
Un logiciel de traitement de signal sismique «Risam Signal»

M. Rachedi^{1*}, I. Boukli Hacene¹, M. Djafour¹, N. Benmansour¹

¹ Laboratoire RISAM, Faculté de Technologie, Université Abou Bekr Belkaïd, BP 230 – 13000 TLEMCEM- ALGERIE

* med-1604@hotmail.fr

RESUME. Le traitement du signal sismique reste d'actualité vue que ses résultats sont largement utilisés dans plusieurs applications en génie parasismique. Dans le cas des analyses sous mouvements sismiques variables dans l'espace (SVGGM), il faut en particulier résoudre le problème de l'intégration des signaux. En effet, si en analyse dynamique linéaire le SVGGM peut être appliqué aux structures sous forme d'accélération, il est nécessaire de l'appliquer sous forme de déplacements dans le cas d'analyses non linéaires. On doit donc « maîtriser » le processus d'intégration afin de disposer d'un « bon » signal de déplacements et c'est l'objectif de ce travail.

Cet article présente le programme informatique qui a été développé afin de traiter ce problème d'intégrabilité des signaux sismiques. Le logiciel développé RisAM Signal est un outil rapide, efficace et utile dans le sens où les spectres obtenus par accélération imposée ou par déplacement imposé sont simplement identiques.

ABSTRACT. Seismic signal processing is still relevant since its results are widely used in many earthquake engineering applications. For structural analysis under Spatially Variable Ground Motions (SVGGM), a major task is the integration of accelerograms which needs to be correctly achieved. Indeed and considering the importance of the pseudo-static component in SVGGM, the unique possibility to conduct nonlinear SVGGM analyses is to use displacements as input. A main objective of this paper is the control of the integration process.

This is achieved developing a computer program "RisAM Signal" which can perform many others useful functions for engineers and seismologists.

MOTS-CLES: Correction de la ligne de base, spectre de réponse, Traitement de signal

KEYWORDS: Baseline correction, Dynamic response analysis, Signal Processing

1. Introduction

L'effet de la variabilité spatiale du mouvement sismique doit être considéré dans l'analyse dynamique des structures étendues tels que les ponts et les barrages (Zerva, 2009). En effet, si en analyse linéaire le mouvement sismique variable dans l'espace (SVG) peut être appliqué sous forme d'accélération, dans le cas d'analyse non linéaire le SVG doit être appliqué sous forme de déplacements. En d'autres termes les excitations sismiques en termes de déplacement doivent être évaluées. Ceci conduit à l'intégration temporelle de l'accélération. Cependant, l'expérience indique que l'intégration directe de l'histoire temporelle d'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). À titre d'exemple on présente dans la Figure 1 l'histoire temporelle de l'accélération enregistrée durant le séisme de CHI-CHI (Taiwan) du 21 septembre 1999, et dans la Figure 2 on illustre le déplacement obtenu par double intégration directe de l'accélération. Il est évident que l'évolution de ce déplacement est irréaliste.

