

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCCEN  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



*Laboratoire Risk Assesment and Management - Tlemcen  
Spécialité Risk Assesment and Earthquake engineering*

## **Mémoire de Magister**

*Intitule*

# **Traitement des signaux sismiques réels en vue d'améliorer leurs intégrabilités**

**Présentée par :**

*BOUKLI HACENE Mohammed Ibrahim*

**Composition du Jury :**

*Mr .D. ZENDAGUI*

*Mr .M. DJAFOUR*

*Mme .N. MEDDANE*

*Mr .M. MATALLAH*

*Mr .B.DERRAS*

*Président , UABB - Tlemcen*

*Encadreur, UABB – Tlemcen*

*Co-Encadreur, UABB - Tlemcen*

*Examineur , UABB - Tlemcen*

*Examineur, U - Saida*

Remercions en premier lieu, Dieu tout puissant de m'avoir permis de mener à bien et d'achever ce modeste travail.

Mes premiers remerciements vont à mon encadreur de mémoire monsieur M.Djafour et mon co-encadreur Mme N.Meddane. je tiens à les remercier pour leurs encadrement, leurs aides, leurs orientations et leurs conseils.

J'adresse également ma gratitude et mes remerciements à monsieur D. Zendagui, qui m'a fait l'honneur de présider le jury. Mes vifs remerciements sont adressés à monsieur M.Matallah et monsieur B.Derras, pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail en acceptant de l'examiner et de participer à mon jury de par leurs commentaires, leurs critiques et leurs questions enrichissantes . Je souhaite par ailleurs remercier l'ensemble des gens qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Enfin, je voudrais exprimer mes plus profonds remerciements à mes chères parents à mon frères et ma sœur et à toute ma grande famille pour leur soutien constant, leur patience et leur encouragement tout au long de ces années de ce mémoire.

Le traitement du signal sismique reste d'actualité vu que ses résultats sont largement utilisés dans plusieurs applications en génie parasismique tels que l'analyse non linéaire des structures étendues, le développement des cartes des codes parasismiques, l'interaction sol structure et bien d'autres applications.

A cet effet, il faut en particulier résoudre le problème de l'intégration des signaux, car ces derniers sont théoriquement affectés et mènent à des signaux de vitesses et de déplacements non réalistes obtenus par l'intégration directe de l'histoire temporelle d'accélération et c'est l'objet de ce travail.

L'approche TssRisAM présentée dans ce travail permet de corriger le signal sismique et avoir des déplacements raisonnables, tout en agissant sur une partie de ce signal, et tenant compte des conditions initiales non nulles et la présence du bruit. Nous avons démontré dans ce mémoire que cette approche préserve les caractéristiques sismologique et parasismique du signal.

Mots clés: Bruits, Problème d'intégrabilité, Traitement, Filtrage, TssRisAM.

The seismic signal processing stays of seen current events that its results are widely used in several applications in earthquake-resistant engineering such as the not linear analysis of the vast structures, the development of the cards of the earthquake-resistant codes, the interaction ground structures and many other applications.

For that purpose, it is necessary to solve in particular the problem of the integration of the signals, because the latter are affected in theory by noises during their recordings, what leads to signals of speeds and not realistic movements obtained by the direct integration of the temporal history of acceleration.

The approach TssRisAM presented in this work allows to correct the seismic signal and credit note of the reasonable movements, while acting on a part of this signal, and taking into account not invalid initial conditions and the presence of the noise. We demonstrated in this report that this approach protects the seismological and earthquake-resistant characteristics of the signal.

Key word: Noise, Integrability problem, Traitement, Filtring, TssRisAM.

ما زالت التجهيزات الإشارة الزلزالية صالحة للاستخدام على نطاق واسع نتائجها تظهر في العديد من التطبيقات لاسيما في هندسة الزلازل (التحليل غير الخطية الهياكل الموسعة، تطوير خرائط رموز الزلزالي، والتفاعل بنية التربة) والعديد من التطبيقات الأخرى.

لهذا الغرض، من الضروري حل مشكلة معينة لدمج الإشارات لأنها تتأثر بأصوات من الناحية النظرية على التسجيلات، الأمر الذي يؤدي إلى إشارات السرعة والتهجير غير واقعية حصلت عليها التكامل توجيه تسارع التاريخ الوقت.

تسس ريزام برنامج يسمح لتصحيح إشارة الزلزالية ولها تنقلات معقولة، ولها تأثيرات محدودة على هذه الإشارة، ومراعاة الظروف الأولية غير صفرية مع وجود ضوضاء. أظهرنا في هذه الورقة أن هذا النهج يحافظ على الخصائص الزلزالية والزلازل الإشارات.

كلمات البحث: التشويشات، مشكلة التفاضل، المعالجة، تصفية، تسس ريزام .

Remerciment.....01  
 Résumé.....01  
 Abstract.....01  
 ملخص.....01  
 Table des matières.....01  
 Liste des figures.....01  
 liste des tableaux.....01  
 Introduction générale.....01

**Chapitre 01 : Problématique**

1.1 Problème d'intégrabilité.....03  
 1.2 Les cause du problème d'intégrabilité.....04  
 1.3 Les sources des bruits.....05  
     1.3.1 Sources des bruits instrumentaux.....05  
     1.3.2 Sources des bruits de numérisation.....05  
 1.4 Les signaux numériques.....06  
 1.5 Les signaux simulés.....06

**Chapitre 02 : Etat de l'Art**

2.1 Introduction .....08  
 2.2 Correction de la ligne de base .....08  
 2.3 Le filtrage .....09  
     2.3.1 Les types de filtrage .....09  
         2.3.1.1 Filtrage Low- Pass .....09  
         2.3.1.2 Filtrage High-Pass .....10  
         2.3.1.3 Filtrage band stop et band Pass .....10  
         2.3.1.4 Les fonctions de transferts.....11  
     2.3.2 Le choix des paramètres des filtres .....12  
         2.3.2.1 L'évaluation de l'impact de la causalité .....14  
         2.3.2.2 L'évaluation de l'impact de l'ordre du filtre .....16  
         2.3.2.3 Influence des fréquences de coupures .....18  
         2.3.2.4 Le filtrage dans le cas des signaux simulés.....20  
         2.3.2.5 Etude des déplacements résiduels .....22  
 2.4 Autres approches de traitement des signaux sismiques .....23  
     2.4.1 Ajustement de la ligne de base des signaux sismiques, un schéma alternatif au filtrage passe-haut (Sigurdsson et al [2011]) .....23  
     2.4.2 Erreurs dans les vitesses et les déplacements déduits des accélérographes, une approche basée sur la théorie de la propagation des erreurs .....27  
     2.4.3 Amélioration de la procedure d'intégration à travers une soustraction spectrale (Coelho et al [2011]).....30  
     2.4.4 Génération de spectres de réponse en déplacement probabiliste à utiliser dans la méthode des déplacements (Jiong et al [2004]).....35

**Chapitre 03 : La correction TssRisAM**

<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2 La présentation de l'approche TssRisAM.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3 L'algorithme de l'approche TssRisAM.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Exemples de séismes traités par la correction TssRisAM .....</b>	<b>44</b>

**Chapitre 04 : Impacte de TssRisAM sur les paramètres globaux**

<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2 Définitions des paramètres globaux des signaux sismiques.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.1 Les paramètres de nocivités.....</b>	<b>46</b>
4.2.1.1 Accélération maximale PGA.....	46
4.2.1.2 Cumulative Absolute Velocity CAV .....	47
4.2.1.3 Intensité spectrale (intensité de Housner) SI.....	47
4.2.1.4 Durée de la phase forte.....	47
4.2.1.5 La durée de seuil.....	48
4.2.1.6 la durée significative.....	48
4.2.1.7 Intensité ARIAS IA.....	49
4.2.1.8 Accélération de RMS.....	49
<b>4.2.2 Les paramètres spectrales.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 L'évaluation de l'impact de la correction TssRisAM.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3.1 Méthode d'évaluation .....</b>	<b>50</b>
<b>4.3.2 Le traitement du signale sismique de BOUMERDES (2003) en utilisant la correction TssRisAM.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3.2.1 Impacte de la TssRisAM sur les paramètres de nocivités.....</b>	<b>51</b>
4.3.2.1.1 Accélération maximale PGA.....	51
4.3.2.1.2 Cumulative Absolute Velocity CAV.....	52
4.3.2.1.3 Durée de la phase forte.....	54
4.3.2.1.4 La durée significative.....	55
4.3.2.1.5 Intensité ARIAS IA.....	57
4.3.2.1.6 Accélération de RMS.....	59
<b>4.3.2.2 Impacte de la correction TssRisAM sur les paramètres spectrales .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.3 Le traitement du signale sismique de SAKARIA (1999) en utilisant la correction TssRisAM.....</b>	<b>64</b>
<b>4.3.3.1 Impacte de la TssRisAM sur les paramètres de nocivités.....</b>	<b>64</b>
4.3.3.1.1 Accélération maximale PGA (SAKARIA).....	64
4.3.3.1.2 Cumulative Absolute Velocity CAV(SAKARIA).....	65
4.3.3.1.3 Durée de la phase forte(SAKARIA).....	66
4.3.3.1.4 La durée significative(SAKARIA).....	68
4.3.3.1.5 Intensité ARIAS IA(SAKARIA).....	70
4.3.3.1.6 Accélération de RMS(SAKARIA).....	71

**4.3.3.2 Impacte de la correction TssRisAM sur les paramètres spectrales (SAKARIA).....73**

**Conclusion .....77**

**Références bibliographiques.....78**



**Chapitre 01 : Problématique**

**Figure 1.1** Accélérogramme du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.....3  
**Figure 1.2** Vitesses intégrée du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999 .....3  
**Figure 1.3** Déplacements intégré du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.....4  
**Figure 1.4** Bruits non standards (Boore et al ,2005).....4  
**Figure 1.5** Jerk (Boore et al ,2005).....5  
**Figure 1.6** Résidus dues à la numérisation (Hung ,1997).....6  
**Figure 1.7 (a)** Signal artificiel généré par (Campos-Costa & Pinto 1999).....7  
**Figure 1.7 (b)** déplacement calculé par double intégration.....7  
**Figure 1.8 (a)** Signal artificiel généré à partir du spectre de réponse élastique de la composante horizontale du règlement RPOA (MTP,2010).....7  
**Figure 1.8 (b)** déplacement calculé par double intégration.....7

**Chapitre 02 : Etat de l'Art**

**Figure 2.1** Accélérations corrigées et non corrigées du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.....8  
**Figure 2.2** Vitesses corrigées et non corrigées du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.....8  
**Figure 2.3** Déplacements corrigées et non corrigées du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.....9  
**Figure 2.4** Le filtre Low Pass.....9  
**Figure 2.5** Le filtre Hight Pass.....10  
**Figure 2.6** Le filtre Band Pass / Band Stop.....10  
**Figure 2.7** La fonction de transfert Butterworth.....11  
**Figure 2.8** La fonction de transfert Chebyshev.....11  
**Figure 2.9** La fonction de transfert Bessel.....12  
**Figure 2.10** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques et inélastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de la causalité des filtres (Bazzurro et al,2004).....16  
**Figure 2.11** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de l'ordre des filtres (Bazzurro et al,2004).....18  
**Figure 2.12** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de la fréquence de coupure des filtres (Bazzurro et al,2004).....20  
**Figure 2.13** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de la causalité des filtres dans le cas signaux simulés (Bazzurro et al,2004).....21  
**Figure 2.14** L'évolution des ratios des PGD relatifs aux traitements appliqués.....23  
**Figure 2.15** Vitesses du séisme Olfus 2008 (Sigurdsson et al ,2011).....24  
**Figure 2.16** Spectres de Fourier relatifs aux vitesses et déplacements du séisme Olfus 2008..25  
**Figure 2.17** Séisme Olfus 2008 (Sigurdsson et al ,2011).....26  
**Figure 2.18** Séisme Christchurch 2011 (Sigurdsson et al ,2011).....26  
**Figure 2.19** séisme Tohoko-Kanto 2001 (Sigurdsson et al ,2011).....27

**Figure 2.20** Différences ponctuelles  $\Delta\gamma$  entre le signal d'accélération enregistré et le signal d'accélération réel (Stiros [2008]).....27

**Figure 2.21** Signal d'accélération artificiel  $\bar{x}(n) = x(n) + \xi(n)$  (Coelho et al ,2011).....31

**Figure 2.22** Signaux des vitesses dans le domaine temporel (Coelho et al ,2011).....32

**Figure 2.23** Signaux des vitesses dans le domaine fréquentiel(Coelho et al ,2011).....32

**Figure 2.24** Signaux des déplacements dans le domaine temporel (Coelho et al ,2011).....32

**Figure 2.25** Signaux des déplacements dans le domaine fréquentiel (Coelho et al ,2011).....33

**Figure 2.26** Vitesses enregistrées par des géophones (Coelho et al ,2011).....33

**Figure 2.27** Accélérations enregistrées par des accéléromètres (Coelho et al ,2011).....34

**Figure 2.28** Signaux des déplacements relatifs aux vitesses des géophones et aux accélérations des accéléromètres /domaine temporel (Coelho et al ,2011).....34

**Figure 2.29** Signaux des déplacements relatifs aux vitesses des géophones et aux accélérations des accéléromètres /domaine fréquentiel (Coelho et al ,2011).....35

**Figure 2.30** Spectres de dimensionnements ,High Group (Jiong et al ,2004).....35

**Figure 2.31** Spectres de dimensionnements , Intermediate Group (Jiong et al ,2004).....36

**Figure 2.32** Spectres de dimensionnements ,Low Group (Jiong et al ,2004).....36

**Figure 2.33** Distribution probabilistique des ratios PGA/PGV et PGV/PGD (Jiong et al ,2004) ....38

**Figure 2.34** Accélérations, déplacements et spectre de réponse en termes de déplacements du séisme Chile 1997 (Jiong et al ,2004).....39

**Figure 2.35** Les spectres de déplacements après l'application des filtres (Jiong et al ,2004).....39

**Figure 2.36** La zone de convergence limitée par 0.85 PGD et 1,15 PGD (Jiong et al ,2004).....40

**Chapitre 03 : La correction TssRisAM**

**Figure 3.1** La fonction de correction  $H(t)$ .....42

**Figure 3.2** La fonction de correction  $\dot{H}(t)$ .....42

**Figure 3.3** La fonction de correction  $\ddot{H}(t)$ .....43

**Figure 3.4** Organigramme de TssRisAM .....43

**Figure 3.5** Le séisme de CHI-CHI (Taiwan) traité par l'approche TssRisAM.....44

**Figure 3.6** Le séisme de Sakaria traité par l'approche TssRisAM.....45

**Chapitre 04 : L'impact de TssRisAM sur les paramètres globaux**

**Figure 4.1** PGA : Peak Ground Acceleration.....46

**Figure 4.2** Bracketed Duration **Db** (Derras ,2011).....48

**Figure 4.3** Significant Duration **Ds** (Derras ,2011).....48

**Figure 4.4** Accélérogrammes du séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....51

**Figure 4.5** Cumulative Absolute Velocity du séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....52

<b>Figure 4.6</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au CAV en fonction de la longueur de la zone de la correction TssRisAM.....	53
<b>Figure 4.7</b>	La durée de la phase forte relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	54
<b>Figure 4.8</b>	La durée significative relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	56
<b>Figure 4.9</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au Db en fonction la correction TssRisAM.....	57
<b>Figure 4.10</b>	Intensité ARIAS relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	57
<b>Figure 4.11</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au IA en fonction la correction TssRisAM.....	58
<b>Figure 4.12</b>	Accélération de RMS relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	59
<b>Figure 4.13</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au A-RMS en fonction la correction TssRisAM.....	60
<b>Figure 4.14</b>	Spectres de Pseudo accélérations relatifs au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%) .....	60
<b>Figure 4.15</b>	La distribution probabilistique des résidus relatifs aux spectres de réponses pseudo accélérations du séisme de Boumerdès non corrigés et corrigé par TssRisAM (10%).....	62
<b>Figure 4.16</b>	Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélérations et déplacements non corrigé relatifs au séisme de BOUMERDES.....	62
<b>Figure 4.17</b>	Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélérations et déplacements corrigés par TssRisAM (10%) relatifs au séisme de BOUMERDES.....	63
<b>Figure 4.18</b>	Accélérogrammes du séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	64
<b>Figure 4.19</b>	Cumulative Absolute Velocity du séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	65
<b>Figure 4.20</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au CAV en fonction de la longueur de la zone de la correction TssRisAM.....	66
<b>Figure 4.21</b>	La durée de la phase forte relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	67
<b>Figure 4.22</b>	La durée significative relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	68
<b>Figure 4.23</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au Db en fonction la correction TssRisAM.....	69
<b>Figure 4.24</b>	Intensité ARIAS relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	70
<b>Figure 4.25</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au IA en fonction la correction TssRisAM.....	71
<b>Figure 4.26</b>	Accélération de RMS relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....	72
<b>Figure 4.27</b>	l'évolution du résidu (%) relatifs au A-RMS en fonction la correction TssRisAM.....	73

**Figure 4.28** Spectres de Pseudo accélérations relatifs au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%).....73

**Figure 4.29** La distribution probabilistique des résidus relatifs aux spectres de réponses pseudo accélérations du séisme de SAKARIA non corrigés et corrigé par TssRisAM (10%)..75

**Figure 4.30** Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélérations et déplacements non corrigé relatifs au séisme de SAKARIA.....75

**Figure 4.31** Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélérations et déplacements corrigés par TssRisAM (10%) relatifs au séisme de SAKARIA.....76

**Chapitre 02 : Etat de l'Art**

<b>Tableau 2.1</b>	Liste de Séismes de l'étude paramétrique (Bazzurro et al,2004).....	14
<b>Tableau 2.2</b>	Liste des filtres de l'étude paramétrique (Bazzurro et al,2004).....	14
<b>Tableau 2.3</b>	Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la causalité des filtres (Bazzurro et al,2004).....	15
<b>Tableau 2.4</b>	Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de l'ordre des filtres (Bazzurro et al,2004).....	17
<b>Tableau 2.5</b>	Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la fréquence de coupure des filtres (Bazzurro e al,2004).....	19
<b>Tableau 2.6</b>	Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la causalité des filtres dans le cas signaux simulés (Bazzurro et al,2004).....	21
<b>Tableau 2.7</b>	Liste de Séismes concernant l'étude des déplacements résiduels.....	22
<b>Tableau 2.8</b>	Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la causalité des filtres.....	23
<b>Tableau 2.9</b>	Moyennes quadratiques des erreurs dues au calcul des intégrales.....	33
<b>Tableau 2.10</b>	Moyennes quadratiques des erreurs dues au calcul des déplacements.....	35
<b>Tableau 2.11</b>	Liste des enregistrements sismiques sélectionnés.....	37
<b>Tableau 2.12</b>	Les limites des groupes High class, Intermediate class et Low class.....	38

**Chapitre 04 : L'impact de TssRisAM sur les paramètres globaux**

<b>Tableau 4.1</b>	Impact de TssRisAM sur le PGA du séisme de BOUMERDES.....	52
<b>Tableau 4.2</b>	Impact de TssRisAM sur le CAV du séisme de BOUMERDES.....	53
<b>Tableau 4.3</b>	Impacte de TssRisAM sur la durée de la phase forte du séisme de BOUMERDES.....	55
<b>Tableau 4.4</b>	Impacte de TssRisAM sur la durée significative du séisme de BOUMERDES.....	56
<b>Tableau 4.5</b>	Impacte de TssRisAM sur l'intensité ARIAS du séisme de BOUMERDES.....	58
<b>Tableau 4.6</b>	Impacte de TssRisAM sur accélération RMS du séisme de BOUMERDES.....	59
<b>Tableau 4.7</b>	Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations du séisme de BOUMERDES.....	61
<b>Tableau 4.8</b>	Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations et des déplacements du séisme de BOUMERDES.....	63
<b>Tableau 4.9</b>	Impact de TssRisAM sur le PGA du séisme de SAKARIA.....	65
<b>Tableau 4.10</b>	Impact de TssRisAM sur le CAV du séisme de SAKARIA.....	66
<b>Tableau 4.11</b>	Impacte de TssRisAM sur la durée de la phase forte du séisme de SAKARIA.....	68
<b>Tableau 4.12</b>	Impacte de TssRisAM sur la durée significative du séisme de SAKARIA.....	69
<b>Tableau 4.13</b>	Impacte de TssRisAM sur l'intensité ARIAS du séisme de SAKARIA.....	71
<b>Tableau 4.14</b>	Impacte de TssRisAM sur accélération RMS du séisme de SAKARIA.....	72
<b>Tableau 4.15</b>	Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations du séisme de SAKARIA.....	74

---

**Tableau 4.16** Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations et des déplacements du séisme de SAKARIA.....76

Il est connu que la conception parasismique n'est plus basée obligatoirement sur les signaux sismiques présentés sous forme d'accélération car il existe plusieurs applications dont leurs inputs c'est des vitesses ou des déplacements. Pour commencer on cite le cas de l'analyse non linéaire des structures étendues tels que les ponts et les barrages où le mouvement sismique variable dans l'espace (SVGM) doit être considéré et appliqué sous forme de déplacements (Zerva et al,2009).

On peut aussi citer le cas du développement des cartes des codes parasismiques tels que le CCNB (Code national du bâtiment du Canada) présentées sous formes de zones caractérisées en premier lieu par leurs rapports PGA/PGV ou PGV/PGD et en seconde par leurs spectres y compris spectres de déplacements. En ce sujet (Jiong et al,2004) ont proposé trois zones, la première est celle des ratios PGA/PGV ou PGV/PGD élevés la seconde représente le cas des ratios intermédiaires et la troisième concerne celui des ratios faibles.

Comme troisième et dernière application on cite le cas de l'interaction sol structure. Un phénomène qui se produit lorsqu'il y a une influence , mutuelle ,du mouvement de l'un sur le comportement de l'autre. L'étude de ce phénomène se fait par l'utilisation de deux méthodes l'une s'appelle la méthode globale et l'autre s'appelle la méthode de sous structure. Cette dernière nécessite l'estimation des forces agissantes sur l'interface sol-structure ainsi que les coefficients liés au sol ce qui nécessite l'estimation de l'excitation sismique en termes de vitesse et de déplacement (Yang et al,2005).

Les excitations sismiques en vitesses et déplacements sont jugées donc importantes car elles sont respectivement liées à l'énergie cinétique et aux déformations et elles représentent aussi des inputs de divers applications comme celles citées précédemment, ce qui justifie la nécessité de leurs évaluation.

Théoriquement, l'évaluation des vitesses et des déplacements conduit à l'intégration temporelle de l'accélération or l'expérience indique que l'intégration directe entraîne souvent des dérives non réalistes dans les vitesses et les déplacements obtenus, ce qui diminue ou élimine carrément la fiabilité de ces derniers (Boore et al,2005).

Plusieurs méthodes et procédures de traitements des signaux sismiques sont proposées à travers les différents travaux de recherches, mais il reste impossible d'identifier un traitement optimale et universel (Boore et al,2005) valable pour n'importe quel signal sismique du moment que ces chercheurs notent que les procédures de traitement doivent être appréciées par les utilisateurs finaux. Ainsi, elles dépendent du domaine de leurs applications.

L'objectif principal de ce mémoire est de contribuer à l'enrichissement de ces connaissances en mettant à la disposition des praticiens, des chercheurs et des intéressés du domaine, une nouvelle approche ou procédure de traitement de signale sismique.

Le présent travail est articulé autour de quatre chapitres : Le premier chapitre après une introduction explique la problématique de l'intégrabilité , indique ses multiples causes probables et présente la manière dont elle se manifeste. Le deuxième chapitre donne un aperçu sur les différentes solutions existantes ainsi que leurs manières et domaines d'applications. Le troisième chapitre propose une nouvelle approche nommée TSSRisAM et explique le principe de son fonctionnement. Le quatrième et dernier chapitre montre l'influence de cette correction proposée sur les paramètres globaux et fait l'objet de la validation de l'approche TSSRisAM .



### 1.1 Problème d'intégrabilité:

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. Ces dérives se manifestent sous deux formes essentielles : la première se présente par l'apparition de biais droits loin de la ligne zéro et la deuxième montre des évolutions fréquentielles non conformes aux règles de la sismologie (Boore et al ,2005).

La figure1.1 présente l'histoire temporelle de l'accélération enregistrée durant le séisme de CHI-CHI (Taiwan) du 21 septembre 1999. La figure1.2 et la figure1.3 donnent respectivement la vitesse et le déplacement obtenus par une simple et double intégration de l'accélération. On remarque bien l'apparition du biais droits et il est évident que ce déplacement est irréaliste car il est de l'ordre de 180 m au temps égale à 40s qui correspond à la fin de l'enregistrement.

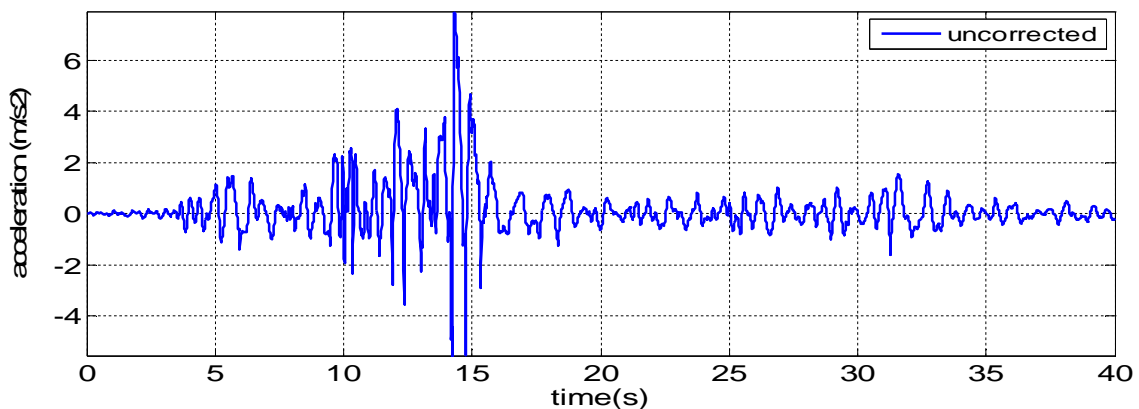


Figure 1.1 Accélérogramme du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.

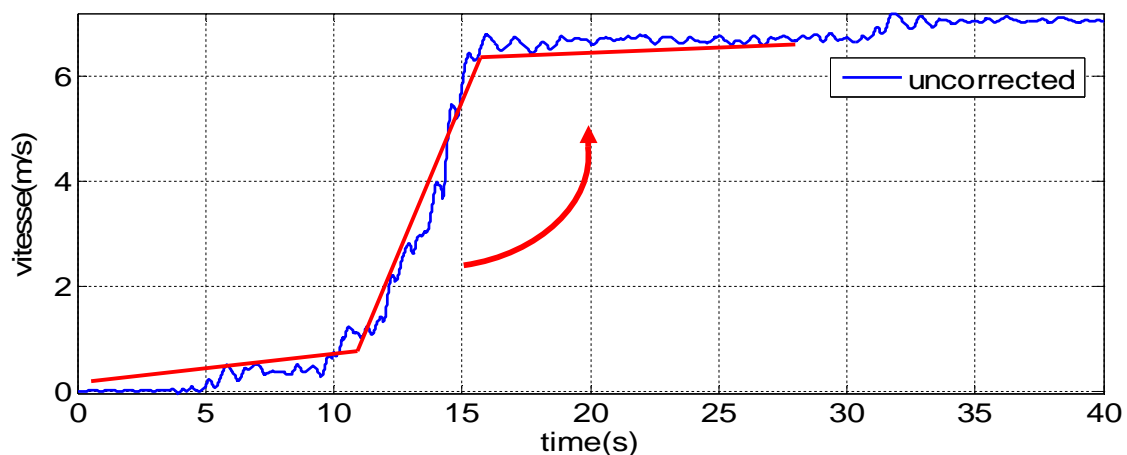


Figure 1.2 Vitesses intégrée du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.

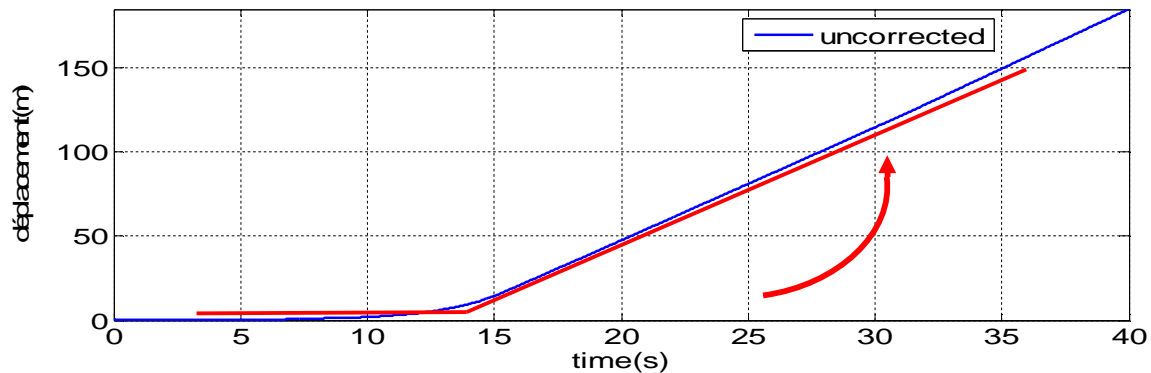


Figure 1.3 Déplacements intégrés du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999.

### 1.2 Les causes du problème d'intégrabilité :

Actuellement, les différents auteurs qui travaillent sur ce sujet considèrent généralement que les valeurs erronées des vitesses et des déplacements sont dues aux bruits qui affectent les signaux sismiques, et plus particulièrement les signaux sismiques analogiques, soit durant leurs enregistrements ou bien durant leurs numérisations (Boore et al ,2005).

Ces bruits sont définis comme des distorsions dans les signaux et ils sont catalogués en deux types. Le premier est appelé le bruit standards dont les effets n'apparaissent pas dans les accélérogrammes. Le seconde concerne les bruit non standards qui provoque dans les accélérogrammes des pics avec des valeurs extrêmes par rapport à celles des points avoisinants (Figure1.4). L'élimination des bruits non standards se fait généralement par le remplacement des pics erronés par des valeurs moyennes des deux points avoisinants (Boore et al ,2005).

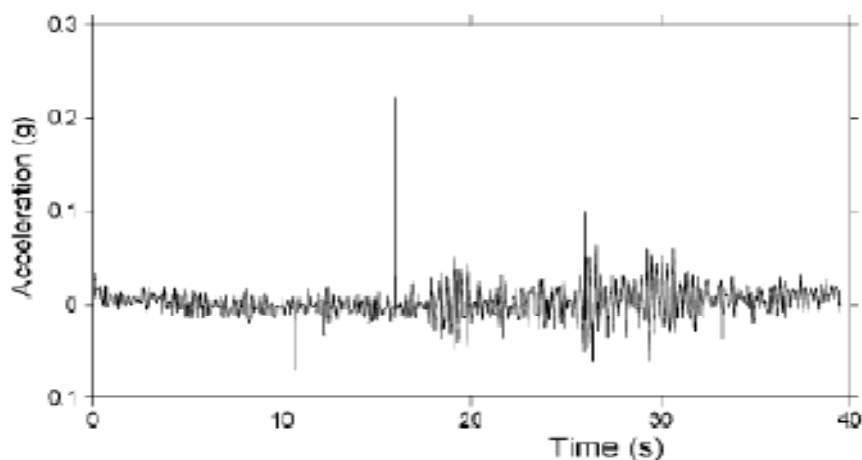


Figure 1.4 Bruits non standards (Boore et al ,2005).

On peut rater quelques pics par la simple observation du graphe des enregistrements. Pour éviter cela on trace ce qu'on appelle le JERK qui est la dérivée première de la réponse des accélérations. La figure 1.5 montre l'effet des bruits non standards remarqués sur un JERK à des valeurs de 10 s, 16 s, 26 s et 33 s.

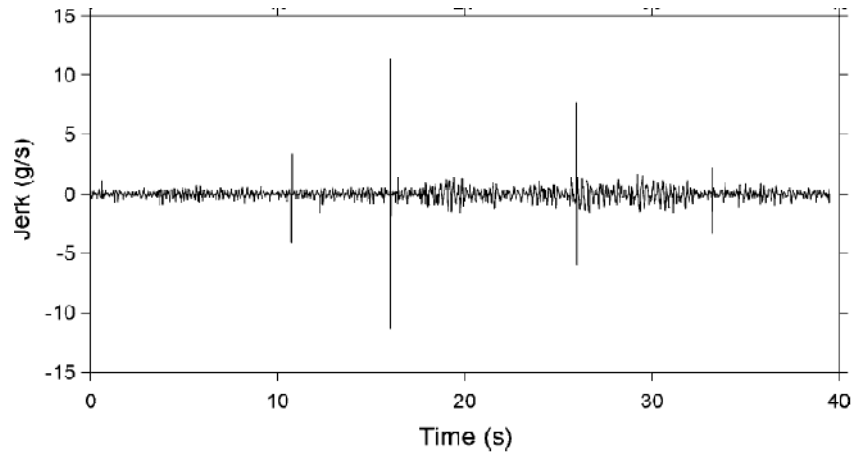


Figure 1.5 Jerk (Boore et al ,2005).

### **1.3 Les sources des bruits :**

Les sources des bruits qui affectent les signaux sismiques sont multiples et elles peuvent être classées en deux types :

#### **1.3.1 Sources des bruits instrumentaux:**

Ils sont dus à une réponse incorrecte de l'instrument de mesure qui est probablement due à la fatigue des matériaux qui les constituent. Cela nécessite un étalonnage lors de leur entretien mais des fois c'est insuffisant . On trouve aussi comme cause de bruit instrumentaux le seuil de déclenchement du dispositif d'enregistrement ce qui donne généralement un signal incomplet et une perte d'informations relatives aux premiers instants d'enregistrements ce qui fausse les conditions initiales du signal, chose aussi possible à la fin de l'enregistrement car il ya des ondes saisies par les instruments concernant les déformations du sol et non pas celles du tremblement de terre. La déformation du film ou du papier d'enregistrement est aussi une cause possible pour la naissance de bruits instrumentaux dans les signaux sismiques enregistrés (Hung ,1997).

#### **1.3.2 Sources des bruits de numérisation:**

Il existe aussi les bruits dus à la numérisation des signaux sismiques et cela suite d'abord au taux d'échantillonnage utilisé, qui provoque des pertes d'informations entre deux points d'enregistrement, ensuite l'arrondissement soit par excès ou par défaut des amplitudes ce qui cause des résidus à partir desquels le résidu moyen total peut être

calculé (Figure1.6). L'augmentation de la fréquence d'échantillonnage augmente la précision de l'intégration numérique mais cela n'implique pas l'annulation des erreurs ou bruits (Hung ,1997).

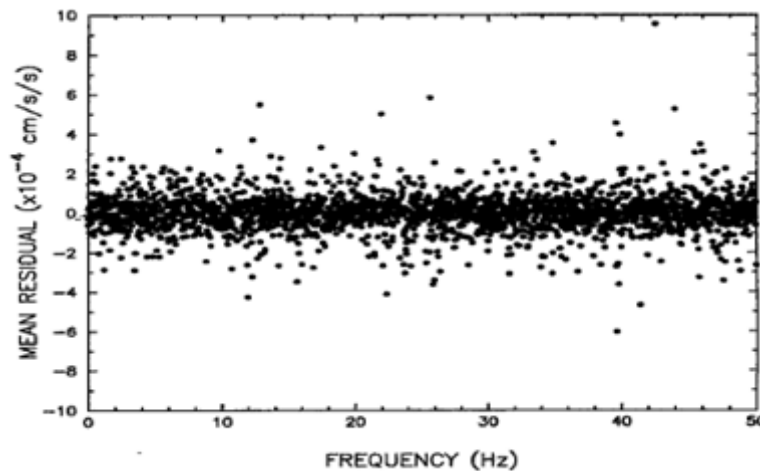


Figure 1.6 Résidus dues à la numérisation (Hung ,1997).

