

Chapitre Premier

Caractérisation du mouvement sismique

2ème Partie

Paramètres caractéristiques du mouvement sismique

- ❑ *Intensité d'un séisme*
- ❑ *Magnitude d'un séisme*
- ❑ *Relations intensité-magnitude*
- ❑ *Echelles de Mercalli et de Richter*
- ❑ *Classification des séismes*
- ❑ *Exemples de séismes*
- ❑ *Grandeurs sismiques maximales*
- ❑ *Sismogrammes et spectres de réponse*

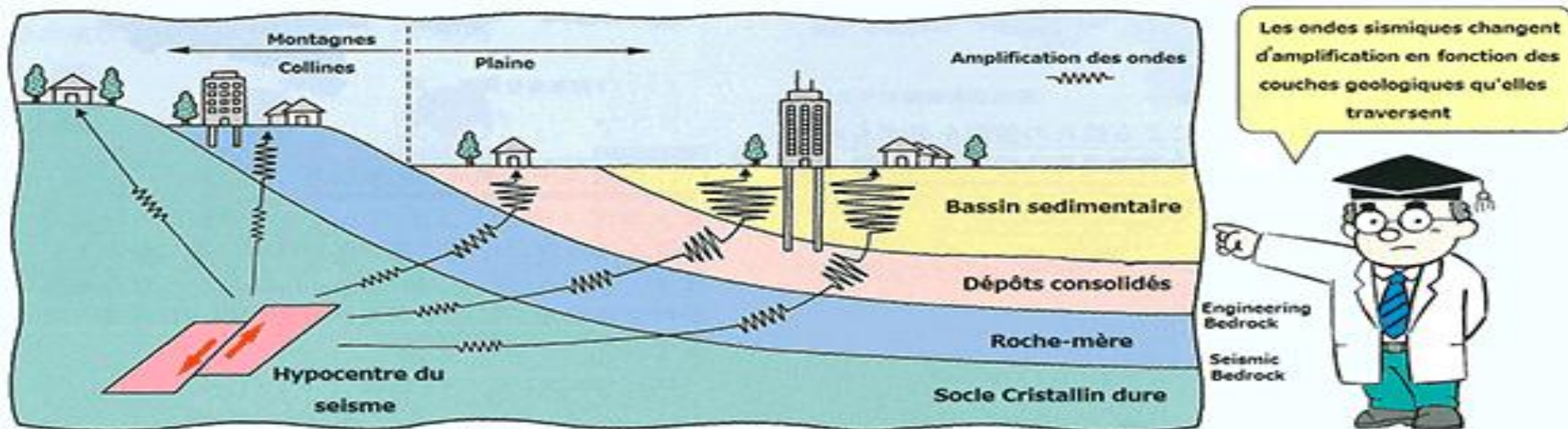


INTENSITÉ D'UN SÉISME

❑ Définition de l'intensité d'un séisme

Elle mesure l'importance ou le degré de sévérité d'un séisme en un lieu donné d'après les manifestations ressenties par la population et les dégâts matériels qu'il a provoqués.

Pour un séisme donné, l'intensité dépend de la distance à l'épicentre. Elle décroît généralement quand cette distance augmente, mais varie selon la structure géologique des terrains traversés par la secousse sismique.



Chap. 1 : Caractérisation du mouvement sismique

□ Echelles d'intensité d'un séisme

Différentes échelles d'intensité ont été définies. Elles sont fondées sur l'observation des effets et des conséquences d'un séisme en un lieu donné. On dispose des échelles macroscopiques suivantes :

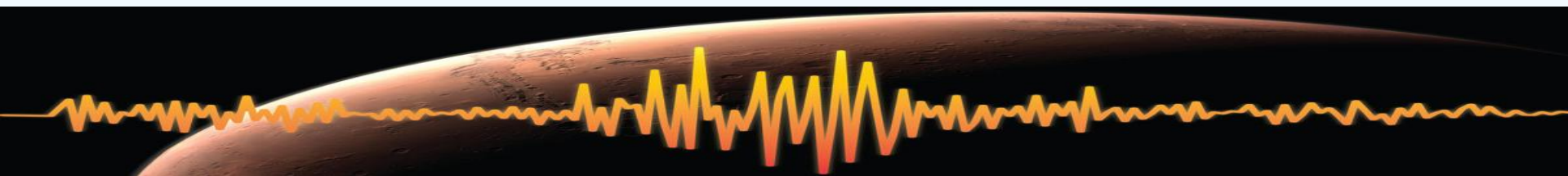
- **Echelle d'intensité de Mercalli (1932 modifié en 1956) :** Elle décrit les effets observés des séismes sur l'environnement, les constructions et les sens de l'homme.
- **Echelle d'intensité MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik, 1964) :** Elle est plus précise que la précédente car elle prend en compte pour l'évaluation des dégâts le type de constructions et le pourcentage des ouvrages affectés (analyse qualitative des effets du séisme). Cependant, cette échelle ne permet pas de déterminer des paramètres physiques directement utilisables pour le calcul (accélération maximale, durée du séisme, contenu fréquentiel du mouvement, nombre de cycles forts au cours du mouvement).
- **Echelle d'intensité EMS98 (European Microseismic Scale, 1998) :** Elle dérive de la précédente.
- **Intensités référentielles :** Intensité d'Arias et Intensité d'Housner

❑ Echelle d'intensité de Mercalli

Echelle de Mercalli (1932, modifiée en 1956)



Degré	Observations
I	Secousse imperceptible par l'homme
II-III	Secousse ressentie par un faible nombre de personnes
IV-V	Secousse ressentie par de nombreuses personnes
VI	Secousse ressentie par la plupart des personnes
VII	Dommages légers aux constructions
VIII-IX	Dommages importants aux constructions, fissuration du sol
X	Destruction générale des bâtiments
XI-XII	Catastrophes



❑ Echelle d'intensité MSK

Echelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik, 1964)



Degré	Observations	$a_{max} (\times g)$
I	Secousse non perceptible	-
II	Secousse à peine perceptible	<0.003
III	Secousse faible ressentie de façon partielle	0.003 – 0.007
IV	Secousse largement ressentie	0.007 – 0.015
V	Secousse entièrement ressentie (réveil des dormeurs)	0.015 – 0.030
VI	Secousse engendrant la frayeur	0.030 – 0.070
VII	Secousse suivie de dommages aux constructions	0.070 – 0.150
VIII	Secousse occasionnant des destructions de bâtiments	0.150 – 0.300
IX	Secousse avec dommages généralisés aux constructions	0.300 – 0.700
X	Secousse avec destruction généralisée des bâtiments	0.700 – 1.500
XI	Secousse avec situation de catastrophe	1.500 – 3.000
XII	Secousse provoquant un changement de paysage	3.000 – 7.000

❑ Echelle d'intensité MSK

Echelle JMA (Japan Meteorological Agency, 1984)



Degré	Effets observés
I	Non ressenti : trop faible pour être ressenti par les humains ; enregistré seulement par les instruments.
II	Léger : ressenti seulement par les personnes au repos ou particulièrement attentives aux séismes.
III	Faible : ressenti par la plupart des gens ; léger mouvement des vitres et des portes coulissantes japonaises.
IV	Fort : fort tremblement des maisons et des immeubles, basculement des objets instables et débordement de liquides.
V	Très fort : fissures dans les murs de brique et de plâtre, basculement des lanternes de pierres japonaises, des pierres tombales et d'objets similaires, dommages aux cheminées et aux entrepôts en argile, glissement de terrain dans les régions montagneuses escarpées.
VI	Désastre : destruction de 1 à 30% des maisons de bois japonaises, larges glissements de terrain, fissures dans le sol et dans certains champs accompagnés de rejets de boue et d'eau.
VII	Ruine : destruction de plus de 30% des maisons, larges glissements de terrain, fissures et failles.

❑ Echelle d'intensité EMS98

Echelle EMS98 (European Microseismic Scale, 1998)



Degré	Secousse	Dégâts
I	non ressentie	Elle n'est pas ressentie par les personnes, même dans l'environnement le plus favorable.
II	rarement ressentie	Les vibrations ne sont ressenties que par quelques individus au repos dans leur habitation, plus particulièrement dans les étages supérieurs des bâtiments.
III	faiblement ressentie	L'intensité de la secousse est faible et n'est ressentie que par quelques personnes à l'intérieur des constructions. Des observations attentifs notent un léger balancement des objets suspendus ou des lustres.
IV	largement ressentie	Le séisme est senti à l'intérieur des constructions par quelques personnes, mais très peu le perçoivent à l'extérieur. Certains dormeurs sont réveillés. La population n'est pas effrayée par l'amplitude de la vibration. Les fenêtres, les portes et les assiettes tremblent. Les objets suspendu se balancent.

A suivre ...

❑ Echelle d'intensité EMS98

Echelle EMS98 (European Microseismic Scale, 1998)



Degré	Secousse	Dégâts
V	forte	Le séisme est ressenti à l'intérieur des constructions par de nombreuses personnes et par quelques personnes à l'extérieur. De nombreux dormeurs s'éveillent, quelques-uns sortent en courant. Les constructions sont agitées d'un tremblement général. Les objets suspendus sont animés d'un large balancement. Les assiettes et les verres se choquent. La secousse est forte. Le mobilier lourd tombe. Les portes et fenêtres battent avec violence.
VI	Légers dommages	Le séisme est ressenti par la plupart des personnes, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. De nombreux dormeurs s'éveillent, quelques-uns sortent en courant. Les constructions sont agitées d'un tremblement général. Les objets suspendus sont animés d'un large balancement. Les assiettes et les verres se choquent. La secousse est forte. Le mobilier lourd tombe. Les portes et fenêtres battent avec violence.

A suivre ...

❑ Echelle d'intensité EMS98

Echelle EMS98 (European Microseismic Scale, 1998)



Degré	Secousse	Dégâts
VII	Dommages significatifs	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Le mobilier est renversé et les objets suspendus tombent en grand nombre. Beaucoup de bâtiments ordinaires sont modérément endommagés : fissuration des murs, chutes de parties de cheminées.
VIII	Dommages importants	Dans certains cas, le mobilier se renverse. Les constructions subissent des dommages : chutes de cheminées, lézardes larges et profondes dans les murs, effondrement partiels éventuels.
IX	destructive	Les monuments et les statues se déplacent ou tournent sur eux-mêmes. Beaucoup de bâtiments s'effondrent en partie, quelques-uns entièrement.
X	très destructive	Beaucoup de constructions s'effondrent.
XI	dévastatrice	La plupart des constructions s'effondrent.
XII	catastrophique	Pratiquement toutes les structures au-dessus et au-dessous du sol sont gravement endommagées ou détruites.

□ Intensités référentielles

- **Intensité d'Arias (Arias, 1970)** : Elle fournit une mesure de l'intensité du séisme en fonction de l'accélération sismique $a(t)$ et s'exprime à l'aide de la relation suivante :

$$I_a(t) = \frac{\pi}{2g} \int_0^t [a(\tau)]^2 d\tau$$

où t désigne la durée totale de l'enregistrement et g l'accélération de la pesanteur.

- **Intensité d'Housner (Housner, 1959)** : Egalement appelée intensité spectrale, elle fournit une mesure de l'intensité du séisme en fonction de la vitesse spectrale et s'exprime à l'aide de la relation suivante :

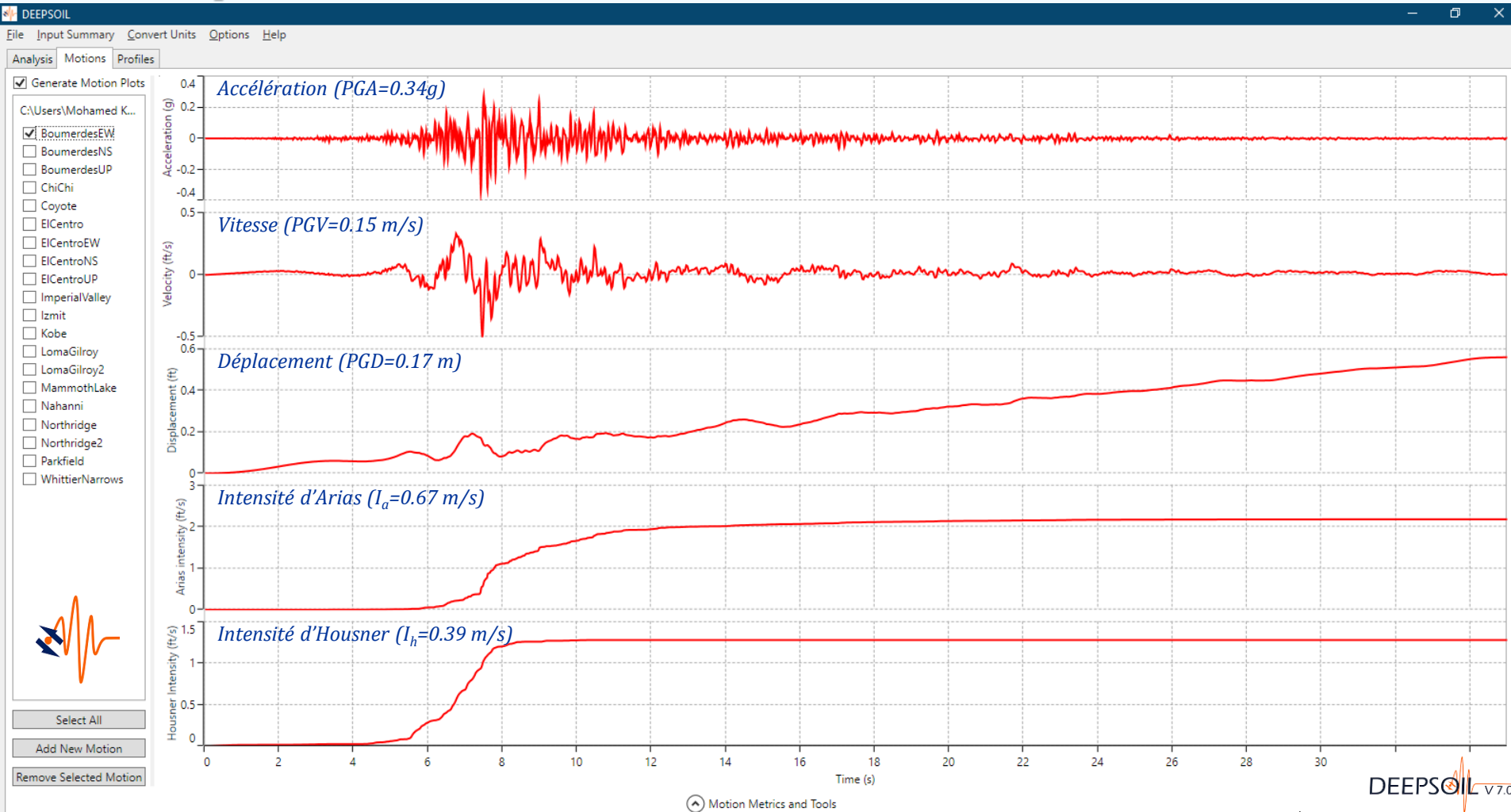
$$I_h(t) = \sum_0^t \int_{T=0.1}^{T=2.5} S_v(T, \xi) dT = \frac{1}{2\pi} \sum_0^t \int_{T=0.1}^{T=2.5} S_a(T, \xi) T dT$$

où $S_v(T, \xi)$ et $S_a(T, \xi)$ désignent les spectres de réponse en pseudo-vitesse et pseudo-accélération respectivement, T la période et ξ le taux d'amortissement structural considéré (généralement pris égal à $\xi = 5\%$).