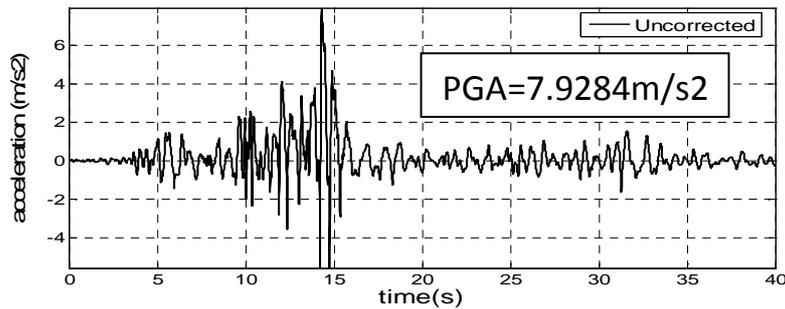


Figure 1. Accélérogramme non corrigé du séisme CHI-CHI

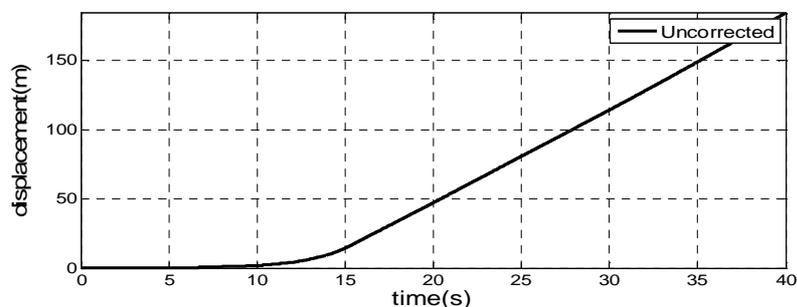


Figure 2. Le déplacement non corrigé du séisme CHI-CHI

Plusieurs méthodes de correction ont été proposées pour traiter le problème de décalage de la ligne de base. Néanmoins vu la difficulté de comprendre la nature exacte de ce décalage, il n'y a aucune approche de correction universelle (Zerva, 2009). En général, la méthode de correction la plus simple utilisée pour le traitement des enregistrements sismiques repose sur le principe de correction de la ligne de base qui s'effectue par l'ajustement de la ligne de base de l'enregistrement avec un polynôme d'ordre n puis la soustraction de cette courbe ajustée du signal brute. Autour de cette méthode plusieurs approches de correction parfois très compliquées ont été développées ; on peut citer les travaux de (Boyce, 1970), (Trifunac, 1971), (Yang *et al*, 2006) et (Liao *et al*, 2006). Ces procédures suggèrent aussi de filtrer l'enregistrement sismique sachant que la correction de la ligne de base reste insuffisante dans certains cas, particulièrement pour les signaux sismiques avec de longues durées.

Cet article présente le programme informatique RisAM Signal (Boukli *et Rachedi*, 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 (moins de 10% du signal) pour imposer des conditions initiales nulles tout en assurant la compatibilité des intervalles intégrés. L'approche TSS-RisAM est évaluée dans cet article en traitant quelques exemples et en faisant des études comparatives avec la méthode de correction de ligne de base.

2. Correction d'un signal par l'approche TSS-RisAM

La Figure 3 représente l'accélérogramme non corrigé du tremblement de terre SAKARIA qui a secoué la ville de IZMIT en Turquie le 17 août 1999 et la Figure 4 représente le déplacement obtenu après double intégration directe. On remarque clairement qu'il y a des dérives dans le signal de déplacement calculé. Pour le corriger, on applique l'approche TSS-RisAM. La Figure 5 représente la variation en fonction du temps de l'accélération corrigée et non corrigée. On remarque que la différence entre ces deux variations est négligeable, et les PGA correspondants sont presque identiques (la différence est moins de 1 %). En comparant les spectres de Fourier des accélérations corrigée et non corrigée (Figure 6) on constate aussi que TSS-RisAM n'a pas d'effet notable sur le contenu fréquentiel du signal. L'influence de cette correction est aussi minimale sur les spectres de réponses en pseudo accélération (Figure 7).