#### **1.4 Les signaux numériques:**

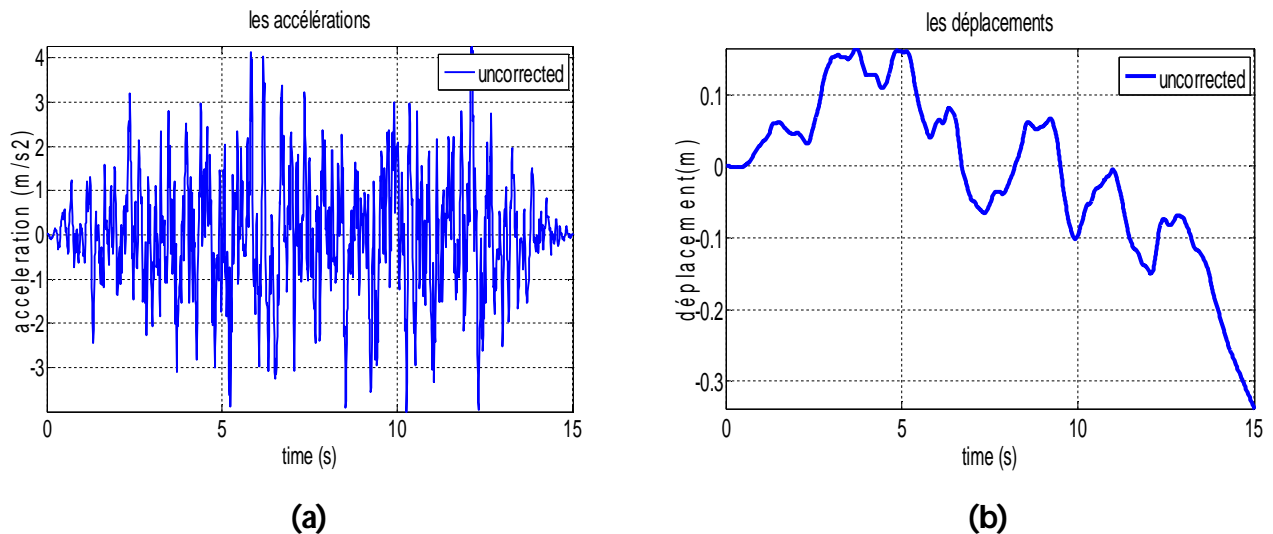
Il est noté que actuellement l'enregistrement des signaux sismiques se fait généralement par des appareils sophistiqués qui disposent d'une mémoire de pré-événement capable de retenir les toutes premières arrivées d'ondes. Leurs fréquences naturelles varient dans un intervalle jugé large, de 50 Hz à 100 Hz ou même plus, et la numérisation se fait automatiquement lors de l'enregistrement ce qui donne des signaux sismiques nommés signaux numériques (Hung ,1997).

Dans ce cas là, la probabilité d'infection des enregistrements par des bruit est minime et le problème d'intégrabilité peut ne pas être posé, mais cela n'implique pas que ce problème d'intégrabilité devient inexistant car les signaux sismiques analogiques représentent une partie importante des bases de données mondiales du moment que les enregistrements numériques ont fait leurs apparition 50 ans après les enregistrements analogiques (Hung ,1997).

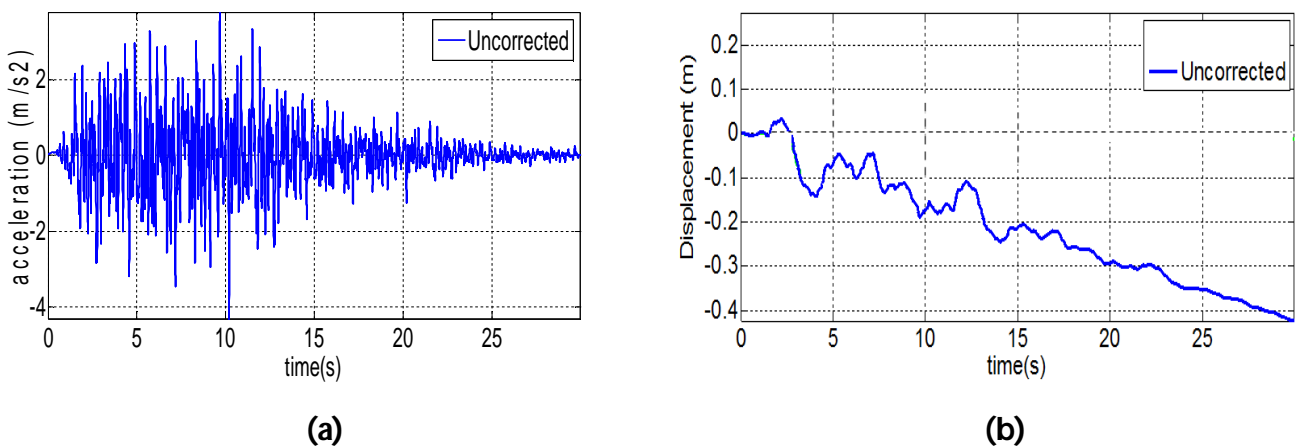
#### **1.5 Les signaux simulés:**

L'hypothèse de bruits peut avoir une part de vérité mais elle n'est pas la seule cause car on remarque que ce problème d'intégrabilité existe même dans le cas des signaux simulés c'est à dire des signaux non enregistrés. On prend deux exemples le premier représente un signale artificiel généré par Campos-Costa & Pinto en 1999 (SEESS,2010) (Figure1.7) et le deuxième exemple représente un signal artificiel déduit à partir du spectre de réponse élastique de la composante horizontale du règlement algérien pour un PGA de 0.4g et un

amortissement à 5% (MTP,2010) (Figure1.8). Leurs déplacements calculés par une double intégration directe présentent des dérives irréalistes c'est à dire des oscillations qui se font loin de la ligne zéro.



**Figure 1.7 (a)** Signal artificiel généré par (Campos-Costa & Pinto 1999).  
**(b)** déplacement calculé par double intégration.



**Figure 1.8 (a)** Signal artificiel généré à partir du spectre de réponse élastique de la composante horizontale du règlement RPOA (MTP,2010).  
**(b)** déplacement calculé par double intégration.

Cela peut nous permettre de dire aussi que le problème d'intégrabilité peut être purement numérique et la défaillance se localise probablement dans la méthode d'intégration, les valeurs initiale et finale non nulles de l'accélération générée, l'importance des coefficients de Fourier générés aléatoirement dans la gamme des basses fréquences et la présence possible du bruit dans l'accélération considérée comme input (Zerva,2009).

## 2.1 Introduction :

Il est difficile voire impossible de connaître d'une manière exacte les causes du problème d'intégrabilité comme par exemple la quantification des amplitudes ainsi que le contenu fréquentiel des bruits qui affectent les signaux sismiques enregistrés. Cela implique la difficulté d'éliminer ces bruits pour l'obtention des signaux sismiques purs. Pour cela la philosophie des traitements existants n'est pas toujours une correction proprement dite des signaux sismiques mais plutôt une optimisation de leurs fiabilités.

A ce propos, les méthodes de correction les plus utilisées pour le traitement des signaux sismiques reposent sur le principe de correction de la ligne de base ainsi que la méthode du filtrage et autour de ces deux principales méthodes plusieurs approches de correction selon le domaine d'applications ont été développées.

## 2.2 Correction de la ligne de base :

Cette méthode est fondée sur le principe que dans des circonstances normales, la particule du sol va osciller autour de la position d'équilibre, c'est à dire la base de l'enregistrement du mouvement du sol doit être une ligne zéro. Ce n'est pas le cas dans la majorité des signaux disponibles et afin d'éliminer la référence non-zéro, une correction de référence est utilisée. Elle consiste d'ajuster la ligne de base avec un polynôme d'ordre  $n$ , puis la soustraction de cette courbe ajustée du signal brut.

Nous présentons par la figure 2.1, la figure 2.2 et la figure 2.3 respectivement les variations temporelles des accélérations, vitesses et déplacements avant et après correction de la ligne de base.

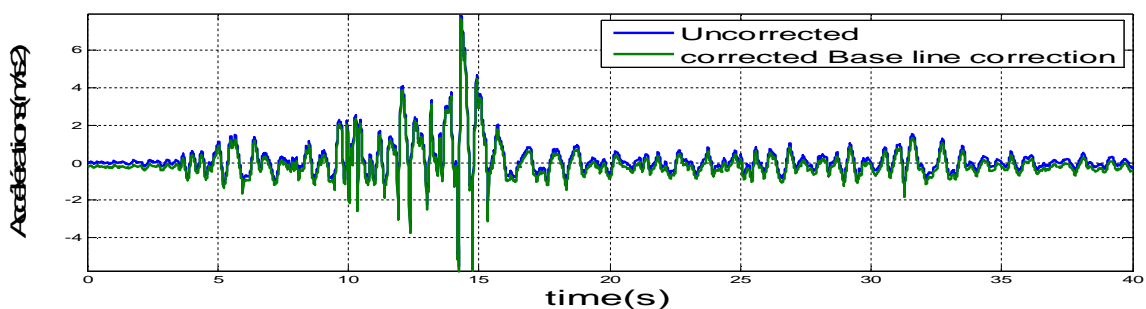


Figure 2.1 Accélérations corrigées et non corrigées du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999

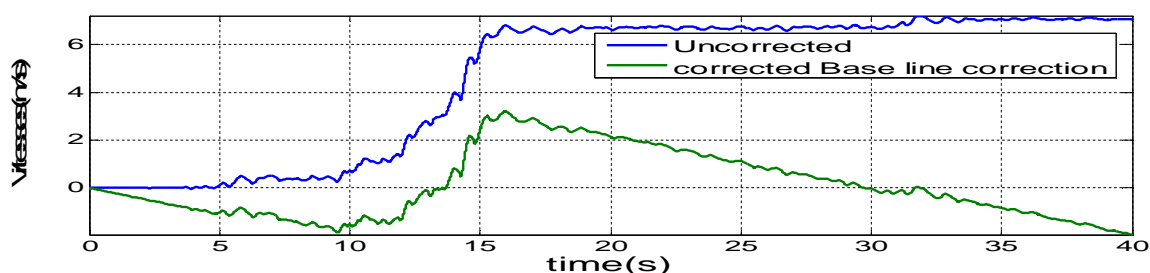
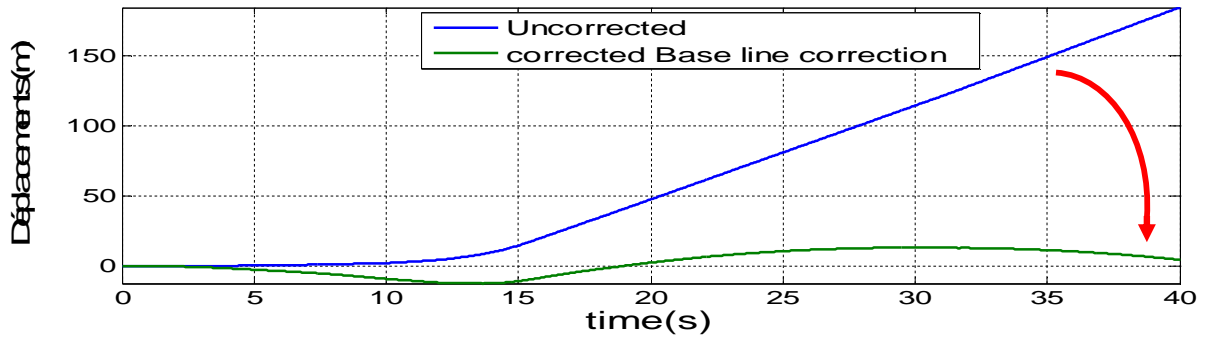


Figure 2.2 Vitesses corrigées et non corrigées du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999



**Figure 2.3** Déplacements corrigées et non corrigées du séisme CHI-CHI (Taiwan) 1999

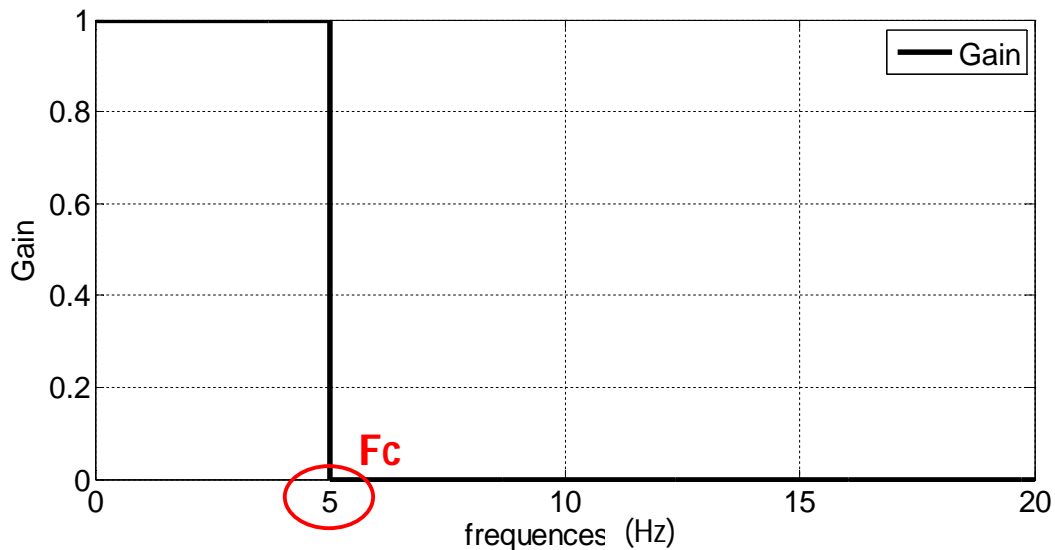
**2.3 Le filtrage:**

Le filtrage est l'une des techniques de traitement de données, Elle consiste à garder ou éliminer des fréquences du signal sismique. Il existe trois types de filtrages qui dépendent des fréquences supprimées ou gardées ; la fréquence limite entre ces deux domaines s'appelle la fréquence de coupure  $F_c$ .

**2.3.1 Les types de filtrage:**

**2.3.1.1 Filtrage Low- Pass :**

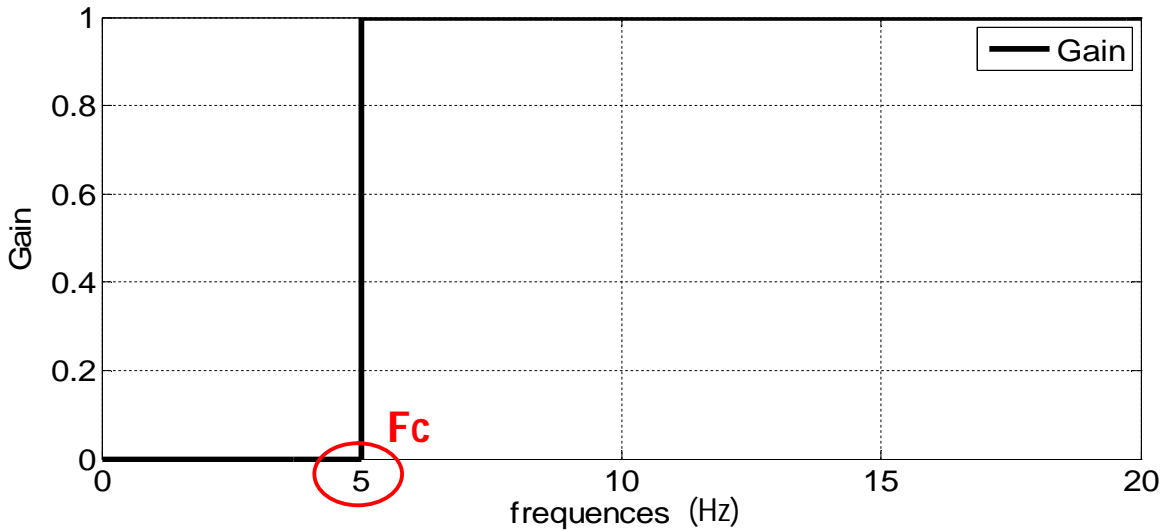
Si on considère qu'il y a un important bruit qui affecte les hautes fréquences de notre enregistrement alors on utilise un filtrage "Low -Pass", qui élimine ces hautes fréquences à partir d'une certaine limite dite la fréquence de coupure " $F_c$ " (Figure 2.4).



**Figure 2.4** Le filtre Low Pass

**2.3.1.2 Filtrage High-Pass:**

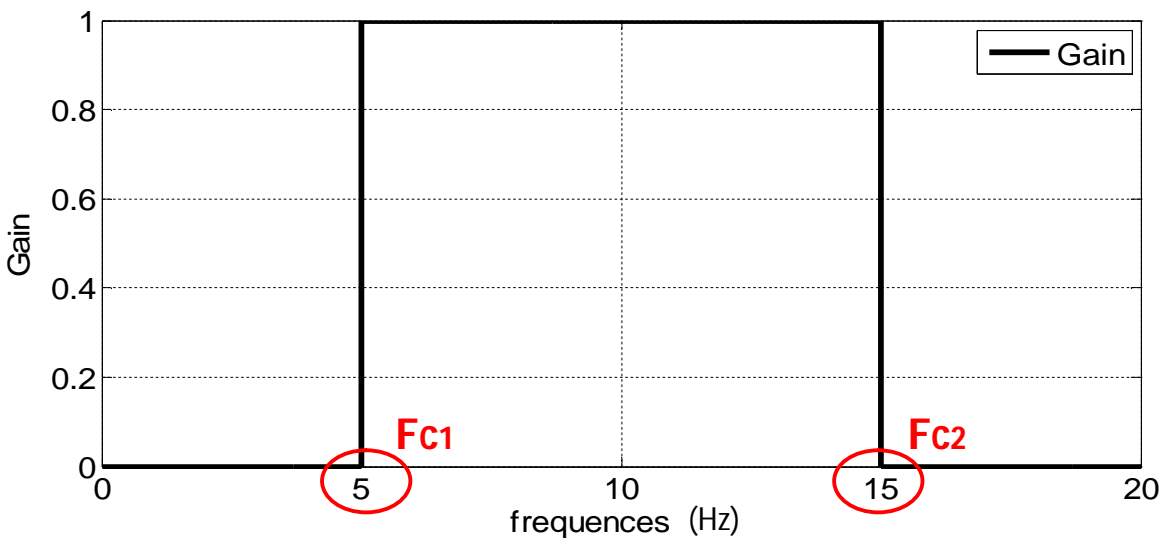
Le filtrage " High-Pass " est un traitement qui fonctionne suivant un principe similaire que celui du filtrage "Low -Pass" car il élimine les basses fréquences jusqu'à la fréquence de coupure. "Fc" (Figure 2.5).



**Figure 2.5** Le filtre Hight Pass

**2.3.1.3 Filtrage band stop et band Pass :**

Ces types de filtrages fonctionnent suivant le même principe des deux filtrages précédents c'est-à-dire le maintien ou suppression des domaines fréquentiels mais avec une petite différence qui est le raisonnement en bande ce qui nécessite deux fréquences de coupures "Fc1" et "Fc2" (Figure 2.6).



**Figure 2.6** Le filtre Band Pass / Band Stop

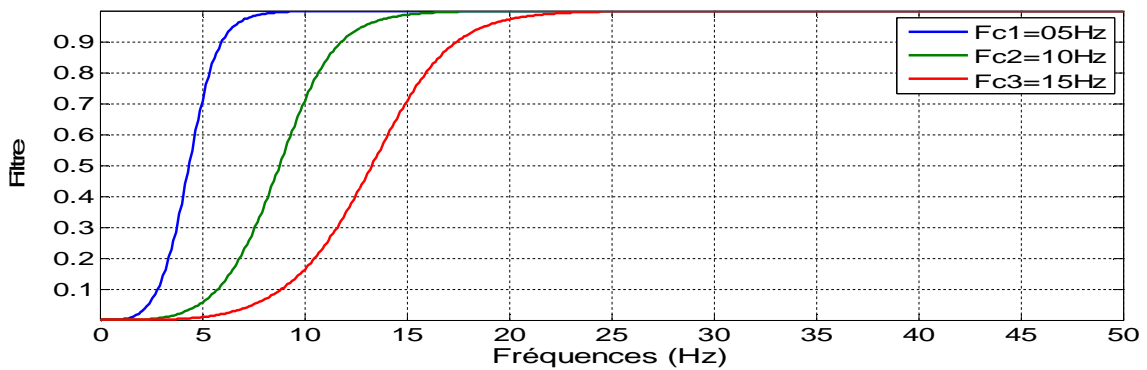


**2.3.1.4 Les fonctions de transferts:**

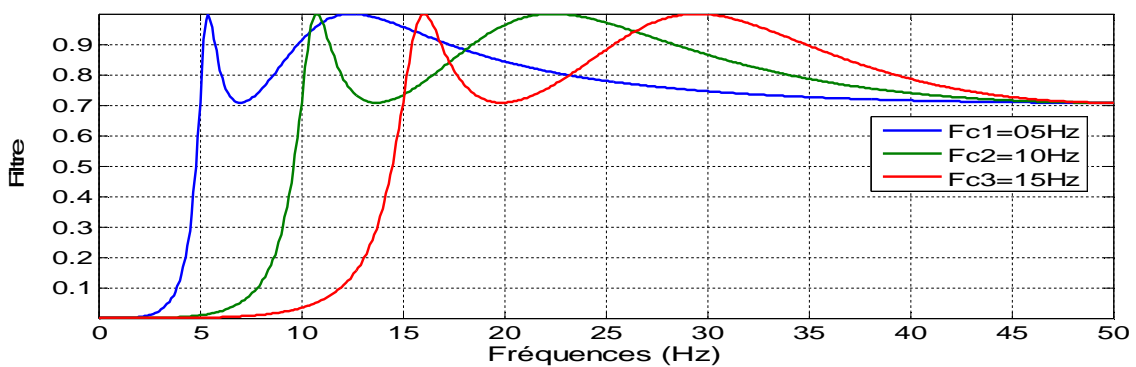
On remarque dans la figure 2.6 que la coupure se fait d'une manière brusque ce qui n'est pas le cas dans la réalité car le traitement par filtrage se fait suivant des fonctions multiples appelées des fois fonctions de transfert. Elles sont bien définies et dépendent de divers paramètres comme la fréquence de coupure et le degré connu sous le nom d'ordre du filtre.

Dans la littérature les auteurs citent plusieurs types de fonctions de transferts mais seulement à titre d'informations et non pas d'applications car la plupart ne sont pas utilisées et les principales fonctions de transferts appliquées sont la fonction Butterworth, la fonction Chebyshev et la fonction Bessel.

Les figures ci-dessous représentent un filtre High Pass combiné premièrement à une fonction de transfert Butterworth (Figure 2.7), ensuite à la fonction Chebyshev (Figure 2.8) et en dernier lieu à la fonction Bessel (Figure 2.9). L'intervalle de la représentation varie de 00Hz à 50Hz, l'ordre du filtre prend la valeur de 4 et les fréquences de coupures sont variables et prennent les valeurs de 5Hz ,10Hz et 15Hz.



**Figure 2.7** La fonction de transfert Butterworth



**Figure 2.8** La fonction de transfert Chebyshev

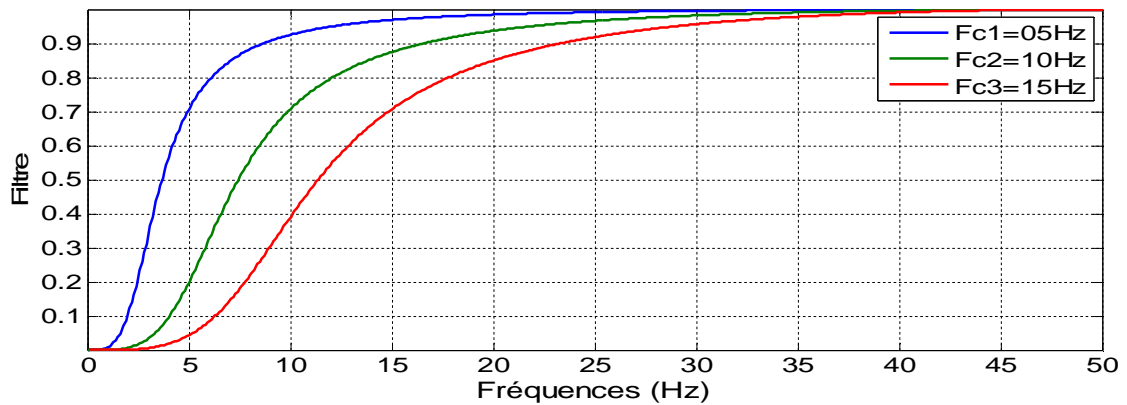


Figure 2.9 La fonction de transfert Bessel

### 2.3.2 Le choix des paramètres des filtres :

Les questions majeures qui peuvent se poser lors de l'utilisation des filtres lors du traitement des signaux sismiques sont multiples comme par exemple : le type du filtre qu'il faut utiliser et à quelle fonction de transfert faut-il le combiner. Il est aussi primordiale de préciser les valeurs des fréquences de coupures ainsi que la valeur de l'ordre de la fonction de transfert.

Pour répondre à une partie de ces interrogations (Bazzurro et al,2004) ont fait un rapport basé sur une étude statistique dans lequel ils ont essayé de voir l'influence du changement des paramètres de la fonction de transfert qui est dans ce cas la fonction Butterworth combinées à un filtre Band Pass sur les paramètres sismologiques et parasismiques qui sont considérés comme un repère possible pour la connaissance de la bonne méthode du traitement.

Cette étude statistique est faite sur une base de donnée qui se compose de 7 événements sismiques dont les magnitudes varient de 6,5 à 7,6, enregistrés à une vingtaine de stations avec leurs deux composantes parallèles et normales et sur les différents types de sols (caractérisés par leurs vitesse de cisaillement  $V_{S30}$ ) ; les distances épicentrales varient entre 200 mètres et 17 kilomètres (Tableau 2.1). Additivement à ces signaux le tremblement de terre de Kocaeli qui a été enregistré par la station de Sakarya, a été inclus dans cette base de données.

Earthquake	Year	Mag	Rupture Mechanism	Distance (Km)	Station Name	V <sub>s30</sub> (m/s)	Comp	HP (Hz)	LP (Hz)
Imperial Valley	1979	6.5	S	8.5	Brawley Airoport	209	N	0.10	40
							P	0.10	40
				1	El Centro Array#6	203	N	0.10	40
							P	0.10	40
				0.6	El Centro Array#7	211	N	0.10	40
							P	0.10	40
				14.2	Parachute Test Site	349	N	0.10	40
							P	0.10	40
Loma Prieta	1989	6.9	R (Oblique)	6.1	LGPC	466	N	0.10	
							P	0.10	
Landers	1992	7.3	S	1.1	Lucerne	685	P	0.08	60
							N	0.08	60
Kobe	1995	6.9	S	10.2	Amagasaki	256	P	0.10	40
							N	0.10	40
				0.2	Kobe University	1043	P	0.10	30
							N	0.10	30
				2.5	Port Island (0 m)	198	P	0.10	
							N	0.10	
				1.2	Takarazuka	312	P	0.13	33
							N	0.13	33
Northridge	1994	6.7	R	6.2	Jensen Filter Plant	373	P	0.20	
							N	0.20	
				7.1	Rinaldi Receiving	282	P	0.10	
							N	0.10	
Kocaeli,Turkey	1999	7.4	S	17	Arcelik	523	N	0.07	50
							P	0.07	50
				12.7	Duzce	276	N	0.08	15
							P	0.08	15
				17	Gebze	792	N	0.08	25
							P	0.08	25
				4.8	Izmit	811	P	0.10	30
							N	0.10	30

				2.6	Yarimca	297	N	0.07	50
							P	0.07	50
				3.1	Sakarya	471	P	0.04	40
Chi-Chi,Taiwan	1999	7.6	R	4.4	TCU049	N/A	P	0.02	30
							N	0.02	30
				0.2	TCU052	N/A	P	0.04	50
							N	0.04	50
				1.1	TCU068	N/A	P	0.03	50
							N	0.03	50

**Tableau 2.1** Liste de Séismes de l'étude paramétrique (Bazzurro et al,2004)

Row	Filtering Technique	Records Filtered
1	Cascade Acausal (2-pole/2-pole)	All real records (20 N,21 P)
2	Cascade Acausal (2-pole/2-pole,1.5xHP)	All real records (20 N,21 P)
3	Cascade Acausal (2-pole/3-pole)	All real records (20 N,21 P)
4	Acausal (4-pole)	All real records (20 N,21 P)
5	Acausal (4-pole,1.5xHP)	All real records (20 N,21 P)
6	Causal (4-pole)	All real records (20 N,21 P)
7	Causal (4-pole,1.5xHP)	All real records (20 N,21 P)
8	Acausal (5-pole)	All real records (20 N,21 P)
9	Causal (5-pole)	All real records (20 N,21 P)
10	CSMIP Acausal	Chi-Chi (TCU049,TCU052,TCU068) (3 N,3 P)
11	Static	Chi-Chi (TCU049,TCU052,TCU068) (3 N,3 P) Landers (Lucerne) (1 N,1 P) Kocaeli (Izmit,Yarimca,Sakarya) (2 N,3 P)
12	Acausal (5-Pole)	30 Average horizontal ground motion realizations of M7.1 event on hayward fault (5Km source to site distance). Earthquake nucleation point and fault slip were varied in each realization. High pass and Low pass corner frequencies were 0.1Hz and 50Hz,respectively.
13	Causal (5-Pole)	Same as Row 12
14	No Filter	Same as Row 12

**Tableau 2.2** Liste des filtres de l'étude paramétrique (Bazzurro et al,2004)

**2.3.2.1 L'évaluation de l'impact de la causalité :**

Afin d'évaluer l'impact de la causalité des filtres, les ratios des paramètres sismologiques et ceux des spectres élastiques et anélastiques ont été déterminés et cela après l'application premièrement des filtres Band Pass et la fonction Butterworth d'ordre 04 dans les deux mode causal et acausal (Ligne4 et la Ligne6 du Tableau2.2) et

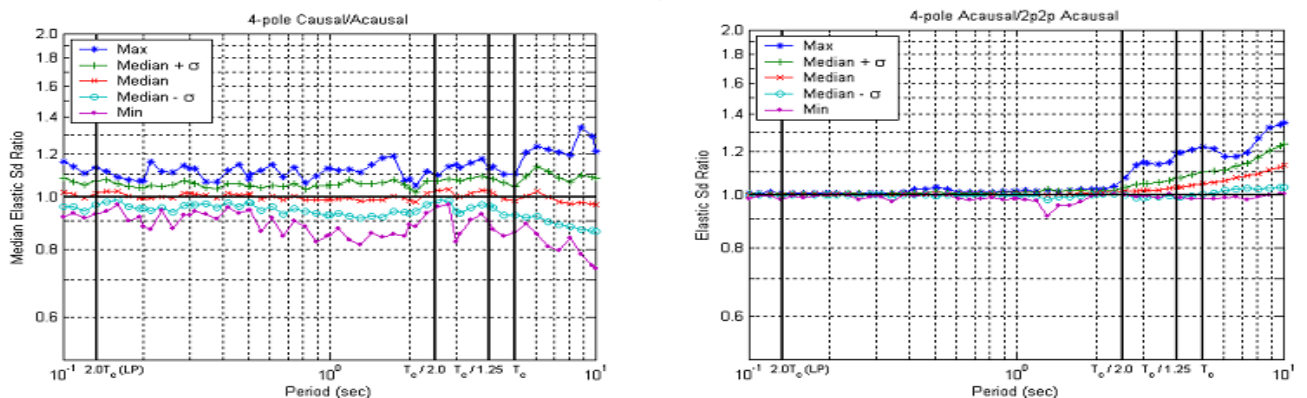
deuxièmement l'application des filtres Band Pass et la fonction Butterworth d'ordre 04 et d'ordre 02 dans le mode acausal (Ligne 4 et Ligne 1 du Tableau2.2) .Une étude comparative a été faite par la suite ( Tableau2.3 et Figure2.10).

Case	Normal					parallel				
	PGA	PGV	PGD	Arias	$T_D$	PGA	PGV	PGD	Arias	$T_D$
4 pole Causal / Acausal	1.012	0.942	0.94	1	1	1.044	0.955	0.852	0.999	0.997
4 pole Acausal / 2P 2P Acausal	1.002	1.031	1.092	1.006	1	1.003	1.049	1.06	1.008	1

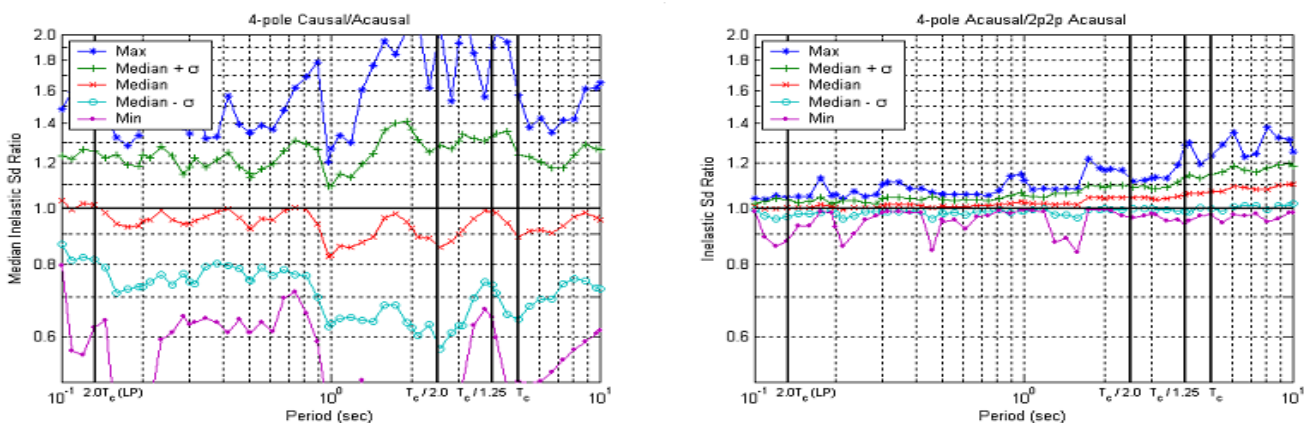
Case	R=1 (Normal)				R=8 (Normal)			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
4 pole Causal / Acausal	0.813	1.186	1.001	0.052	0.480	2.318	0.971	0.21
4 pole Acausal / 2P 2P Acausal	0.913	1.033	1.002	0.006	0.890	1.296	1.025	0.034

Case	R=4 (Normal)				R=4 (parallel)			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
4 pole Causal / Acausal	0.378	2.293	0.954	0.272	0.451	2.953	0.998	0.277
4 pole Acausal / 2P 2P Acausal	0.840	1.216	1.014	0.031	0.669	1.835	1.022	0.057

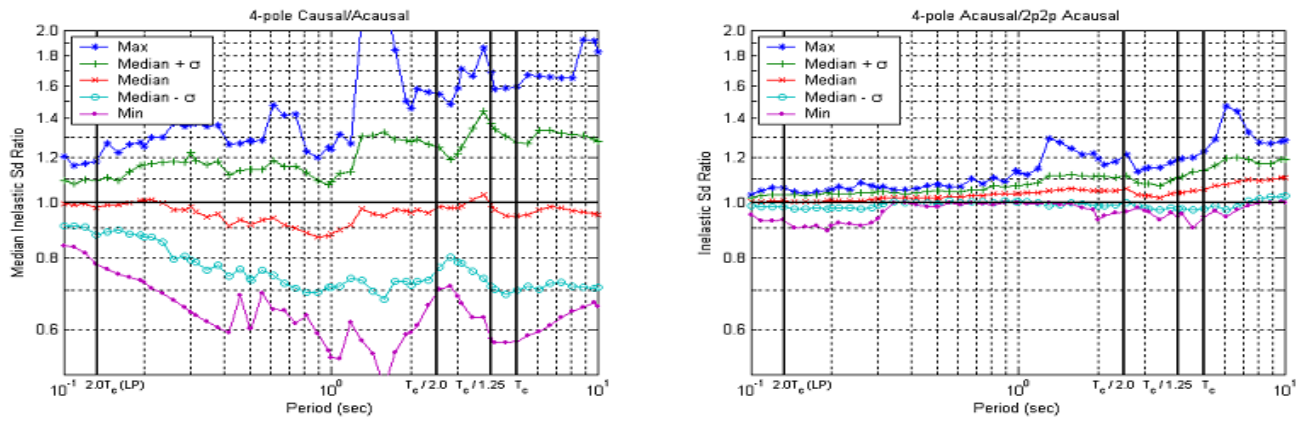
**Tableau 2.3** Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la causalité des filtres (Bazzurro et al,2004)



(a) R = 1 (Elastic)



(b) R = 4



(c) R = 8

**Figure 2.10** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques et inélastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de la causalité des filtres (Bazzurro et al,2004)

On constate globalement que la causalité a un effet remarquable sur les différents paramètres sismologiques et parasismologiques du moment que l'évolution de l'écart type reste considérable (6 à 8 fois approximativement) et les divergences dans la première application sont largement supérieures par rapport à celles de la deuxième. On remarque aussi que les spectres inélastiques de déplacement sont plus sensibles au traitement et à la causalité qu'aux spectres élastiques. Il est aussi noté que dans les deux cas les divergences sont remarquables surtout dans les grandes périodes.