Nota : Ces deux intensités semblent raisonnablement corrélées aux dommages observés sur les structures (EPRI, 1988 et 1991).

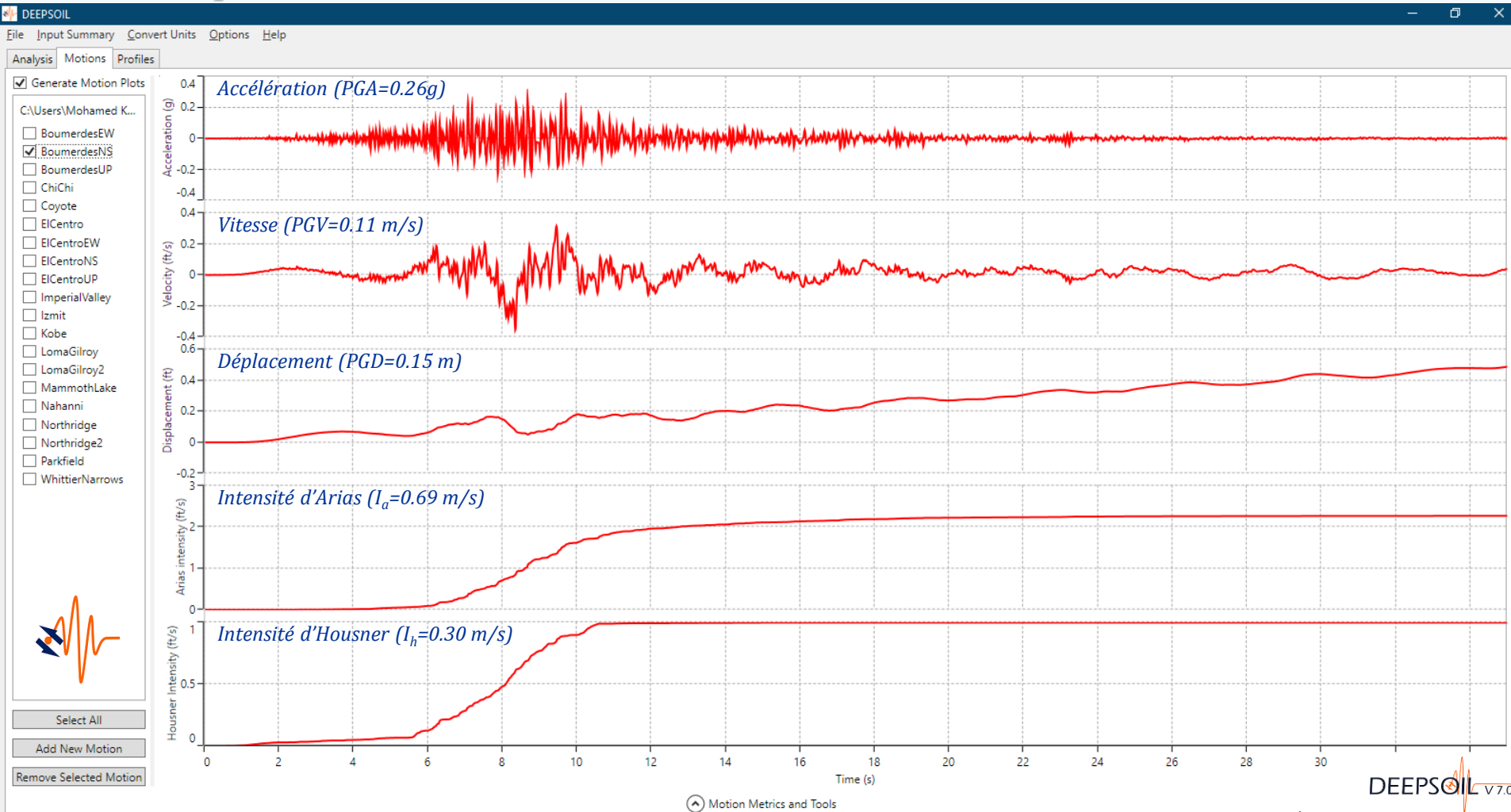
□ Intensités référentielles

Exemple : Séisme de Boumerdès (21/05/2003) / $M_w=6.8$ / Composante EW



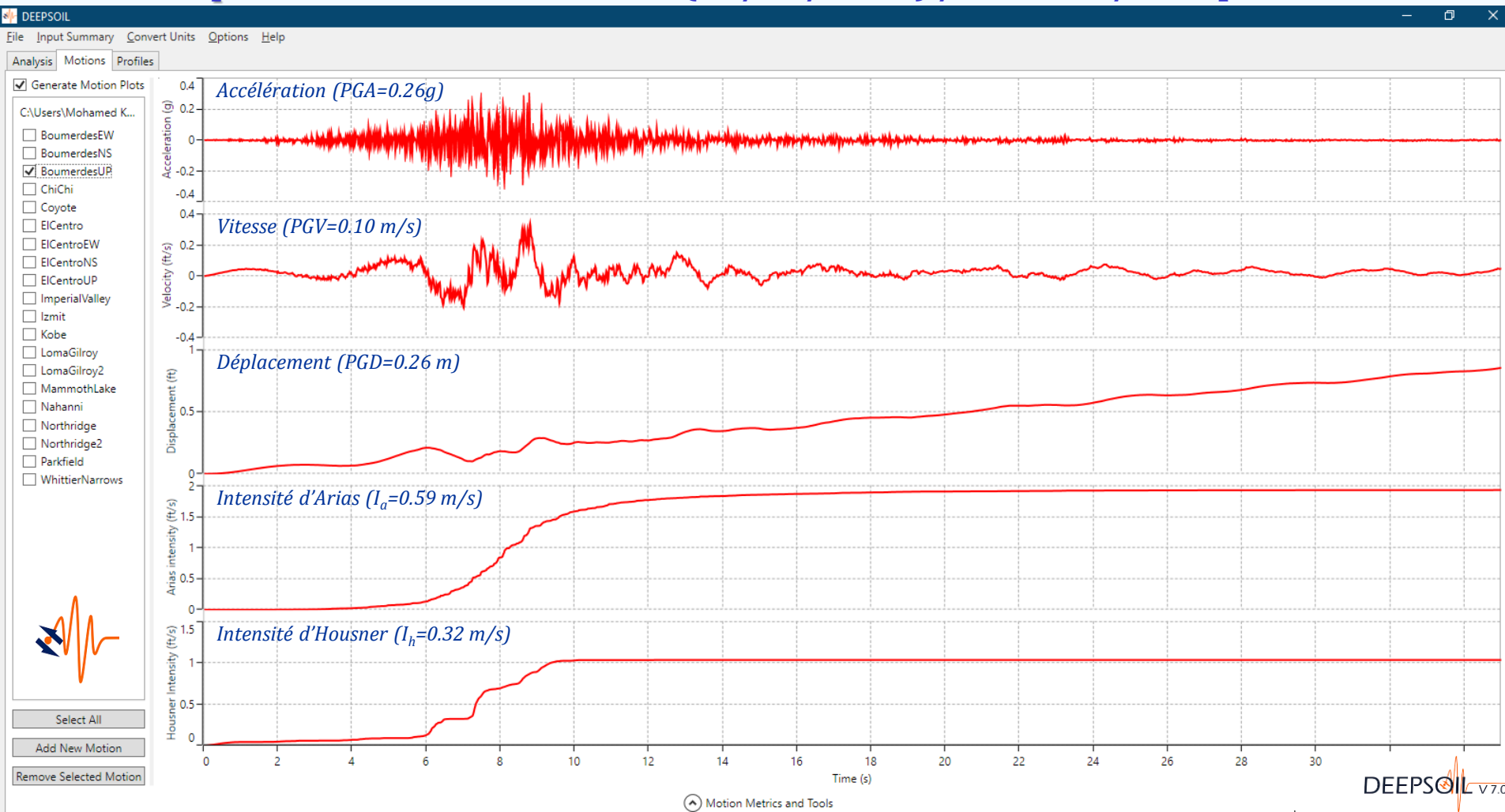
Intensités référentielles

Exemple : Séisme de Boumerdès (21/05/2003) / $M_w=6.8$ / Composante NS



Intensités référentielles

Exemple : Séisme de Boumerdès (21/05/2003) / $M_w=6.8$ / Composante UP

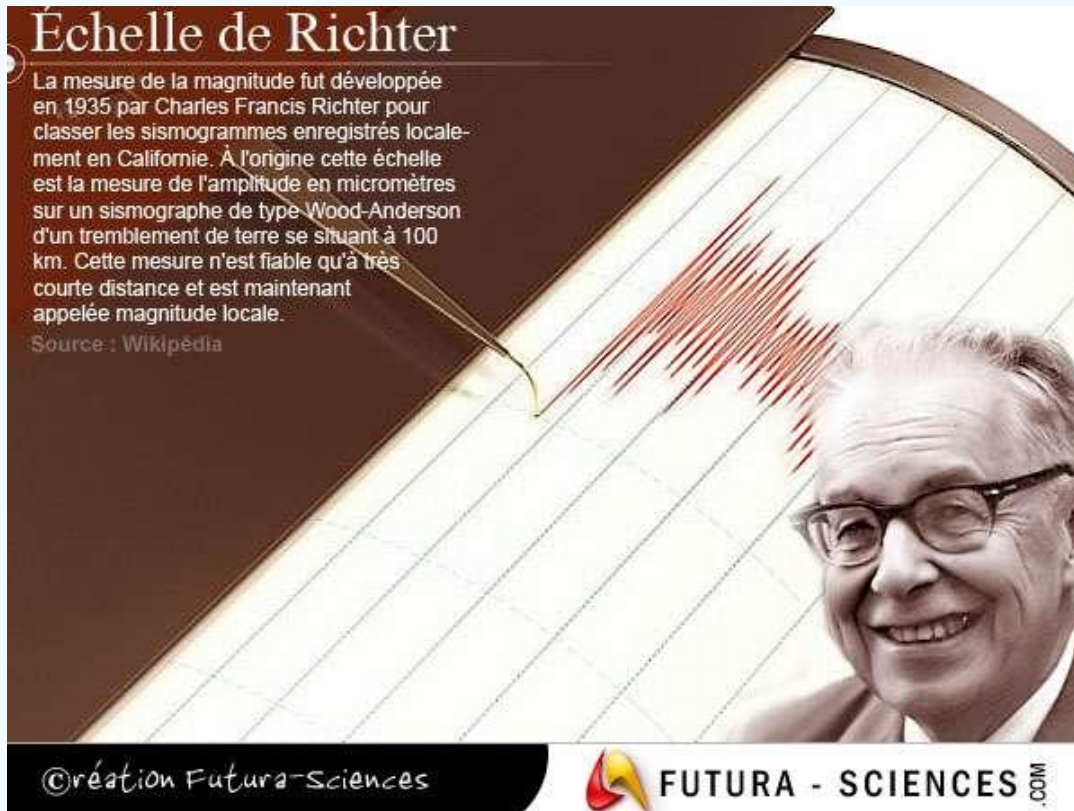


MAGNITUDE D'UN SÉISME

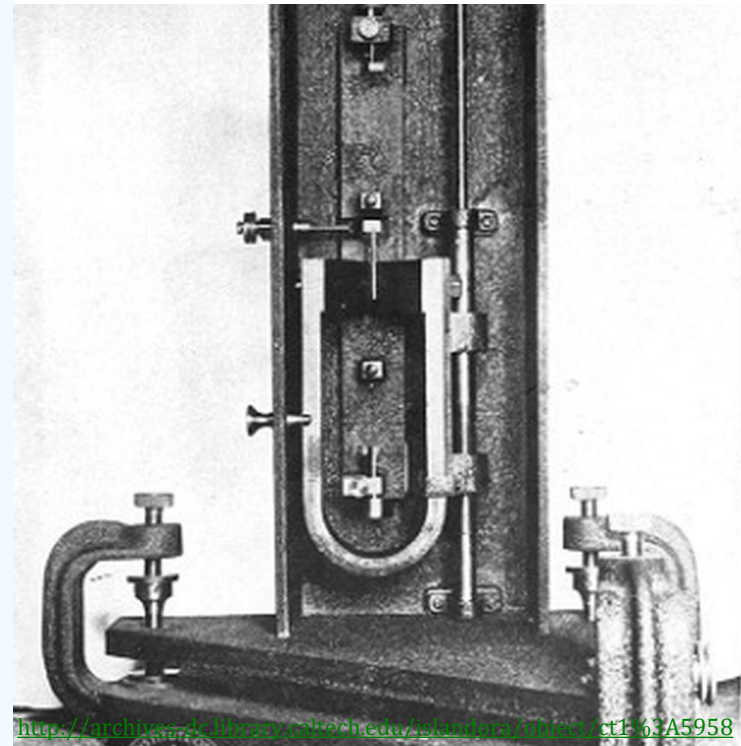


❑ Définition de la magnitude d'un séisme

Elle est définie par Richter (1935) pour les séismes de Californie, comme une fonction de l'amplitude maximum qu'enregistrerait un sismographe particulier de type Wood-Anderson à 100 km de l'épicentre.