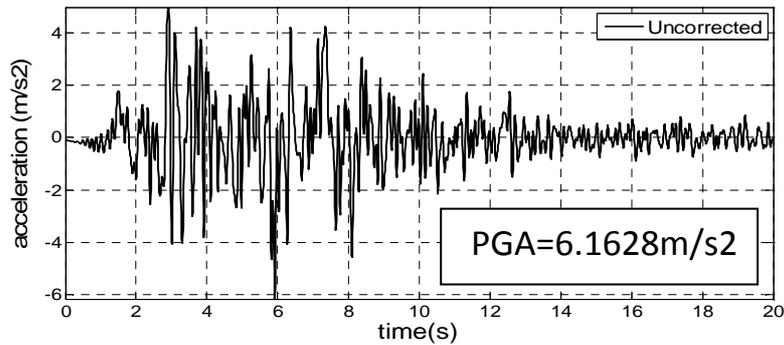


Figure 3. Accélérogramme du séisme SAKARIA

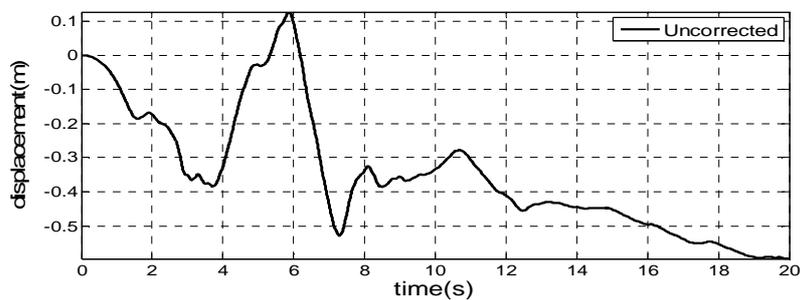


Figure 4. Déplacement obtenu par double intégration du séisme SAKARIA

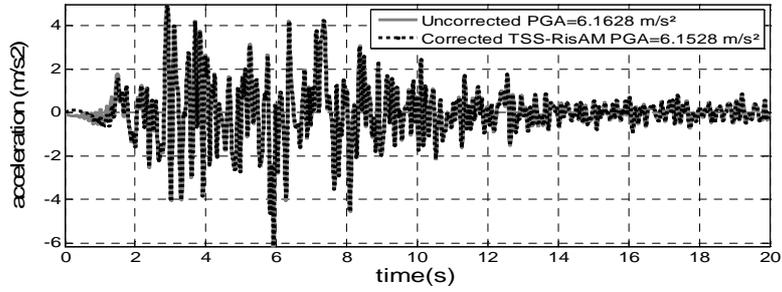


Figure 5. Accélérogramme du séisme SAKARIA non corrigé et corrigé par TSS-RisAM

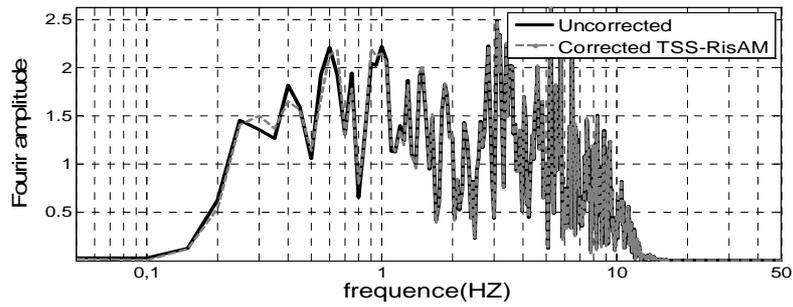


Figure 6. Spectre de Fourier du séisme SAKARIA non corrigé et corrigé

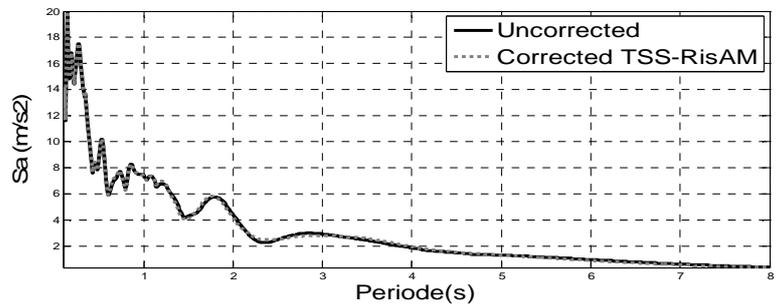


Figure 7. Spectre en accélérations du séisme SAKARIA non corrigé et corrigé

La Figure 8 montre que l'application de cette approche conduit à un signal de déplacement « raisonnable ». Pour des fins de comparaison, le signal de déplacement déterminé en utilisant la méthode de correction de la ligne de base est inclus dans la même figure. Ce qui montre que la méthode de correction TSS-RisAM est efficace.