**2.3.2.2 L'évaluation de l'impact de l'ordre du filtre :**

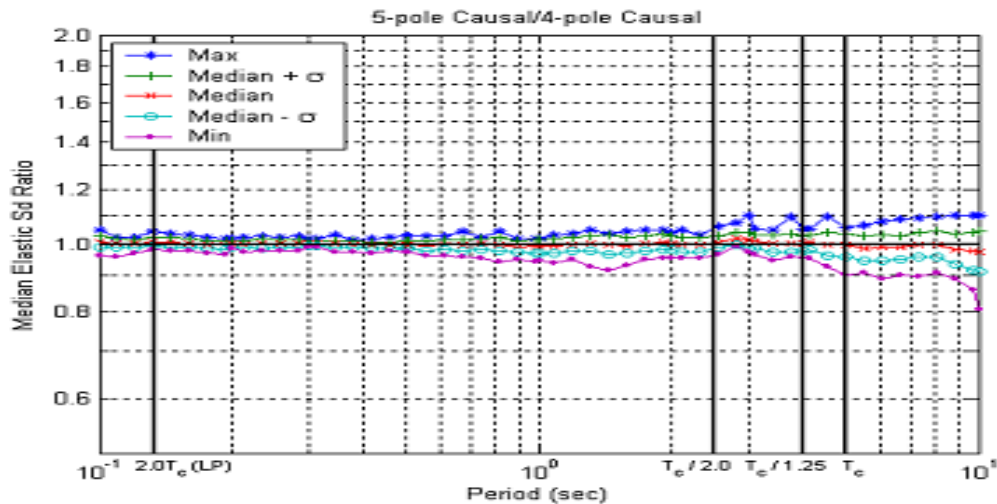
Pour l'évaluation de l'impact de l'ordre des filtres, la même démarche du passage précédent est utilisée c'est à dire l'application du filtre Band Pass et la fonction Butterworth mais avec une nouvelle variation des paramètres (Ligne 6 et la Ligne 9 du Tableau2.2), (Ligne 4 et la Ligne 8 du Tableau2.2). Les résultats obtenus sont donnés par le tableau 2.4 et la figure 2.11.

Case	Normal					parallel				
	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>
5pole Causal / 4 pole Causal	0.996	0.988	0.98	1	1.01	0.995	0.983	0.986	1	0.998
5pole Acausal / 4 Pole Acausal	1	1	1.001	1	1	1	1	1	1	1
2p3p Acausal / 2x2p Acausal	1.002	1.009	1.022	1.002	1	1.004	1.01	0.998	1.003	1.001

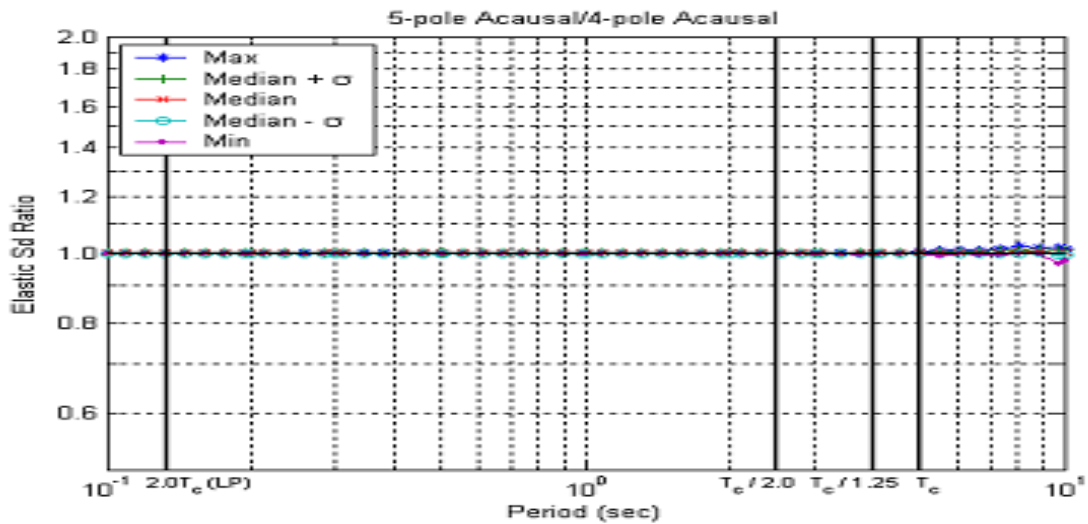
Case	R=4 (Normal)				R=4 (parallel)			
	Min	Max	Med	σ	Min	Max	Med	σ
5pole Causal / 4 pole Causal	0.739	1.459	0.991	0.087	0.662	1.344	0.995	0.083
5pole Acausal / 4 Pole Acausal	0.99	1.019	1.001	0.002	0.989	1.014	1.001	0.002
2p3p Acausal / 2x2p Acausal	0.84	1.204	1.004	0.021	0.713	1.372	1.005	0.036

Case	R=1 (Normal)				R=8 (Normal)			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
5pole Causal / 4 pole Causal	0.918	1.102	1.001	0.018	0.652	1.487	0.982	0.089
5pole Acausal / 4 Pole Acausal	0.996	1.005	1	0	0.993	1.017	1.001	0.002
2p3p Acausal / 2x2p Acausal	0.914	1.03	1	0.005	0.89	1.283	1.008	0.02

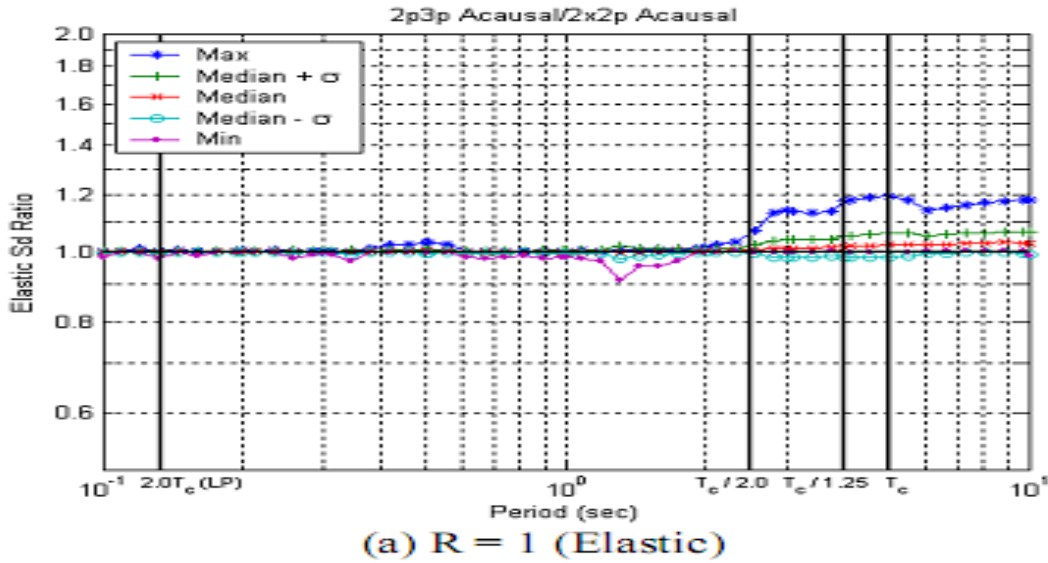
**Tableau 2.4** Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de l'ordre des filtres (Bazzurro et al,2004)



(a) R = 1 (Elastic)



(a) R = 1 (Elastic)



**Figure 2.11** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de l'ordre des filtres (Bazzurro et al,2004)

Ces résultats montrent tout d'abord que la divergence dans les paramètres sismologiques et parasismiques augmente avec l'ordre du filtre et confirment aussi les résultats du passage précédent concernant l'effet de la causalité, de l'inélasticité et les incertitudes qui existent au niveau des grandes périodes des spectres élastiques et anélastiques (tableau 2.4 et figure 2.11).

**2.3.2.3 Influence des fréquences de coupures :**

Pour l'évaluation de l'impact de la fréquence de coupure des filtres et plus exactement celle des basses fréquences  $F_{HP}$ , trois versions de filtres sont appliqués à savoir le filtre Band Pass - Butterworth -d'ordre 4 -causal (Ligne 6 du tableau2.2) , Band Pass - Butterworth - d'ordre 2- acausal (Ligne 1 du tableau2.2) et Band Pass - Butterworth - d'ordre 4 - acausal (Ligne 4 du tableau2.2) avec leurs fréquences de coupures de références d'une part et la multiplication de ces fréquences de coupures par un facteur de 1.5 d'autre part c'est-à-dire les augmenter à 50% (Ligne 7, la ligne 2 et la ligne 5 du tableau2.2).

La méthode utilisée montre que la fréquence de coupure dépend du signal sismique, elle montre aussi que l'influence de l'ordre du filtre est moindre que celle de la causalité et confirme toutes les conclusions des passages précédents (tableau2.5 et figure2.12).

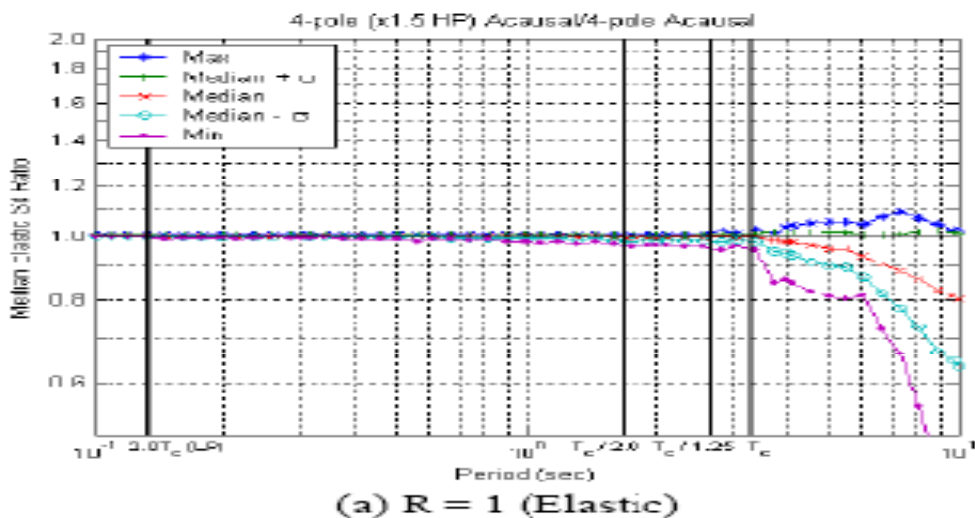
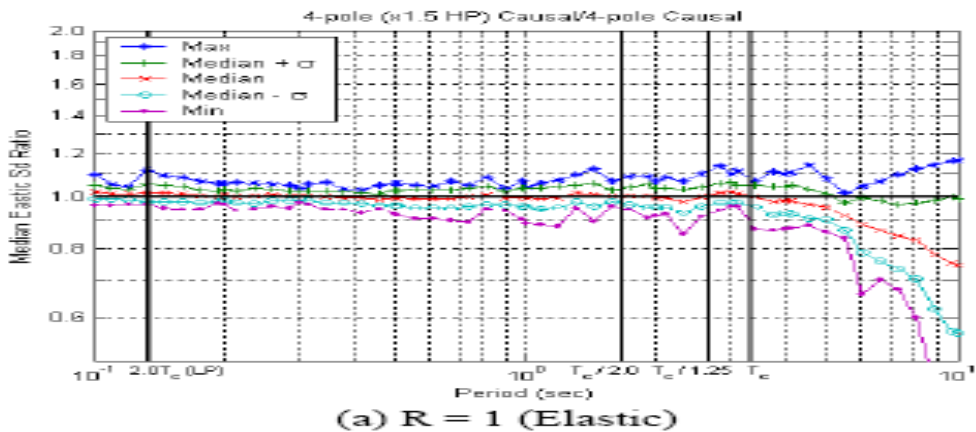
Case	Normal					parallel				
	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>
4pole (x1.5 HP) Causal / 4 pole Causal	0.992	0.963	0.855	0.995	1	0.99	0.957	0.839	0.992	0.997
4pole (x1.5 HP) Acausal / 4 pole Acausal	0.999	0.958	0.857	0.995	1	0.998	0.934	0.854	0.992	0.998
2p2p (x1.5 HP)Acausal / 2x2p Acausal	0.998	0.939	0.79	0.983	1	0.996	0.926	0.711	0.982	1

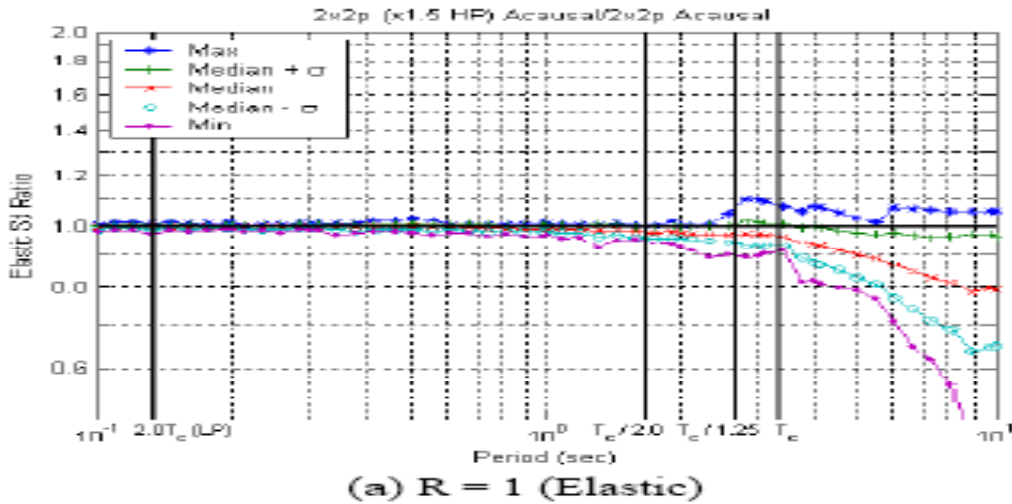


Case	R=1 (Normal)				R=8 (Normal)			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
4pole (x1.5 HP) Causal / 4 pole Causal	0.850	1.121	0.999	0.033	0.58	1.863	0.956	0.159
4pole (x1.5 HP) Acausal / 4 pole Acausal	0.950	1.021	0.998	0.006	0.683	1.17	0.969	0.051
2p2p (x1.5 HP)Acausal / 2x2p Acausal	0.921	1.028	0.995	0.009	0.749	1.201	0.944	0.067

Case	R=4 (Normal)				R=4 (parallel)			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
4pole (x1.5 HP) Causal / 4 pole Causal	0.508	1.658	0.969	0.167	0.512	1.634	0.968	0.166
4pole (x1.5 HP) Acausal / 4 pole Acausal	0.769	1.129	0.98	0.043	0.726	1.168	0.978	0.041
2p2p (x1.5 HP)Acausal / 2x2p Acausal	0.758	1.129	0.969	0.056	0.635	1.394	0.963	0.082

**Tableau 2.5** Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la fréquence de coupure des filtres (Bazzurro et al,2004)



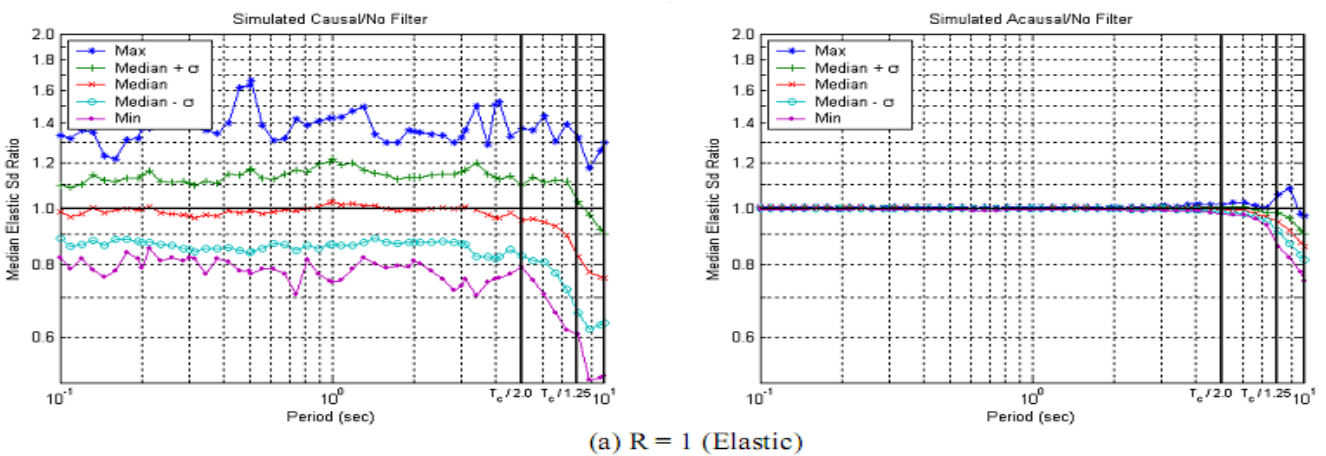


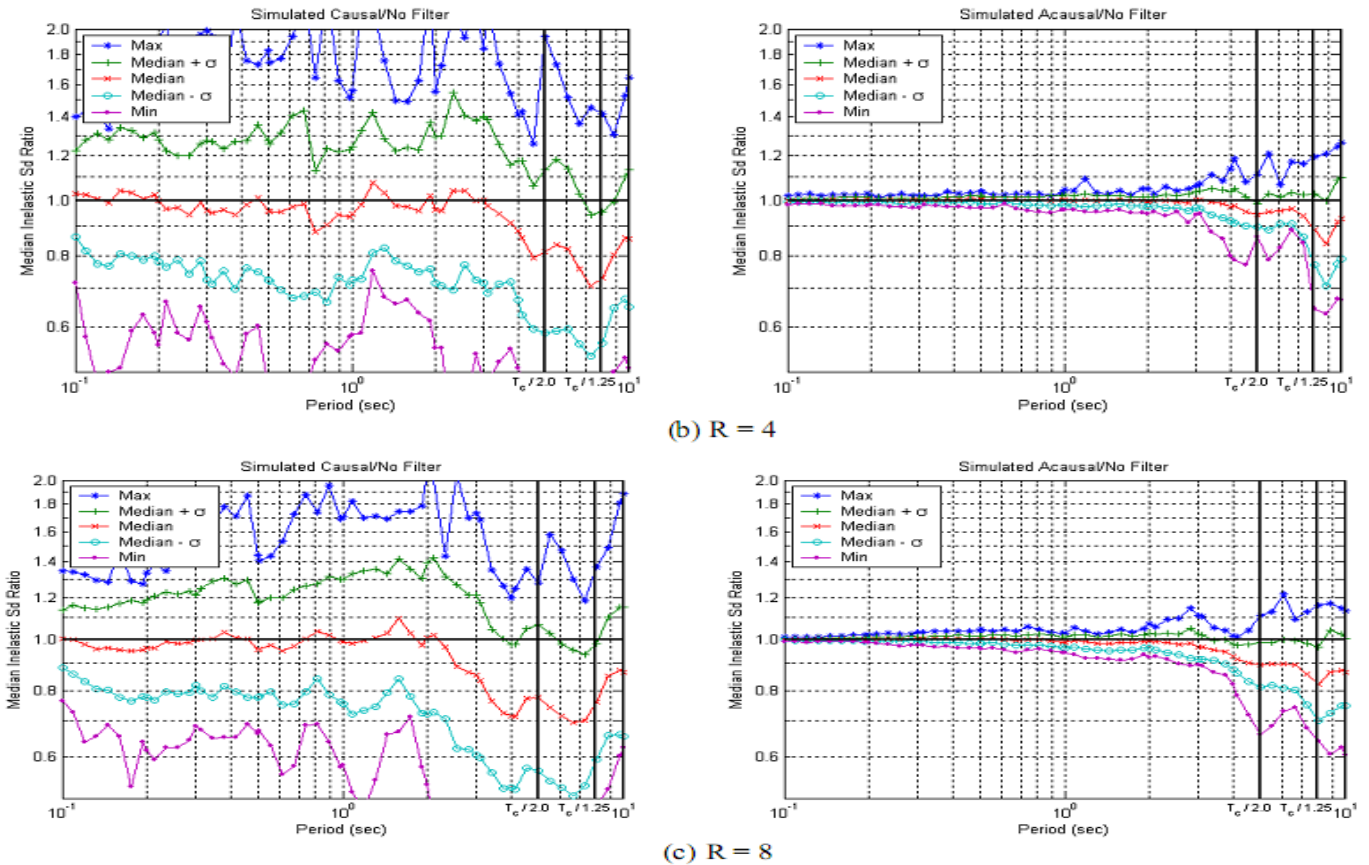
**Figure 2.12** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de la fréquence de coupure des filtres (Bazzurro et al,2004)

**2.3.2.4 Le filtrage dans le cas des signaux simulés:**

Dans ce qui précède, les auteurs ont traité le cas du traitement des signaux sismiques réels c'est à dire enregistrés ce qui n'est pas forcément représentatif pour le cas des signaux simulés. Pour cela ils ont enrichi leurs rapports par l'évaluation de l'impact du traitement filtrage dans le cas des signaux sismiques simulés en appliquant deux versions de filtres à savoir le filtre Band Pass-Butterworth- d'ordre 5-Causal (Ligne13 du tableau2.2) et Band Pass-Butterworth- d'ordre 5-Acausal (Ligne 12 du tableau2.2).

Les signaux sismiques simulés non filtrés sont considérés comme référence et se sont générés par la méthode (Silva,1997). Les résultats de cette étude sont montrés dans la figure2.13 et le tableau2.6 . On remarque également que les paramètres du filtre ont une influence sur ces résultats.





**Figure 2.13** L'évolution des ratios des spectres de réponses élastiques en termes de déplacements reflétant l'influence de la causalité des filtres dans le cas signaux simulés (Bazzurro et al,2004)

Case	Average				
	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>
Simulated 5 pole Acausal / No filter	1	0.976	0.833	0.999	1.001
Simulated 5 pole Causal / No filter	1	0.989	0.818	0.977	0.994

Case	R=1				R=4			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
Simulated 5 pole Acausal / No filter	0.747	1.081	0.991	0.007	0.631	1.264	0.986	0.034
Simulated 5 pole Causal / No filter	0.616	1.666	0.986	0.144	0.364	2.372	0.954	0.28

Case	R=8			
	Min	Max	Med	$\sigma$
Simulated 5 pole Acausal / No filter	0.603	1.217	0.969	0.042
Simulated 5 pole Causal / No filter	0.33	2.108	0.932	0.259

**Tableau 2.6** Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la causalité des filtres dans le cas signaux simulés (Bazzurro et al,2004)

**2.3.2.5 Etude des déplacements résiduels :**

Cette étude concerne surtout les sites avoisinants de la faille c'est-à-dire les points qui se trouvent à des rayons moins de 5Km du moment que ces derniers se caractérisent par la présence des déplacements résiduels. Les signaux concernés par cette étude sont mentionnés dans le tableau 2.7 ci dessous.

Earthquake	Station	Static Residual Displacement (cm)	
		Normal component	parallel component
Landers	Lucerne	193.5	71.7
Kocaeli	Izmit	43.0	15.2
Kocaeli	Yarimca	166.6	70.0
Kocaely	Sakarya	N/A	178.2
Chi Chi	TCU 049	13.2	27.2
Chi Chi	TCU 052	14.4	46.0
Chi Chi	TCU 068	497.4	713.8

**Tableau 2.7** Liste de Séismes concernant l'étude des déplacements résiduels

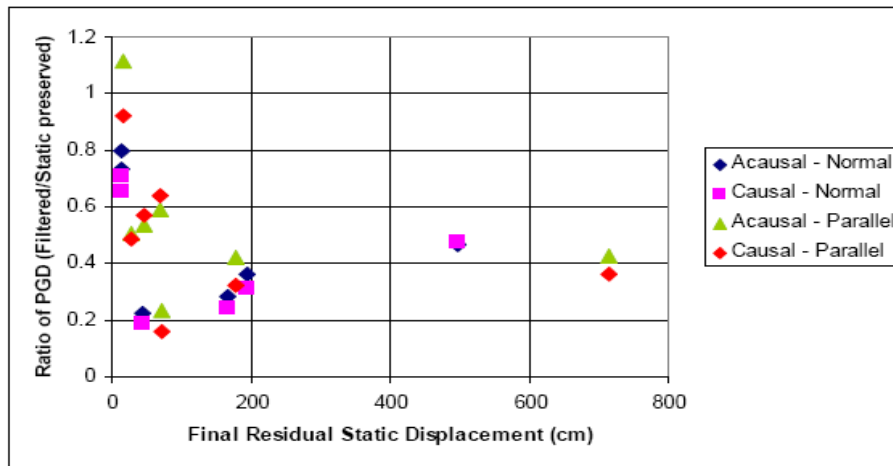
Ces signaux sont traités en utilisant trois procédés. La première s'appelle la méthode statique qui veut dire l'utilisation de la correction de la ligne de base plus un filtrage Low Pass-Butterworth avec une fréquence de coupure égale à 50HZ (Ligne 11 du tableau 2.2) la deuxième concerne l'application d'un filtre Band Pass-Butterworth- d'ordre 4- causal (Ligne 6 du tableau 2.2) et la troisième concerne l'application du filtre Band Pass-Butterworth- d'ordre 4-Acausal (Ligne 4 du tableau 2.2). Les résultats montrent que ces traitements apportent une influence importante pour quelques paramètres sismologiques comme le PGD (50%), PGV (15% à 20%) et moins de 10% pour le PGA. contrairement aux précédents cas les traitements influent sur les spectres non seulement aux grandes périodes (4s à 6 s) mais aussi à des périodes plus courtes (0.5s à 1s).

Case	Normal					parallel				
	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>	PGA	PGV	PGD	Arias	T <sub>D</sub>
4pole Acausal / Static	0.911	0.846	0.429	0.956	1.03	1.055	0.951	0.497	1.038	0.954
4pole Causal / Static	0.941	0.778	0.384	0.956	1.03	1.088	0.893	0.436	1.037	0.959

Case	R=1 (Normal)				R=8 (Normal)			
	Min	Max	Med	σ	Min	Max	Med	σ
4pole Acausal / Static	0.322	1.666	0.95	0.23	0.22	2.095	0.852	0.412
4pole Causal / Static	0.422	1.725	0.954	0.22	0.241	2.106	0.836	0.431

Case	R=4 (Normal)				R=4 (parallel)			
	Min	Max	Med	$\sigma$	Min	Max	Med	$\sigma$
4pole Acausal / Static	0.299	2.234	0.877	0.324	0.522	3.365	1.067	0.33
4pole Causal / Static	0.326	2.79	0.831	0.393	0.413	2.661	1.055	0.338

**Tableau 2.8** Les moyennes des ratios des paramètres sismologiques et parasismiques reflétant l'influence de la causalité des filtres



**Figure 2.14** L'évolution des ratios des PGD relatifs aux traitements appliqués

**2.4 Autres approches de traitement des signaux sismiques:**

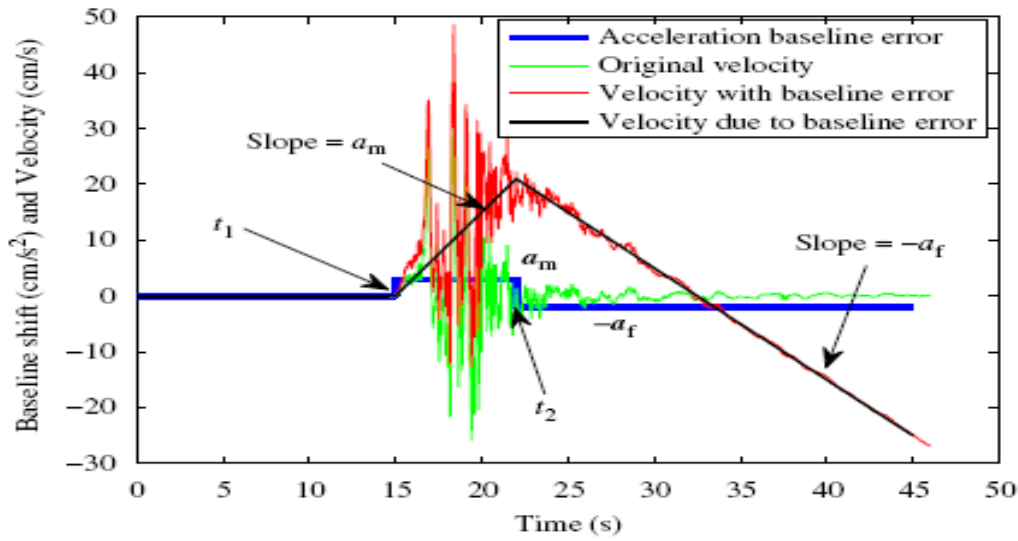
Il est noté précédemment qu'il existe deux principales méthodes pour le traitement des signaux sismiques qui sont la correction de la ligne de base et le filtrage et autour de ces deux méthodes plusieurs approches de correction selon le domaine d'application ont été développées comme (Jiong et al ,2004),(Yang,2006),(Stiros,2008),(Rupakhety,2010) (Sigurdsson et al ,2011),(Coelho et al,2011)...ect...

**2.4.1 Ajustement de la ligne de base des signaux sismiques, un schéma alternatif au filtrage passe-haut (Sigurdsson et al [2011]) :**

Dans ce travaille les auteurs présentent un processus itératif considéré comme une alternative au principe du filtrage. Les auteurs considèrent que ce dernier est traditionnel et qui contient plusieurs défauts, essentiellement la suppression d'une partie importante du signal enregistré ainsi que le choix des fréquences de coupures.

Ce processus consiste : premièrement à repérer des instants  $t_i$ , où  $t_0$  représente le début d'enregistrement,  $t_1$  le début des secousses fortes,  $t_2$  un instant à déterminer dans la suite

du présent calcul (le paramètre de l'itération) ,  $t_3$  le début du post événement ,  $t_{end}$  le temps qui correspond à la fin de l'enregistrement (Figure 2.15).



**Figure 2.15** Vitesses du séisme Olfus 2008 (Sigurdsson et al ,2011)

✓ La deuxième étape est le calcul des déplacements par une intégration directe puis la formation d'un polynôme d'ordre deux (une forme quadratique) basé sur la dernière partie de ce signal calculé ( equ(1) ).

$$f(t) = At^2 + B(t) + c \quad t_2 \leq t \leq t_{end} \quad (1)$$

✓ Troisièmement, le calcul de deux paramètres  $a_m$  et  $a_f$  appelés paramètres d'ajustement dont leurs formules sont citées ci dessous :

$$a_m = \frac{f'(t_2)}{t_2 - t_1} = \frac{2At_2 + B}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

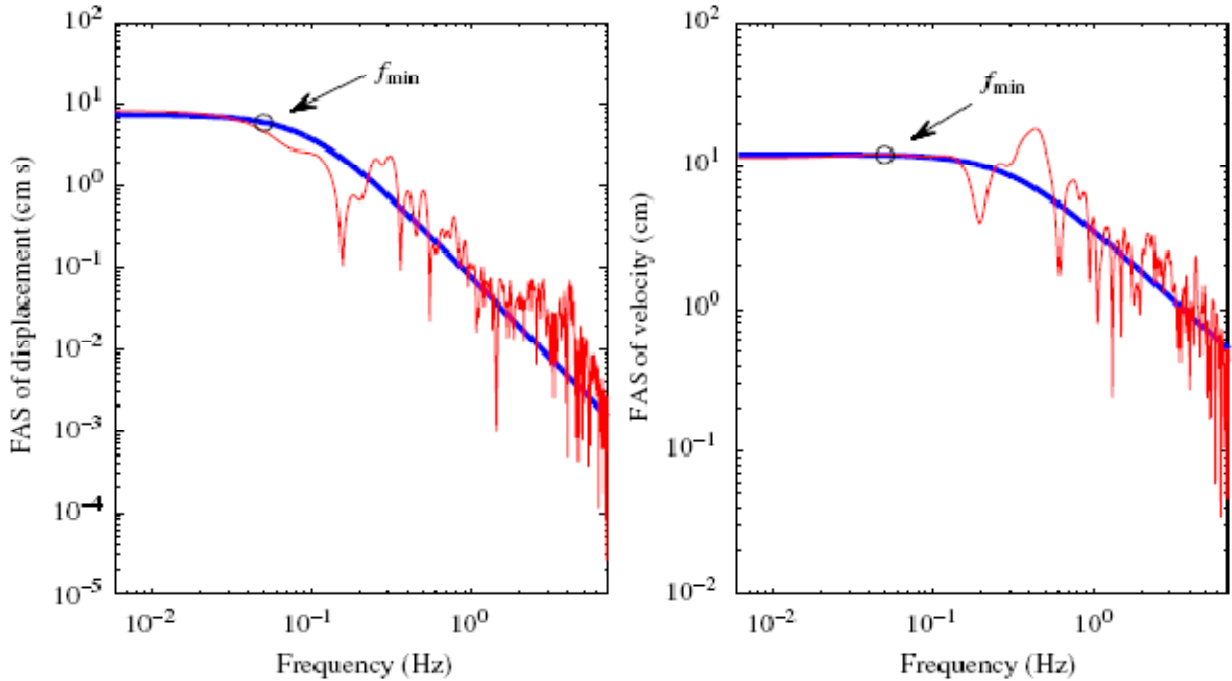
$$a_f = f''(t_2) = 2A \quad (3)$$

✓ Quatrièmement, le calcul de l'accélération ajustée  $a_c(t)$  suivant les formules citées ci dessous et dont l'intégration directe produit les vitesses et les déplacements ajustés :

$$\begin{aligned} a_c(t) &= a_r(t) & t_0 \leq t \leq t_1 \\ a_c(t) &= a_r(t) - a_m & t_1 \leq t \leq t_2 \quad (4) \\ a_c(t) &= a_r(t) - a_f & t_2 \leq t \leq t_{end} \end{aligned}$$

$a_r(t)$  représente le signal d'accélération non traité.