Wood-Anderson torsion seismometer



❑ Sismographe Wood-Anderson



Jardin
sciences

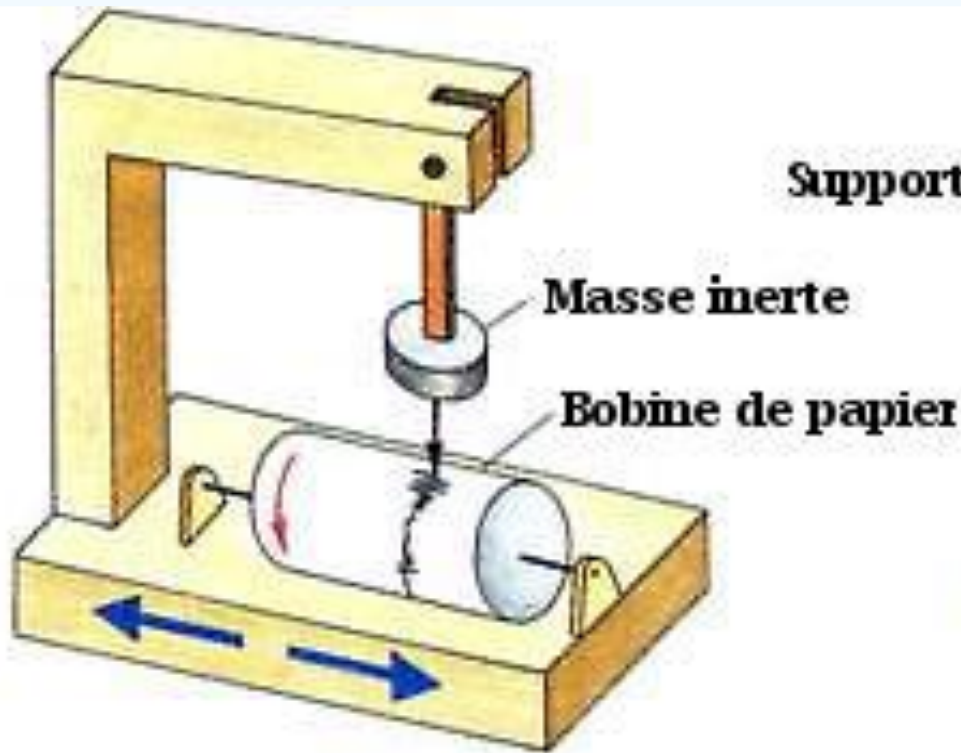
Musée de
Sismologie
et collections de
Géophysique

Sismographe Wood-Anderson

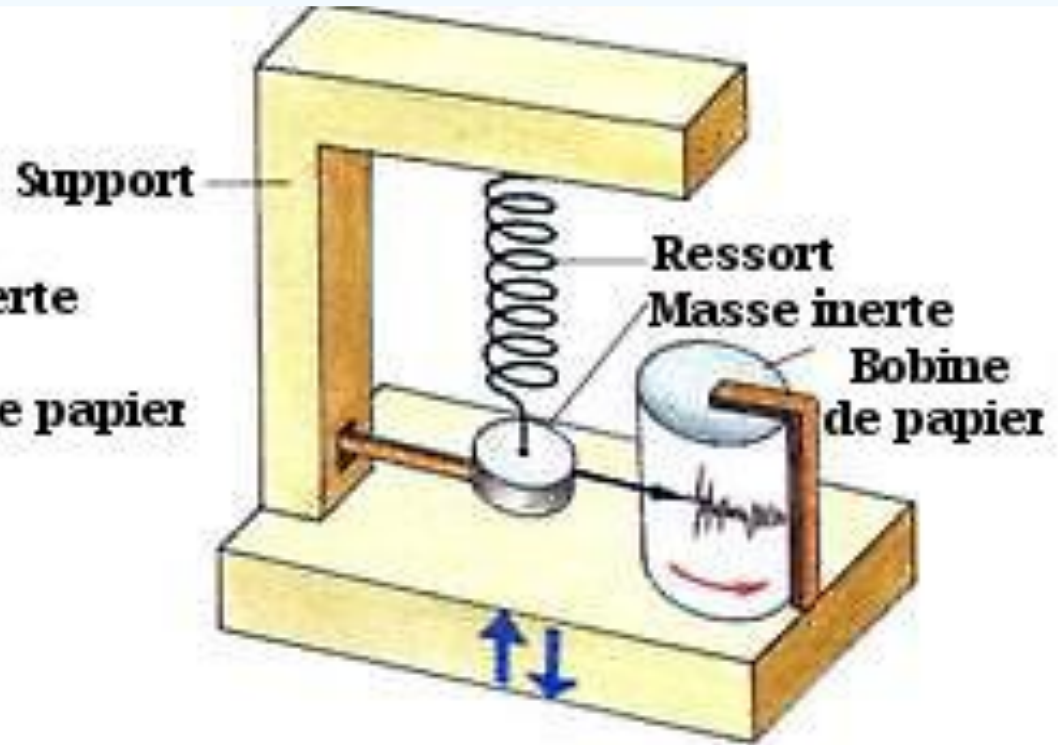


❑ Sismographe Wood-Anderson

Coupe schématique d'un sismographe type Wood-Anderson



Mesure des oscillations latérales



Mesure des oscillations verticales

❑ Sismographe antique

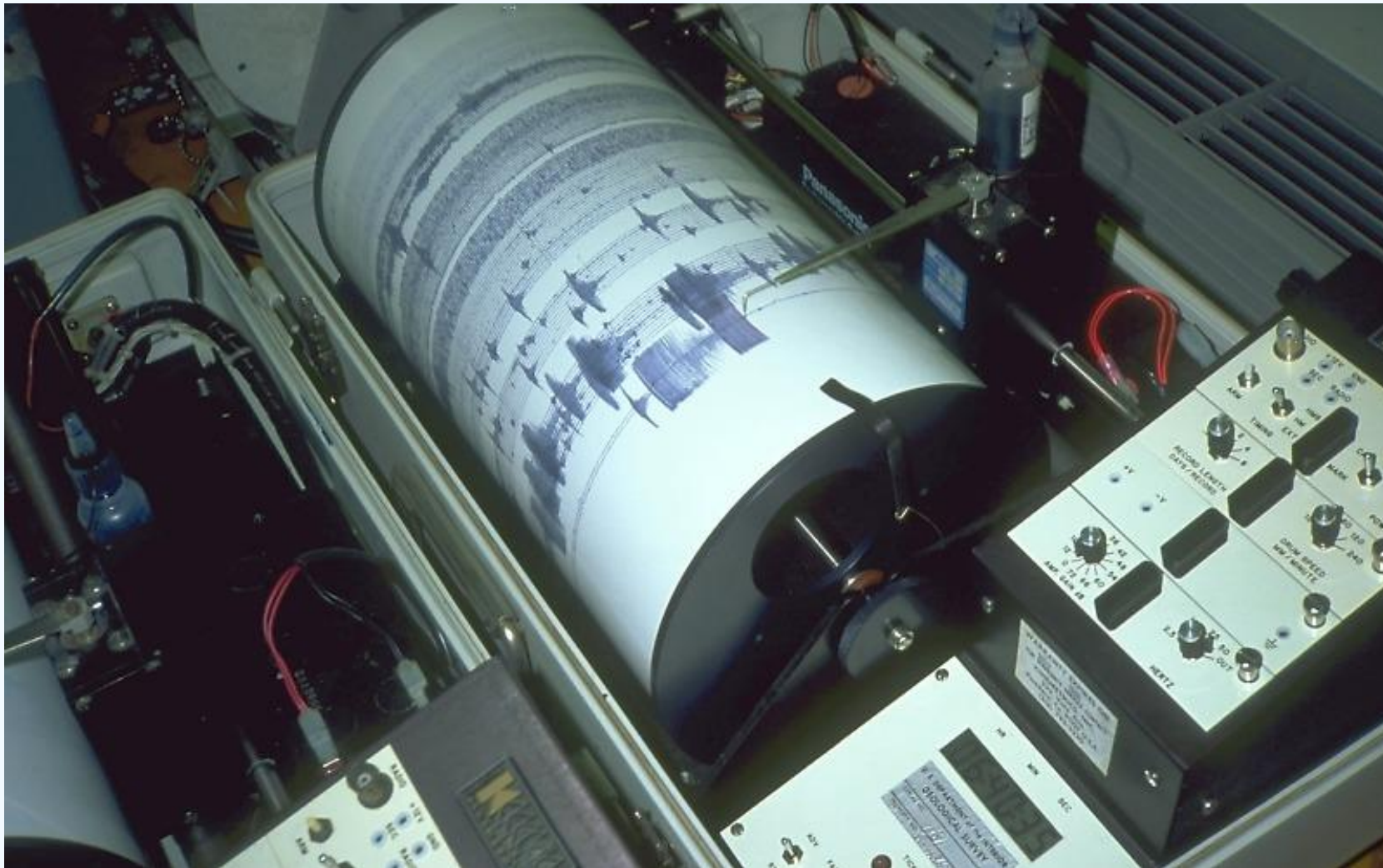
Premier sismographe (Musée du Henan, Zhengzhou, Chine)



Zhang Heng, l'inventeur du premier sismographe

Source: <https://www.tetovanews.info/2019/09/fotot-ky-eshte-instrumenti-2000-vjecar-per-termetet-i-sakte-edhe-sot/>

❑ Sismographe moderne



❑ Propriétés de la magnitude d'un séisme

Les propriétés de la magnitude sont :

- *La magnitude est une valeur intrinsèque du séisme, indépendante du lieu d'observation et des témoignages de la population.*
- *Elle peut être négative ou positive : une magnitude de l'ordre -2 équivaut à l'énergie dégagée par la chute d'une brique sur le sol d'une hauteur de 1 m.*
- *Le séisme de plus grande magnitude connu au cours de l'histoire est celui du Chili en 1960 de magnitude 9.5 (la zone de rupture de la faille a atteint plus de 1000 km de long).*
- *Les séismes de magnitude supérieure à 9 sont très rares et la magnitude 10 semble être une limite raisonnable compte tenu de la solidité des roches et de la fragmentation des failles.*
- *La magnitude n'est pas une échelle, c'est une fonction logarithmique. Par exemple, un séisme de magnitude 6 est dix fois plus fort qu'un séisme de magnitude 5 et cent fois plus fort qu'un séisme de magnitude 4.*

□ Expressions de la magnitude

Il existe plusieurs expressions de la magnitude :

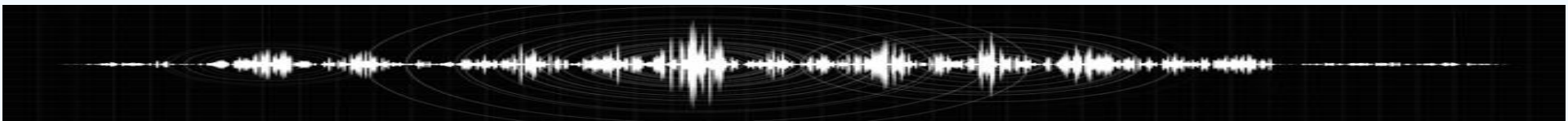
- **Magnitude locale ou magnitude de Richter (M_L) :**

- ✓ *Utilisée pour des séismes proches, dits séismes locaux.*
- ✓ *Définie à partir de l'amplitude maximale des ondes P.*
- ✓ *Donnée par l'expression suivante :*

$$M_L = \log \left(\frac{A}{A_0} \right)$$

où :

- A – *amplitude maximale mesurée sur le sismographe de type Wood-Anderson situé à 100 km de l'épicentre,*
- $A_0 = 0.001 \text{ mm}.$



□ Expressions de la magnitude

- **Magnitude de durée (M_D) :**

- ✓ Utilisée pour des séismes proches.
- ✓ Définie à partir de la durée du signal.

- **Magnitude des ondes de surface (M_S) :**

- ✓ Utilisée pour les séismes lointains, dont la profondeur est inférieure à 80 km.
- ✓ Calculée à partir de l'amplitude des ondes de surface.

- **Magnitude des ondes de volume (M_B) :**

- ✓ Utilisée pour les séismes lointains, dont la profondeur est supérieure à 80 km.
- ✓ Calculée à partir de l'amplitude de l'onde P arrivant la première.

□ Expressions de la magnitude

- **Magnitude d'énergie ou magnitude de moment (M_w) :**

- ✓ Introduite par Thomas Hanks et Hiroo Kanamori (1979).
- ✓ Utilisée pour les gros séismes.
- ✓ Calculée à partir d'un modèle physique de source sismique et reliée au moment sismique m_o par la relation suivante :

$$M_w = \frac{2}{3} \log(m_o) \quad | \quad m_o = \mu \times S \times D$$

où :

- μ – module de cisaillement du sol ($=G$),
- S – déplacement moyen de la faille,
- D – surface de la faille.



Nota : En principe, un séisme se caractérise par une seule magnitude. Cependant, en pratique, on obtient des résultats légèrement différents suivant l'appareil utilisé et suivant le type d'ondes enregistrées.

□ Expressions de la magnitude

- *Autres formules de la magnitude locale M_L :*

- ✓ *La magnitude locale M_L est reliée à l'énergie E libérée sous forme radiative par l'expression suivante :*

$$\log(E) = 11.4 + 1.5M_L$$

- ✓ *La magnitude peut être aussi reliée au moment sismique m_o par la relation suivante (Lomitz, 1974) :*

$$\log(m_o) = 19.9 + M_L$$

- ✓ *Pour les calculs d'engineering, on a proposé la relation suivante :*

$$M_L = 1 + \frac{2}{3}I_{MM}$$

où I_{MM} désigne l'intensité modifiée de Mercalli.

