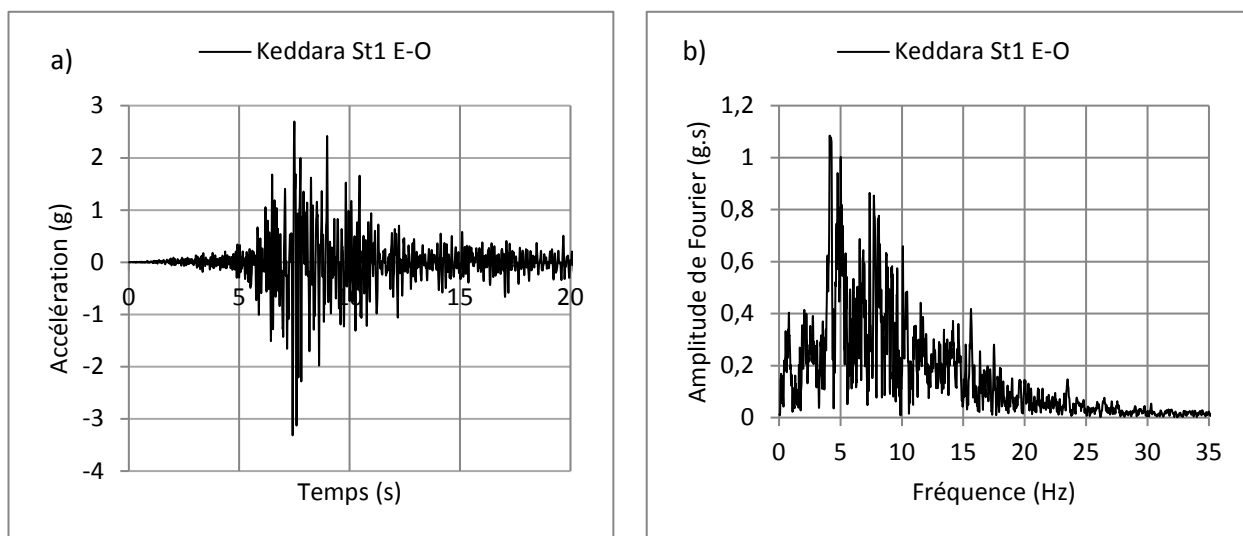


Fig. 2 – L'excitation de Keddara St1 E-O introduite à PLAXIS v.8 En terme a) de l'histoire d'Accélération (g) et b) de l'Amplitude de Fourier (g.s)

4 Résultats de la campagne piézométrique

Les résultats de la campagne piézométrique menée entre juin 2009 et avril 2010, montrent que le niveau de la nappe ne présente pas de fluctuations importantes entre la période sèche et la période hivernale. Le niveau de la nappe se situe entre (-6.00m) et (-19.00m) par rapport au niveau du terrain naturel actuel ce qui correspond approximativement au niveau 0 NGA, par conséquent, il est recommandé à notre avis de prendre en compte de la possibilité des venues d'eau lors des terrassements.

5 Localisation de site

Le projet de la grande mosquée est situé dans la localité d'El Mohammadia, dans la wilaya d'Alger. De point de vue topographique, l'assiette du projet présente une légère pente vers le Nord. (Voir figure 3).

La présente étude montre les résultats des quatre sondages carottés, obtenus au niveau de l'assiette de sol de la salle de prière (Mosquée D'Alger).

La figure 4 montre un profil géologique sud des sondages carottés. A partir des épaisseurs et des propriétés des couches de sol et en utilisant le logiciel SHAKE2000, on calcule les réponses sismiques en champ libre en terme d'accélération, amplification et accélération spectrale en utilisant l'excitation sismique appliquée au substratum rocheux.