- ✓ Cinquièmement, le calcul du spectre de Fourier du signal des déplacements ajustés (Figure 2.16).



**Figure 2.16** Spectres de Fourier relatifs aux vitesses et déplacements du séisme Olfus 2008

- ✓ Sixièmement, le calcul du coefficient de planéité  $\phi$  à partir du spectre de Fourier du signal des déplacements ajustés et dont sa formule est citée ci dessous:

$$\phi = \frac{|r|}{|b| * \sigma} \quad (5)$$

$|r|$  représente un coefficient de corrélation,  $|b|$  représente la pente et  $\sigma$  représente l'écart type.

Ces étapes sont répétées pour plusieurs valeurs de  $t_2$  compris entre  $t_1$  et  $t_3$ . La valeur ultime de  $t_2$  correspond à un coefficient de planéité maximale car cela reflète que le bruit qui affecte les basses fréquences est minimale.

Pour la validation de cette méthode de traitement, trois signaux sismiques (séisme de Olfus (2008), séisme de Christchurch (2011) et le séisme de Tohoku-Kanto (2011)) ont été traités par cet algorithme (Sigurdsson et al ,2011) et les résultats finaux sont jugés satisfaisants car les signaux de déplacements ajustés sont stables (figure 2.17, figure 2.18 et figure 2.19).

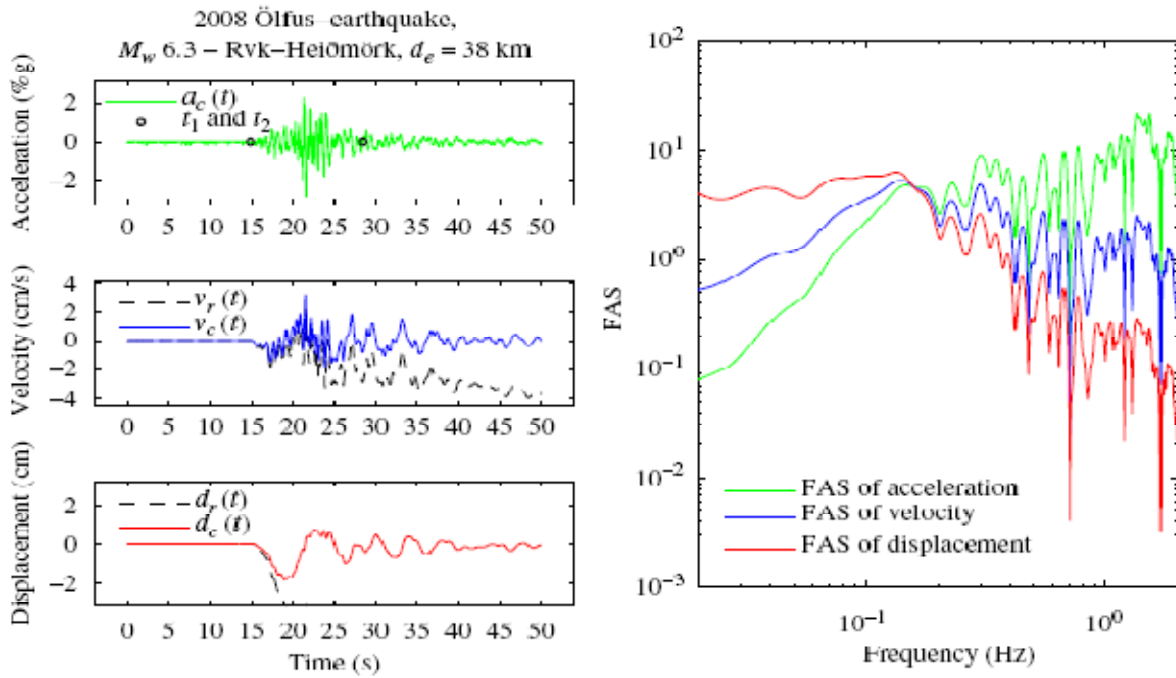


Figure 2.17 Séisme Ölfus 2008 (Sigurdsson et al ,2011)

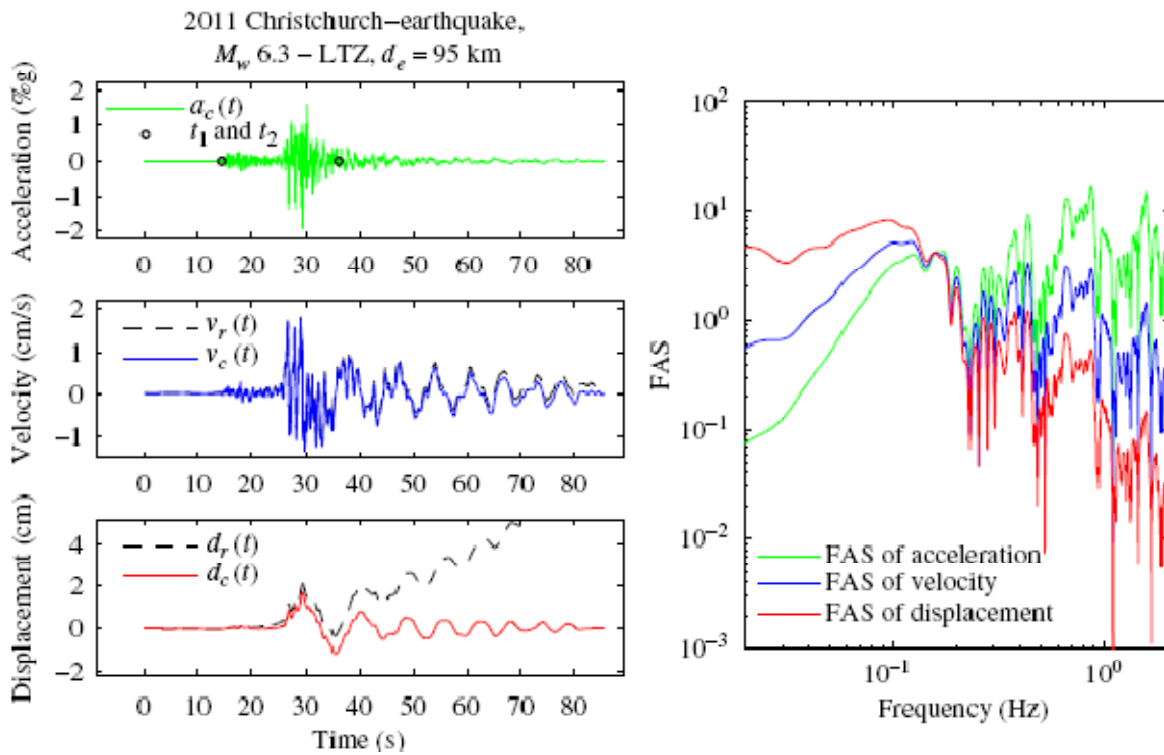
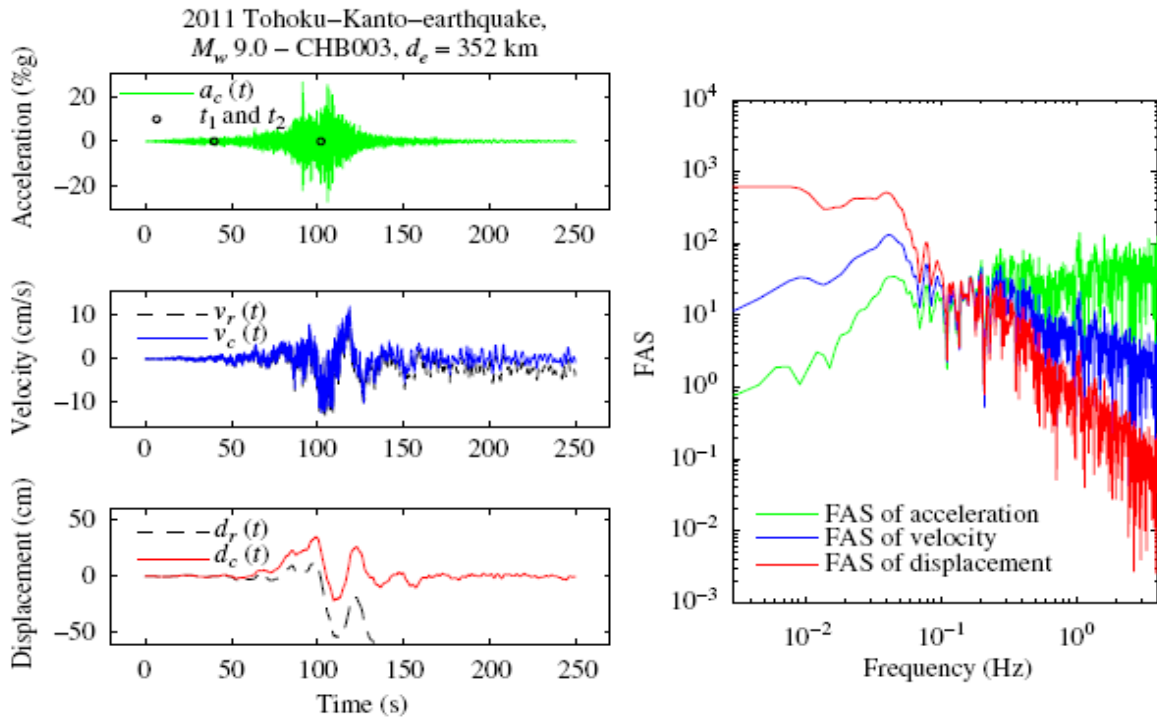


Figure 2.18 Séisme Christchurch 2011 (Sigurdsson et al ,2011)

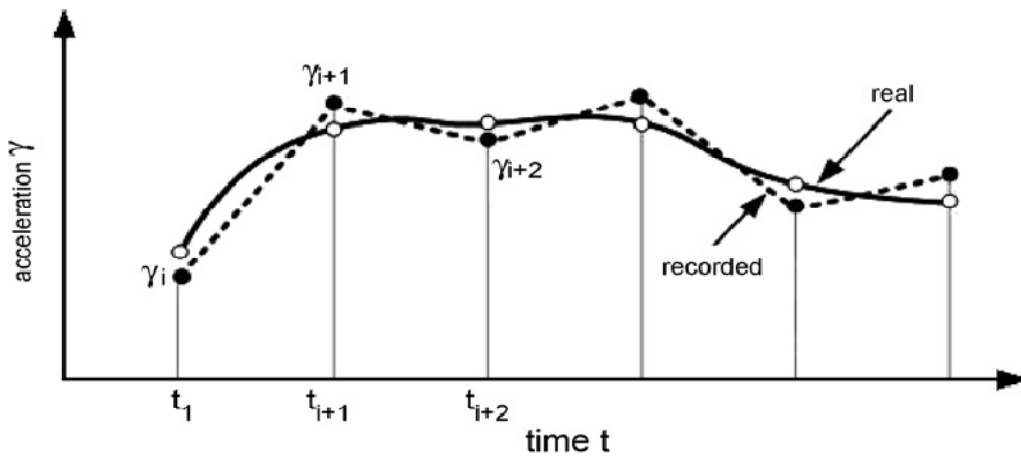




**Figure 2.19** séisme Tohoko-Kanto 2001 (Sigurdsson et al ,2011)

**2.4.2 Erreurs dans les vitesses et les déplacements déduits des accélérographes, une approche basée sur la théorie de la propagation des erreurs (Stiros [2008]) :**

Dans cet article l'auteur présente une réponse purement théorique au problème d'intégrabilité en se basant sur la loi de propagation des erreurs. Cette loi est fondée sur l'hypothèse de l'existence de petites et aléatoires différences ponctuelles  $\Delta\gamma_i$  entre le signal d'accélération enregistré et le signal d'accélération réel (Figure2.20). Ces différences seront par la suite amplifiées en  $\Delta v_i$  et  $\Delta u_i$  qui sont des erreurs ponctuelles relatives respectivement aux signaux des vitesses et des déplacements calculés à partir des accélérations.



**Figure 2.20** Différences ponctuelles  $\Delta\gamma$  entre le signal d'accélération enregistré et le signal d'accélération réel (Stiros [2008])

Les erreurs ponctuelles des accélérations  $\Delta\gamma_i$  suscitées peuvent être représentées par leurs écarts type  $\sigma_\gamma$  qui est un paramètre connu puisque c'est une caractéristique typique à l'instrument de mesure tandis que l'écart type  $\sigma_v$  des erreurs des vitesses  $\Delta v_i$  et l'écart type  $\sigma_u$  des erreurs des déplacements  $\Delta u_i$  doivent être estimés et cela suivant la méthode expliquée ci dessous:

✓ On calcule les vitesses et les déplacements par une intégration directe des accélérations on utilisant la similitude qui existe entre le calcul des intégrales et le calcul des bandes de surfaces (Figure2.20) :

$$v_v = \sum_{i=1}^v \tau \gamma_i \quad (6)$$

$$u_v = \sum_{i=1}^v \tau v_i \quad (7)$$

Où  $v$  : le nombre des bandes

$\tau$  : la longueur des bandes

✓ A partir des deux équations précédentes on établit une relation directe entre les déplacements et les accélérations (intégration par sommation).

$$u_v = \sum_{i=1}^v \tau v_i = \tau (v_1 + v_2 + \dots + v_v)$$

$$u_v = \tau [\tau\gamma_1 + \tau(\gamma_1 + \gamma_2) + \dots + \tau(\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_v)]$$

$$u_v = \tau^2 [v\gamma_1 + (v - 1)\gamma_2 + \dots + \gamma_v]$$

$$u_v = \tau^2 \sum_{i=1}^v (v + 1 - i) \gamma_i \quad (8)$$

✓ Si on considère d'une manière générale une fonction quelconque  $f = f(x_1, x_2, \dots, x_v)$ , son écart type est égale à:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^v \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (9)$$

Où  $\sigma_{x_i}$  : l'écart type de la variable  $x_i$

✓ En appliquant cette dernière formule, on calcule l'écart type des vitesses  $\sigma_v$ ,

$$\sigma_v^2 = \sum_{i=1}^v \left(\frac{\partial v}{\partial \gamma_i}\right)^2 \sigma_{\gamma_i}^2$$

$$\sigma_v^2 = \sum_{i=1}^v \tau^2 \sigma_{\gamma_i}^2$$

$$\sigma_v^2 = v\tau^2 \sigma_\gamma^2 \quad (10)$$

Si on considère que  $T = \tau v$

$$\sigma_v = \frac{T \sigma_\gamma}{\sqrt{v}} \quad (11)$$

✓ En appliquant cette même méthode de calcul, on estime l'écart type des déplacements  $\sigma_u$

$$\sigma_u^2 = \sum_{i=1}^v \left(\frac{\partial u}{\partial \gamma_i}\right)^2 \sigma_{\gamma_i}^2$$

$$\sigma_u^2 = v\tau^4 \sigma_\gamma^2 \sum_{i=1}^v (v + 1 - i)^2 \quad (12)$$

Il faut savoir que :

$$\sum_{i=1}^v (v + 1 - i)^2 \simeq \frac{1}{3} v^3 \quad (13)$$

Car :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^v (v + 1 - i)^2 &= \sum_{i=1}^v (v^2 + 1^2 + i^2 + 2v - 2vi - 2i) \\ &= v v^2 + v 1 + \sum_{i=1}^v i^2 + v 2v - 2v \sum_{i=1}^v i - 2 \sum_{i=1}^v i \\ &= v^3 + v + \frac{1}{6} v(v + 1)(2v + 1) + 2v^2 - v^2(v + 1) - v(v + 1) \\ &= v(2v^2 + 3v + 1)/6 \\ &= \frac{1}{3} v^2 \left(v + \frac{1}{2} + \frac{1}{v}\right) \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^v (v + 1 - i)^2 = \frac{1}{3} v^2 \left(v + \frac{1}{2} + \frac{1}{v}\right) \quad (14)$$

Et :

$$\sum_{i=1}^{\nu} i = \frac{\nu(\nu + 1)}{2} \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{\nu} i^2 = \frac{\nu(\nu + 1)(2\nu + 1)}{6} \text{ si } \nu \neq 0 \quad (16)$$

Donc :

$$\sigma_u^2 \simeq \nu \tau^4 \sigma_y^2 \frac{1}{3} \nu^3 \quad (17)$$

$$\sigma_u \simeq 0.6 T^2 \sigma_y \quad (18)$$

### **2.4.3 Amélioration de la procédure d'intégration à travers une soustraction spectrale (Coelho et al [2011]):**

Le présent travail présente une approche de traitement des signaux sismiques appelée la méthode de la soustraction spectrale qui consiste à estimer un signal d'accélération réel  $\hat{X}$  dont sa phase est égale à celle du signal mesuré  $\bar{X}$  et ses amplitudes sont obtenues par une soustraction dans le domaine fréquentiel des amplitudes du signal mesuré  $\bar{X}$  et la valeur moyenne  $\mu$  du signal des bruits enregistrés lors de la période silence.

$$|\hat{x}(e^{-j\omega})| = |\bar{x}(e^{-j\omega})| - |\mu(e^{-j\omega})| \quad (19)$$

Il faut noter que dans le cas où les résultats de cette soustraction sont négatifs, ces derniers sont remplacés par la valeur zéro ce qui est exprimé dans la formule ci dessous:

$$|\hat{x}(e^{-j\omega})| = 0 \quad \text{si } |\bar{x}(e^{-j\omega})| < |\mu(e^{-j\omega})| \quad (20)$$

Concernant le signal des vitesses  $\hat{Y}$  et le signal des déplacements  $\hat{Z}$ , ils sont obtenus en utilisant les intégrations fréquentiels:

$$\hat{y} = \frac{\hat{x}(e^{-j\omega})}{j\omega} \quad (21)$$

$$\hat{z} = \frac{\hat{x}(e^{-j\omega})}{-\omega^2} \quad (22)$$

Pour la validation de cette méthode de traitement, l'auteur a fait deux applications. La première concerne le cas d'un signal artificiel tandis que la deuxième concerne le cas d'un signal enregistré :

- ✓ Pour le premier cas le signal artificiel d'accélération  $\bar{x}$  est égal à la somme d'un signal brut  $x(n)$  et un signal de bruit  $\xi(n)$  (Figure 2.21):

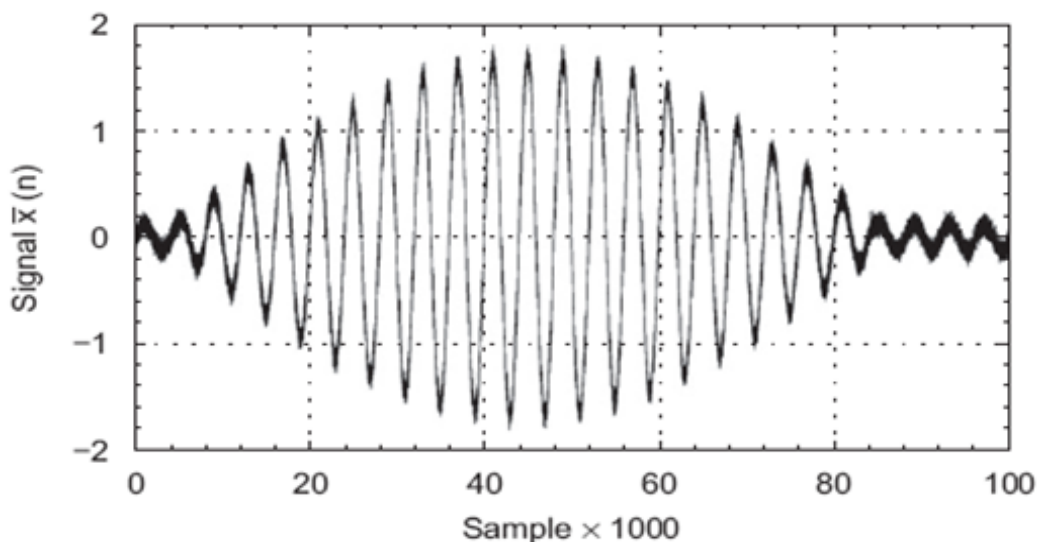
$$\bar{x}(n) = x(n) + \xi(n) \quad (23)$$

Où:

$$x(n) = \frac{\pi}{2} \left[ \cos \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{80} \right] \quad (24)$$

Et

$$\xi(n) = N(0,0.04) + \frac{1}{4} \sin \left( \frac{n\pi}{2} - \frac{\pi}{8} \right) \quad (25)$$



**Figure 2.21** Signal d'accélération artificiel  $\bar{x}(n) = x(n) + \xi(n)$  (Coelho et al ,2011)

Les signaux des vitesses et des déplacements sont estimés on utilisant trois méthodes différentes. La première représente le calcul analytique dit exacte, la deuxième représente l'intégration numérique avec filtrage et la troisième représente la méthode de la soustraction spectrale.

Une étude comparative est faite par la suite et cela dans le but de montrer que la présente méthode c'est à dire la méthode de la soustraction spectrale est plus proche du calcul analytique, ce qui implique que son exactitude est supérieure à celles des deux autres méthodes (figure 2.22 , figure 2.23 , figure 2.24 , figure 2.25 et tableau 2.9).

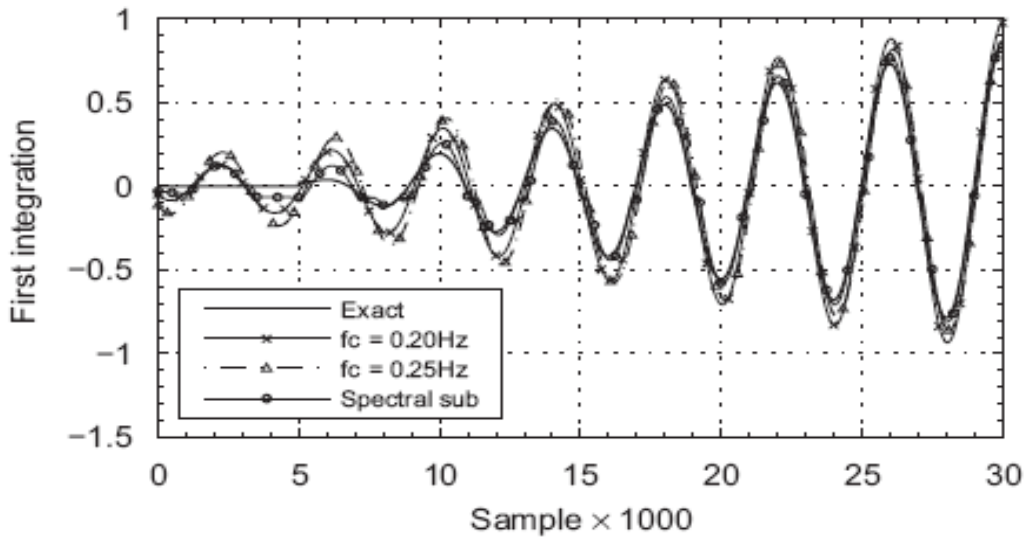


Figure 2.22 Signaux des vitesses dans le domaine temporel (Coelho et al ,2011)

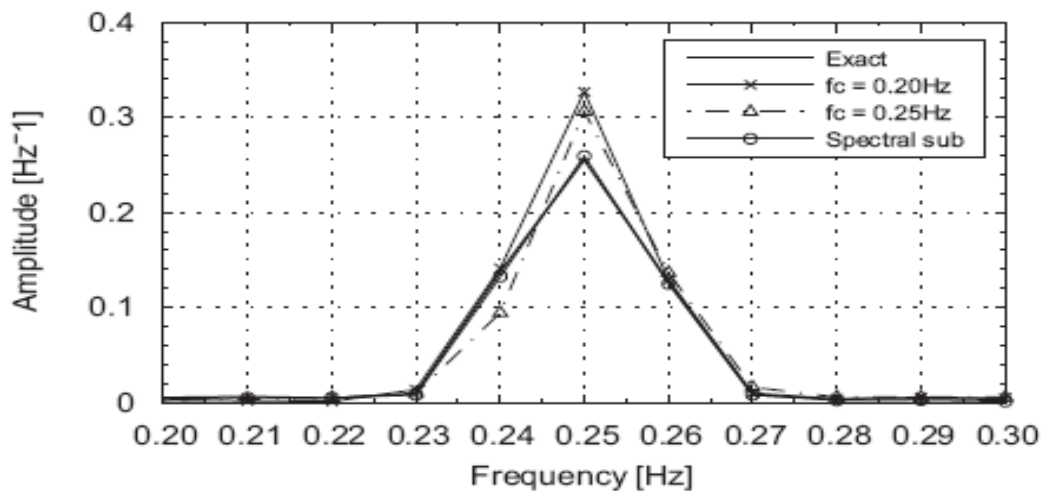


Figure 2.23 Signaux des vitesses dans le domaine fréquentiel(Coelho et al ,2011)

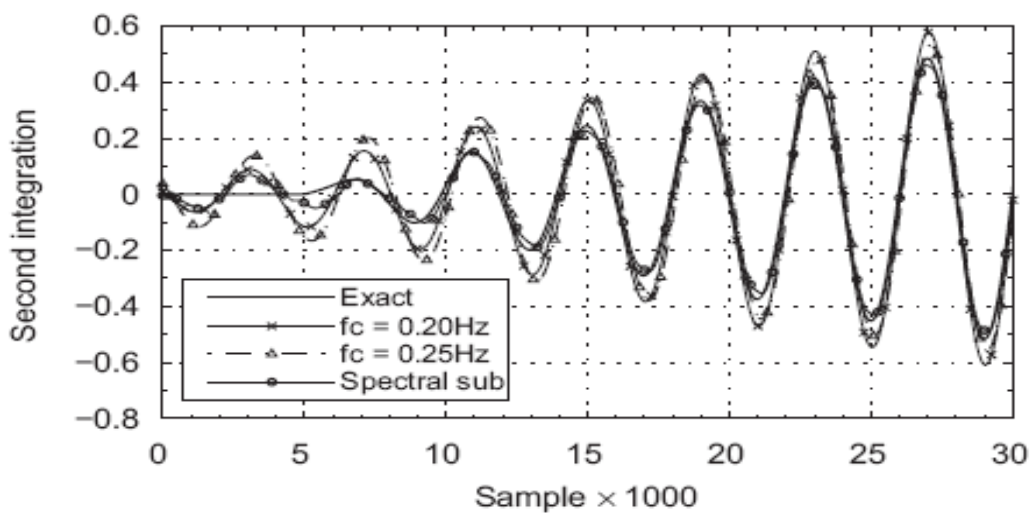
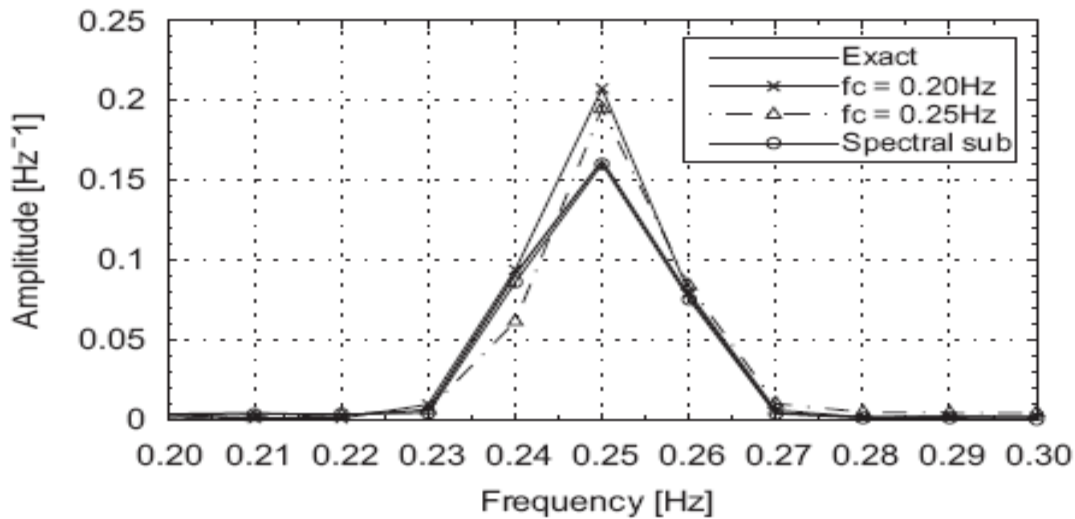


Figure 2.24 Signaux des déplacements dans le domaine temporel (Coelho et al ,2011)

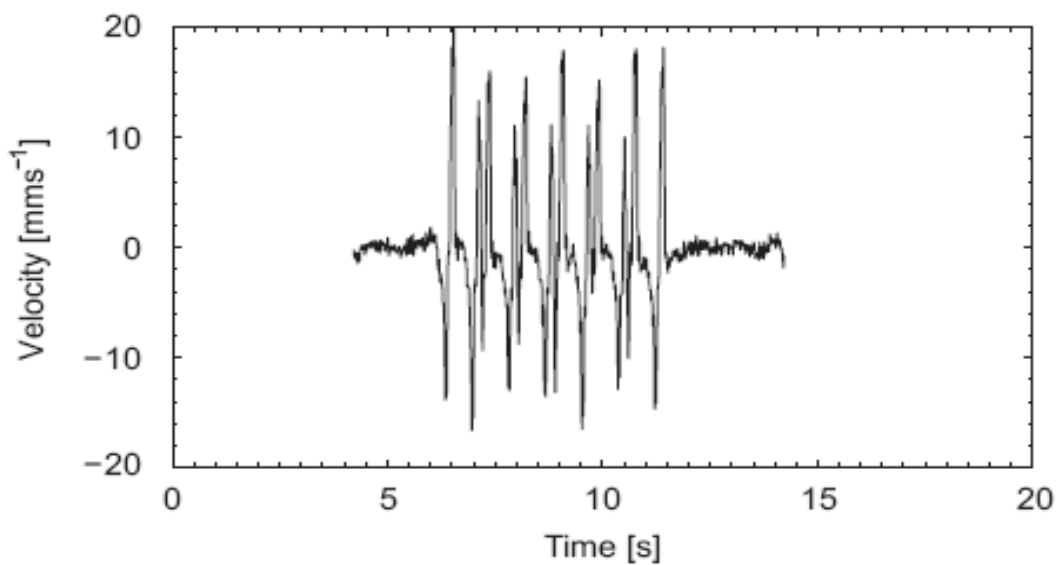


**Figure 2.25** Signaux des déplacements dans le domaine fréquentiel (Coelho et al ,2011)

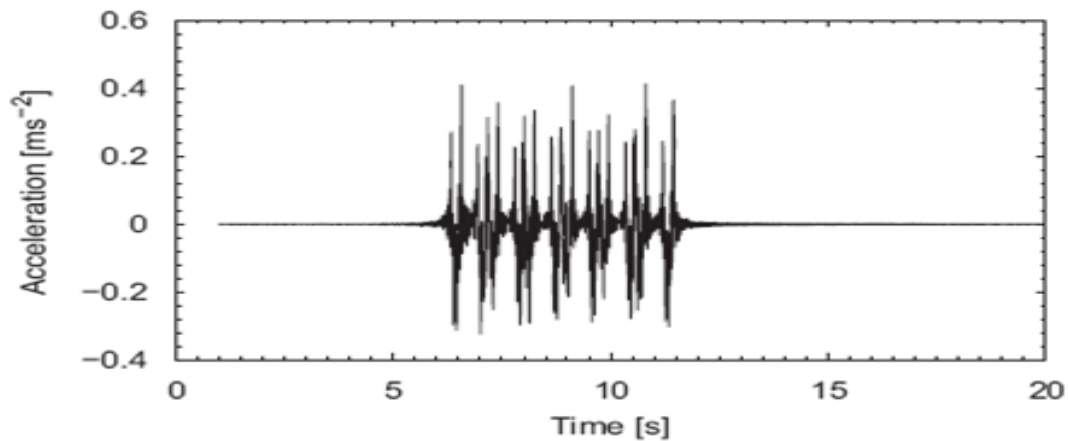
Method	First integration	Second integration
Spectral Subtraction	0.0119	0.0059
Standard Procedure (fc = 0.20 Hz)	0.0505	0.0505
Standard Procedure (fc = 0.25 Hz)	0.0465	0.0431

**Tableau 2.9** Moyennes quadratiques des erreurs dues au calcul des intégrales

✓ Pour le deuxième cas les signaux réels sont des vitesses et des accélérations enregistrées respectivement par des géophones et des accéléromètres implantés à 1 mètre de profondeur dans une zone proche d'une voie ferrée pour détecter les ondes de vibrations du sol suite au passage des trains (figure2.26 et figure2.27).



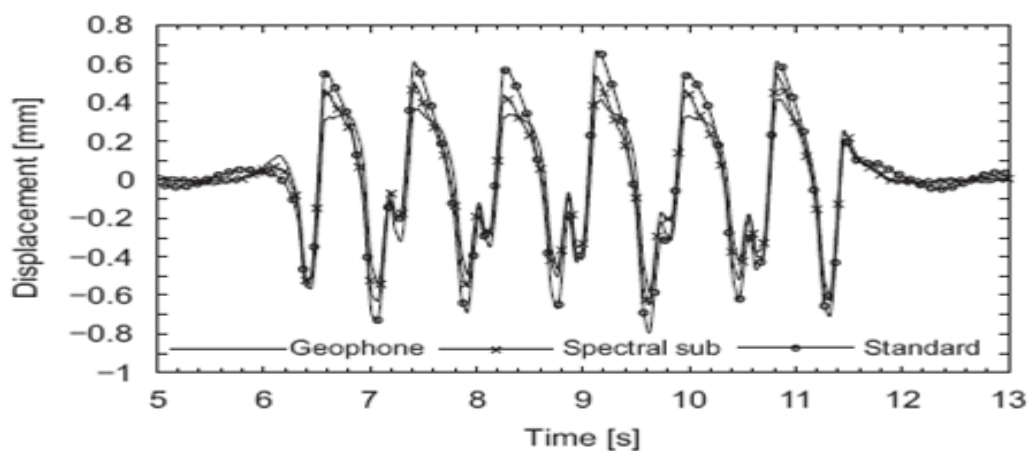
**Figure 2.26** Vitesses enregistrées par des géophones (Coelho et al ,2011)



**Figure 2.27** Accélérations enregistrées par des accéléromètres (Coelho et al ,2011)

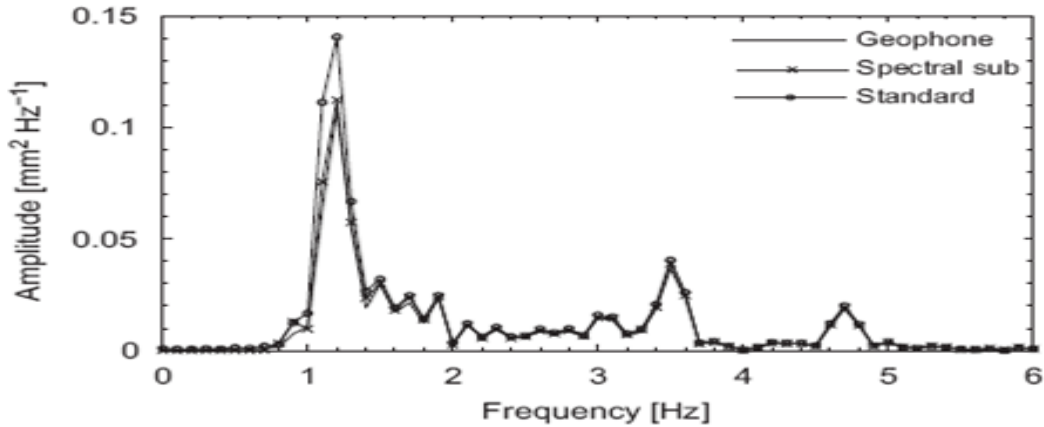
Les signaux des déplacements relatifs aux données des accéléromètres sont calculés en utilisant deux méthodes. La première c'est la méthode standard qui est une double intégration plus un filtrage et la deuxième c'est la méthode de la soustraction spectrale. Pour les déplacements relatifs aux données des géophones, qui sont d'ailleurs considérés dans ce passage comme référence, sont calculés en utilisant la méthode de Bowness (Bowness et al,2007) qui est une approche spécifique au traitement des ondes des vibrations du sol dues au passage des trains.