□ Expressions de la magnitude

- *Autres formules de la magnitude locale M_L :*

- ✓ *De façon générale, la magnitude locale est calculée par la formule suivante :*

$$M_L = \log \left(\frac{A}{T} \right) + f(\Delta, h) + S$$

où :

- A – *amplitude de l'onde lue sur l'enregistrement,*
- T – *période de l'onde lue sur l'enregistrement,*
- f – *facteur de correction fonction de la distance Δ et de la profondeur focale h ,*
- S – *facteur de site.*



Nota : *L'expérience montre que la magnitude locale M_L est la plus significative, car elle correspond à la plage de fréquences de vibration propres des ouvrages réels.*

RELATIONS ENTRE INTENSITÉ ET MAGNITUDE

□ Relations entre intensité et magnitude

Il existe les relations suivantes :

- **Relation de Karnik et al. :** Elle exprime la relation entre la magnitude M d'un séisme, sa profondeur focale h et son intensité I_0 de la forme :

$$M = a \times I_0 + b \times \log(h) + c$$

- **Relation du Centre d'Energie Atomique (CEA) français :** Elle exprime la relation entre la magnitude M d'un séisme et son intensité I_0 de la forme :

$$M = 0.55I_0 + 2.2\log(R) - 1.14$$

où R désigne la distance focale.

Pour un séisme, il y a une seule magnitude ...

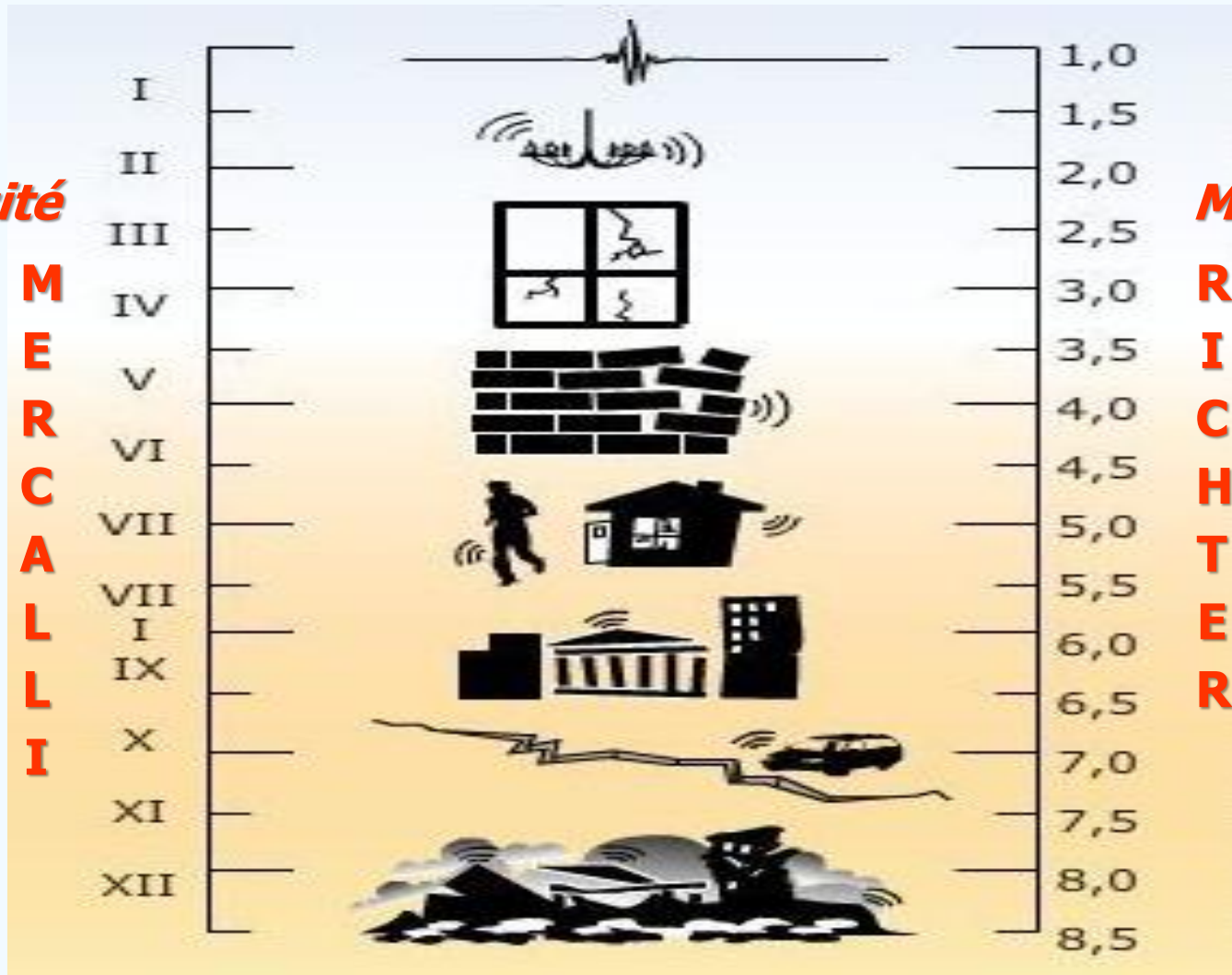
... Pour un séisme, il y a plusieurs intensités.

***CORRESPONDANCE ENTRE
LES ÉCHELLES DE MERCALLI ET RICHTER***

□ Correspondance entre les échelles de Mercalli et Richter

Intensité

**M
E
R
C
A
L
L
I**



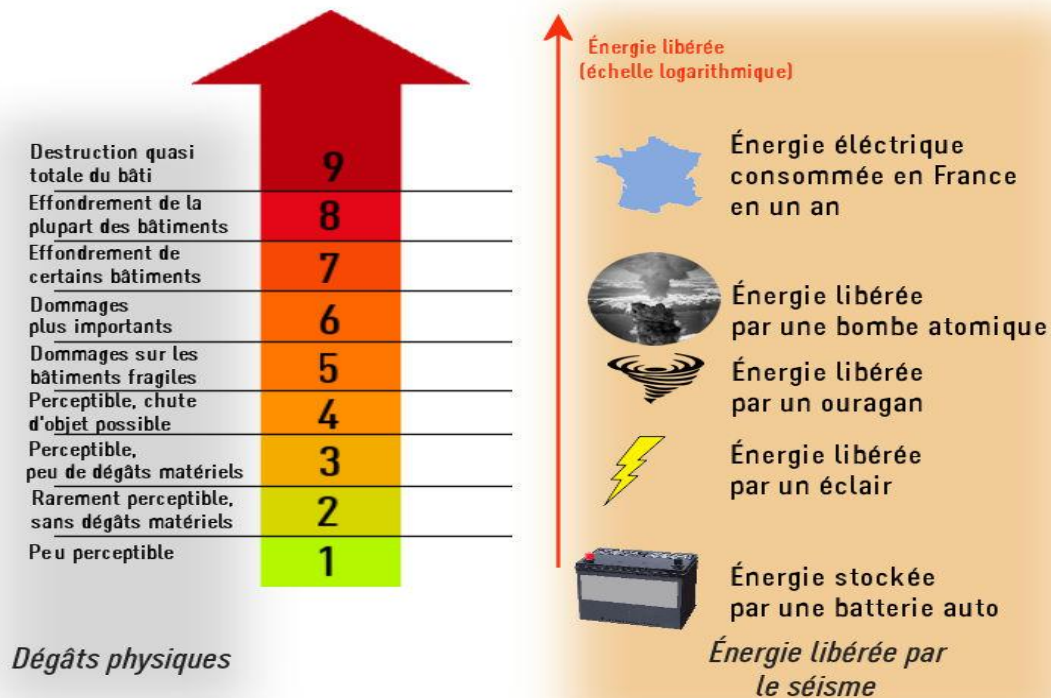
Magnitude

**R
I
C
H
T
E
R**

❑ Correspondance entre les échelles de Mercalli et Richter

Séismes : l'échelle de Richter

L'échelle de Richter est logarithmique : l'amplitude du mouvement est multipliée par **10** lorsque la magnitude augmente de **1**



❑ Correspondance entre les échelles de Mercalli et Richter

Intensité	Dégâts causés	Magnitude
I	Secousse non ressentie	<3.4
II – III	Secousse ressentie par certaines personnes	3.5 – 4.2
IV – V	Secousse ressentie par beaucoup de personnes	4.3 – 4.8
VI	Secousse ressentie par tout le monde	4.9 – 5.4
VII	Dommages légers aux bâtiments	5.5 – 6.1
VIII – IX	Dommages importants aux bâtiments	6.2 – 6.9
X	Dommages sérieux	7.0 – 7.3
XI – XII	Catastrophes	>7.5

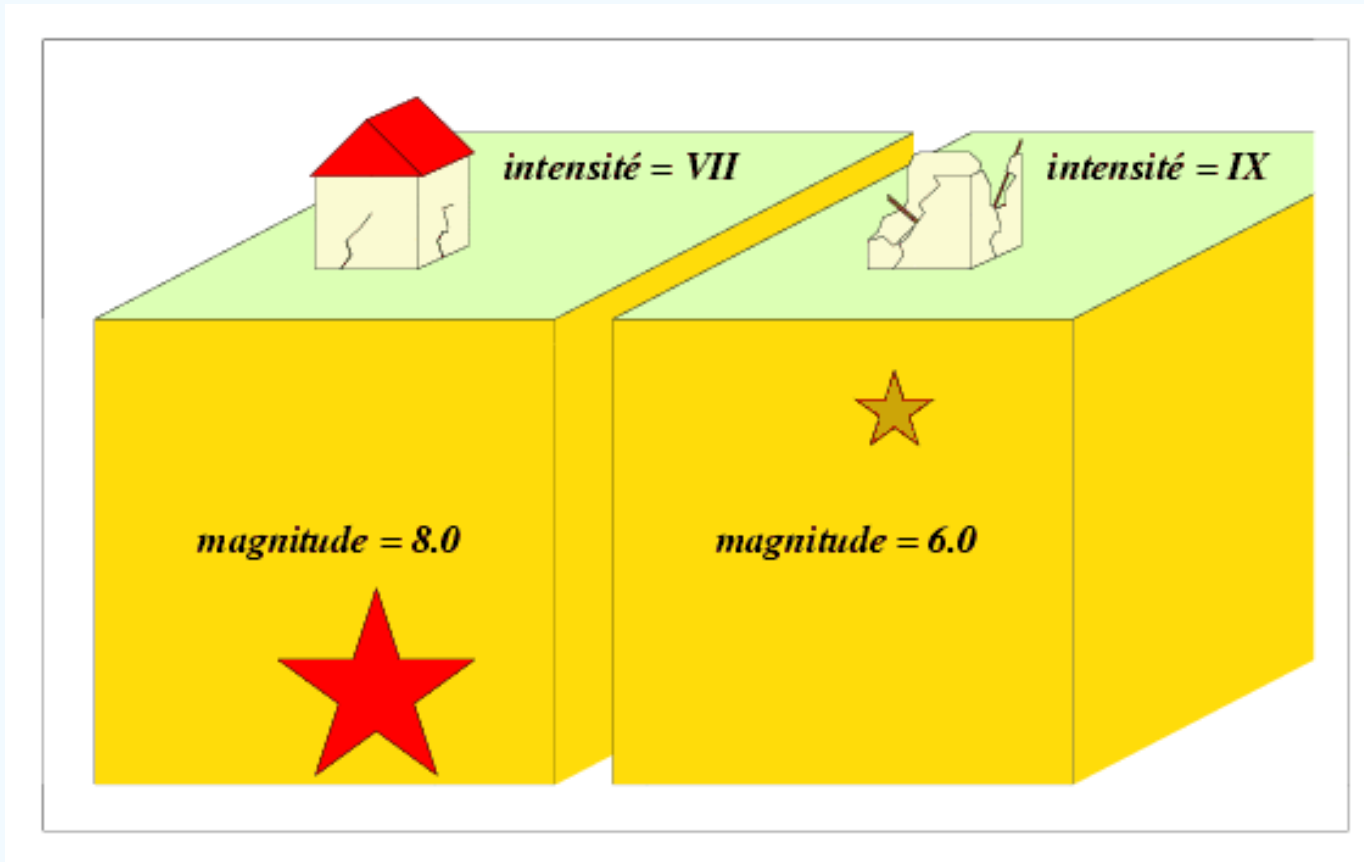
Gutenberg (1956)



Nota : Les degrés d'intensité sont définis en fonction du type d'ouvrages et de l'ampleur des dommages qu'ils subissent selon leur solidité.

❑ Correspondance entre les échelles de Mercalli et Richter

Attention aux confusions



CLASSIFICATION DES SÉISMES

❑ Classification des séismes

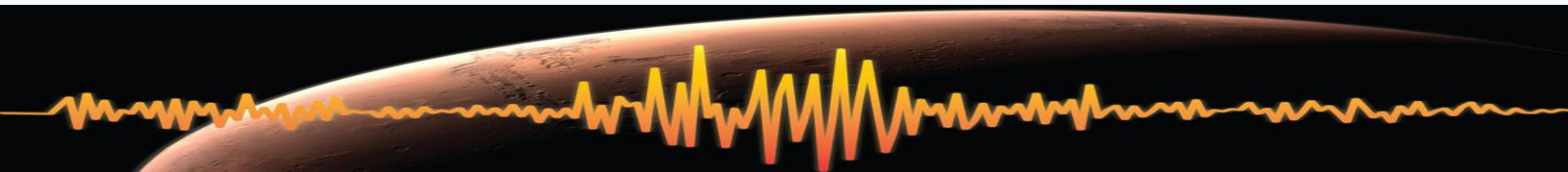
Les classifications basées sur l'ampleur des séismes et leurs effets sont les suivantes (Shashikant K. Duggal, 2013) :

Classification basée sur la magnitude

Classe	Magnitude
Mineur	3.0 – 3.9
Faible	4.0 – 4.9
Modéré	5.0 – 5.9
Fort	6.0 – 6.9
Majeur	7.0 – 7.9
Grand	≥8.0

Classification basée sur l'effet du séisme

Effet du séisme	Magnitude
Peu ressenti, mais enregistré	<2.5
Souvent ressenti	2.5 – 5.4
Légers dommages aux structures	5.5 – 6.0
Beaucoup de dégâts	6.1 – 6.9
Dommages graves	7.0 – 7.9
Catastrophique	≥8.0



EXEMPLES DE SÉISMES

❑ Exemples de séismes

Lieu	Date	Mw	PGA ($\times g$)	Victimes
Kobe, Japon https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9isme_de_1995_%C3%A0_Kobe	17/01/1995	7.2	0.80	6437
Boumerdès, Algérie https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9isme_de_2003_%C3%A0_Boumerd%C3%A8s	21/05/2003	6.8	0.29 (EO) 0.13 (NS) 0.40 (V)	2266
Chili https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9isme_de_2010_au_Chili	27/02/2010	8.8	0.78	525



GRANDEURS SISMIQUES MAXIMALES

❑ Grandeurs sismiques maximales

L'accélération maximale a_{max} (Peak Ground Acceleration, PGA) exprimée en fonction de $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, de la vitesse V (cm/s) et du déplacement d (cm) ne varient pas totalement indépendamment les uns des autres. Pour les séismes réels, le rapport est :

$$(Séismes peu violents) \quad 5 < \frac{a_{max} \times d}{V^2} < 15 \quad (Séismes violents)$$

(Newmark-Rosenblueth, 1971)



SISMOGRAMMES ET SPECTRES DE RÉPONSE

❑ Sismogrammes / Spectres de réponse

Lorsque les ondes et l'énergie qu'elles transportent atteignent un site à la surface de la terre, elles engendrent des vibrations dans trois directions : deux horizontales (EW, NS) et une verticale (UP). Les mouvements dans les deux directions horizontales sont, sauf cas exceptionnel, considérés comme identiques en termes de spectres de réponse, le mouvement vertical étant généralement plus faible.