Fig. 3–Plan de situation du projet de la grande Mosquée D’Alger

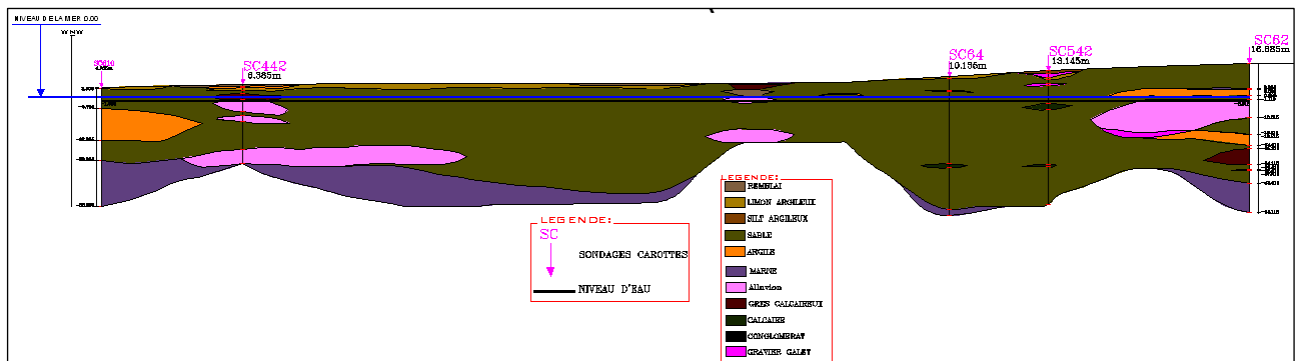


Fig. 4 – Profil géologique sud des sondages

6 Résultats et interprétations

La figure 5 montre les réponses sismiques sous forme d’histoire d’accélération, réponse spectrale et spectre d’amplification à la surface libre obtenue pour différents profils de sol excité par le séisme de Boumerdès (station de Keddara, composante E-O).

En analysant les courbes d’accélération, d’amplification et de réponses spectrales obtenues dans le profil de sol, on remarque que les amplitudes de l’accélération ne dépassant pas la valeur de 0.4g, les spectres d’amplification atteignent une valeur maximale au voisinage de 2 qui est due à l’alternance des couches de sol mou (sable, argile et alluvion) et les réponses spectrales montrées à la troisième colonne donnent des valeurs de l’ordre de 1.4g pour les trois sondages SC62, SC442 et SC542. Ainsi, on remarque que la réponse spectrale maximale pour le sondage SC64 égale à 0.8g. Cette différence résulte de la variation des couches de sol traversée par les ondes sismiques.