Une étude comparative est faite par la suite entre les résultats de ces trois méthodes d'abord dans le domaine temporel où on constate que les déplacements de la soustraction spectrale sont proches à ceux de Bowness et par conséquent à ceux des géophones (la référence) .Ensuite dans le domaine fréquentiel où on remarque que l'amplitude des déplacements de la méthode standard est environ 30% supérieure par rapport à celle de Bowness et al tandis que l'amplitude des déplacements de la méthode de la soustraction spectrale est à 4% seulement (figure2.28 , figure2.29 et tableau2.10).



**Figure 2.28** Signaux des déplacements relatifs aux vitesses des géophones et aux accélérations des accéléromètres /domaine temporel (Coelho et al ,2011)





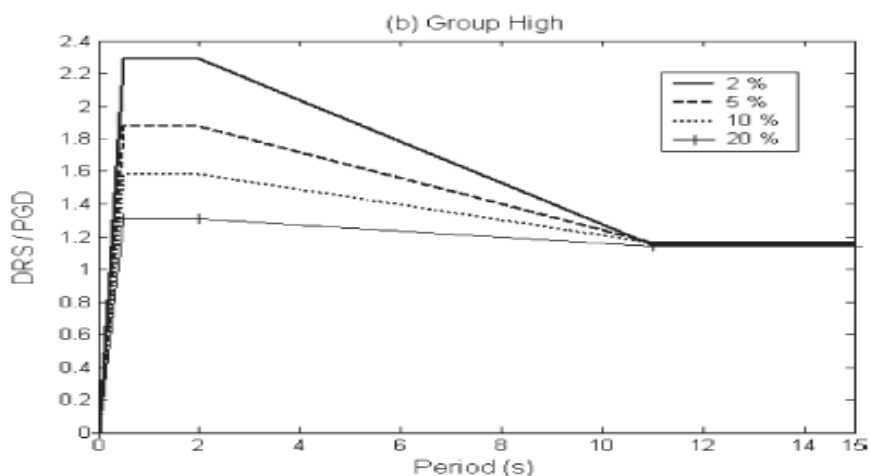
**Figure 2.29** Signaux des déplacements relatifs aux vitesses des géophones et aux accélérations des accéléromètres /domaine fréquentiel (Coelho et al ,2011)

Method	NMSE
Spectral subtraction	0.0534
Standard procedure (fc = 0.20 Hz)	0.0829

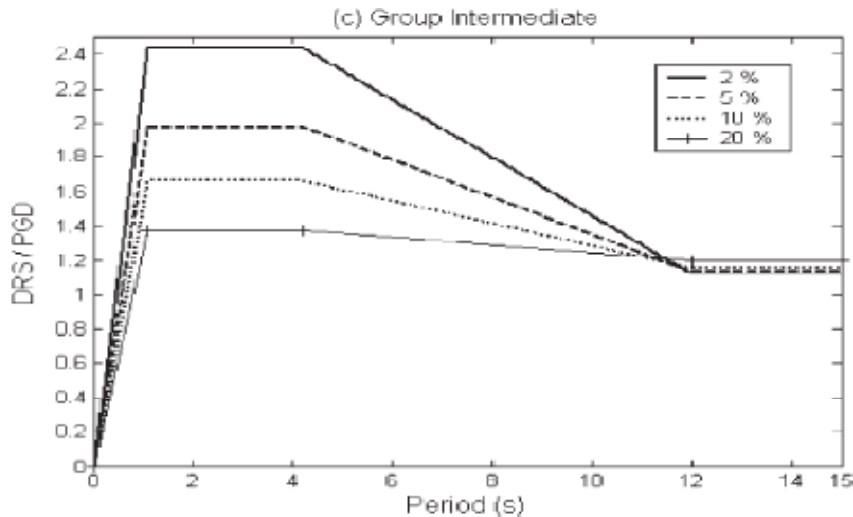
**Tableau 2.10** Moyennes quadratiques des erreurs dues au calcul des déplacements

**2.4.4 Génération de spectres de réponse en déplacement probabiliste à utiliser dans la méthode des déplacements (Jiong et al [2004]) :**

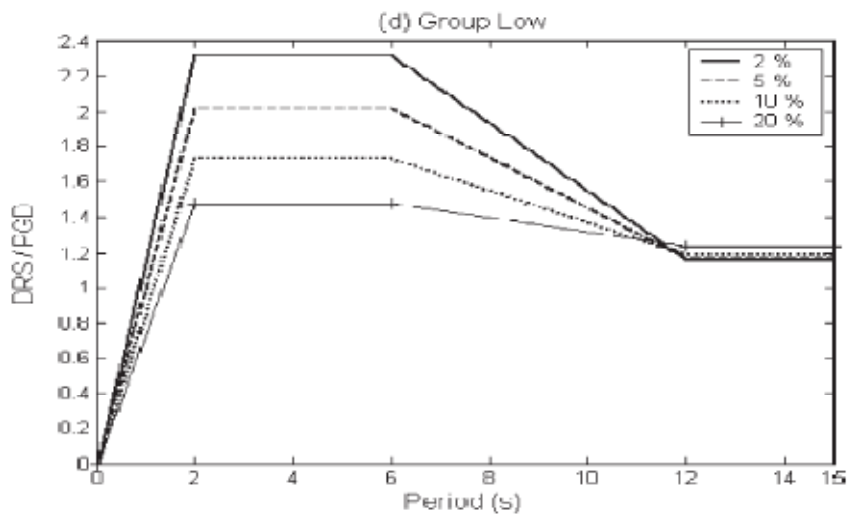
Le but de cet article est de construire des spectres de réponses en terme de déplacements utiles à prendre en considération lors du dimensionnement des structures. En d'autres termes il s'agit de la construction des spectres de dimensionnements (figure2.30 , figure2.31 et figure2.32).



**Figure 2.30** Spectres de dimensionnements ,High Group (Jiong et al ,2004)



**Figure 2.31** Spectres de dimensionnements , Intermediate Group (Jiong et al ,2004)



**Figure 2.32** Spectres de dimensionnements ,Low Group (Jiong et al ,2004)

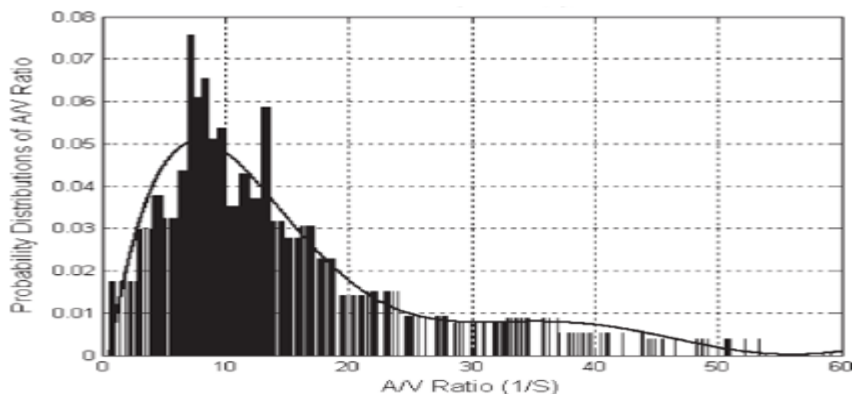
L'utilité du développement de ces spectres est justifiée par deux principales raisons. La première c'est que les paramètres liés aux déplacements des structures reflètent bien les dommages structuraux qui apparaissent lors des tremblements de terres et la deuxième c'est que tous les spectres de réponses de dimensionnement en termes de déplacements de tous les règlements existants sont dérivés des spectres d'accélérations (Priestley et al,2000).

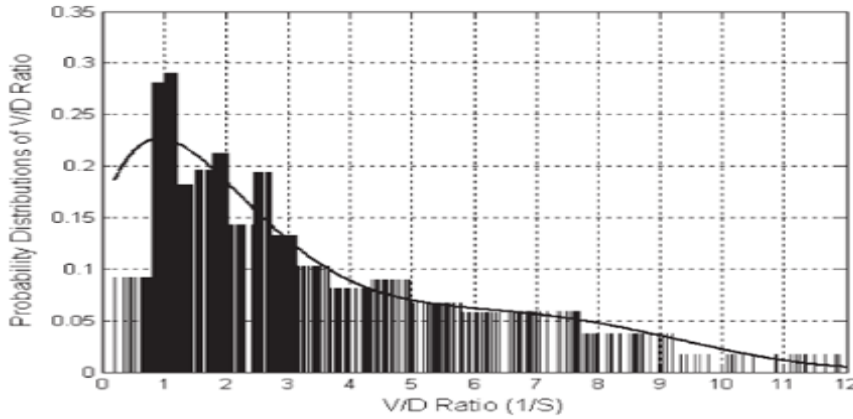
A cet effet l'auteur a sélectionné 500 signaux sismiques enregistrés principalement par trois organismes de recherche qui sont le Strong National-Motion programme (NSMP, USA), le Geological Survey (USGS, USA) (USGS,2002) et le Kyoshin net (K-NET, Japon) (K-NET ,2002) (tableau2.11).

Earthquake	Magnitude	Date
1989 Loma Prieta California Earthquake	Ms 7.1	18/10/1989
1990 Upland California Earthquake	ML 5.4	28/02/1990
1991 Sierra Madre California Earthquake	ML 5.8	28/06/1991
1992 Joshua Tree California Earthquake	ML 6.1	23/04/1992
1992 Joshua Tree California Earthquake	ML 6.5	25/04/1992
1992 Petrolia / Cape Mendocino California Earthquake	ML 6.3	26/04/1992
1992 Petrolia / Cape Mendocino California Earthquake	ML 5.9	26/04/1992
1992 Landers California Earthquake	ML 7.5	28/06/1992
1992 Big Bear California Earthquake	ML 6.5	28/06/1992
1994 Northridge California Earthquake	Ms 6.6	17/01/1994
1998 Sun Juan Bautista California Earthquake	Mw 5.2	12/08/1998
1999 Satsop Washington Earthquake	Mw 5.8	03/07/1990
1999 Hector Mine California Earthquake	Mw 7.1	16/10/1999
2000 Yount ville California Earthquake	Mw 5.0	03/09/2000
2000 offshore Eureka California Earthquake	Mw 4.5	22/09/2000
2000 Markleeville California Earthquake	Mw 4.5	09/26/2000
2000 Central Alaska Earthquake	Mw 5.8	29/11/2000
2000 Big Bear city California Earthquake	ML 4.1	02/12/2000
1998 Saguenay Earthquake canada	Ms 5.7	25/11/1998
2001 Kawal Japan	3.6	01/07/2001
2001 Kamioka Japan	3.6	01/07/2001
2001 Shohkawa Japan	3.6	01/07/2001
1999 Owase Japan	3.6	24/09/1999
1996 Taneichi Japan	4.4	28/09/1996
1997 Tsuchiura Japan	4.3	29/09/1997
1997 Chilie	6.8	14/10/1997

**Tableau 2.11** Liste des enregistrements sismiques sélectionnés

Les signaux se sont fait classés en trois groupes en fonctions de l'ordre de grandeur de leurs ratios PGA/PGV et PGV/PGD où le PGA représente les accélérations maximales, le PGV représente les vitesses maximales et le PGD représente les déplacements maximales (figure2.33) et (tableau2.12). Cette classification est justifiée par le fait que ces ratios donnent une idée sur le contenu fréquentiel des signaux sismiques, leurs magnitudes, leurs distances épacentrales et même le type des sols dans lesquels ils se propagent.



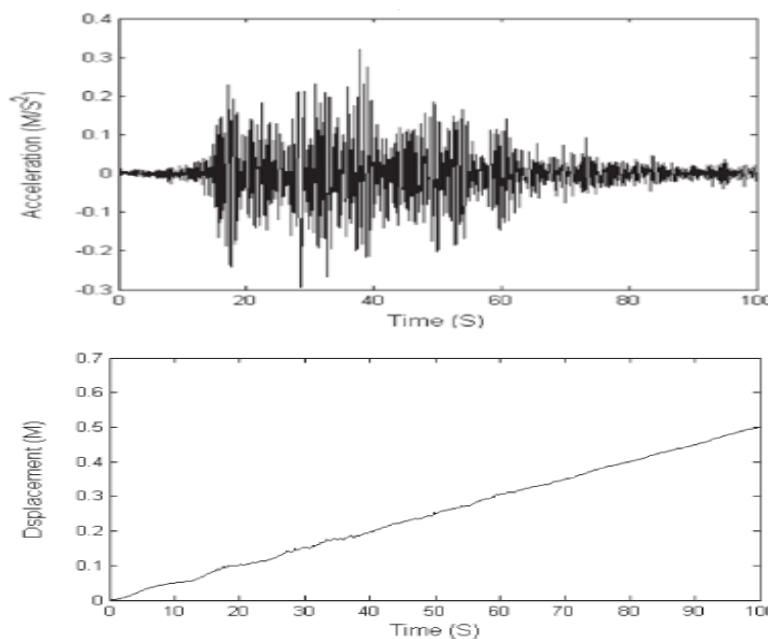


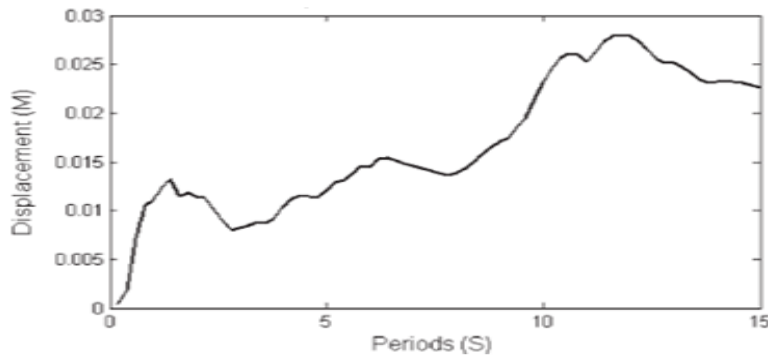
**Figure 2.33** Distribution probabilistique des ratios PGA/PGV et PGV/PGD (Jiong et al ,2004)

	Class H (s <sup>-1</sup> )	Class I (s <sup>-1</sup> )	Class L (s <sup>-1</sup> )
A/V ratio	A/V > 17.51	17.51 > A/V > 8.62	A/V < 8.62
V/D ratio	V/D > 4.98	4.98 > V/D > 2.04	V/D < 2.04

**Tableau 2.12** Les limites des groupes High class, Intermediate class et Low class

Par la suite l'auteur a calculé, pour chaque groupe, les spectres de réponses de dimensionnement en termes de déplacements. Mais lors de cette opération, les problèmes qui se sont posés sont d'une part la divergence entre les PGD et les spectres de réponses dans les grandes périodes, sachant qu'un spectre de réponse en terme de déplacement commence toujours par un zéro et se termine toujours en PGD ,et d'autre part la présence d'une instabilité des spectres de réponses dans les moyennes et grandes périodes (Figure2.34).



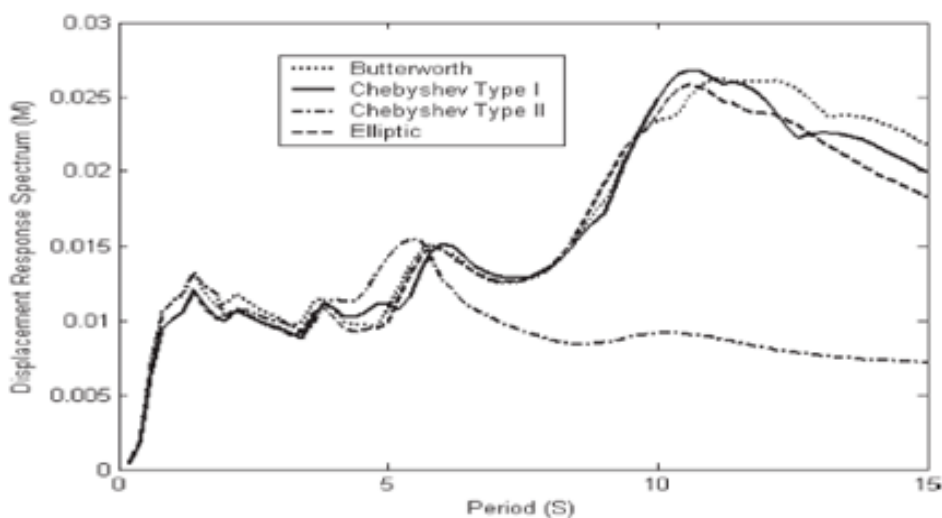


**Figure 2.34** Accélérations, déplacements et spectre de réponse en termes de déplacements du séisme Chile 1997 (Jiong et al ,2004)

Pour remédier au problème suscité l'auteur a développé une procédure de traitement des signaux sismiques qui permet de minimiser l'influence des bruits sur les signaux sismiques enregistrés et qui permet aussi de générer des spectres de réponses en termes de déplacements stables qui convergent vers les PGD lors des grandes périodes.

La Procédure consiste premièrement à effectuer une correction de la ligne de base avec un polynôme d'ordre 5 appliquée sur les vitesses calculées par une intégration directe des accélérations enregistrées et cela a pour objectif d'éliminer d'une part la dérive qui affecte les déplacements calculés et d'autre part l'obtention du PGD cible.

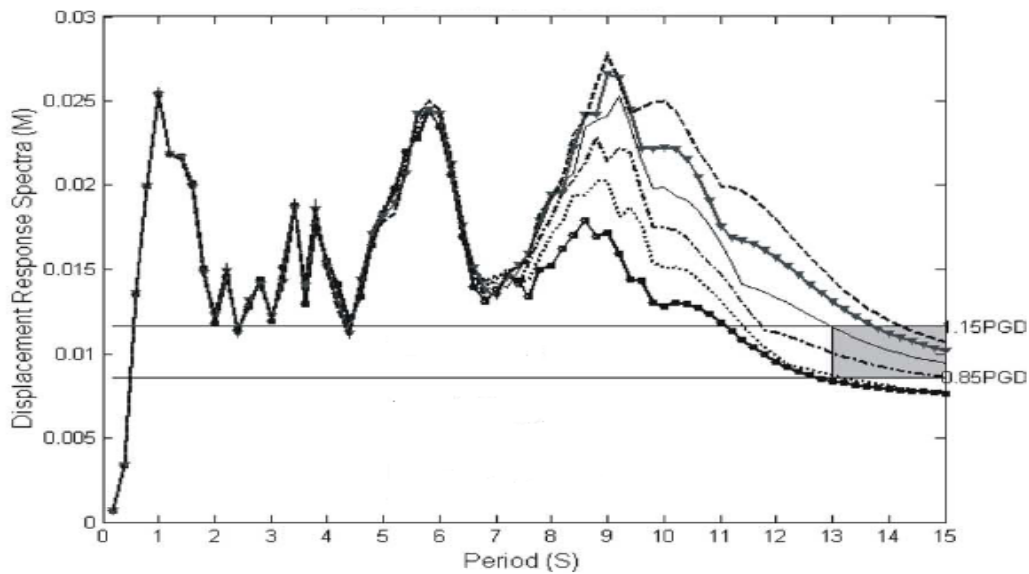
La deuxième étape consiste à choisir le filtre à appliquer qui est dans ce cas le filtre Band Pass combiné à une fonction de transfert Chebyshev II , d'un ordre égale à 6 et d'une fréquence de coupure relative au hautes fréquences égale à 20 Hz. Ce filtre était jugé efficace vue l'étude comparative qui était faite entre les différents types de filtres (Figure2.35).



**Figure 2.35** Les spectres de déplacements après l'application des filtres (Jiong et al ,2004)

La troisième étape consiste à déterminer la fréquence de coupure relative aux basses fréquences et cela en appliquant un calcul itératif qui consiste à faire varier le paramètre recherché jusqu'à ce que le spectre de réponse en termes de déplacement converge puis dépasse une zone de convergence limitée par  $0.85 \text{ PGD}_{\text{Cible}}$  et  $1,15 \text{ PGD}_{\text{Cible}}$  pour les déplacements et de 13s à 15 s pour les périodes (Figure 2.36).

La fréquence de coupure recherchée est d'une part égale à celle du processus itératif moins la fréquence du pas de ce processus et d'autre part limitée par 0.025 Hz et 0.33 Hz.



**Figure 2.36** La zone de convergence limitée par 0.85 PGD et 1,15 PGD (Jiong et al ,2004)

### 3.1 Introduction :

Nous avons montré précédemment que deux sources majeurs sont à l'origine du problème d'intégrabilité, à savoir les conditions initiales non nulles et la présence du bruit blanc dans le signal.

Dans ce travail on s'intéresse à une nouvelle approche nommée TssRisAM (Boukli et al,2010) (Rachedi et al,2011) qui permet justement de corriger le signal en tenant compte de ces deux causes. Le présent chapitre commence d'abord par une présentation sur le principe de cette approche , en suite il donne des explications sur son l'algorithme .

### 3.2 La présentation de l'approche TssRisAM :

Cette approche consiste à corriger les quelques premières valeurs du signal , ce en se référant de la procédure de correction développée par (Benmansour,2013) pour la correction des signaux simulés qui sont représentés généralement par des séries trigonométriques . Cette procédure a pu être utilisée même pour les signaux enregistrés sachant qu'ils peuvent être exprimés sous forme de séries trigonométriques tout simplement par le calcul des transformées de Fourier et des transformées de Fourier inverse.

### 3.3 L'algorithme de l'approche TssRisAM :

L'algorithme de l'approche TssRisAM est présenté à travers les points suivants:

- ✓ Au départ , on force la moyenne du signal sismique  $\ddot{x}(t)$  qui est faible à 0.
- ✓ En suite on fait passer ce signal, du domaine temporel au domaine fréquentiel par le calcul de sa transformée de FOURIER  $T[\ddot{x}(t)]$  (Eq 26).

$$T[\ddot{x}(t)] = FFT[\ddot{x}(t)] \quad (26)$$

Où  $\ddot{x}(t)$  est le signal sismique exprimé en accélération.

Cette étape nécessite un nombre de pas de temps égal à une puissance de 2, En effet on a effectué une interpolation du signal sur un nouveau intervalle de temps qui a la même période utile que celui de l'enregistrement mais un nombre de pas différent, contrairement aux anciennes applications qui atteins la puissance de 2 par l'ajout des zéros à la fin du signal, ce qui va modifier la période utile de ce dernier et par la suite fausser sa pulsation.

- ✓ Par la suite, on calcule la transformée de Fourier du signal vitesse  $T[\dot{x}(t)]$  (Eq 27) et la transformée de Fourier du signal déplacement  $T[x(t)]$  (Eq 28) à partir de la transformé

de Fourier de l'accélération. On revient du domaine fréquentiel au domaine temporel par leurs transformées inverses de FOURIER (Eq 29 et Eq 30).

$$T [\dot{x}(t)] = T [\ddot{x}(t)]/i\omega \quad (27) \longrightarrow \dot{x}(t) = FFT^{-1} (T [\dot{x}(t)]) \quad (29)$$

$$T [x(t)] = -T [\ddot{x}(t)]/\omega^2 \quad (28) \longrightarrow x(t) = FFT^{-1} (T [x(t)]) \quad (30)$$

Où  $\omega$  est la pulsation propre du signal sismique

Afin d'avoir des conditions initiales nulles, on corrige les quelques premiers pas de temps ( $0 \leq t \leq t_1$ ) où  $t_1$  représente généralement 10% du signal sismiques) des accélérations, vitesses et déplacements par une fonction de correction  $H(t)$  qui est un polynôme d'ordre cinq et ses dérivées sont  $\dot{H}(t)$  et  $\ddot{H}(t)$  (Eq31, Eq32 et Eq33).

$$\ddot{x}(t)c = \ddot{x}(t) * H(t) + \ddot{H}(t) * x(t) + 2 * \dot{H}(t) * \dot{x}(t) \quad (31)$$

$$\dot{x}(t)c = \dot{x}(t) * H(t) + \dot{H}(t) * x(t) \quad (32)$$

$$x(t)c = x(t) * H(t) \quad (33)$$

$$\text{Où } \begin{cases} H(t) = 6 (t/t_1)^5 - 15 (t/t_1)^4 + 10 (t/t_1)^3 \text{ si } 0 \leq t \leq t_1 \\ H(t) = 1 \text{ Si } t \geq t_1 \end{cases} \quad (34)$$

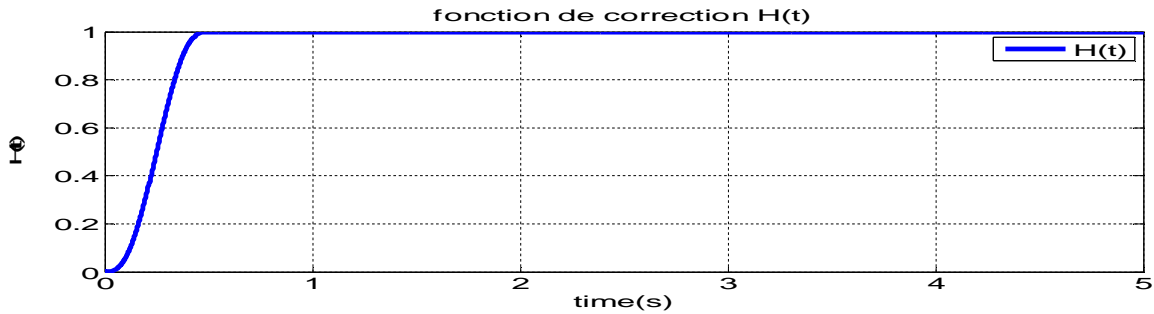


Figure 3.1 La fonction de correction  $H(t)$

$$\begin{cases} \dot{H}(t) = 30 (t/t_1)^4 - 60 (t/t_1)^3 + 30 (t/t_1)^2 \text{ si } 0 \leq t \leq t_1 \\ \dot{H}(t) = 0 \text{ Si } t \geq t_1 \end{cases} \quad (35)$$

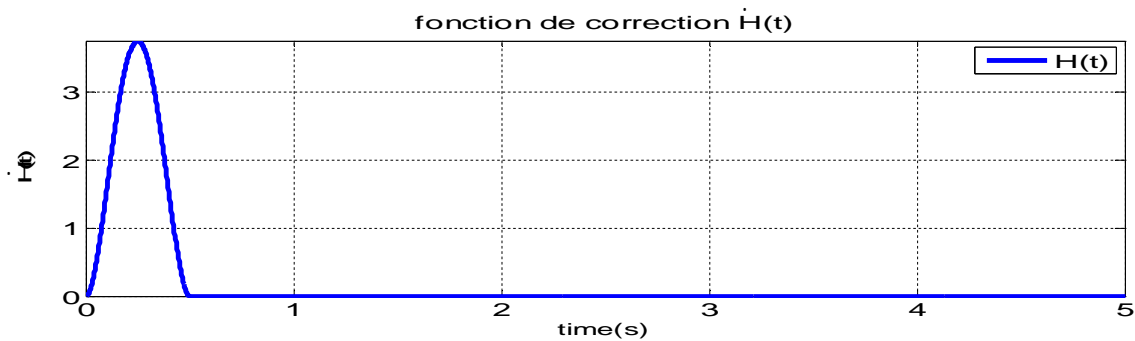


Figure 3.2 La fonction de correction  $\dot{H}(t)$



$$\begin{cases} \ddot{H}(t) = 120 (t/t_1)^3 - 180 (t/t_1)^2 + 60 (t/t_1) \text{ si } 0 \leq t \leq t_1 & (36) \\ \ddot{H}(t) = 0 \text{ Si } t \geq t_1 \end{cases}$$

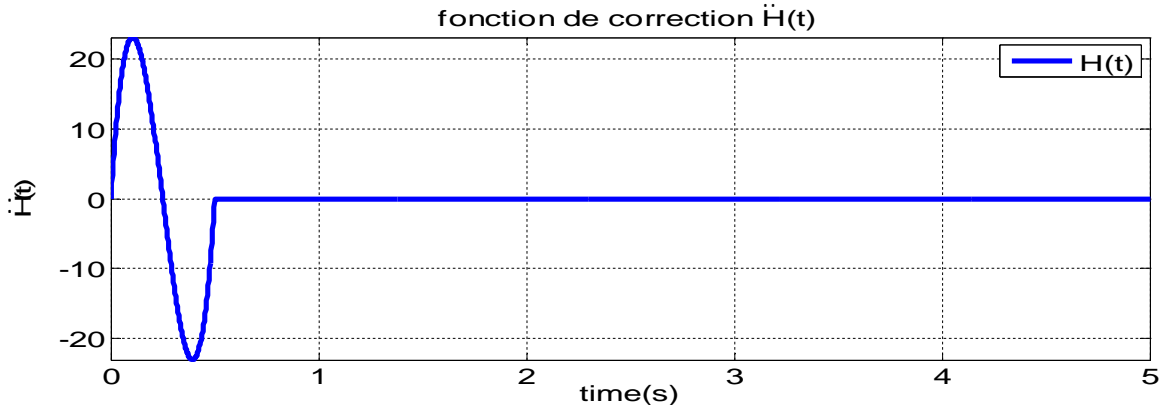


Figure 3.3 La fonction de correction  $\ddot{H}(t)$

Nous résumons la méthode de correction TssRisAM par l'organigramme présenté en figure 3.4.

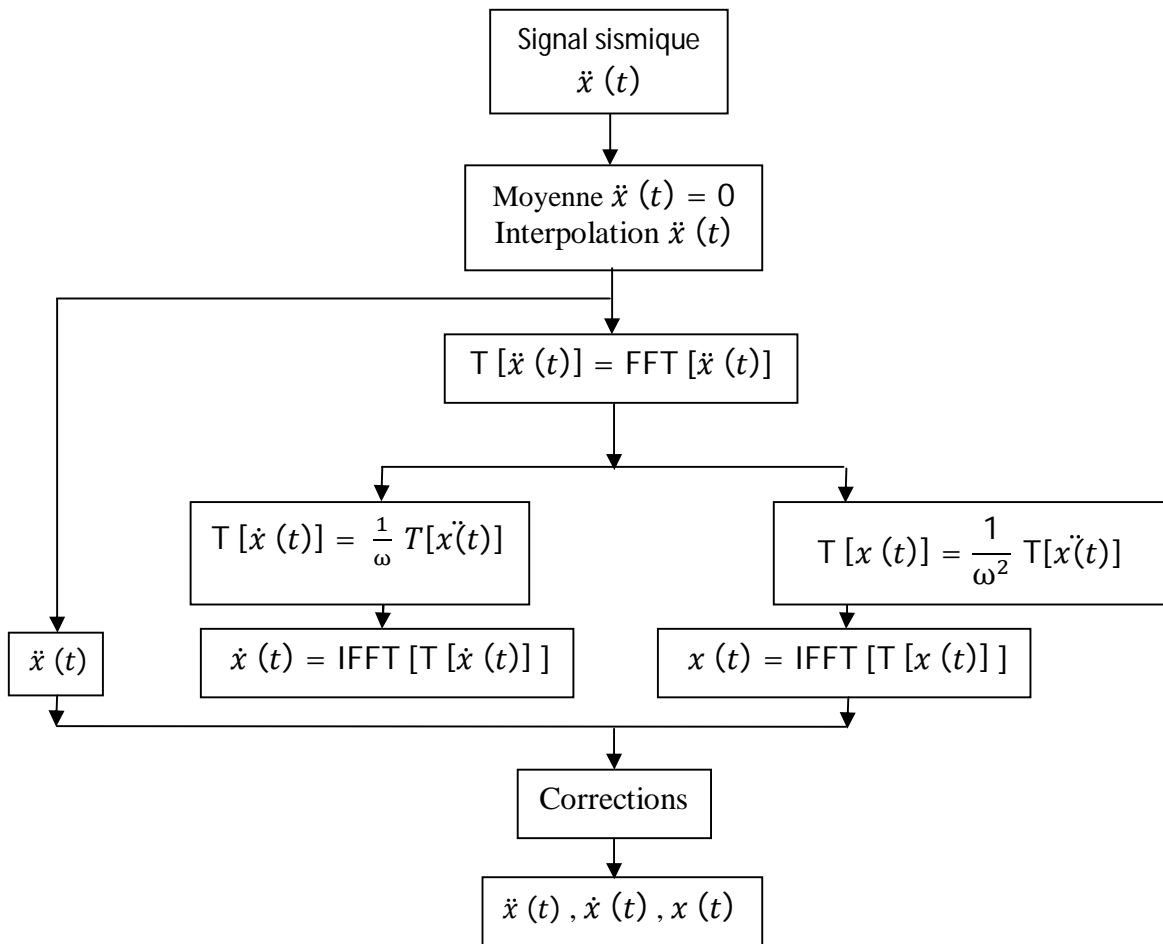
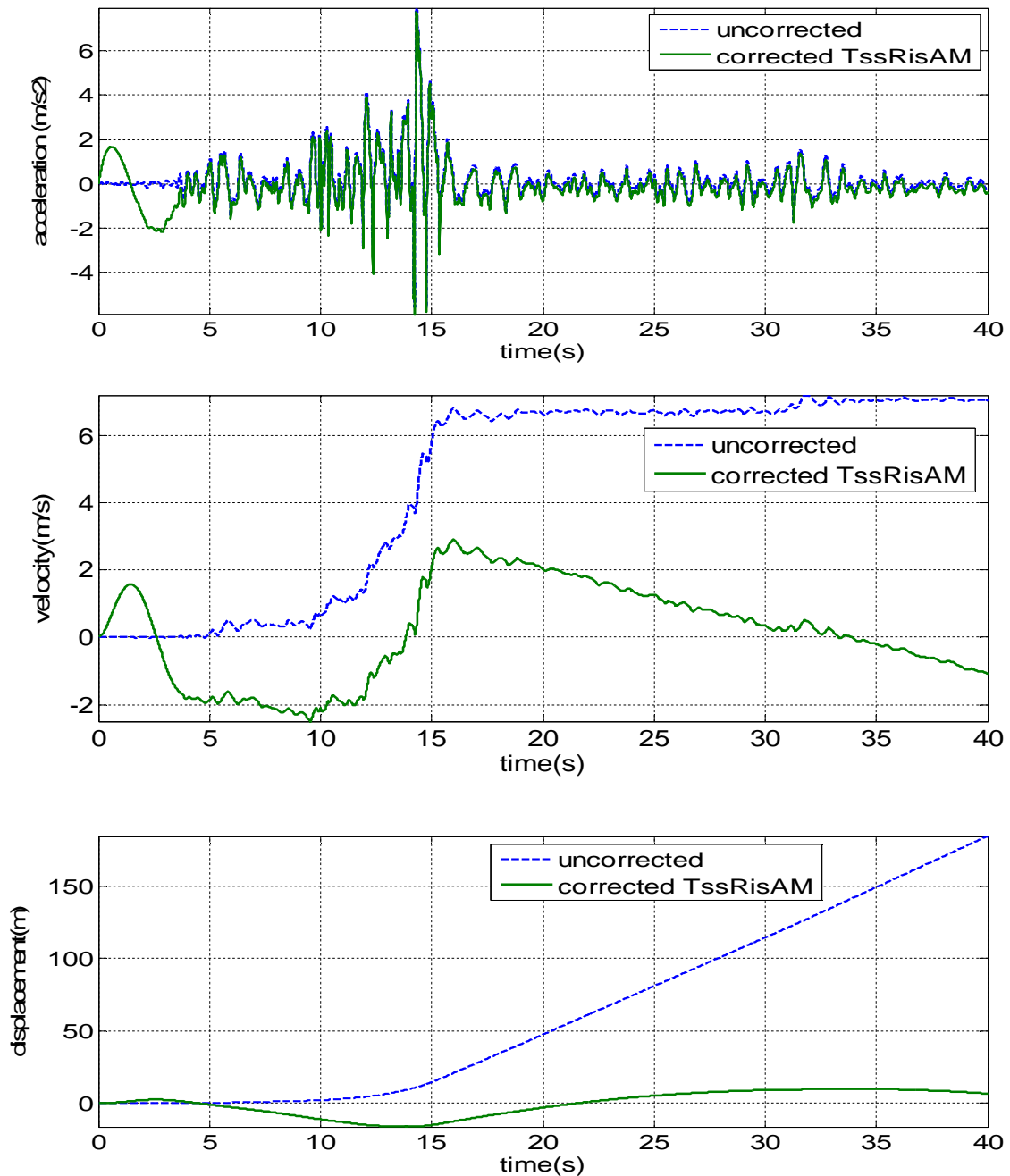


Figure 3.4 Organigramme de TssRisAM

On note que pour corriger les erreurs produits par la présence des bruits blancs on peut combiner à cette approche le filtrage.