Les enregistrements des accélérations de ces mouvements en fonction du temps s'effectuent à l'aide d'accélérographes. Ils constituent des accélérogrammes. Par intégration d'un accélérogramme, on obtient les diagrammes de vitesse et de déplacement en fonction du temps.



Nota : *Le processus d'intégration d'un accélérogramme est une opération délicate. L'existence d'un seuil de déclenchement des appareils fait perdre l'information initiale. Il faut donc faire plusieurs corrections en fonction des caractéristiques des appareils utilisés.*

❑ Logiciels de traitement : SEiSMOSFT

SeismoSoft est une suite dédiée au traitement de données sismiques. Ses principales fonctionnalités se résument dans les tâches suivantes :

- ✓ Traitement des données accélérométriques : réelles, synthétiques et analytiques.
- ✓ Analyse spectrale : Calcul des spectres d'accélération, de vitesse et de déplacement pour les données de l'accéléromètre considéré.
- ✓ Calcul des paramètres sismiques : Magnitude, Profondeur, Distance et Intensité du séisme.
- ✓ Production d'accélérogrammes artificiels avec les spectres souhaités.

Son application couvre les domaines suivants :

- ✓ Conception et analyse parasismique des structures.
- ✓ Evaluation de la vulnérabilité des structures aux tremblements de terre.
- ✓ Etude du risque sismique dans différentes régions du monde.

❑ Logiciels de traitement : **SEiSMOSFT**

Seism : de données sismiques. Ses
prin les tâches suivantes :



SeismoSignal

✓ Traitement : Réelles, synthétiques et

analytique



SeismoSpect

✓ Analyse : d'accélération, de vitesse et de
déplacement ;



SeismoMatch

✓ Calcul des par : d'Intensité du seisme.

Production d'accélé



SeismoArtif

ouhaités.

Son application couvre les d

✓ Conception et analyse par



SeismoStruct

✓ Evaluation de la vulnérabilité

terre.

✓ Etude du risque sismique dans



SeismoBuild

- ❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)
1940 El Centro earthquake (Séisme de référence)

Google

1940 El Centro earthquake

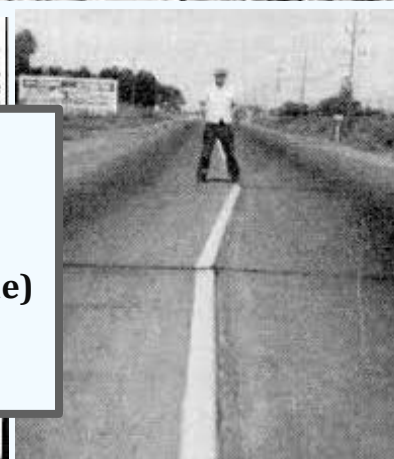


1940 El Centro earthquake



The San Diego Union
7 DIE AS QUAKE ROCKS IMPERIAL
100 Are Injured; Damage
Hundreds of Thousands

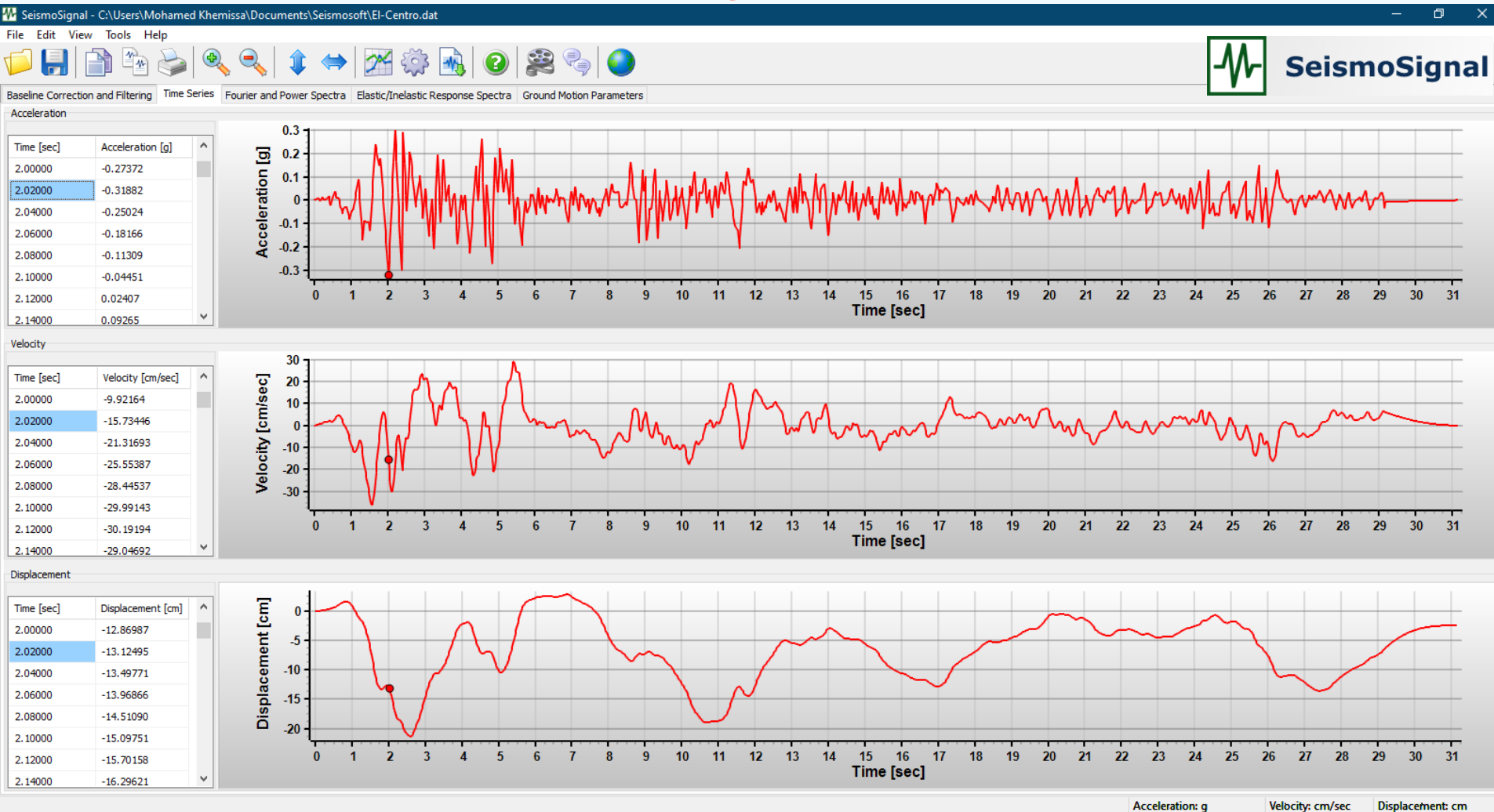
Local date: May 18, 1940
Local time: 21:35 PST
Magnitude: $M_w=6.9$
Max Intensity: X (Extreme)
Depth: 16 km
Type: Strike-slip



UTC time	1940-05-19 04:36:47
ISC event	901341
USGS-ANSS	ComCat
Local date	May 18, 1940
Local time	21:35 PST
Magnitude	6.9 M_w [1]
Depth	16 km (9.9 mi) [1]
Epicenter	32.733°N 115.5°W [1]
Type	Strike-slip
Areas affected	United States, Mexico
Total damage	\$6 million [2]
Max. intensity	X (Extreme) [1]
Casualties	9 dead [2] 20 injured [3]

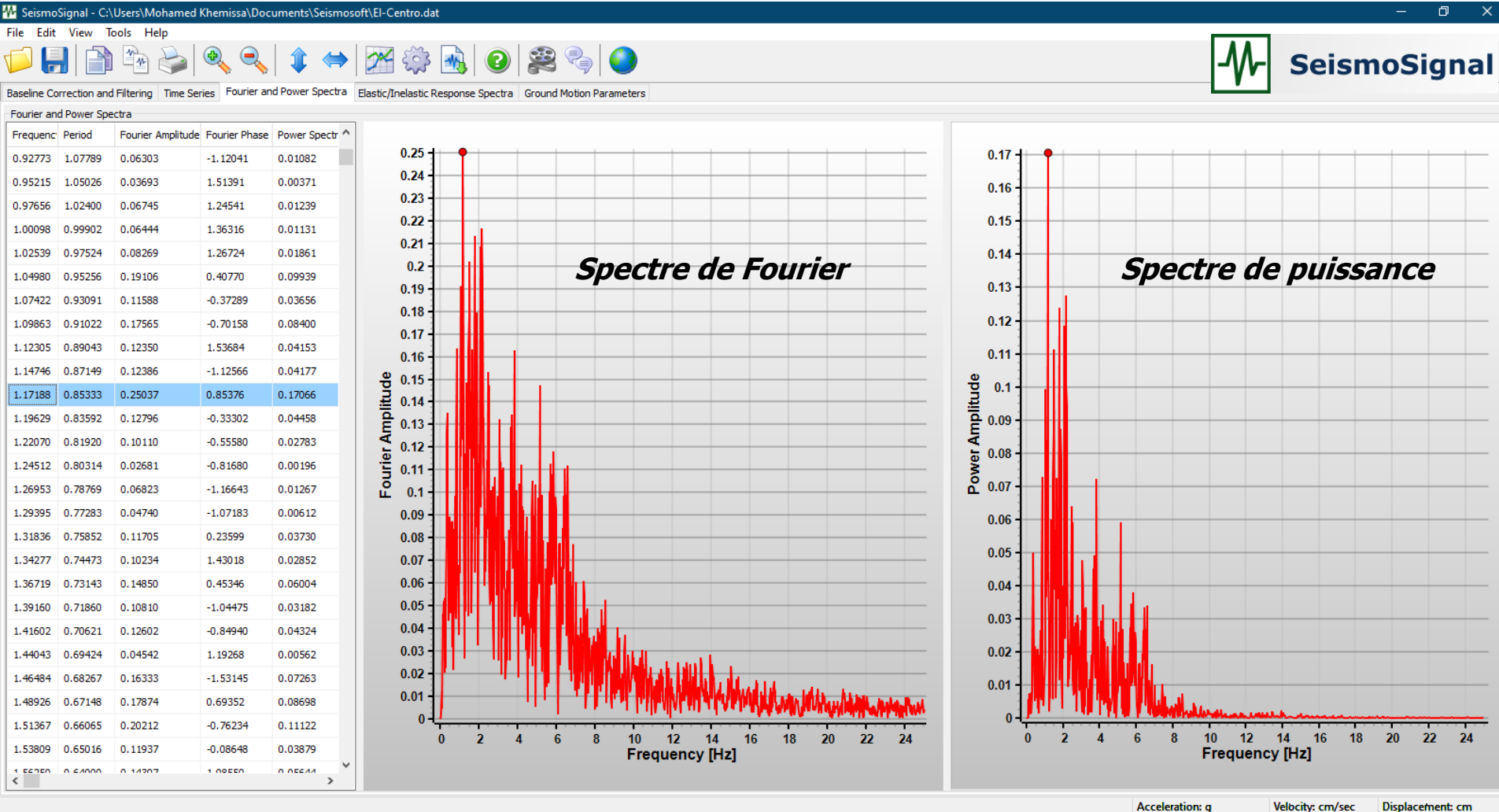
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)