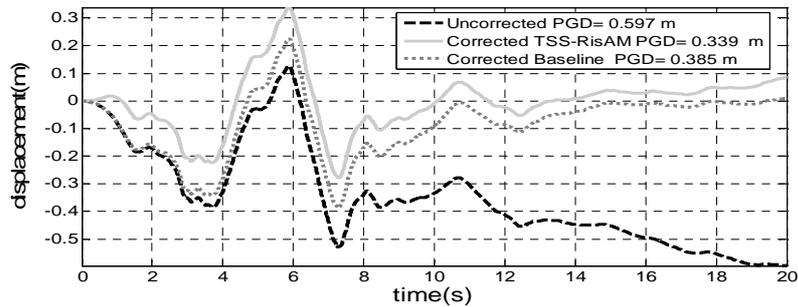


Figure 8. Déplacements du séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par la correction de la ligne de base et par « TSS-RisAM »

3. Effet sur la réponse dynamique:

L'analyse du comportement dynamique d'un oscillateur simple à un seul degré de liberté de masse M , rigidité K et amortissement C (Figure 9) sous excitation sismique $u_g(t)$ peut être accomplie en utilisant l'équation de mouvement [1] qui est exprimée en terme de déplacement relatif de la masse $u(t)$, dans ce cas l'excitation sismique est définie par l'accélération $\ddot{u}_g(t)$.

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -M\ddot{u}_g(t) \quad [1]$$

Une forme alternative de l'équation de mouvement peut être obtenue en exprimant l'Eq [1] en termes de déplacement totale de la masse $u^t(t)$ et ses dérivés,

elle est définie par l'Eq [2]. Dans cette équation l'excitation sismique est imposée sous forme de déplacement $u_g(t)$ et de vitesse $\dot{u}_g(t)$.

$$M\ddot{u}^t(t) + C\dot{u}^t(t) + Ku^t(t) = C\dot{u}_g(t) + Ku_g(t) \quad [2]$$

Où :

$$u^t(t) = u(t) + u_g(t) \quad [3]$$

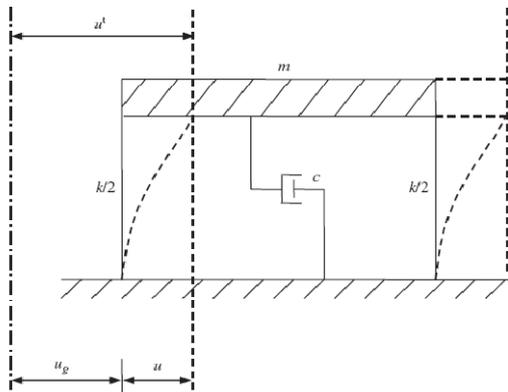


Figure 9. Système à un seul degré de liberté soumis à une excitation sismique

Les équations [1] et [2] devront donc donner la même réponse dynamique à condition que le déplacement et la vitesse sismique soient estimés « correctement » à partir de l'accélération. Dans le but de connaître l'influence de l'approche

d'intégrabilité TSS-RisAM sur la réponse dynamique des structures on prend un signal sismique artificiel déduit à partir du spectre de réponse élastique de la composante horizontale d'un règlement algérien pour un PGA de 0.4g et un amortissement à 5% (MTP, 2010). En calculant le déplacement par la double intégration simple, on obtient des dérives dans le signal (Figure 10) ce qui nous pousse à le corriger en utilisant l'approche TSS-RisAM. On obtient alors un signal de déplacement raisonnable. Afin de cibler le PGD correspondant selon l'Eurocode 8 (CEN, 2005) (PGD cible de 0.08m) on applique un filtrage avec une fréquence de coupure $F_c=0.08$ Hz. La Figure 9 montre que les décalages présents dans le signal de déplacement peuvent être efficacement éliminés par l'approche proposée combinée à un filtrage.

La Figure 11 montre que les spectres de réponses obtenus à partir de l'accélération artificielle originale et à partir du déplacement corrigé par TSS-RisAM sont tout simplement superposés et toujours compatibles avec le spectre réglementaire.