**3.4 Exemples de séismes traités par la correction TssRisAM :**

La figures 3.4 et la figure 3.5 représentent respectivement le séisme de CHI-CHI (Taiwan) et le séisme de Sakaria traités par l'approche TssRisAM. On remarque très bien que le signal de déplacement se stabilisent proche de la ligne 0 à la fin de l'enregistrement.



**Figure 3.5** Le séisme de CHI-CHI (Taiwan) traité par l'approche TssRisAM

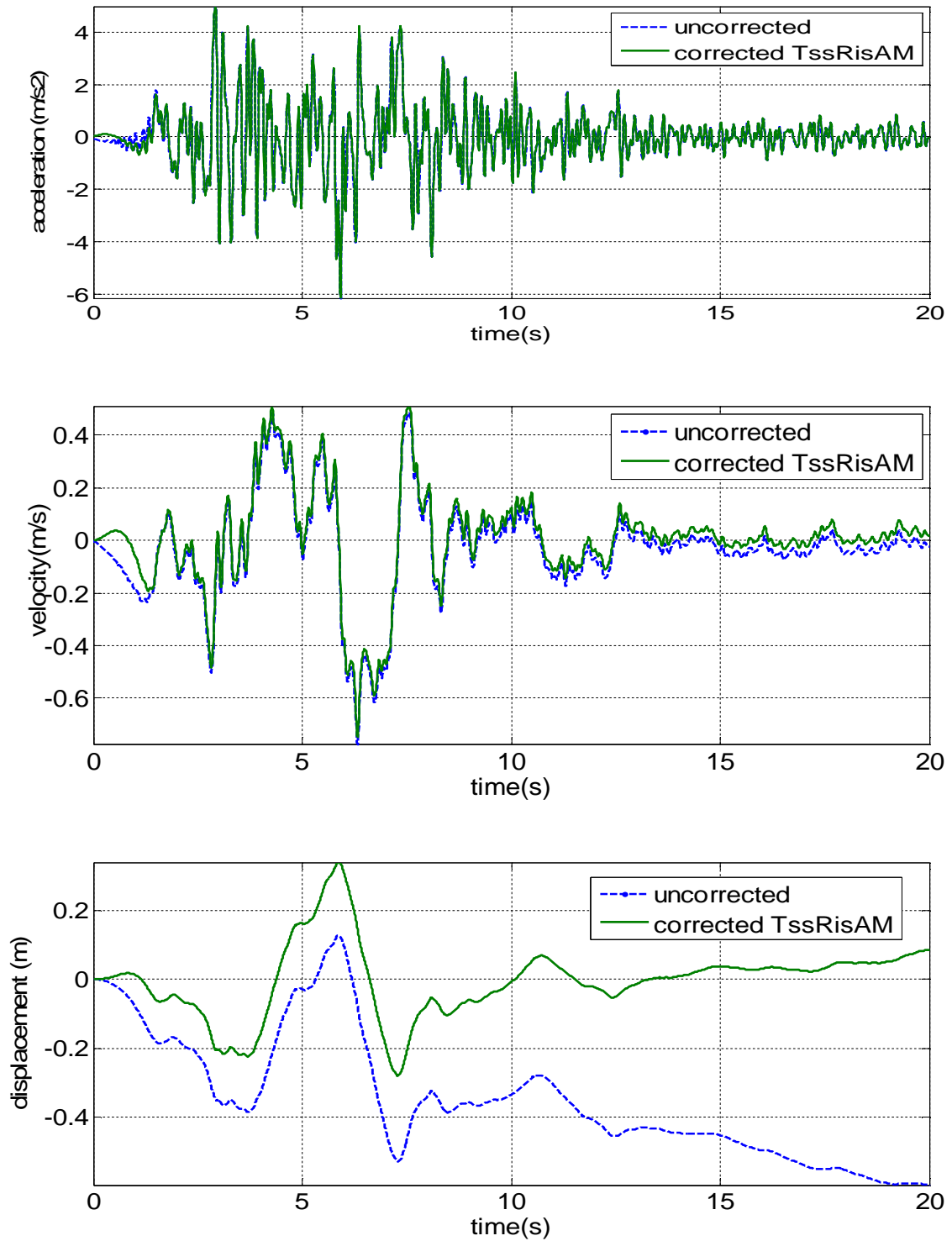


Figure 3.6 Le séisme de Sakaria traité par l'approche TssRisAM

#### 4.1 Introduction:

Dans ce chapitre nous commençons d'abord par la présentation de quelques paramètres jugés utiles pour la validation de la démarche de correction exposée en chapitre 3. Par la suite nous allons évaluer l'impact de la correction TssRisAM sur les paramètres de nocivités et spectrales pour cela nous avons choisi le séisme de Boumerdès 2003.

#### 4.2 Définitions des paramètres globaux des signaux sismiques :

Les paramètres globaux sont de deux types, nocivités et spectrales et ils sont présentés comme suit:

##### 4.2.1 Les paramètres nocivités:

###### 4.2.1.1 Accélération maximale PGA:

L'un des paramètres les plus utilisés à l'heure actuelle pour le dimensionnement des ouvrages est l'accélération maximale souvent notée PGA : Peak Ground Acceleration (Eq 37). Cette quantité correspond à la valeur maximale de l'accélération du sol atteinte, en un site donné, au cours du séisme (Figure4.1). Son ordre de grandeur est de 0,4 g à 0,6 g en zone très sismique (Japon, Turquie...ect...) et de 0 à 0,1g en zone faiblement sismique (Zones sahariennes...ect...).

$$PGA = MAX(\ddot{x}(t)) \quad (37)$$

Où  $\ddot{x}(t)$  est l'accélération du sol lors du tremblement de terre.

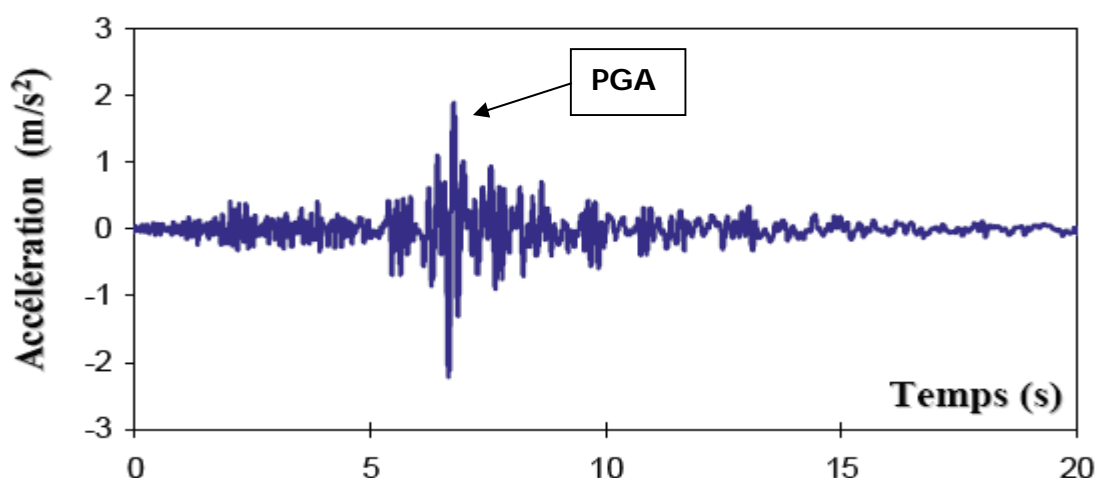


Figure 4.1 PGA : Peak Ground Acceleration

#### 4.2.1.2 Cumulative Absolute Velocity CAV:

Le CAV est un paramètre de nocivité très représentatif pour les séismes superficiels et pour les grandes distances (Kostov, 2005). Il est défini dans sa version la plus simple comme l'intégrale de la valeur absolue de l'accélération (Eq 38). Certains restreignent cette intégration aux périodes de temps où l'accélération est supérieure en valeur absolue à un certain seuil, étant entendu le fait qu'en dessous de ce seuil, l'accélération est trop faible pour entraîner des dommages.

$$CAV = \int_0^{tmax} |\ddot{x}(t)| dt \quad (38)$$

#### 4.2.1.3 Intensité spectrale (intensité de Housner) SI:

Le paramètre d'intensité spectrale SI proposé par Housner en 1959, est défini comme étant l'intégrale de 0.1 à 2.5 sec du pseudo spectre de vitesse Sv, calculé pour un amortissement de 20 % (Eq 39). Son intérêt est de fournir une indication pondérée sur la gamme de périodes les plus courantes dans les ouvrages de génie civil (DGPR, 2011). Assez peu utilisé, son intérêt a été ravivé par des études Japonaises montrant sa bonne corrélation avec les dommages constatés sur les canalisations enterrées (Eq 40).

$$SI = \int_{0.5}^{2.5} PSV(T, \xi=20\%) dT \quad (39)$$

Définition Japonaise

$$SI_{japonaise} = \int_{0.5}^{2.5} PSV(T, \xi = 20\%) dT / 2.4 \quad (40)$$

Où PSV représente le spectre de réponse en pseudo vitesse.

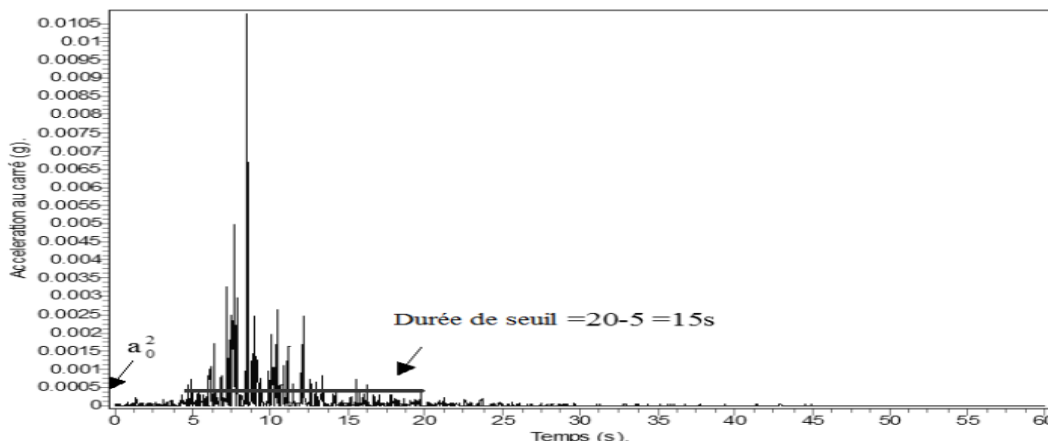
#### 4.2.1.4 Durée de la phase forte:

La durée totale estimée d'un séisme est largement conditionnée par le seuil de déclenchement et la durée d'enregistrement des appareils de mesures ce qui ne lui offre qu'une représentation physique limitée. Les phases de faibles accélérations, d'une durée variable, sont généralement sans intérêt pour l'analyse des structures. La durée de la phase forte est en revanche plus significative pour conduire l'analyse sismique d'un ouvrage.

Plusieurs définitions de la durée de la phase forte existent dont les plus rependues sont: la durée de seuil et la durée significative.

**4.2.1.5 La durée de seuil:**

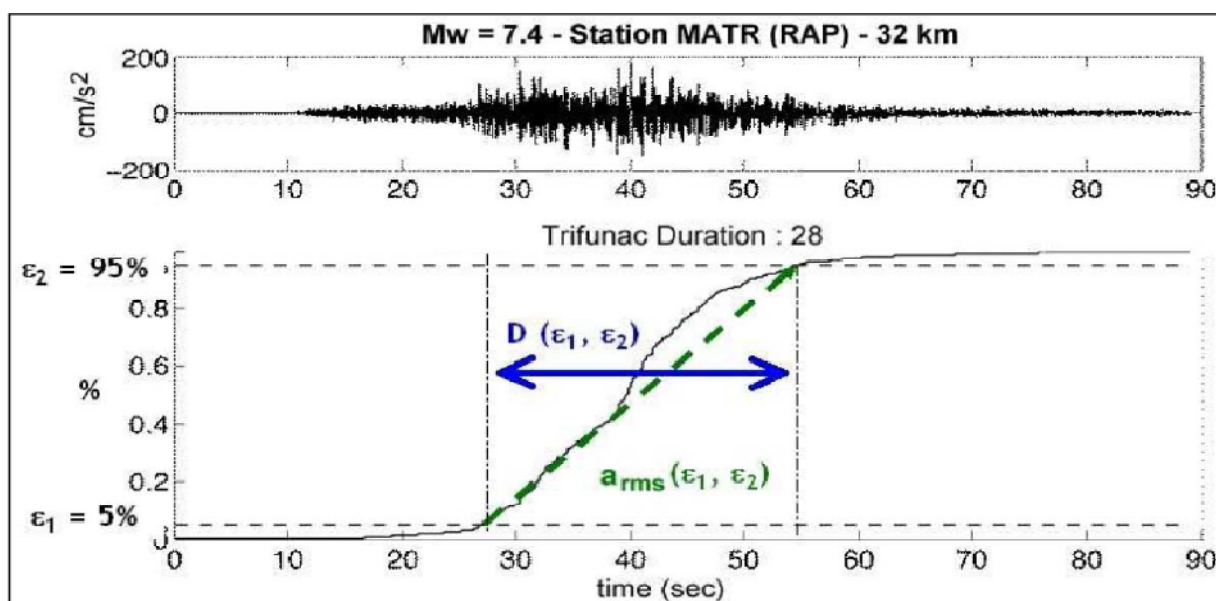
La durée de seuil ou "Bracketed Duration" **Db** est définie comme l'intervalle de temps écoulé entre le premier et le dernier dépassement d'un niveau d'accélération  $a_0$  généralement égal à 0.05g (Figure4.2).



**Figure 4.2 Bracketed Duration Db**

**4.2.1.6 la durée significative:**

La durée significative ou "Significant Duration" **Ds** est définie comme la durée qui correspond à la fenêtre dans laquelle l'énergie est comprise entre 5 % et 95 % de l'énergie totale de l'enregistrement et elle a été définie initialement par Trifunac et Brady en 1975 (Trifunac et al,1975) (Figure4.3).



**Figure 4.3 Significant Duration Ds**

#### 4.2.1.7 Intensité ARIAS IA :

Proposée par Arias en 1970 (Arias,1970), elle est définie comme la valeur finale de l'énergie du signal normalisée avec un facteur de  $\pi/2g$  et elle est calculée par la relation suivante :

$$IA = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} \ddot{x}^2(t) dt \quad (41)$$

Où  $g$  : représente l'accélération de la pesanteur.

#### 4.2.1.8 L'accélération de RMS:

Souvent appelée  $a_{rms}$ , elle est définie comme une accélération quadratique moyenne qui inclut l'effet de l'amplitude et du contenu fréquentiel du mouvement fort enregistré ; elle est estimée à partir de la pente moyenne de la fonction d'Arias ou calculée par la formule suivante:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{0.9 \int_0^{T_d} \ddot{x}(t)^2 dt}{D_s}} \quad (42)$$

Où  $T_d$  représente la durée totale du signal sismique.

$D_s$  représente la durée significative.

#### **Remarque:**

Ces indicateurs de nocivité seront plus utiles s'ils sont corrélés avec les paramètres susceptibles de contrôler le mouvement sismique fort à la surface de la terre, tels que la magnitude, la distance, la profondeur du foyer, la vitesse des ondes de cisaillement et la fréquence de résonance du site.

#### 4.2.2 Les paramètres spectrales :

Le paramètre le plus utilisé en génie parasismique est le spectre de réponse. Il correspond à l'amplitude maximale de la réponse d'un oscillateur à un seul degré de liberté (OSDDL) de période  $T$  et d'amortissement  $\xi$ . Leur intérêt principal vient de ce qu'en première approximation, un immeuble ou un ouvrage peut être assimilé à un OSDDL. La seule connaissance de sa période propre  $T$  (reliée au type de structure, à la taille et aux propriétés du matériau constitutif), de son amortissement (relié aux matériaux

et aux dispositions constructives) va permettre d'accéder aux accélérations, vitesse et déplacement maximaux subis par le centre de gravité de l'ouvrage, et par voie de conséquence aux forces et contraintes à l'intérieur de la structure.

### **4.3 L'évaluation de l'impact de la correction TssRisAM:**

#### **4.3.1 Méthode d'évaluation:**

Afin d'évaluer l'impact de la correction TssRisAM sur les paramètres globaux que ce soit nocivités comme le PGA,CAV, intensité HOUSNER ... ect ou bien spectrales c'est à dire les spectres de réponses des déplacements SD, pseudo vitesses Sv et pseudo accélérations Sa, on utilise dans le cas des paramètres scalaires les résidus exprimés en pourcentages et dans le cas des paramètres vecteurs les moyennes quadratiques ainsi que les écarts types tirés des études statistiques faites sur les vecteurs résidus exprimés eux aussi en pourcentages. Cette étude statistique considère le vecteur des résidus exprimés en pourcentages comme étant une série statistique continue.

Pour que cette méthode d'évaluation d'impact soit représentative on l'applique pour plusieurs signaux sismiques et à chaque signal à plusieurs pourcentages de corrections (1% à 15%). Nous cherchons à voir l'influence de la variation du pourcentage de correction sur les valeurs des résidus.

Pour concrétiser ce qu'on vient de dire on étudie un cas type qui est celui de l'enregistrement de Hussein Dey du séisme de BOUMERDES.

#### **4.3.2 Le traitement du signale sismique de BOUMERDES (2003) en utilisant la correction TssRisAM:**

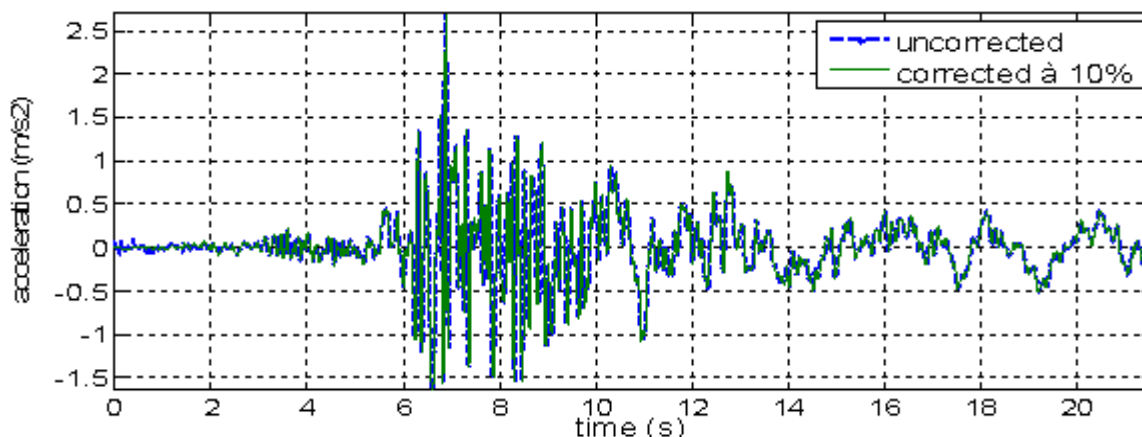
Le séisme de BOUMERDES est un tremblement de terre qui a secoué le nord de l'Algérie et qui a été particulièrement violent. Selon le Réseau National de Strasbourg, la magnitude a été de 6.7 sur l'échelle de Richter. La secousse principale s'est produite à 18 h 44 (temps universel) et a été suivie immédiatement par de très nombreuses répliques. L'épicentre de ce séisme a été localisé en mer très proche du littoral, à 60 km au nord-est d'Alger plus précisément à quatre kilomètres de la côte, entre Zemmouri et Boumerdès.



**4.3.2.1 Impacte de la TssRisAM sur les paramètres de nocivités (BOUMERDES) :**

**4.3.2.1.1 Accélération maximale PGA (BOUMERDES):**

Pour vérifier l'impact de la TssRisAM sur le PGA on trace sur le même graphe l'accélération corrigée à 10% et l'accélération non corrigée. On remarque que les deux résultats sont identiques.



**Figure 4.4** Accélérogrammes du séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Pour voir aussi l'effet du pourcentage de la correction on lui a varié de 1% à 15% et on a comparé le PGA avant et après correction (Tableau4.1) , on observe que la valeur du PGA avant l'application de la correction est de 2.6949 m/s<sup>2</sup> et après correction devient 2.6935 m/s<sup>2</sup> soit une différence de 0.0553 % valeur jugée très faible ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le présent paramètre.

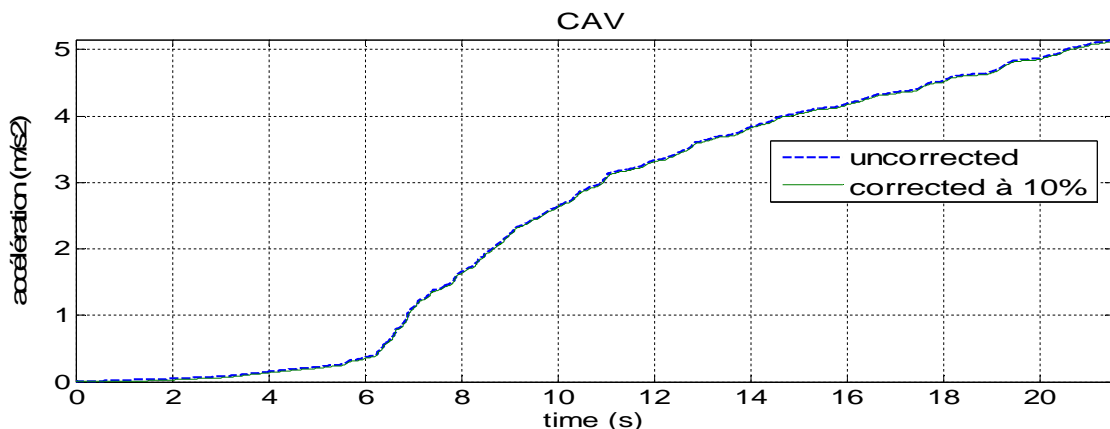
Le pourcentage de correction(%)	La valeur du PGA sans l'application de la correction m/s <sup>2</sup>	La valeur du PGA avec l'application de la correction m/s <sup>2</sup>	Résidus / PGA (%)
1%	2.6949	2.6935	0.0553
2%	2.6949	2.6935	0.0553
3%	2.6949	2.6935	0.0553
4%	2.6949	2.6935	0.0553
5%	2.6949	2.6935	0.0553

6%	2.6949	2.6935	0.0553
7%	2.6949	2.6935	0.0553
8%	2.6949	2.6935	0.0553
9%	2.6949	2.6935	0.0553
10%	2.6949	2.6935	0.0553
11%	2.6949	2.6935	0.0553
12%	2.6949	2.6935	0.0553
13%	2.6949	2.6935	0.0553
14%	2.6949	2.6935	0.0553
15%	2.6949	2.6935	0.0553

**Tableau 4.1** Impact de TssRisAM sur le PGA du séisme de BOUMERDES

#### **4.3.2.1.2 Cumulative Absolute Velocity CAV (BOUMERDES):**

La figure 4.5 présente la variation du CAV en fonction du temps pour le signal corrigé à 10% et non corrigé . On observe que les deux résultats sont superposés.



**Figure 4.5** Cumulative Absolute Velocity du séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

On observe dans le tableau 4.2 et la figure 4.6 la valeur du CAV avant l'application de la correction est de 3.1273 et après correction prend des valeurs comprises entre 3.0942 et 3.2748 soit des différences comprises entre 0.0629 % et 1.9770 % . Ces valeurs sont jugées très faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre CAV.

Le pourcentage de correction(%)	La valeur du CAV sans l'application de la correction	La valeur du CAV avec l'application de la correction	Résidu / CAV (%)
1%	3.1273	3.2778	4.8148
2%	3.1273	3.1891	1.9770
3%	3.1273	3.1613	1.0889
4%	3.1273	3.1402	0.4145
5%	3.1273	3.1253	0.0629
6%	3.1273	3.1177	0.3043
7%	3.1273	3.1139	0.4278
8%	3.1273	3.1122	0.4812
9%	3.1273	3.1099	0.5559
10%	3.1273	3.1074	0.6338
11%	3.1273	3.1046	0.7258
12%	3.1273	3.1014	0.8258
13%	3.1273	3.0988	0.9109
14%	3.1273	3.0965	0.9820
15%	3.1273	3.0942	1.0561

Tableau 4.2 Impact de TssRisAM sur le CAV du séisme de BOUMERDES

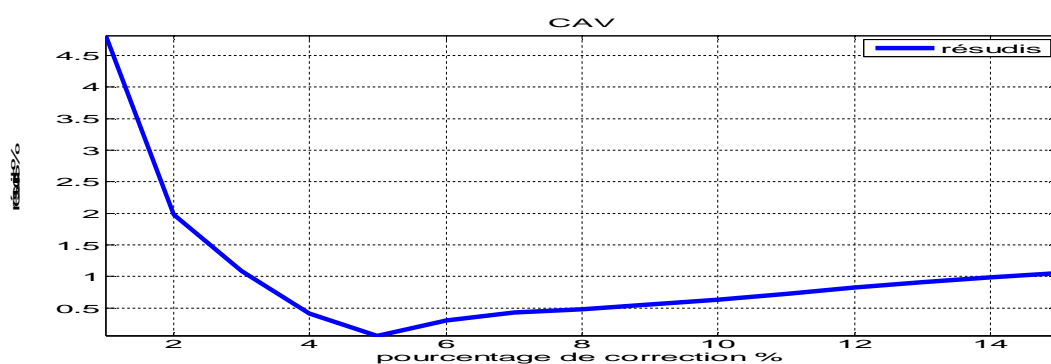


Figure 4.6 l'évolution du résidu (%) relatifs au CAV en fonction de la longueur de la zone de la correction TssRisAM

4.3.2.1.3 Durée de la phase forte (BOUMERDES):

La figure 4.7 présente la variation de la durée de la phase du signal corrigé à 10% et non corrigé, et la tableau 4.4 représente la variation de la même durée en fonction des pourcentages de correction.

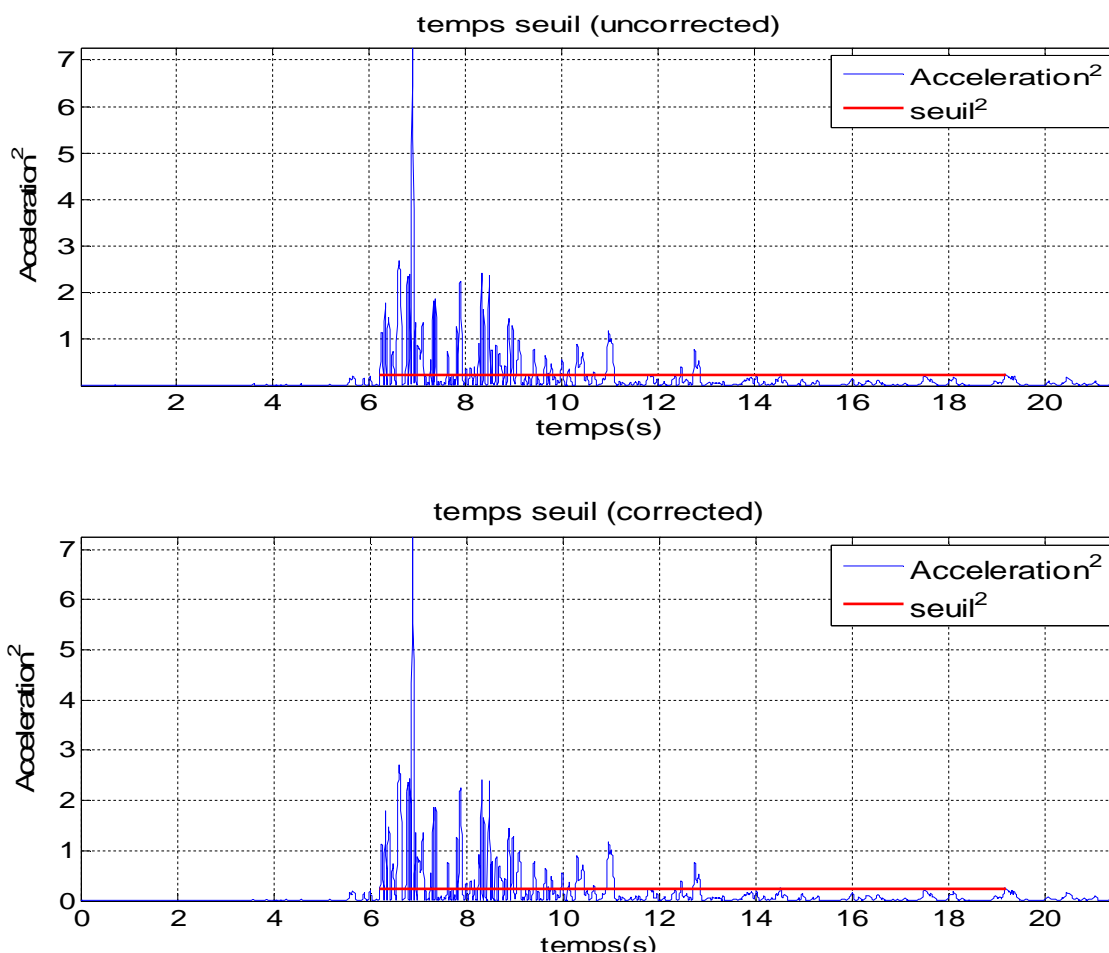


Figure 4.7 La durée de la phase forte relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	Sans correction			Avec correction			Résidu / <b>Db</b> (%)
	Temps début	Temps fin	Durée de seuil <b>Db</b>	Temps début	Temps fin	Durée de seuil <b>Db</b>	
1%	6.3050	12.8550	6.5500	0.1237	12.8581	12.7344	94.4180
2%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023

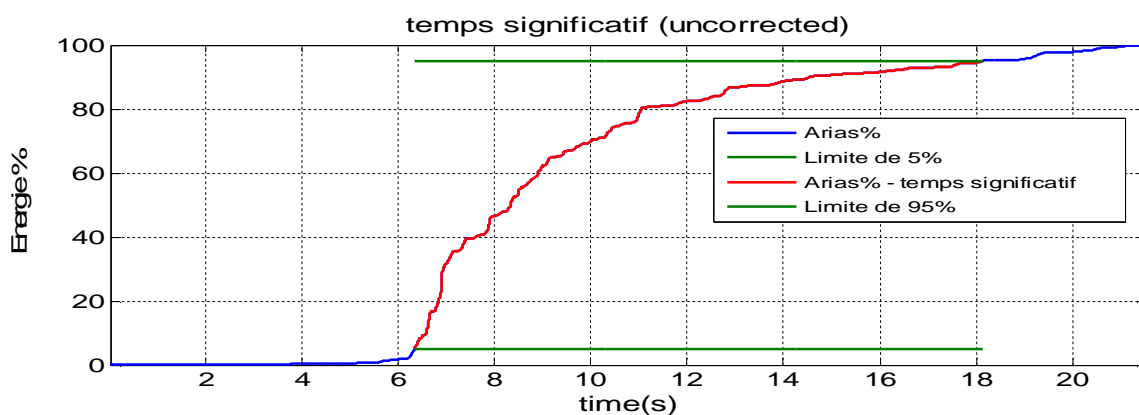
3%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
4%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
5%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
6%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
7%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
8%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
9%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
10%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
11%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
12%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
13%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
14%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023
15%	6.3050	12.8550	6.5500	6.3014	12.8581	6.5567	0.1023

**Tableau 4.3** Impacte de TssRisAM sur la durée de la phase forte du séisme de BOUMERDES

A travers ces résultats on remarque que la valeur du Db avant l'application de la correction est de 6.5500s et après la correction prend la valeur de 6.5567s soit une différence de 0.1023 % (Tableau 4.4) valeur jugée très faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre Db.

**4.3.2.1.4 La durée significative (BOUMERDES):**

La figure 4.8 présente la variation de la durée significative du signal corrigé à 10% et non corrigé , et la tableau 4.5 représente la variation de la même durée en fonction des pourcentages de correction.