Sismogrammes



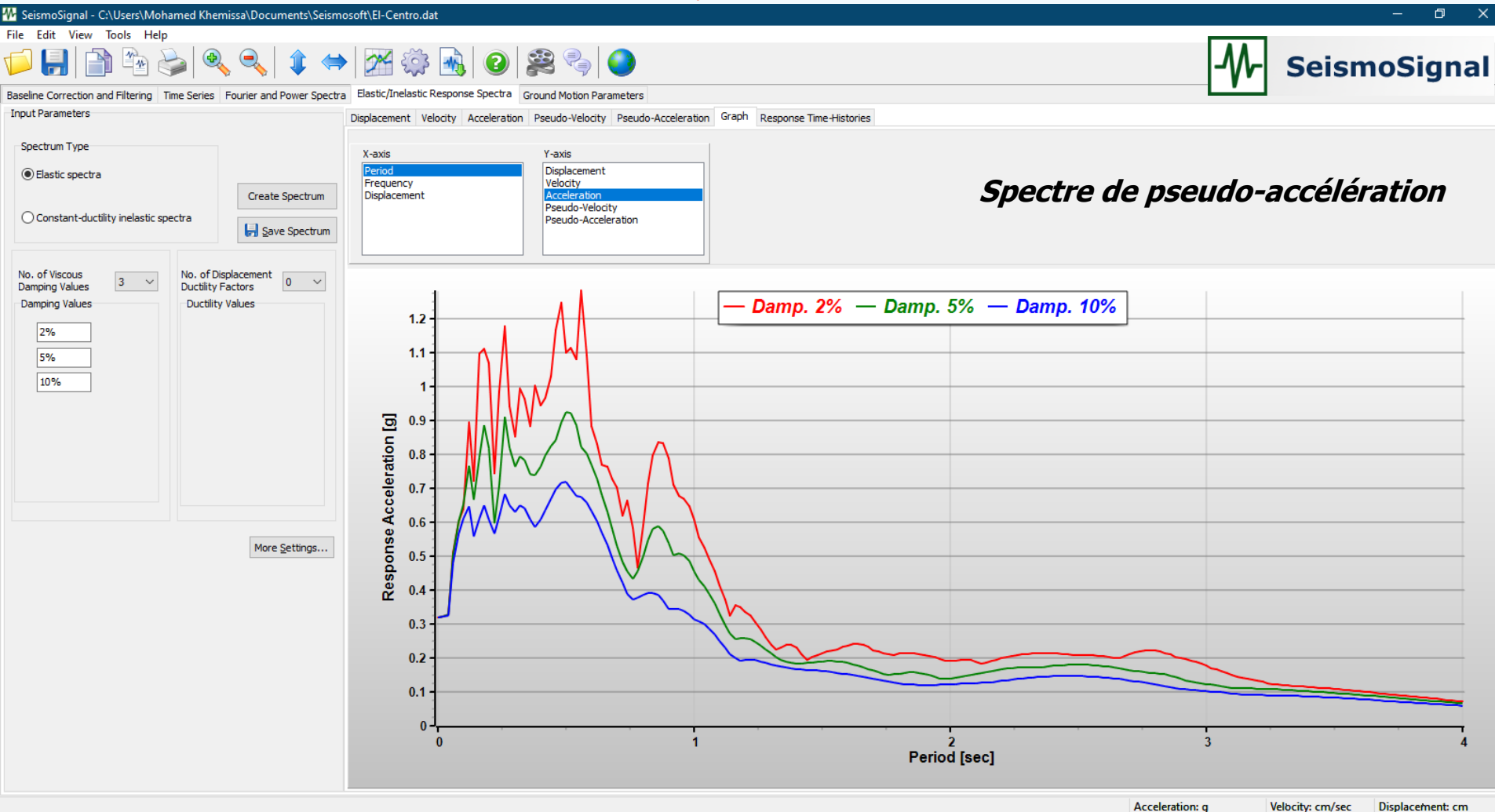
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)

Spectres



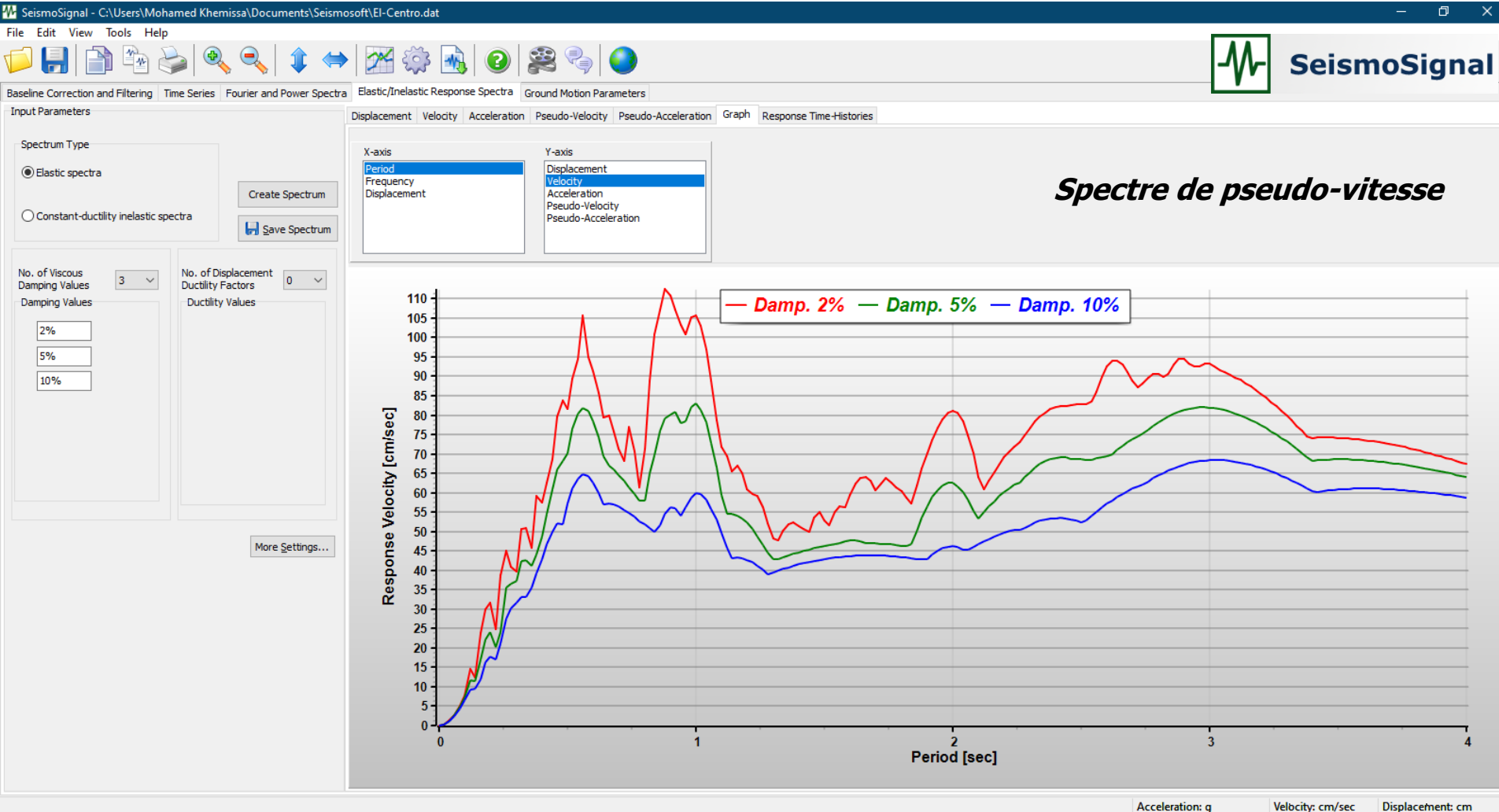
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)

Spectres



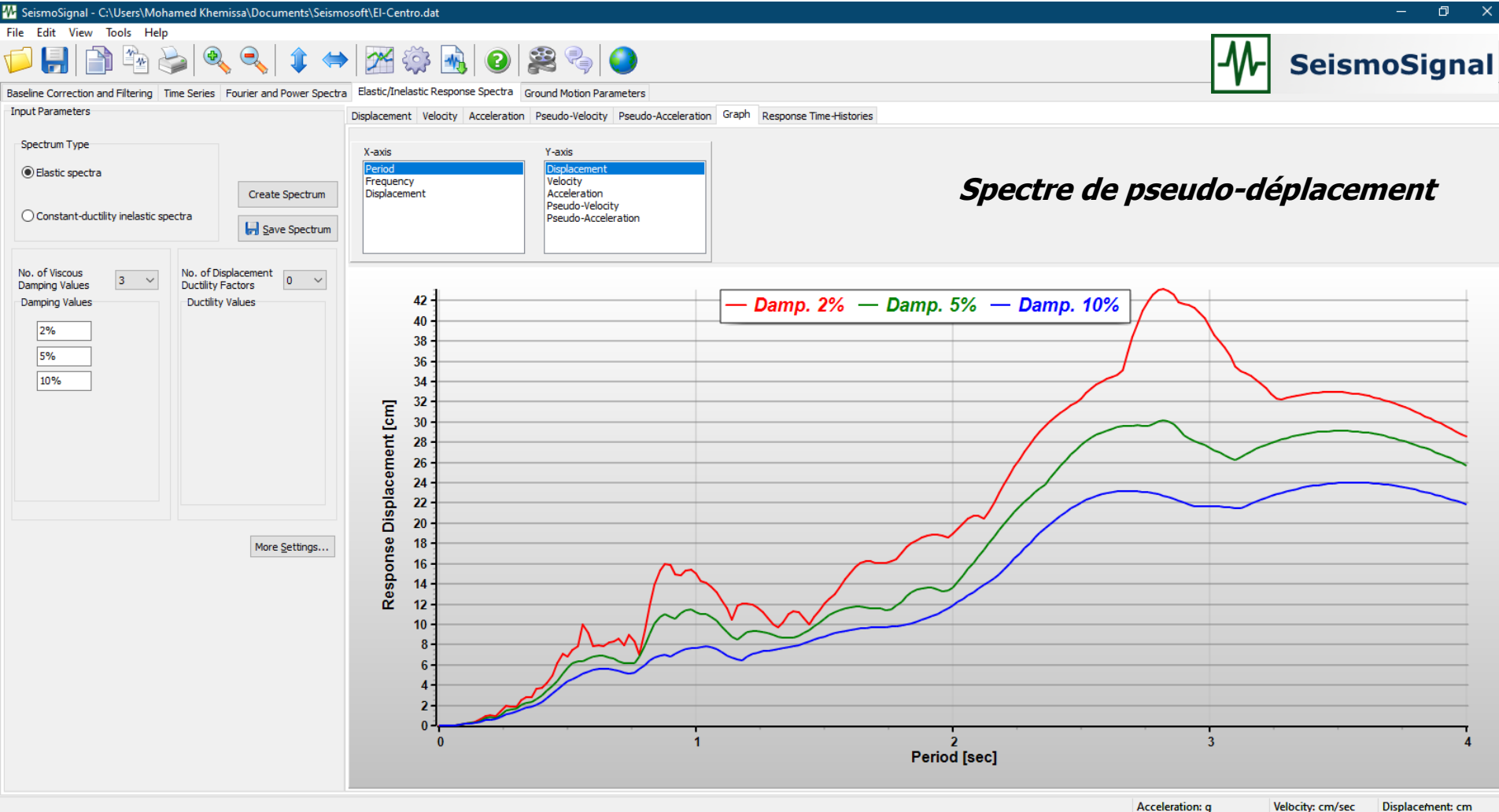
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)

Spectres

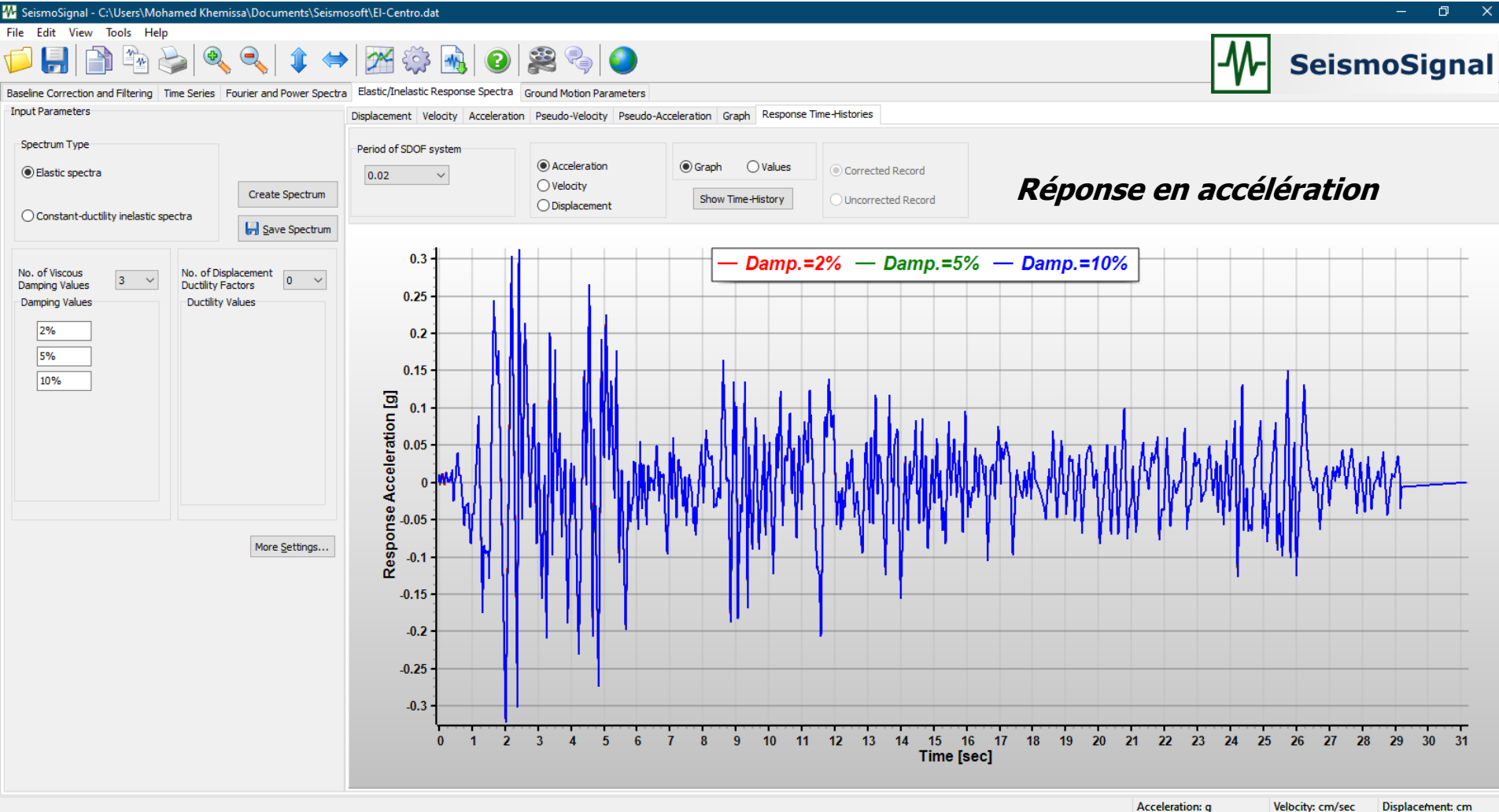


❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)