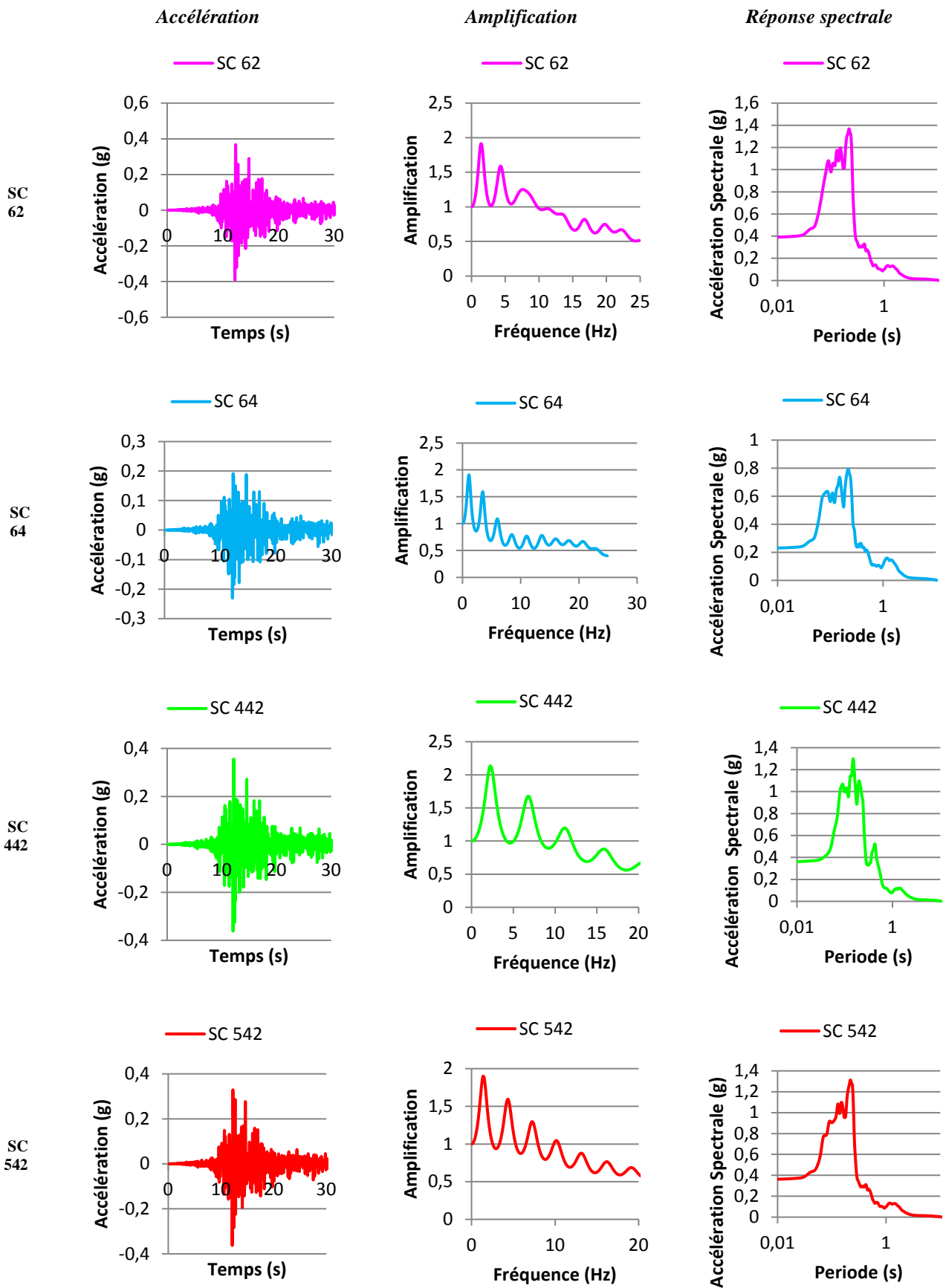


Fig. 5 – Résultats de l'analyse linéaire équivalente en utilisant le code de calcul SHAKE 2000

7 Dérivation de spectre de réponse spécifique de site

Les profils de sol étudiés sont constitués essentiellement d'alternance de sables limoneux, argile et alluvion, qui ont engendré un effet amplificateur du mouvement sismique à la surface libre (ce qui a été fait précédemment). Par conséquent, les spectres d'accélération à la surface de site sont calculés à partir des accélérations amplifiées par les différents profils de sol.

Les spectres des réponses de chaque sondage, seront comparés avec le spectre du RPA pris au rocher, c'est-à-dire avec un coefficient $A=0.35g$ et un site S3. Le choix du site S3 est pris à partir des rapports de sol.

Les spectres des réponses des trois sites, ainsi le spectre de règlement RPA et le nouveau spectre spécifique au site NV lissée [2] ont été réunis dans un même graphique, comme le montre la figure suivante :

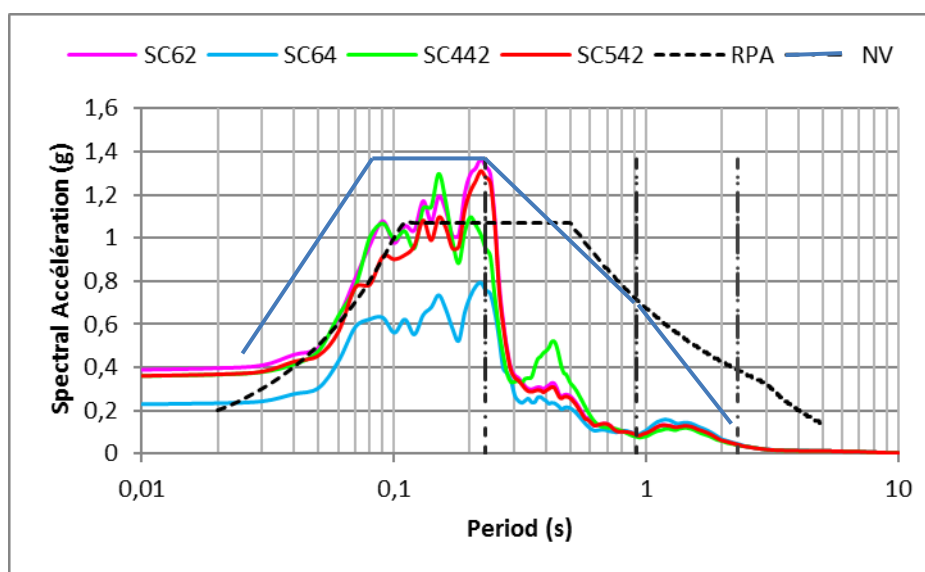


Fig. 7- Comparaison des spectres des réponses obtenues par les trois sites avec celui du RPA (Règlement Parasismique Algérien)