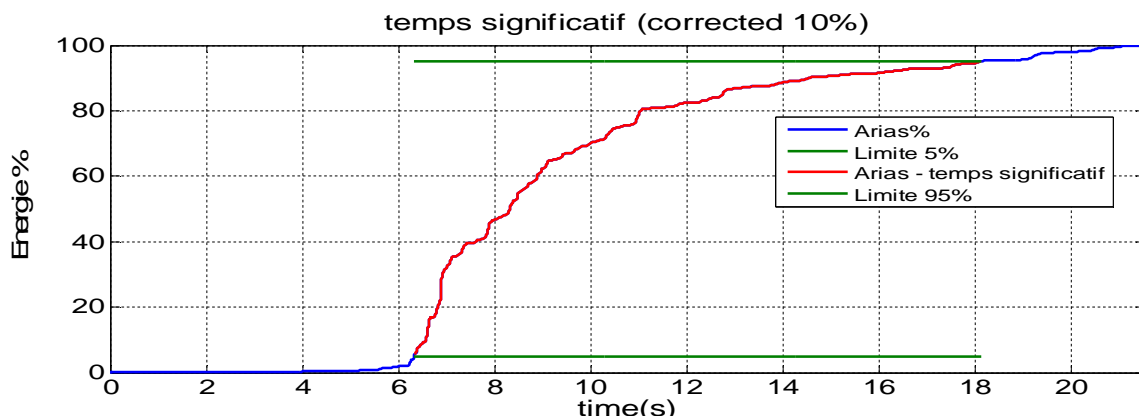
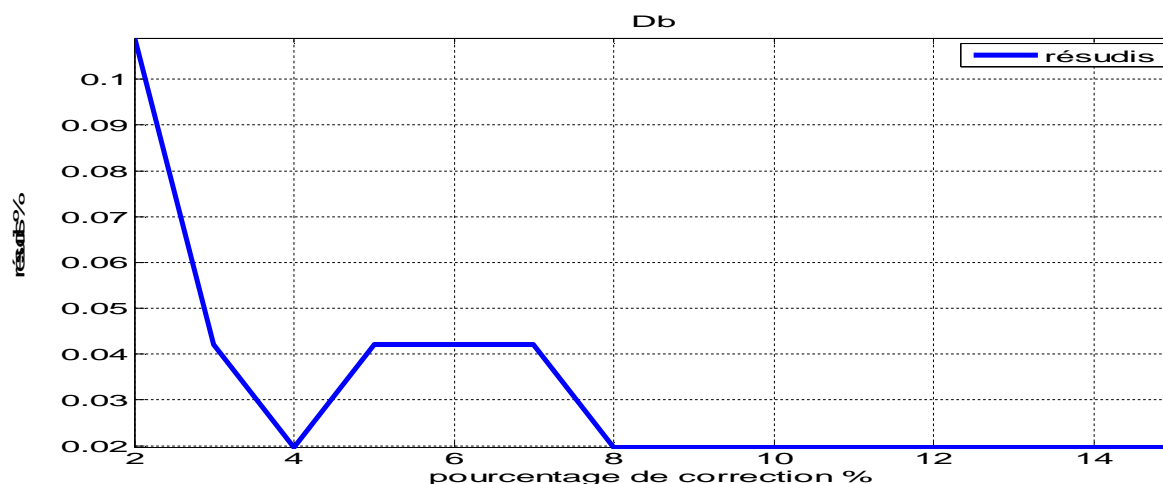


Figure 4.8 La durée significative relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction (%)	Sans correction			Avec correction			Résidu / <b>Db</b> (%)
	Temps début	Temps fin	Durée de seuil <b>Db</b>	Temps début	Temps fin	Durée de seuil <b>Db</b>	
1%	6.3300	18.1250	11.7950	0.1658	18.0434	17.8776	51.5694
2%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3119	18.1198	11.8079	0.1090
3%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3251	18.1250	11.8000	0.0421
4%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3277	18.1250	11.7973	0.0197
5%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3277	18.1277	11.8000	0.0421
6%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3277	18.1277	11.8000	0.0421
7%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3277	18.1277	11.8000	0.0421
8%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
9%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
10%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
11%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
12%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
13%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
14%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197
15%	6.3300	18.1250	11.7950	6.3303	18.1277	11.7973	0.0197

Tableau 4.4 Impacte de TssRisAM sur la durée significative du séisme de BOUMERDES

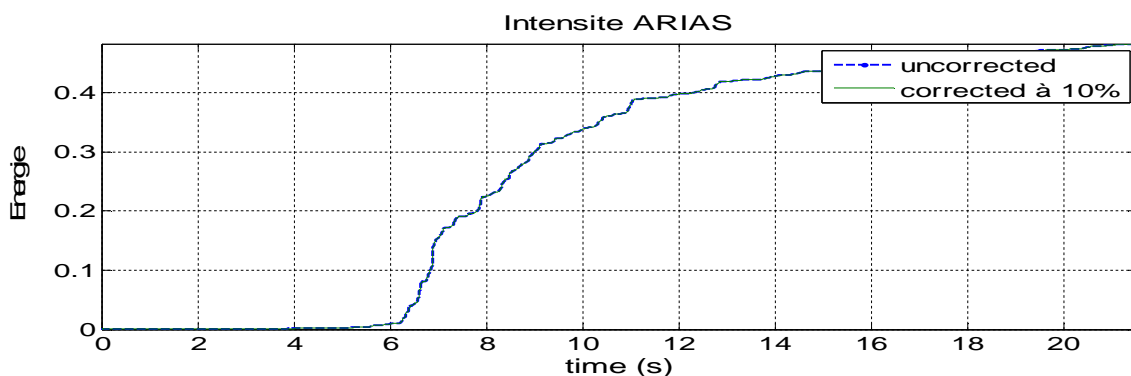


**Figure 4.9** l'évolution du résidu (%) relatifs au Db en fonction la correction TssRisAM

La valeur du Db avant l'application de la correction est de 11.7950s et après correction prend des valeurs comprises entre 11.7973s et 11.8079s soit des différences comprises entre 0.0197% et 0.1090% (Tableau 4.5 et Figure 4.9) valeurs jugées très faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre Db.

**4.3.2.1.5 Intensité ARIAS IA (BOUMERDES) :**

La figure 4.10 présente la variation de l'intensité ARIAS en fonction du temps du signal corrigé à 10% et non corrigé , et le tableau 4.6 représente la variation de ce même paramètre en fonction des pourcentages de correction.



**Figure 4.10** Intensité ARIAS relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	La valeur du IA sans l'application de la correction	La valeur du IA avec l'application de la correction	Résidu / IA (%)
1%	0.3332	0.3625	8.8091
2%	0.3332	0.3373	1.2288
3%	0.3332	0.3346	0.4318
4%	0.3332	0.3339	0.2016
5%	0.3332	0.3336	0.1325
6%	0.3332	0.3336	0.1130
7%	0.3332	0.3335	0.1052
8%	0.3332	0.3335	0.1022
9%	0.3332	0.3335	0.0980
10%	0.3332	0.3335	0.0943
11%	0.3332	0.3335	0.0878
12%	0.3332	0.3335	0.0817
13%	0.3332	0.3334	0.0751
14%	0.3332	0.3334	0.0699
15%	0.3332	0.3334	0.0650

Tableau 4.5 Impacte de TssRisAM sur l'intensité ARIAS du séisme de BOUMERDES

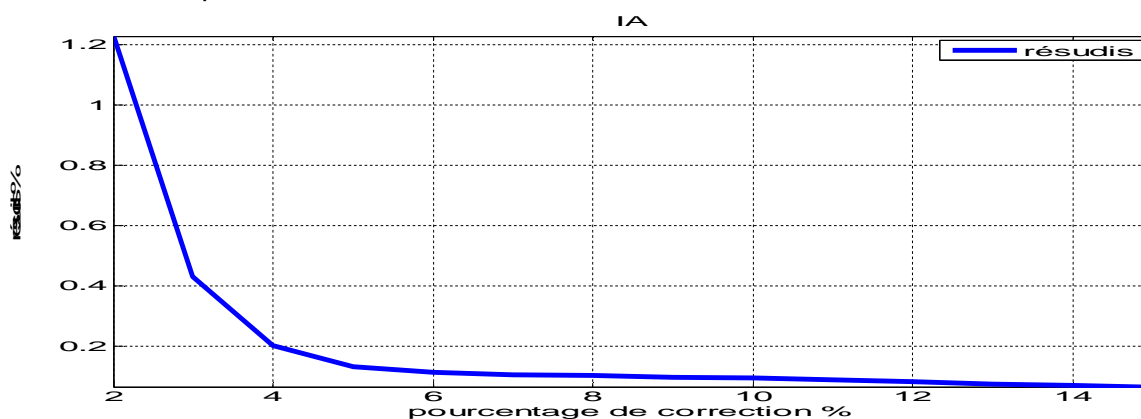


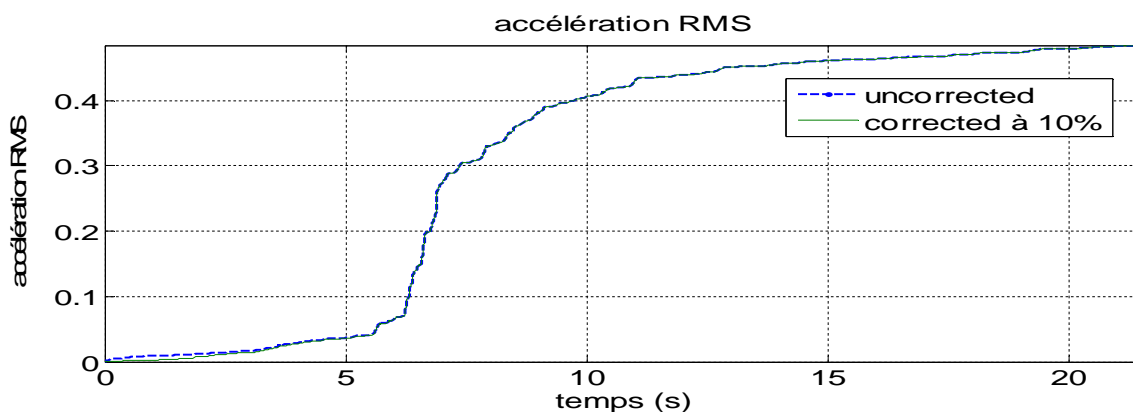
Figure 4.11 l'évolution du résidu (%) relatifs au IA en fonction la correction TssRisAM

La valeur du IA avant l'application de la correction est de 0.3332 et après correction prend des valeurs comprises entre 0.3334 et 0.3373 soit des différences comprises entre 0.0650% et 1.2288% (Tableau 4.6 et figure 4.11) valeurs jugées très faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre IA.



**4.3.2.1.6 Accélération de RMS (BOUMERDES):**

La figure 4.12 présente la variation de l'accélération RMS en fonction du temps du signal corrigé à 10% et non corrigé , et la tableau 4.7 représente la variation de ce même paramètre en fonction des pourcentages de correction.



**Figure 4.12** Accélération de RMS relative au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	La valeur de $a_{rms}$ sans l'application de la correction	La valeur de $a_{rms}$ avec l'application de la correction	Résidu / $a_{rms}$ (%)
1%	0.3610	0.3115	13.7264
2%	0.3610	0.3647	1.0078
3%	0.3610	0.3628	0.5084
4%	0.3610	0.3624	0.3764
5%	0.3610	0.3621	0.3095
6%	0.3610	0.3621	0.2955
7%	0.3610	0.3621	0.2876
8%	0.3610	0.3621	0.2936
9%	0.3610	0.3621	0.2921
10%	0.3610	0.3621	0.2900
11%	0.3610	0.3620	0.2838
12%	0.3610	0.3620	0.2773
13%	0.3610	0.3620	0.2710
14%	0.3610	0.3620	0.2652
15%	0.3610	0.3620	0.2608

**Tableau 4.6** Impacte de TssRisAM sur accélération RMS du séisme de BOUMERDES

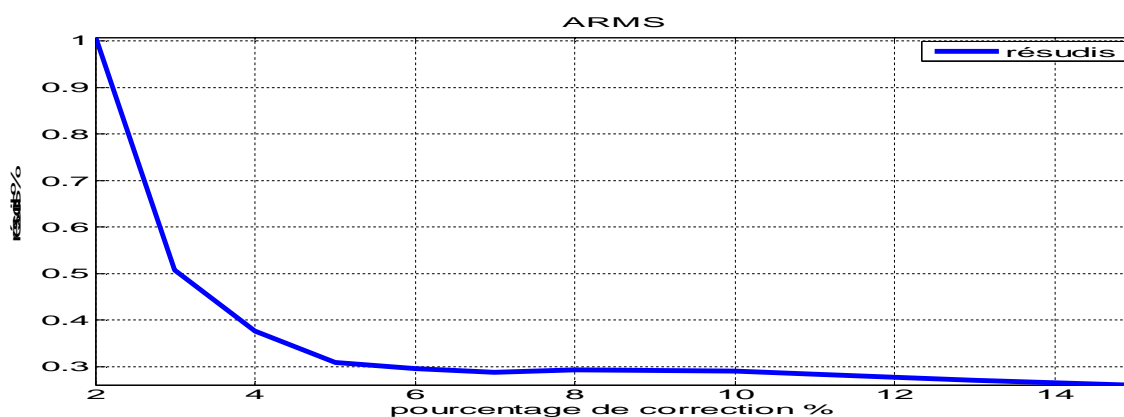


Figure 4.13 l'évolution du résidu (%) relatifs au A-RMS en fonction la correction TssRisAM

La valeur du  $A_{RMS}$  avant l'application de la correction est de 0.3610 et après correction prend des valeurs comprises entre 0.3620 et 0.3647 soit des différences comprises entre 0.2608% et 1.0078% (Tableau 4.7 et Figure 4.13) valeurs jugées très faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre  $A_{RMS}$ .

**4.3.2.2 Impacte de la correction TssRisAM sur les paramètres spectrales (spectres de réponses) (BOUMERDES):**

Pour voir l'influence de la correction TssRisAM sur la réponse dynamique des structures on trace les spectres de réponses on utilisant l'accélération non corrigée et l'accélération corrigé (Fig 4.14 et Tab 4.8). On remarque très bien que l'ordre de grandeur des résidus est très faible, inférieur à 0.5%, ce qui reflète le petit impacte de la correction sur les paramètres spectrales SD, Sv, Sa .

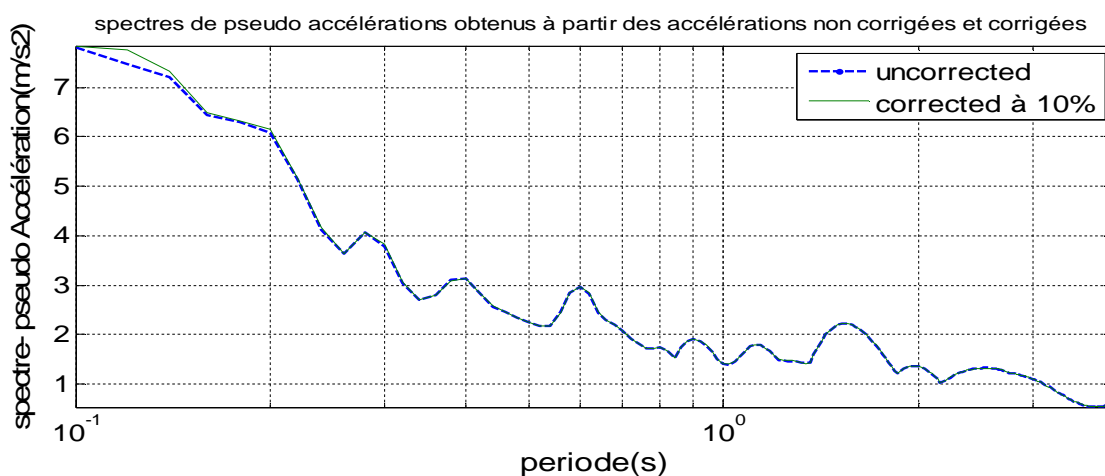
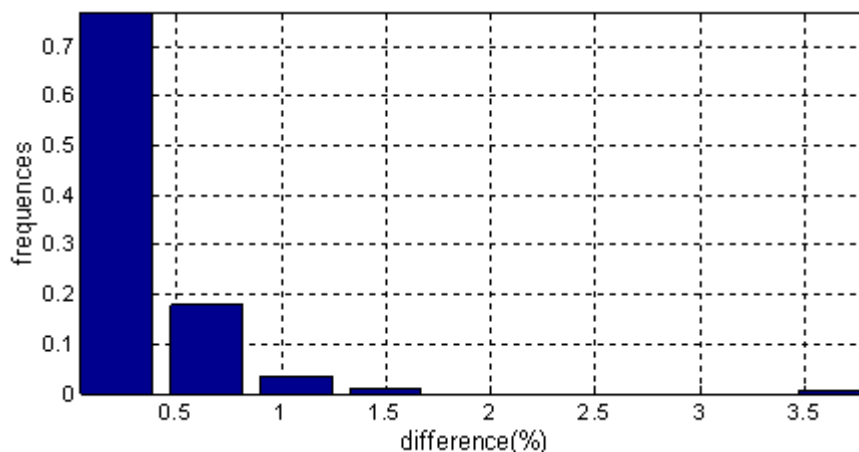


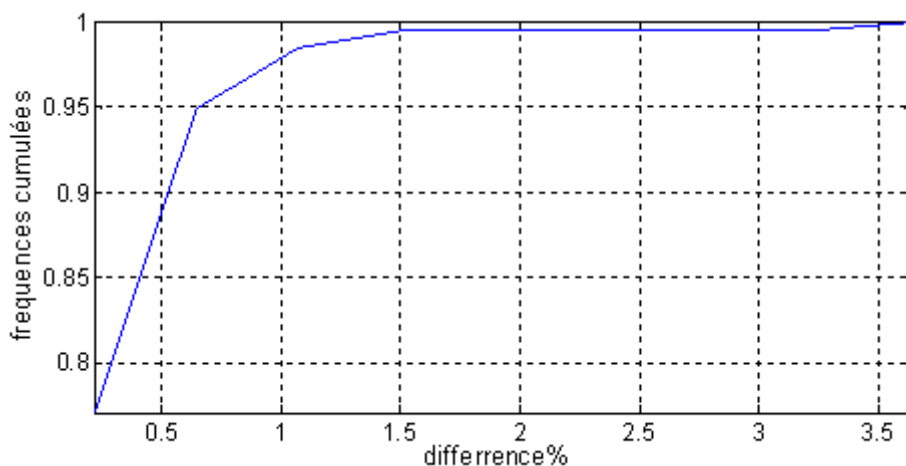
Figure 4.14 Spectres de Pseudo accélérations relatifs au séisme de BOUMERDES non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	Résidus (%) SD, Sv, Sa accélérations non corrigées et corrigés (Moyennes quadratiques)	Résidus (%) SD, Sv, Sa accélérations non corrigées et corrigés (écarts types)
1%	0.8221	0.5025
2%	0.7892	0.4821
3%	0.7483	0.4621
4%	0.6955	0.4311
5%	0.6524	0.3955
6%	0.6089	0.3665
7%	0.5612	0.3426
8%	0.5250	0.3250
9%	0.4862	0.3068
10%	0.4657	0.3015
11%	0.4300	0.2922
12%	0.4014	0.2703
13%	0.4002	0.2689
14%	0.3928	0.2655
15%	0.3863	0.2639

**Tableau 4.7** Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations du séisme de BOUMERDES

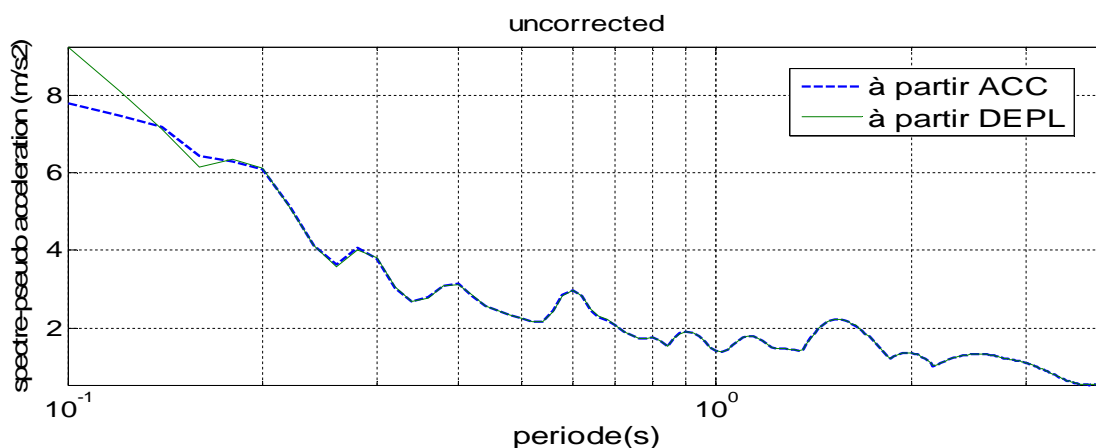
La figure 4.15 et la représente la distribution probabilistique des résidus relatifs aux spectres de réponses du séisme de Boumerdès non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%). On remarque que la majorité des résidus est inférieure à 1%.



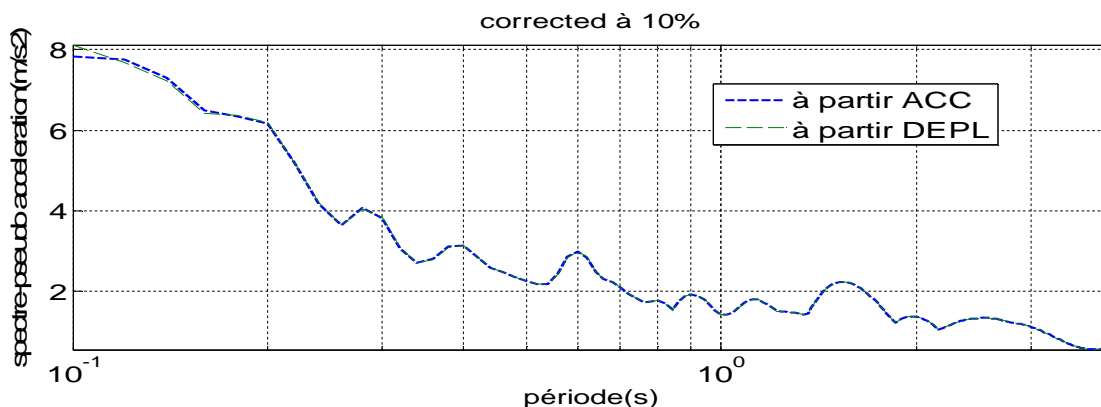


**Figure 4.15** La distribution probabilistique des résidus relatifs aux spectres de réponses pseudo accélérations du séisme de Boumerdès non corrigés et corrigé par TssRisAM (10%)

Bien évidemment nous effectuons la correction de l'accélération pour aboutir à des déplacements réalistes. Pour vérifier ça on présente par la figure 4.16 et la figure 4.17 la différence entre les spectres obtenus à partir d'un signal sismique non corrigé exprimé en accélérations et en déplacements est très petite (1.4873%) et cet écart est d'avantage affaibli (0.36%) après l'application de la correction TssRisAM (Tableau 4.9).



**Figure 4.16** Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélérations et déplacements non corrigés relatifs au séisme de BOUMERDES



**Figure 4.17** Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélération et déplacements corrigés par TssRisAM (10%) relatifs au séisme de BOUMERDES

Le pourcentage de correction(%)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements non corrigées (Moyennes quadratiques)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements corrigées (Moyennes quadratiques)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements non corrigées (Ecart type)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements corrigées (Ecart type)
1%	1.4873	0.3609	1.0535	0.2760
2%	1.4873	0.3601	1.0535	0.2755
3%	1.4873	0.3610	1.0535	0.2760
4%	1.4873	0.3603	1.0535	0.2755
5%	1.4873	0.3609	1.0535	0.2760
6%	1.4873	0.3609	1.0535	0.2760
7%	1.4873	0.3612	1.0535	0.2760
8%	1.4873	0.3610	1.0535	0.2760
9%	1.4873	0.3610	1.0535	0.2760
10%	1.4873	0.3612	1.0535	0.2759
11%	1.4873	0.3609	1.0535	0.2760
12%	1.4873	0.3611	1.0535	0.2760
13%	1.4873	0.3609	1.0535	0.2760
14%	1.4873	0.3611	1.0535	0.2760
15%	1.4873	0.3609	1.0535	0.2760

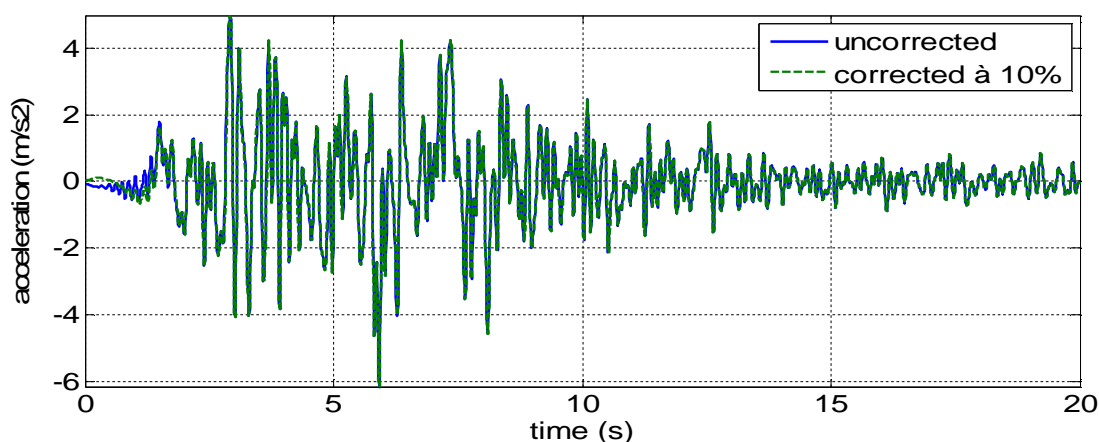
**Tableau 4.8** Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélération et des déplacements du séisme de BOUMERDES

**4.3.3 Le traitement du signal sismique de SAKARIA (1999) en utilisant la correction TssRisAM:**

**4.3.3.1 Impacte de la TssRisAM sur les paramètres de nocivités :**

**4.3.3.1.1 Accélération maximale PGA (SAKARIA):**

Pour vérifier l'impact de la TssRisAM sur le PGA on trace sur le même graphe l'accélération corrigée à 10% et l'accélération non corrigée. On remarque que les deux résultats sont identiques.



**Figure 4.18** Accélérogrammes du séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Pour voir aussi l'effet du pourcentage de la correction on lui a varié de 1% à 15% et on a comparé le PGA avant et après correction (Tableau4.9) , on observe que la valeur du PGA avant l'application de la correction est de 6.1628 m/s<sup>2</sup> et après correction devient 6.1528 m/s<sup>2</sup> soit une différence de 0.1617 % valeur jugée très faible ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le présent paramètre.

Le pourcentage de correction(%)	La valeur du PGA sans l'application de la correction m/s <sup>2</sup>	La valeur du PGA avec l'application de la correction m/s <sup>2</sup>	Résidus / PGA (%)
1%	6.1628	12.0391	95.3512
2%	6.1628	6.1528	0.1617
3%	6.1628	6.1528	0.1617
4%	6.1628	6.1528	0.1617

5%	6.1628	6.1528	0.1617
6%	6.1628	6.1528	0.1617
7%	6.1628	6.1528	0.1617
8%	6.1628	6.1528	0.1617
9%	6.1628	6.1528	0.1617
10%	6.1628	6.1528	0.1617
11%	6.1628	6.1528	0.1617
12%	6.1628	6.1528	0.1617
13%	6.1628	6.1528	0.1617
14%	6.1628	6.1528	0.1617
15%	6.1628	6.1528	0.1617

Tableau 4.9 Impact de TssRisAM sur le PGA du séisme de SAKARIA

4.3.3.1.2 Cumulative Absolute Velocity CAV (SAKARIA):

La figure 4.19 présente la variation du CAV en fonction du temps pour le signal corrigé à 10% et non corrigé . On observe que les deux résultats sont superposés.

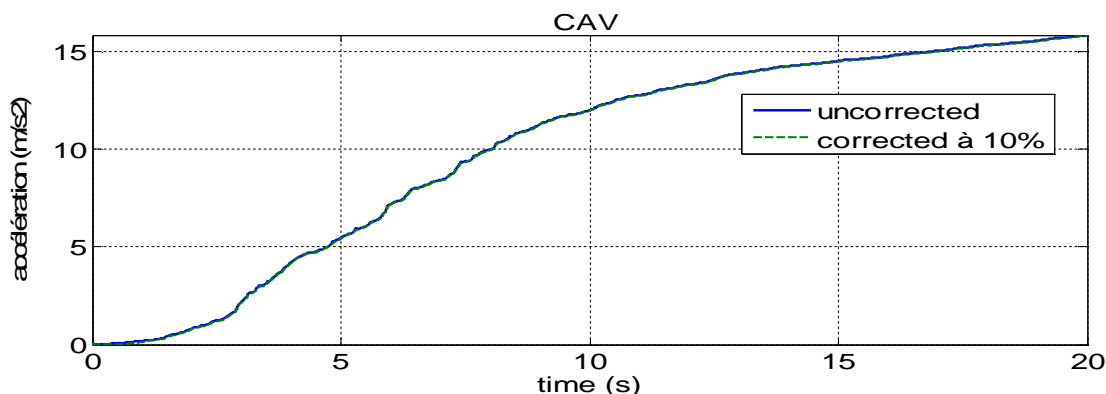


Figure 4.19 Cumulative Absolute Velocity du séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

On observe dans le tableau 4.10 et la figure 4.20 la valeur du CAV avant l'application de la correction est de 11.2406 et après correction prend des valeurs comprises entre 10.8746 et 11.9475 soit des différences comprises entre 0.1930% et 6.2887% . Ces valeurs sont jugées faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre CAV.

Le pourcentage de correction(%)	La valeur du CAV sans l'application de la correction	La valeur du CAV avec l'application de la correction	Résidu / CAV (%)
1%	11.2406	12.6562	12.5941
2%	11.2406	11.9475	6.2887
3%	11.2406	11.6836	3.9414
4%	11.2406	11.5418	2.6796
5%	11.2406	11.4558	1.9152
6%	11.2406	11.3933	1.3589
7%	11.2406	11.3472	0.9490
8%	11.2406	11.3123	0.6383
9%	11.2406	11.2730	0.2888
10%	11.2406	11.2189	0.1930
11%	11.2406	11.1547	0.7641
12%	11.2406	11.0900	1.3399
13%	11.2406	11.0195	1.9668
14%	11.2406	10.9437	2.6414
15%	11.2406	10.8746	3.2554

Tableau 4.10 Impact de TssRisAM sur le CAV du séisme de SAKARIA

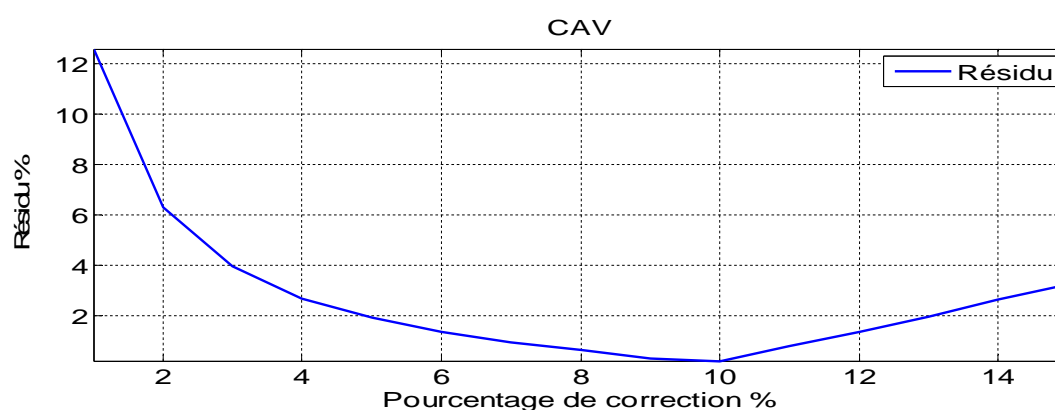


Figure 4.20 l'évolution du résidu (%) relatifs au CAV en fonction de la longueur de la zone de la correction TssRisAM

**4.3.3.1.3 Durée de la phase forte (SAKARIA):**

La figure 4.21 présente la variation de la durée de la phase du signal corrigé à 10% et non corrigé , et la tableau 4.11 représente la variation de la même durée en fonction des pourcentages de correction.



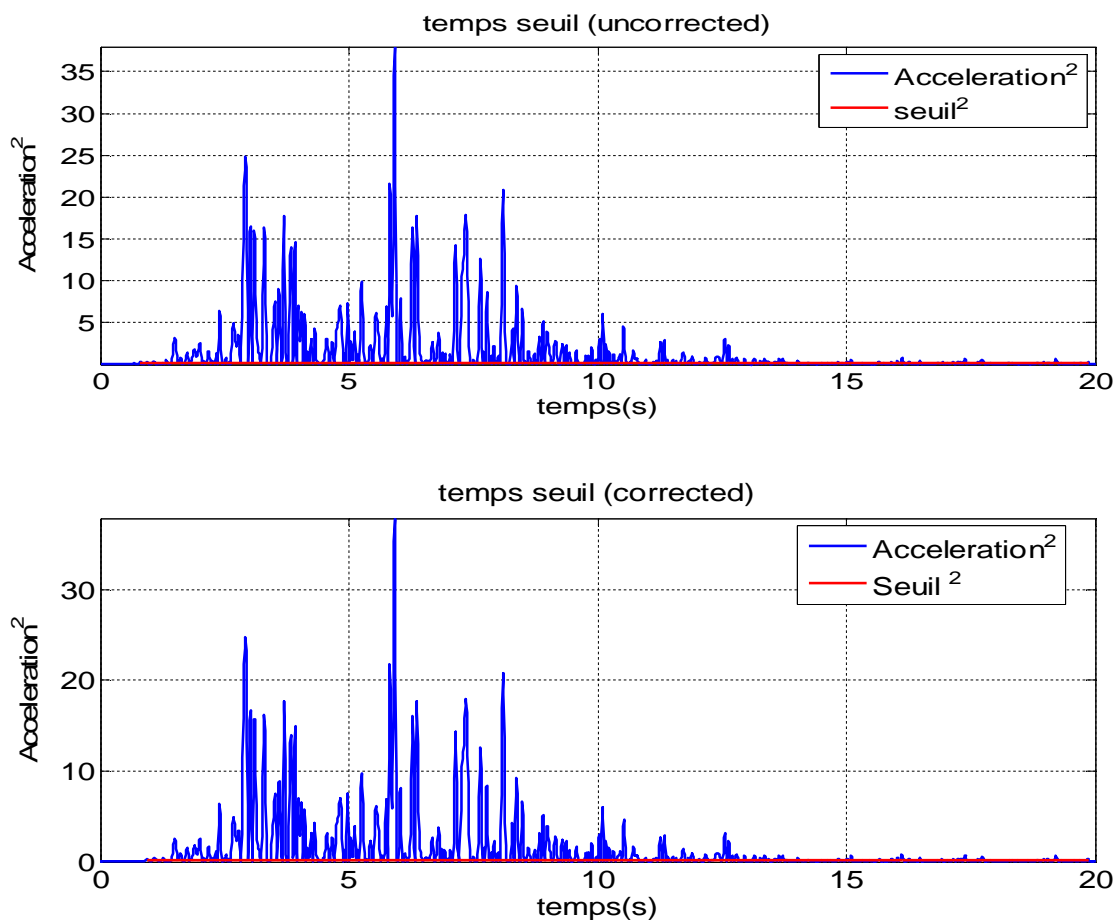


Figure 4.21 La durée de la phase forte relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	Sans correction			Avec correction			Résidu / Db (%)
	Temps début	Temps fin	Durée de seuil Db	Temps début	Temps fin	Durée de seuil Db	
1%	1.3200	19.8700	18.5500	0.0098	19.8632	19.8534	7.0267
2%	1.3200	19.8700	18.5500	0.0098	19.8632	19.8534	7.0267
3%	1.3200	19.8700	18.5500	0.0293	19.8632	19.8339	6.9213
4%	1.3200	19.8700	18.5500	0.0684	19.8632	19.7948	6.7106
5%	1.3200	19.8700	18.5500	1.3190	19.8632	18.5442	0.0312
6%	1.3200	19.8700	18.5500	1.3190	19.8632	18.5442	0.0312
7%	1.3200	19.8700	18.5500	1.3190	19.8632	18.5442	0.0312
8%	1.3200	19.8700	18.5500	1.3190	19.8632	18.5442	0.0312
9%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4362	19.8632	18.4270	0.6633

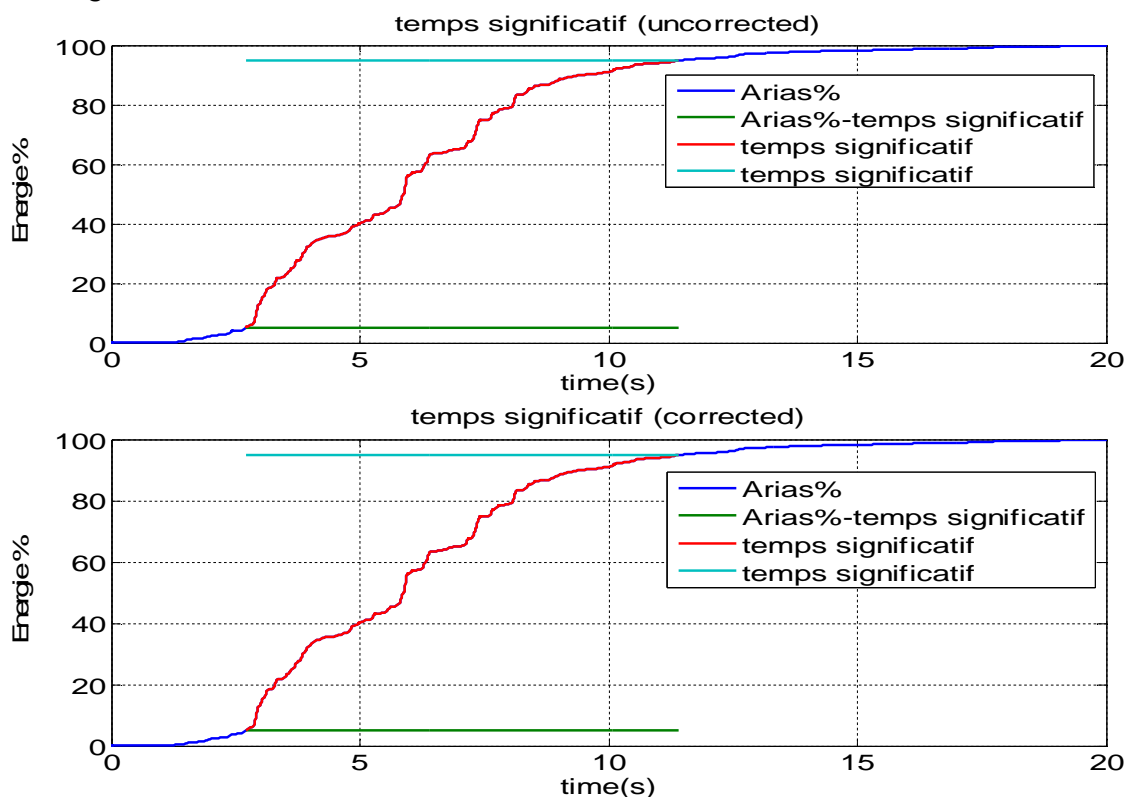
10%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4460	19.8632	18.4172	0.7159
11%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4460	19.8632	18.4172	0.7159
12%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4558	19.8632	18.4074	0.7686
13%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4558	19.8632	18.4074	0.7686
14%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4656	19.8632	18.3977	0.8213
15%	1.3200	19.8700	18.5500	1.4656	19.8632	18.3977	0.8213

**Tableau 4.11** Impacte de TssRisAM sur la durée de la phase forte du séisme de SAKARIA

A travers ces résultats on remarque que la valeur du Db avant l'application de la correction est de 18.5500s et après la correction prend des valeurs comprises entre 18.3977s et 19.8534s soit des différences comprises entre 0.0312 % et 7.0267 % (Tableau 4.11) valeur jugée très faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre Db.