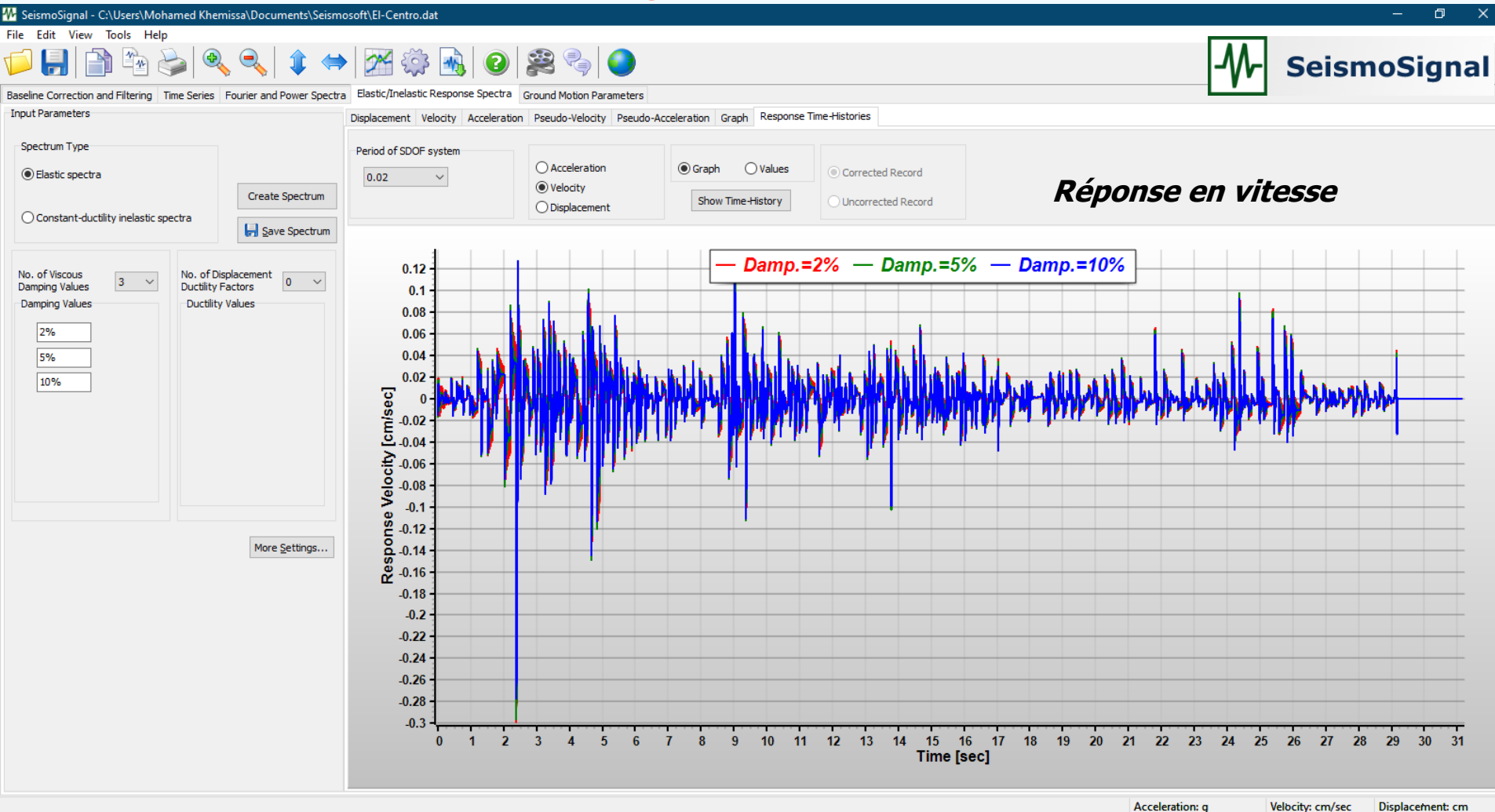
Spectres



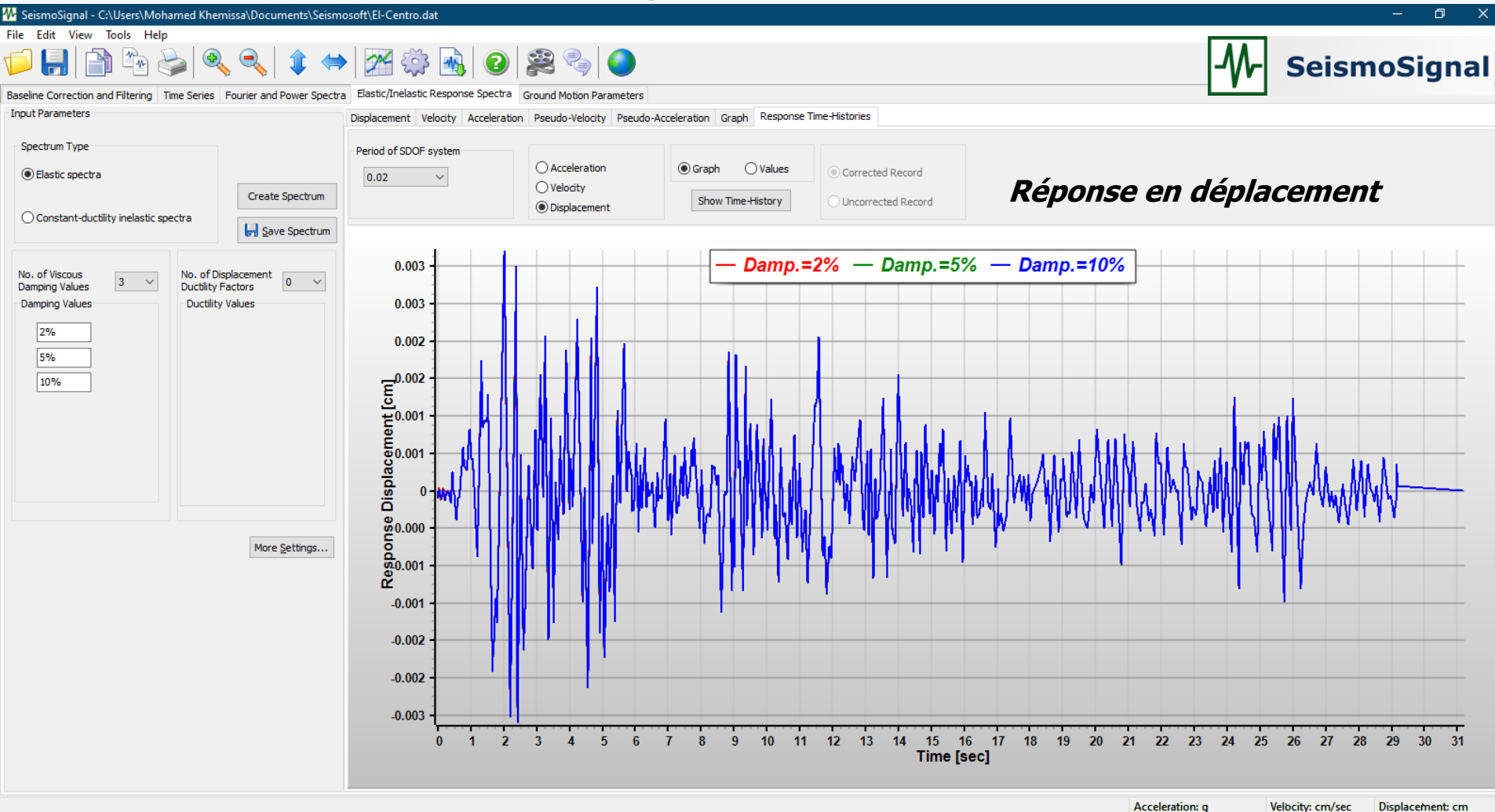
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Sismogrammes calculés*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Sismogrammes calculés*

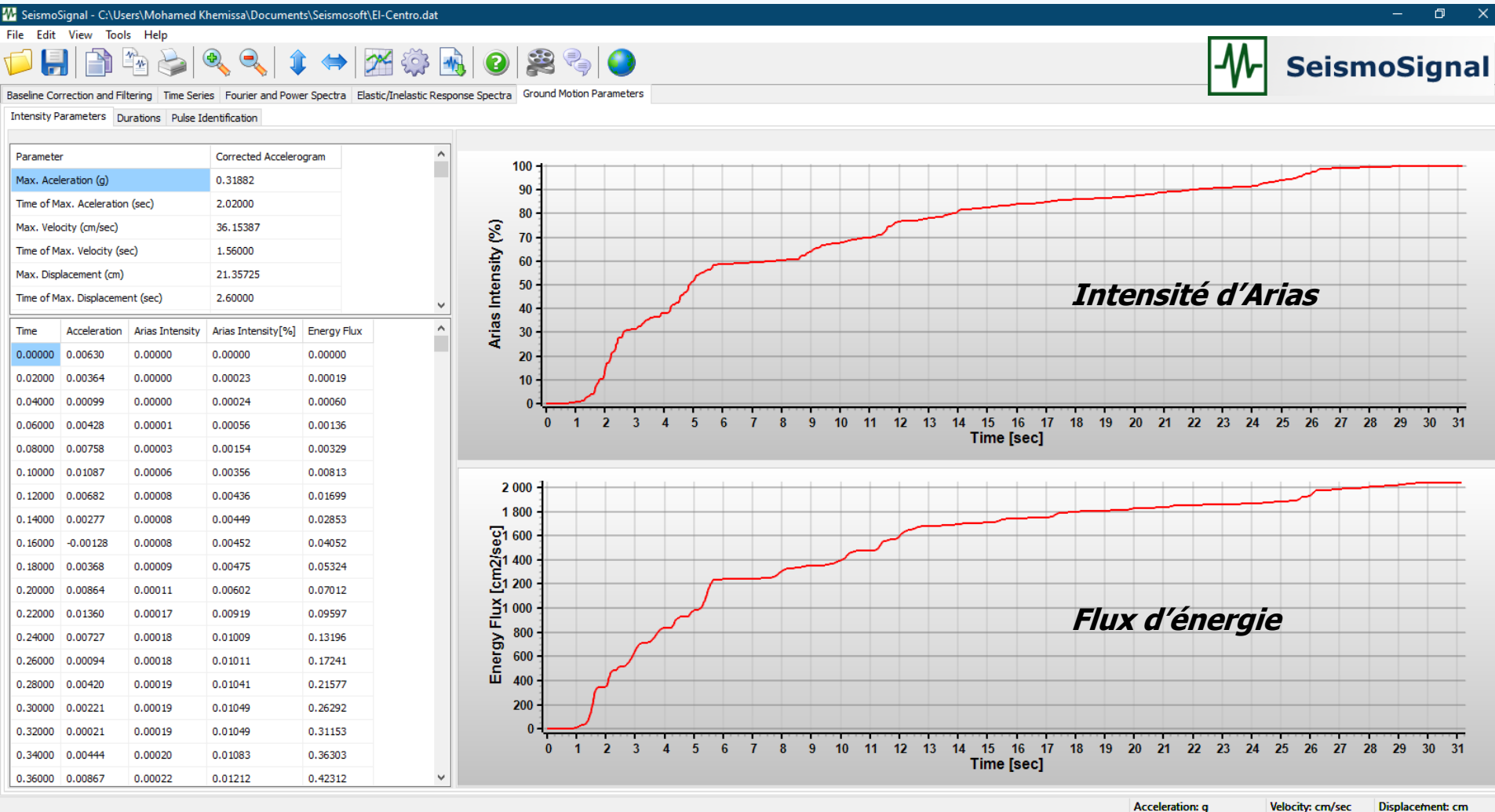


❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Sismogrammes calculés*



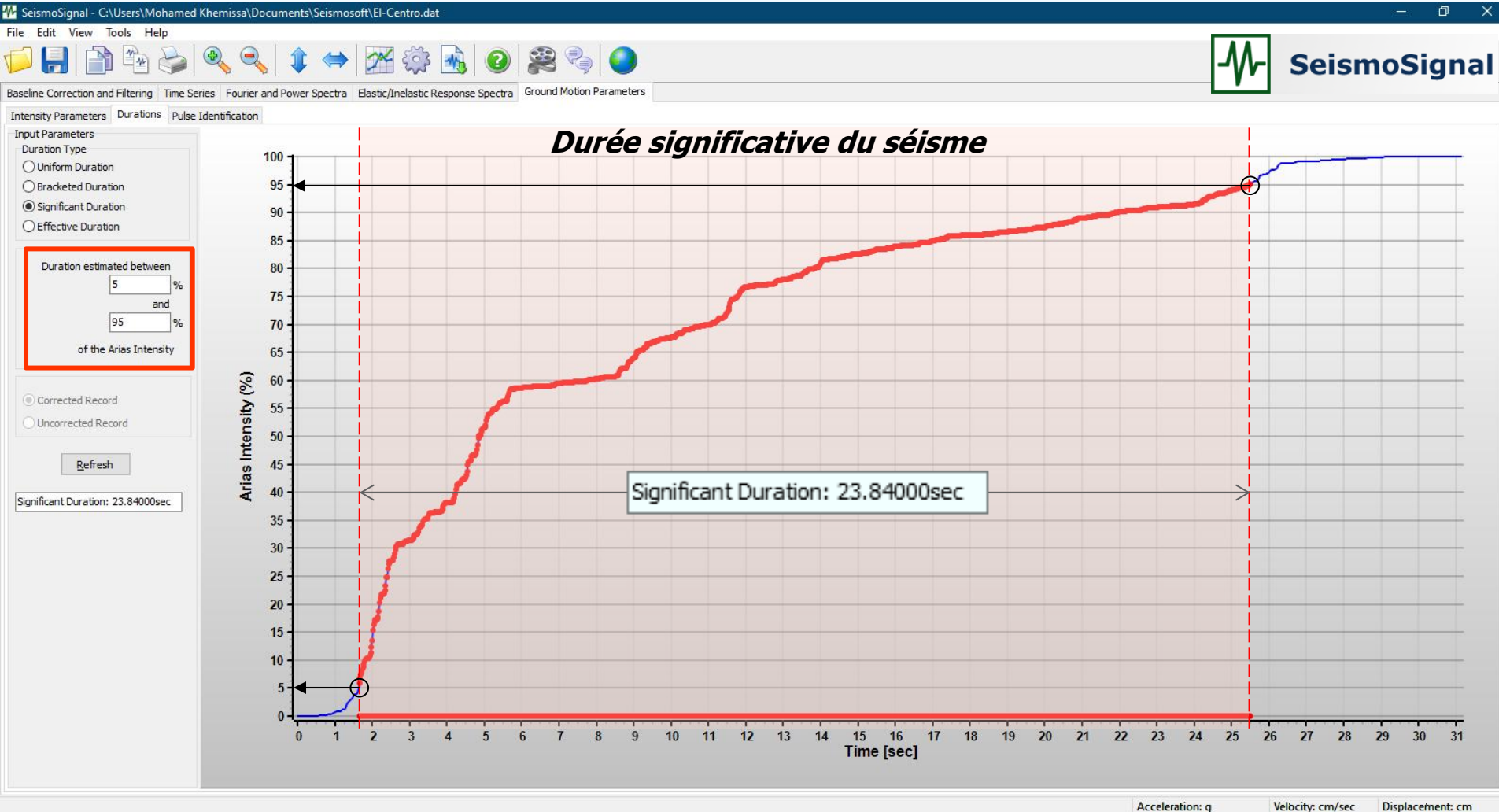
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)