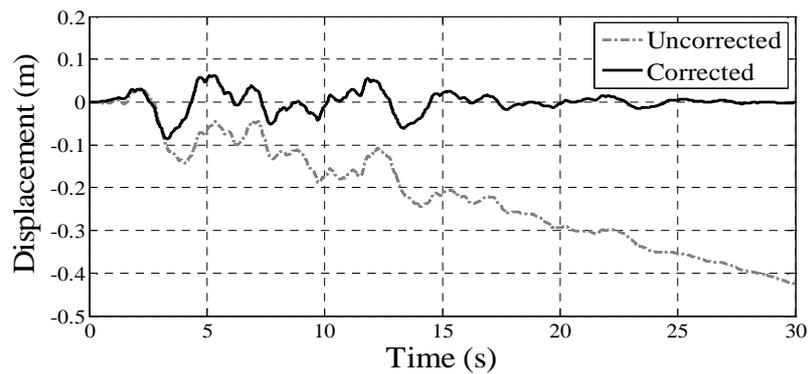


Figure 10. Déplacements du séisme Artificiel non corrigé et corrigé par TSS-RisAM et filtrage

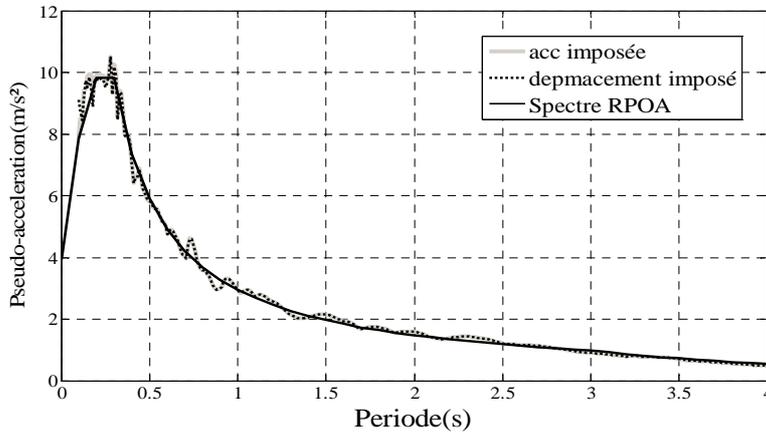


Figure 11. Spectres de réponse en pseudo accélération ($\zeta=5\%$)

Conclusion :

Il a été démontré que le déplacement obtenu par l'intégration directe d'accélération d'un signal sismique contient souvent des valeurs irréalistes dues à des bruits présents dans l'Accélérogramme enregistré. Cet article propose l'approche TSS-RisAM qui permet de résoudre ce problème d'intégrabilité, ceci en corrigeant juste quelques premières valeurs de l'accélération sismique pour imposer des conditions initiales nulles. Les exemples numériques traités dans cet article ont montré que l'approche TSS-RisAM conduit à des déplacements et vitesses raisonnables tout en préservant les autres caractéristiques du signal et sans avoir aucune influence sur le comportement dynamique des structures puisque les spectres obtenus par accélération imposée ou par déplacement imposé sont identiques.

Référence:

- Boore DM., Bommer JJ., «Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences » *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, vol. 25, 2005, p. 93-115.
- Boukli Hacene I., Rachedi M., *Elaboration d'un Logiciel De Traitement De Signal Sismique*, Projet de fin d'étude, University Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algeria, 2010.

XXIX^e Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.

Boyce WH. « Integration of accelerograms» *Bull Seismol Soc Am*, vol. 60, 1970, p.261.

CEN Eurocode 8: Design provisions of structures for earthquake resistance—Part 2: Bridges (prEN1998-2, Final Draft): CEN [Comité Européen de Normalisation], Brussels, 2005.

Liao S., Zerva A. «Physically-compliant, conditionally simulated spatially variable seismic ground motions for performance-based design» *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. vol. 35, 2006, p. 891–919.

MTP Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA). Ministère des Travaux Publics, Alger, 2010.

Trifunac MD. «Zero baseline correction of strong-motion accelerograms» *Bull Seismol Soc Am*, vol. 61, 1971, p.1201.

Yang J., Li JB., Lin G., «A simple approach to integration of acceleration data for dynamic soil–structure interaction analysis» *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, vol. 26, 2006, p.725-734.

Zerva A., *Spatial Variation of Seismic Ground Motions: Modeling and Engineering Applications*, Boca Raton, Florida: CRC Press, Group, Taylor & Francis, 2009.