En analysant ces spectres de réponse (figure 7), on constate une accélération spectrale qui atteint une valeur maximale de 1.4g. Cette valeur dépasse la valeur maximale du palier de spectre de règlement Parasismique Algérien ($S_{a_{max}}=1.1g$), d'où la nécessité de la création d'un spectre de réponse spécifique de site (noté dans notre graphe NV) pour avoir des résultats d'étude plus réalistes.

8 Conclusion

L'analyse unidimensionnelle par le code SHAKE2000 des courbes d'accélération et des spectres des réponses obtenues, montre que la fréquence fondamentale du sol varie entre 4.38 et 7.14 Hz ($T= 0.14s$ à $0.23s$), ce qui exige des constructions de plus de deux niveaux pour éviter le phénomène de résonance.

Compte tenu de la présence d'eau, du caractère perméable de la formation en place et l'importance des terrassements, nous recommandons d'envisager les précautions suivantes lors des travaux : Protéger les parois de terrassement par des soutènements ; Prévoir un drainage périphérique des fondations et des sous-sols ; Prévoir des procédés d'étanchéité des fondations et des sous-sols ; Prévoir un système de soutènement des parois (par chemisage ou autres) lors de l'exécution des fondations profondes et ce pour palier à tout risque d'éboulement ; Prévoir des trépan adéquats pour traverser les niveaux durs (gréseux) lors du forage des pieux.

Pour ce qui concerne les résultats de code SHAKE2000, elle vaut la peine de remarquer que ces résultats ne pourraient pas être la bonne limite de la comparaison quand les mouvements forts induisent une grande déformation dans un profil de sol. En tant que ceux choisis pour cette étude. En fait, les résultats des mouvements forts entraînent des grandes déformations liées à la modification de l'état effective de contrainte induite par la pression excessive des pores. Ces dispositifs ne peuvent

pas être expliqués par des lois constitutives basées sur la viscoélasticité adoptée dans SHAKE2000. Ces dispositifs rendent les résultats de l'approche plastique (dans le domaine de temps), plus réaliste.

L'utilisation d'un spectre de réponse de règlement parasismique est parfois insuffisante et donne une sous-estimation de la réponse sismique de site, ce qui nécessite une étude approfondie et une dérivation d'un spectre de calcul spécifique de site.

REFERENCES

- [1]- A. Amorosi, B. Boldini, Parametric study on seismic ground response by finite element modelling. *Comp. Geotech.* 37(4) (2010) 515-528. doi:10.1016/j.compgeo.2010.02.005
- [2]- R.W. Clough, J. Penzien, *Dynamics of structures*. Computers and Structures Inc. Third Edition, 2003.
- [3]- Y.M.A. Hashash, C. Phillips, D.R. Groholski, Recent advances in non-linear site response analysis, In: *Proceedings of Fifth international conference on Recent Advances In Geotechnical Earthquake Engineering And Soil Dynamic*. Saan Diago, 2010, pp. 1-22.
- [4]- I.M. Idriss, J.I. Sun, *SHAKE 91: Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits*. Center for Geotechnical Modeling Displacement of Civil Engineering, University of California, 1992.
- [5]- S.L. Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Inc, 1996.
- [6]- J. Lysmer, R.L. Kuhlemeyer, Finite dynamic model for infinite media. *J. Eng. Mech. Div-ASCE*. 95(4) (1969) 859–877.
- [7]- N.A. Laouami, Y. Slimani, Y. Bouhadad, A. Nour, S. Larbes, Caractérisation du séisme de Boumerdès - Analyse sismique des enregistrements obtenus lors du choc principal du 21 mai 2003. In: *Proceedings of Colloque international Risque, vulnérabilité et fiabilité dans la construction*, Alger, 2003.
- [8]- D. Park, Y.M.A. Hashash, Soil damping formulation in nonlinear time domain site response analysis. *J. Earthq. Eng.* 8(2) (2004) 249-274. doi: 10.1142/S1363246904001420