**4.3.3.1.4 La durée significative (SAKARIA):**

La figure 4.22 présente la variation de la durée significative du signal corrigé à 10% et non corrigé , et la tableau 4.12 représente la variation de la même durée en fonction des pourcentages de correction.



**Figure 4.22** La durée significative relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction( %)	Sans correction			Avec correction			Résidu / <b>Db</b> (%)
	Temps début	Temps fin	Durée de seuil <b>Db</b>	Temps début	Temps fin	Durée de seuil <b>Db</b>	
1%	2.7000	11.4000	8.7000	0.0391	10.2394	10.2003	17.2447
2%	2.7000	11.4000	8.7000	0.3127	11.3141	11.0015	26.4536
3%	2.7000	11.4000	8.7000	2.1983	11.3434	9.1451	5.1160
4%	2.7000	11.4000	8.7000	2.4426	11.3532	8.9106	2.4207
5%	2.7000	11.4000	8.7000	2.6575	11.3630	8.7054	0.0623
6%	2.7000	11.4000	8.7000	2.6771	11.3727	8.6957	0.0500
7%	2.7000	11.4000	8.7000	2.6771	11.3825	8.7054	0.0623
8%	2.7000	11.4000	8.7000	2.6869	11.3923	8.7054	0.0623
9%	2.7000	11.4000	8.7000	2.6869	11.3923	8.7054	0.0623
10%	2.7000	11.4000	8.7000	2.7064	11.4021	8.6957	0.0500
11%	2.7000	11.4000	8.7000	2.7455	11.4118	8.6663	0.3869
12%	2.7000	11.4000	8.7000	2.7748	11.4411	8.6663	0.3869
13%	2.7000	11.4000	8.7000	2.8041	11.4998	8.6957	0.0500
14%	2.7000	11.4000	8.7000	2.8627	11.5095	8.6468	0.6115
15%	2.7000	11.4000	8.7000	2.8725	11.5095	8.6370	0.7238

Tableau 4.12 Impacte de TssRisAM sur la durée significative du séisme de SAKARIA

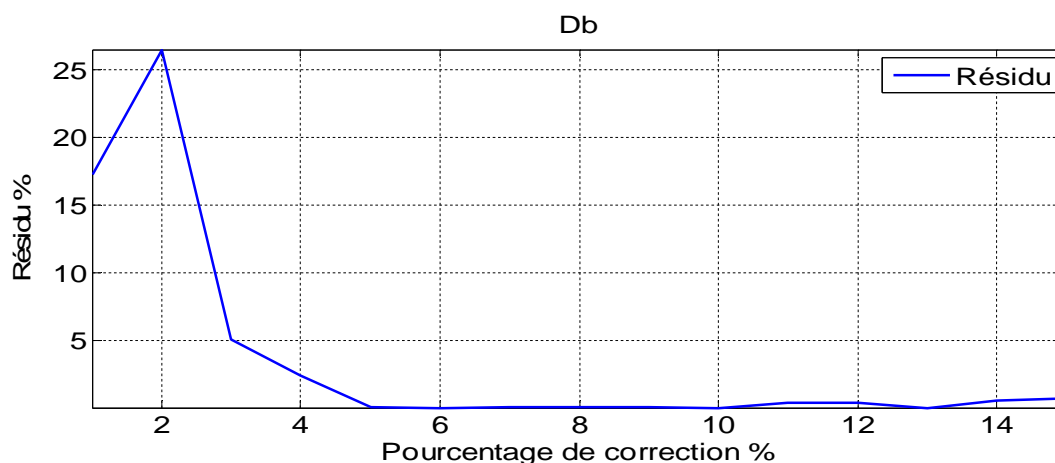
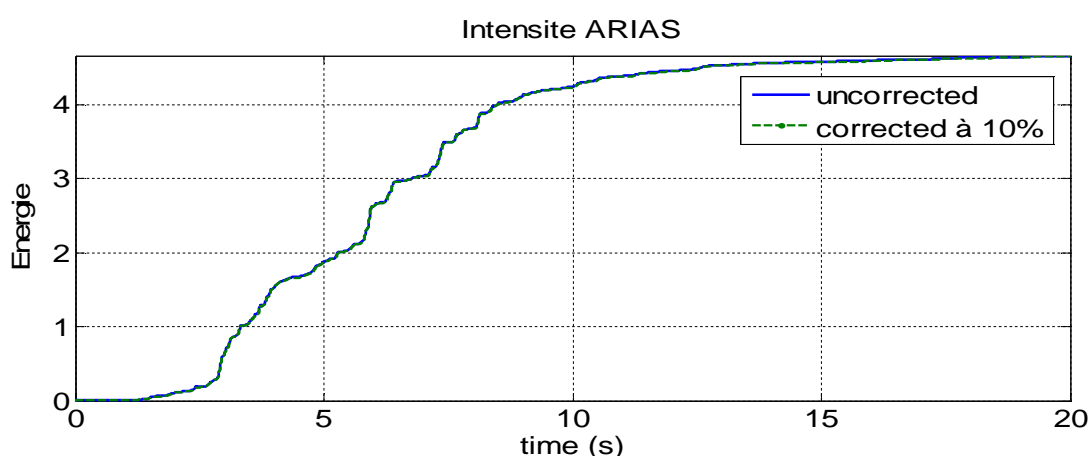


Figure 4.23 l'évolution du résidu (%) relatifs au Db en fonction la correction TssRisAM

La valeur du Db avant l'application de la correction est de 8.7000s et après correction prend des valeurs comprises entre 8.6370s et 11.0015s soit des différences comprises entre 0.0500% et 5.1160% (Tableau 4.12 et Figure 4.23) valeurs jugées faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre Db.

**4.3.3.1.5 Intensité ARIAS IA (SAKARIA):**

La figure 4.24 présente la variation de l'intensité ARIAS en fonction du temps du signal corrigé à 10% et non corrigé , et le tableau 4.13 représente la variation de ce même paramètre en fonction des pourcentages de correction.

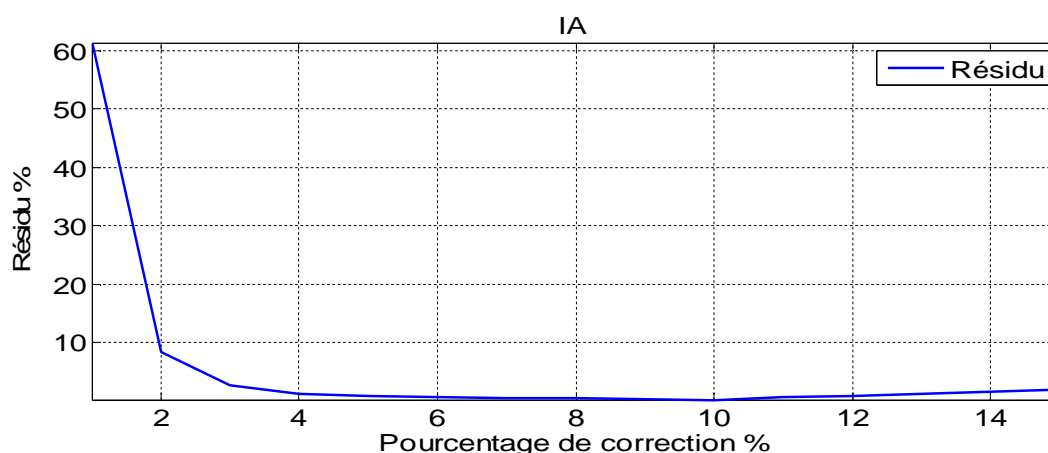


**Figure 4.24** Intensité ARIAS relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	La valeur du IA sans l'application de la correction	La valeur du IA avec l'application de la correction	Résidus / IA (%)
1%	3.6088	5.8224	61.3388
2%	3.6088	3.9080	8.2902
3%	3.6088	3.7037	2.6287
4%	3.6088	3.6549	1.2788
5%	3.6088	3.6377	0.8001
6%	3.6088	3.6301	0.5894
7%	3.6088	3.6250	0.4478
8%	3.6088	3.6232	0.4004

9%	3.6088	3.6166	0.2175
10%	3.6088	3.6021	0.1863
11%	3.6088	3.5888	0.5544
12%	3.6088	3.5778	0.8591
13%	3.6088	3.5637	1.2489
14%	3.6088	3.5500	1.6290
15%	3.6088	3.5401	1.9031

**Tableau 4.13** Impacte de TssRisAM sur l'intensité ARIAS du séisme de SAKARIA

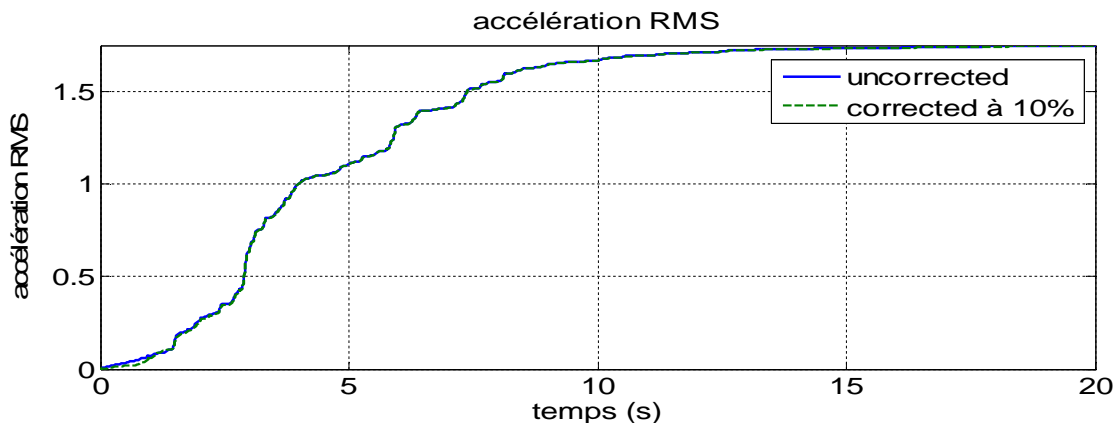


**Figure 4.25** l'évolution du résidu (%) relatifs au IA en fonction la correction TssRisAM

La valeur du IA avant l'application de la correction est de 3.6088 et après correction prend des valeurs comprises entre 3.5401 et 3.7037 soit des différences comprises entre 0.1863% et 2.6287% (Tableau 4.13 et figure 4.25) valeurs jugées faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre IA.

**4.3.3.1.6 Accélération de RMS (SAKARIA):**

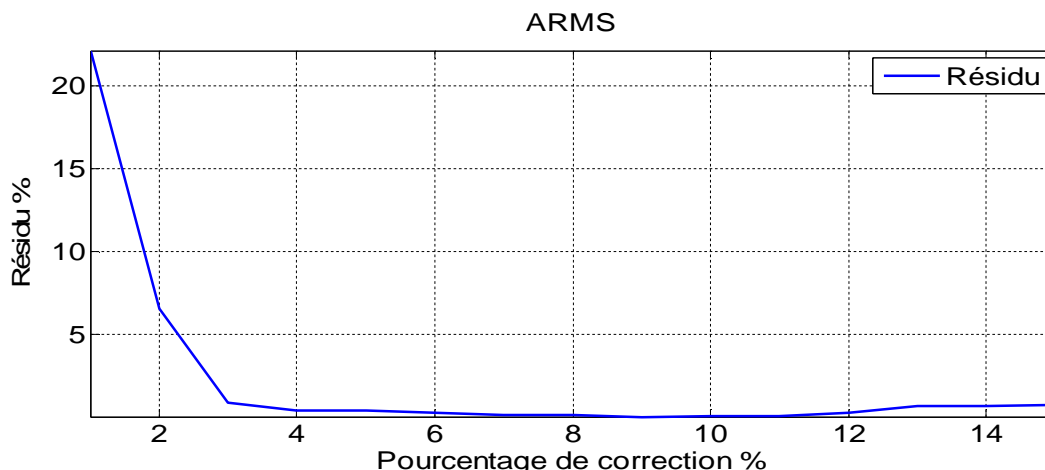
La figure 4.26 présente la variation de l'accélération RMS en fonction du temps du signal corrigé à 10% et non corrigé , et la tableau 4.14 représente la variation de ce même paramètre en fonction des pourcentages de correction.



**Figure 4.26** Accélération de RMS relative au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

Le pourcentage de correction(%)	La valeur de $a_{rms}$ sans l'application de la correction	La valeur de $a_{rms}$ avec l'application de la correction	Résidu / $a_{rms}$ (%)
1%	1.4362	1.7535	22.0899
2%	1.4362	1.3419	6.5712
3%	1.4362	1.4230	0.9219
4%	1.4362	1.4296	0.4659
5%	1.4362	1.4423	0.4189
6%	1.4362	1.4411	0.3379
7%	1.4362	1.4391	0.1958
8%	1.4362	1.4387	0.1718
9%	1.4362	1.4373	0.0754
10%	1.4362	1.4352	0.0758
11%	1.4362	1.4344	0.1260
12%	1.4362	1.4320	0.2953
13%	1.4362	1.4262	0.6973
14%	1.4362	1.4265	0.6819
15%	1.4362	1.4246	0.8146

**Tableau 4.14** Impacte de TssRisAM sur accélération RMS du séisme de SAKARIA

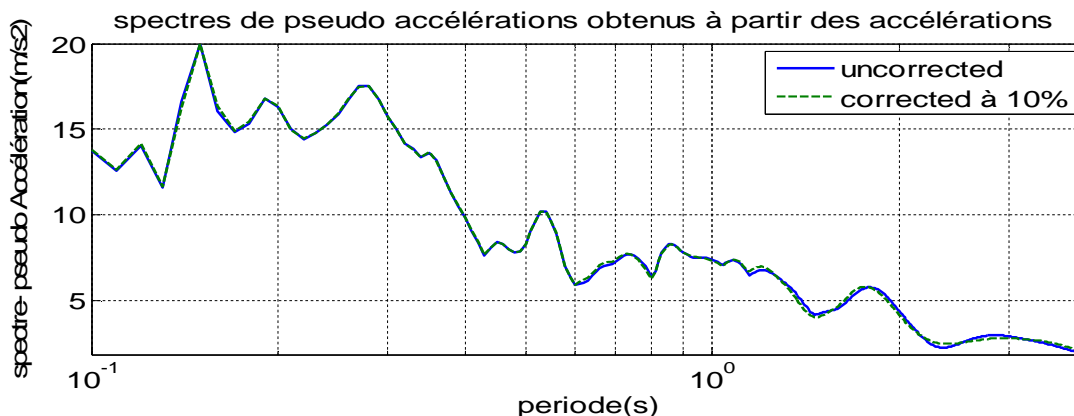


**Figure 4.27** l'évolution du résidu (%) relatifs au A-RMS en fonction la correction TssRisAM

La valeur du  $A_{RMS}$  avant l'application de la correction est de 1.4362 et après correction prend des valeurs comprises entre 1.4230 et 1.4423 soit des différences comprises entre 0.0754% et 0.9219% (Tableau 4.14 et Figure 4.27) valeurs jugées faibles ce qui nous permet de conclure que la correction TssRisAM n'a pas une influence significative sur le paramètre  $A_{RMS}$ .

**4.3.3.2 Impacte de la correction TssRisAM sur les paramètres spectrales (spectres de réponses) (SAKARIA):**

Pour voir l'influence de la correction TssRisAM sur la réponse dynamique des structures on trace les spectres de réponses on utilisant l'accélération non corrigée et l'accélération corrigé (Fig 4.28 et Tab 4.15). On remarque très bien que l'ordre de grandeur des résidus est très faible, inférieur à 3%, ce qui reflète le petit impacte de la correction sur les paramètres spectrales SD, Sv, Sa .

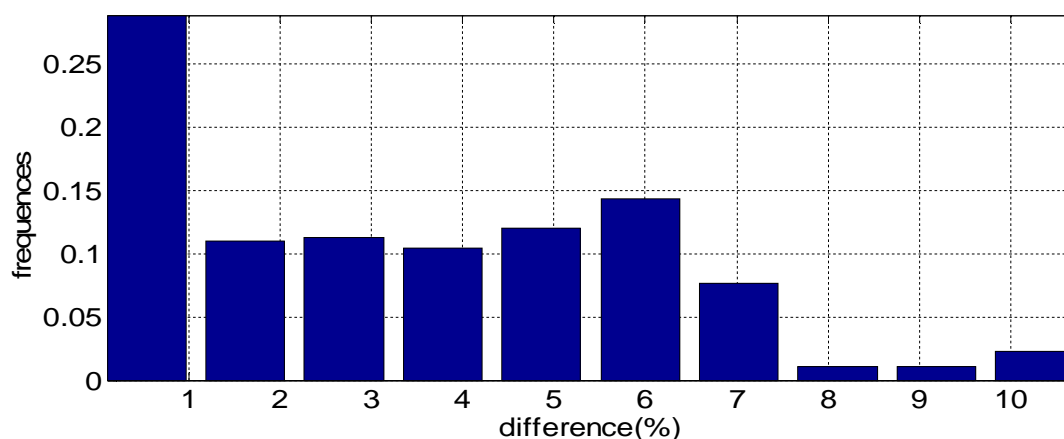


**Figure 4.28** Spectres de Pseudo accélérations relatifs au séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%)

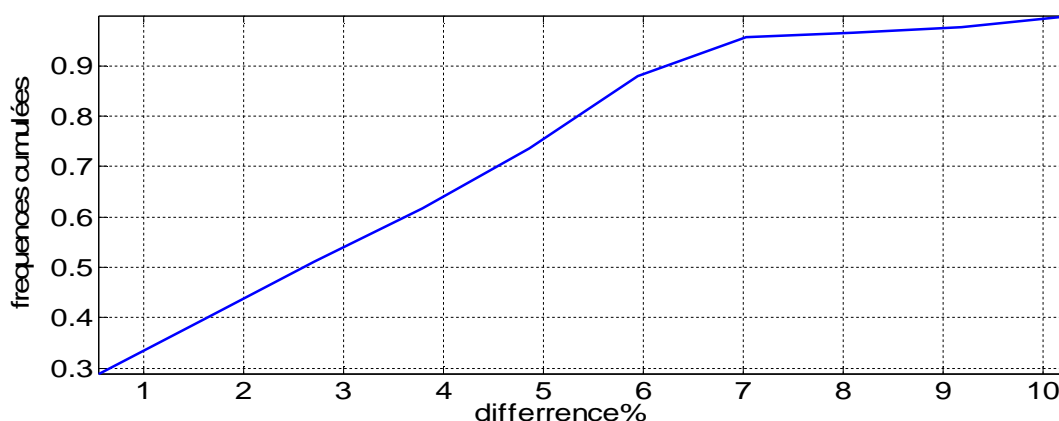
Le pourcentage de correction(%)	Résidus (%) SD, Sv, Sa accélérations non corrigées et corrigés (Moyennes quadratiques)	Résidus (%) SD, Sv, Sa accélérations non corrigées et corrigés (écarts types)
1%	22.8006	19.0519
2%	4.7629	2.7382
3%	4.4853	2.5365
4%	4.3505	2.4781
5%	4.1424	2.3660
6%	4.0234	2.4102
7%	3.9481	2.4128
8%	3.9730	2.4307
9%	4.1135	2.4777
10%	4.2820	2.5730
11%	4.5270	2.7234
12%	4.8255	2.9380
13%	5.1633	3.1461
14%	5.4693	3.3046
15%	5.7407	3.4080

**Tableau 4.15** Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations du séisme de SAKARIA

La figure 4.29 représente la distribution probabilistique des résidus relatifs aux spectres de réponses du séisme de SAKARIA non corrigé et corrigé par TssRisAM (10%). On remarque que la majorité des résidus est inférieure à 1%.

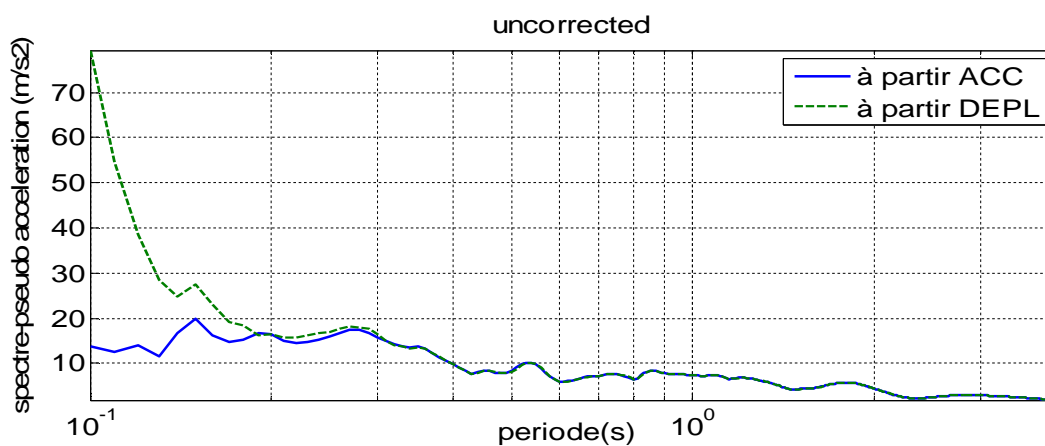




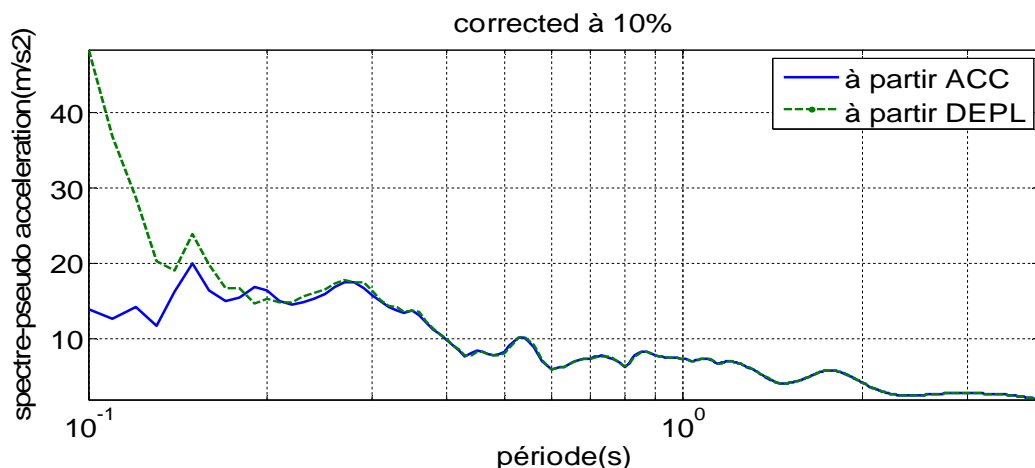


**Figure 4.29** La distribution probabilistique des résidus relatifs aux spectres de réponses pseudo accélérations du séisme de SAKARIA non corrigés et corrigé par TssRisAM (10%)

Bien évidemment nous effectuons la correction de l'accélération pour aboutir à des déplacements réalistes. Pour vérifier ça on présente par la figure4.30 et la figure4.31 la différence entre les spectres obtenus à partir d'un signale sismique non corrigé exprimé en accélérations et en déplacements est de (39.6046%) et cet écart est d'avantage affaibli (29.3006%) après l'application de la correction TssRisAM (Tableau 4.16).



**Figure 4.30** Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélérations et déplacements non corrigé relatifs au séisme de SAKARIA



**Figure 4.31** Spectres de Pseudo accélérations obtenus à partir d'accélération et déplacements corrigés par TssRisAM (10%) relatifs au séisme de SAKARIA

Le pourcentage de correction(%)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements non corrigées (Moyennes quadratiques)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements corrigées (Moyennes quadratiques)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements non corrigées (Ecart type)	Résidus (%) SD, Sv Sa /accélérations et déplacements corrigées (Ecart type)
1%	39.6046	10.2198	29.3006	7.1063
2%	39.6046	20.7379	29.3006	15.4003
3%	39.6046	20.7383	29.3006	15.4003
4%	39.6046	20.7382	29.3006	15.4003
5%	39.6046	20.7384	29.3006	15.4003
6%	39.6046	20.7387	29.3006	15.4003
7%	39.6046	20.7385	29.3006	15.4003
8%	39.6046	20.7387	29.3006	15.4003
9%	39.6046	20.7387	29.3006	15.4003
10%	39.6046	20.7385	29.3006	15.4003
11%	39.6046	20.7382	29.3006	15.4003
12%	39.6046	20.7379	29.3006	15.4003
13%	39.6046	20.7380	29.3006	15.4003
14%	39.6046	20.7380	29.3006	15.4003
15%	39.6046	20.7386	29.3006	15.4003

**Tableau 4.16** Impacte de TssRisAM sur les spectres de pseudo accélérations obtenus à partir des accélérations et des déplacements du séisme de SAKARIA

L'objectif de ce travail , comme cité précédemment, est de contribuer à l'enrichissement des connaissances relatives au domaine du traitement des signaux sismiques. A cet effet on a essayé dans ce mémoire de rappeler qu'est ce qu'un problème d'intégrabilité, citer ses causes, éclaircir les différentes solutions et approches existantes et en final on a proposé et expliqué une nouvelle approche nommée TssRisAM .

Suite à cela on a conclus principalement ce qui suit:

- Les bruits qui affectent les signaux sismiques lors de leurs enregistrements ne sont pas l'unique cause du problème d'intégrabilité. La méthode d'intégration, les valeurs initiale et finale non nulles ainsi que d'autres facteurs, représentent des causes du problème d'intégrabilité et mènent à des déplacements non réaliste.

- Il reste impossible d'identifier un traitement optimale et universel valable pour n'importe quel signal sismique du moment que les procédures de traitement doivent être appréciées par les utilisateurs finaux et elles dépendent du domaine de leurs applications.

- La correction de la ligne de base fait ,à la fin de l'enregistrement, converger les déplacements vers le zéro. Cela représente un résultat satisfaisant ,mais elle reste une méthode modificatrice car elle agit sur tout le signal ,et incomplète puisqu'elle demande l'utilisation du filtrage.

- Le filtrage est le traitement le plus utilisé par les professionnels et les organismes de la sismologie. Mais autour de cette méthode, les praticiens et les chercheurs ne portent pas le même intérêt , notamment sur son principe de fonctionnement qui est basé sur la suppression des fréquences, et ces dernières peuvent être à leurs tour des fréquences dominatrices dans le signal. Il existe aussi un désaccord sur le choix du type du filtre, la valeur de l'ordre du filtre, les fonctions de transfert et les fréquences de coupures à utiliser.

- L'approche TssRisAM présentée dans ce travail permet de corriger le signal sismique et avoir des déplacements raisonnables, tout en agissant sur une partie de ce signal, et tenant compte des conditions initiales non nulles et la présence du bruit. Nous avons démontré dans ce mémoire que cette approche préserve les caractéristiques de nocivités et spectrales du signal.

- Arias A.1970. *A measure of earthquake intensity: Seismic Design for Nuclear Power Plants*. Cambridge: MIT Press.
- Bazzurro P,Sjoberg B,Luco N,Silva W,Darragh R.2004. *Effects of Strong Motion Processing Procedures on Time Histories Elastic and Inelastic Spectra*. The Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems (COSMOS).
- Benmansour N.2013.*Essai de la variabilité du mouvement sismique sur les ponts*.
- Boore D M, Bommer J J.2005. *Processing of strong-motion accelerograms: needs,options and consequences*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 25*.
- Boukli I, Rachedi M.2010. *Elaboration d'un Logiciel de Traitement du Signal Sismique*.
- Bowness D,Lock AC,Powrie W,Priest J,Richards DJ.2007. *Monitoring the dynamic displacements of railway track*. *Journal of Rail and Rapid Transit Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*.
- Coelho B,olscher P H, Barends F.2011. *Enhancement of double integration procedure through spectral subtraction*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 31*.
- Derras B. 2011. *Contribution des données accélérométriques de KiK-Net à la prédiction du mouvement sismique par l'approche neuronale avec la prise en compte des effets de site*.
- DGPR.2011. *Risque sismique et sécurité dans les ouvrages hydrauliques*. Rapport MEDDTL-DGPR
- Hung C C.1997. *Stable Baseline Correction of Digital Strong-Motion Data*. *Bulletin of the Seismological Society of America Vol 87*.
- Jiong G,Hong H,Yong L.2004. *Generation of probabilistic displacement response spectra for displacement-based design*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 24*.
- K-NET.2002. *Data processing of K-NET*.[www.k-net.bosai.go.jp](http://www.k-net.bosai.go.jp).
- Kostov M.2005. *Site Specific Estimation of Cumulative Absolute Velocity*. *18th International Conference On Structural Mechanics In Reactor Technology*.
- Ministère des Travaux Publics(MTP).2010. *Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA)*.
- Priestley M,Kowalsky M.2000. *Direct displacement-based design of concrete buildings*. *Bull NZ Soc Earthquake Engineering*.
- Rachedi M, Boukli I.2011. *Un logiciel de traitement de signal sismique «RisAM Signal»*. *Rencontres Universitaires de Génie Civil AUGC Vol 29*.
- Rupakhety R, Sigbjornsson R.2010.*A note on the L'Aquila earthquake of 6 April 2009 : Permanent ground displacements obtained from strong-motion accelerograms*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 30*.
- Seismosoft *Earthquake Engineering Software Solutions (SEESS)* .2010. *Seismosignal* .[www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com).

*Sigurdsson S U, Rupakhety R, Sigbjornsson R.2011. Adjustments for baseline shifts in far- fault strong-motion data: An alternative scheme to high-pass filtering. Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 31.*

*Silva W J,Abrahamson N A,Toro G,Costantino C.1997. Description and validation of the stochastic ground motion model. Report Submitted to Brookhaven National Laboratory Associated Universities*

*Stiros S C.2008. Errors in velocities and displacements deduced from accelerographs:An approach based on the theory of error propagation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 28.*

*Trifunac M,Brady A.1975. A study on the duration of strong earthquake ground motion. Bulletin of the Seismological Society of America.*

*USGS.2002. Data processing of USGS.[www.nsmg.wr.usgs.gov](http://www.nsmg.wr.usgs.gov).*

*Yang J,Li J B,Lin G.2006. A simple approach to integration of acceleration data for dynamic soil-structure interaction analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol 26.*

*Zerva A. 2009. Spatial Variation of Seismic Ground Motions: Modeling and Engineering Applications. Florida: CRC Press.*

### **Résumé:**

Le traitement du signal sismique reste d'actualité vue que ses résultats sont largement utilisés dans plusieurs applications en génie parasismique tels que l'analyse non linéaire des structures étendues, le développement des cartes des codes parasismiques , l'interaction sol structure et bien d'autres applications.

A cet effet, il faut en particulier résoudre le problème de l'intégration des signaux , car ces derniers sont théoriquement affectés et mènent à des signaux de vitesses et de déplacements non réalistes obtenus par l'intégration directe de l'histoire temporelle d'accélération et c'est l'objet de ce travail.

L'approche TssRisAM présentée dans ce travail permet de corriger le signal sismique et avoir des déplacements raisonnables, tout en agissant sur une partie de ce signal, et tenant compte des conditions initiales non nulles et la présence du bruit. Nous avons démontré dans ce mémoire que cette approche préserve les caractéristiques sismologique et parasismique du signal.

Mots clés: Bruits, Problème d'intégrabilité, Traitement, Filtrage, TssRisAM.

### **Abstract:**

The seismic signal processing stays of seen current events that its results are widely used in several applications in earthquake-resistant engineering such as the not linear analysis of the vast structures, the development of the cards of the earthquake-resistant codes, the interaction ground structures and many other applications.

For that purpose, it is necessary to solve in particular the problem of the integration of the signals, because the latter are affected in theory by noises during their recordings, what leads to signals of speeds and not realistic movements obtained by the direct integration of the temporal history of acceleration.

The approach TssRisAM presented in this work allows to correct the seismic signal and credit note of the reasonable movements, while acting on a part of this signal, and taking into account not invalid initial conditions and the presence of the noise. We demonstrated in this report that this approach protects the seismological and earthquake-resistant characteristics of the signal.

Key word: Noise, Integrability problem, Traitement, Filtring, TssRisAM.

### **ملخص:**

ما زالت التجهيزات الإشارة الزلزالية صالحة للاستخدام على نطاق واسع نتائجها تظهر في العديد من التطبيقات لاسيما في هندسة الزلازل (التحليل غير الخطية الهياكل الموسعة، تطوير خرائط رموز الزلزالي، والتفاعل بنية التربة) والعديد من التطبيقات الأخرى.

لهذا الغرض، من الضروري حل مشكلة معينة لدمج الإشارات لأنها تتأثر بأصوات من الناحية النظرية على التسجيلات، الأمر الذي يؤدي إلى إشارات السرعة والتهجير غير واقعية حصلت عليها التكامل توجيه تسارع التاريخ الوقت.

تسس ريزام برنامج يسمح لتصحيح إشارة الزلزالية ولها تنقلات معقولة، ولها تأثيرات محدودة على هذه الإشارة، ومراعاة الظروف الأولية غير صفرية مع وجود ضوضاء. أظهرنا في هذه الورقة أن هذا النهج يحافظ على الخصائص الزلزالية والزلازل الإشارات.

كلمات البحث: التشويشات، مشكلة التفاضل، المعالجة، تصفية، تسس ريزام .

# ***Résumé***

# ***Abstract***



ملخص

***Remerciment***

# ***Table des matières***

# ***Liste des figures***

# ***Liste des tableaux***

# ***Introduction***

***Chapitre 01***  
***Problématique***

# ***Chapitre 02***

## ***Etat de l'Art***



## ***Chapitre 03***

### ***La correction TssRisAM***

## ***Chapitre 04***

# ***L'impact de TssRisAM sur les paramètres globaux***

# ***Conclusion***

# ***Références Bibliographiques***