Paramètres de mouvement du sol



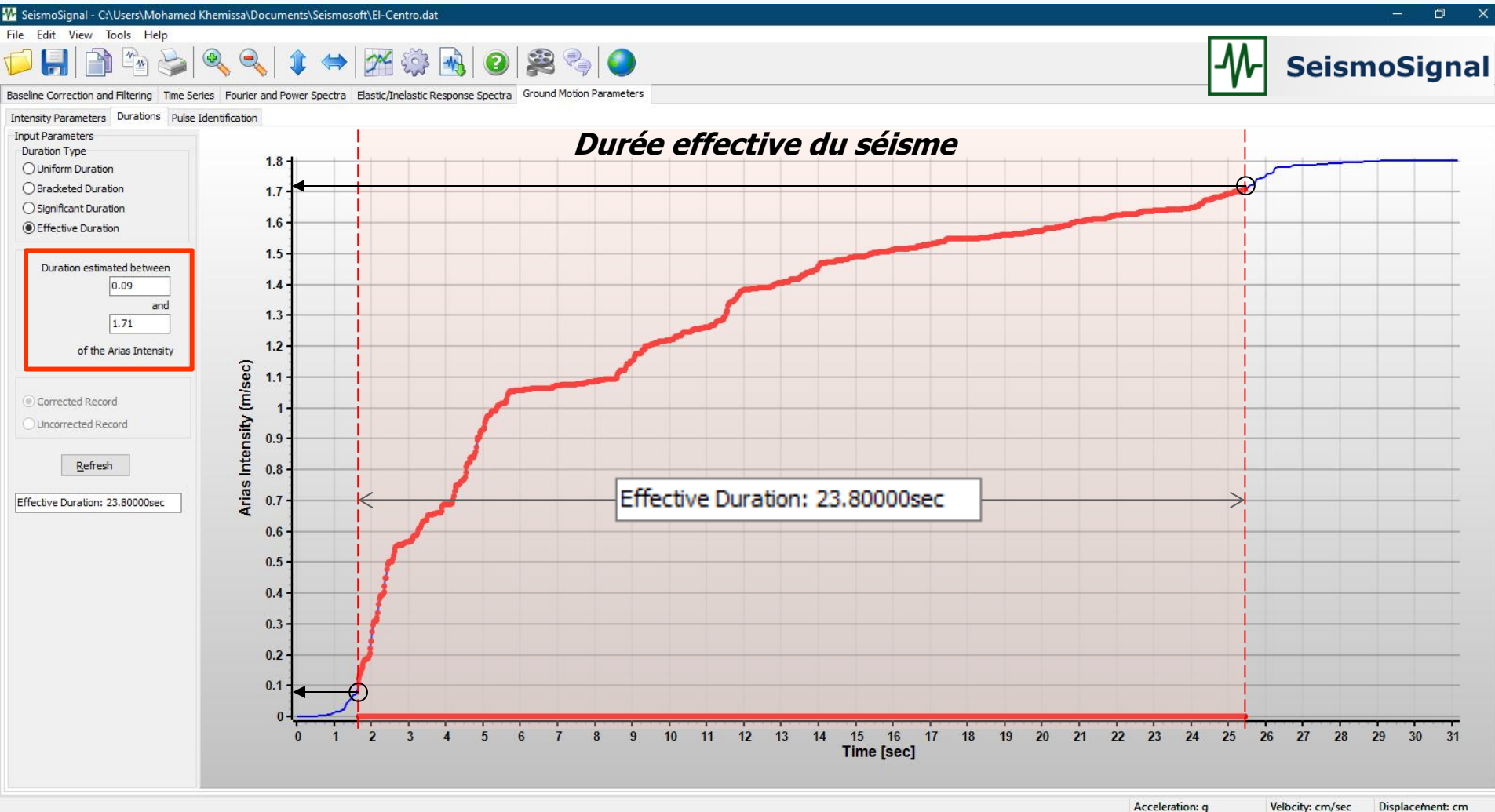
❑ **Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)**

Paramètres de mouvement du sol



❑ **Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$)**

Paramètres de mouvement du sol



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*

SeismoSpect [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_Izmit.ssp]

File Edit View Tools Help

Input Motion Time Series Elastic/Inelastic Spectra Spectra Comparisons Ground Motion Parameters

SeismoSpect

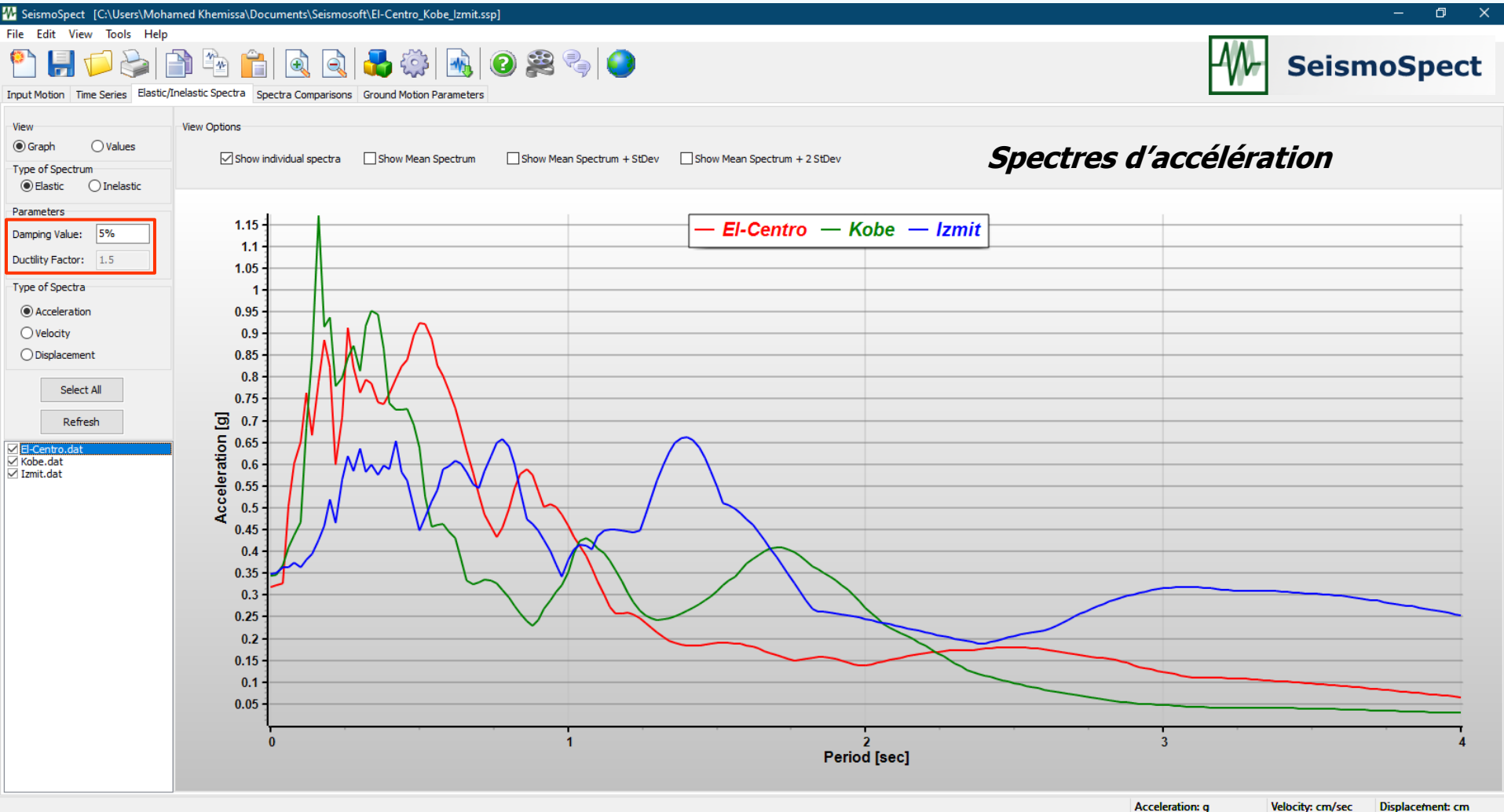
File Name	Description	Values
C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro.dat	El-Centro.dat	0.00 0.0063 0.002 0.006034 0.004 0.005768 0.006 0.005502 0.008 0.005236 0.01 0.00497 0.012 ...
C:\Program Files\SeismoSoft\SeismoSpect\2024\Accelerograms\Kobe.dat	Kobe.dat	0.00 0.00 0.01 0.00 0.02 0.00 0.03 0.00 0.04 0.00 0.05 0.00 0.06 0.00 0.07 0.0001 0.08 0.00 ...
C:\Program Files\SeismoSoft\SeismoSpect\2024\Accelerograms\Izmit.dat	Izmit.dat	0.00 0.0008 0.01 0.0008 0.02 0.0008 0.03 0.0008 0.04 0.0008 0.05 0.0008 0.06 0.0007 0.07 ...

Exemple de 3 séismes de référence

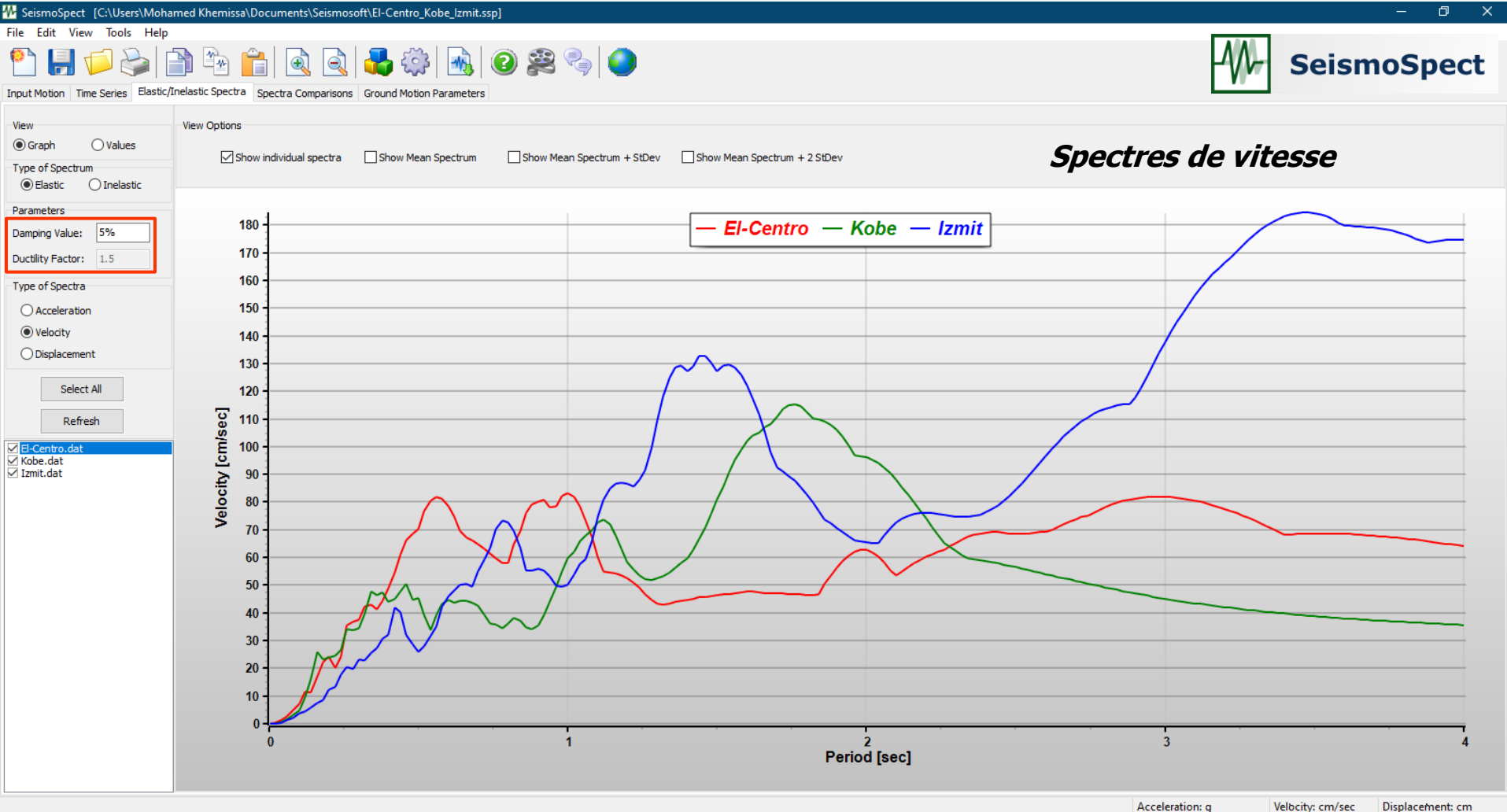
- El-Centro, Californie, USA (18/05/1940) – $M_w=6.9$
- Kobe, Japon (17/01/1995) – $M_w=7.2$
- Izmit, Turquie (17/08/1999) – $M_w=7.2$ à 7.6

Acceleration: g Velocity: cm/sec Displacement: cm

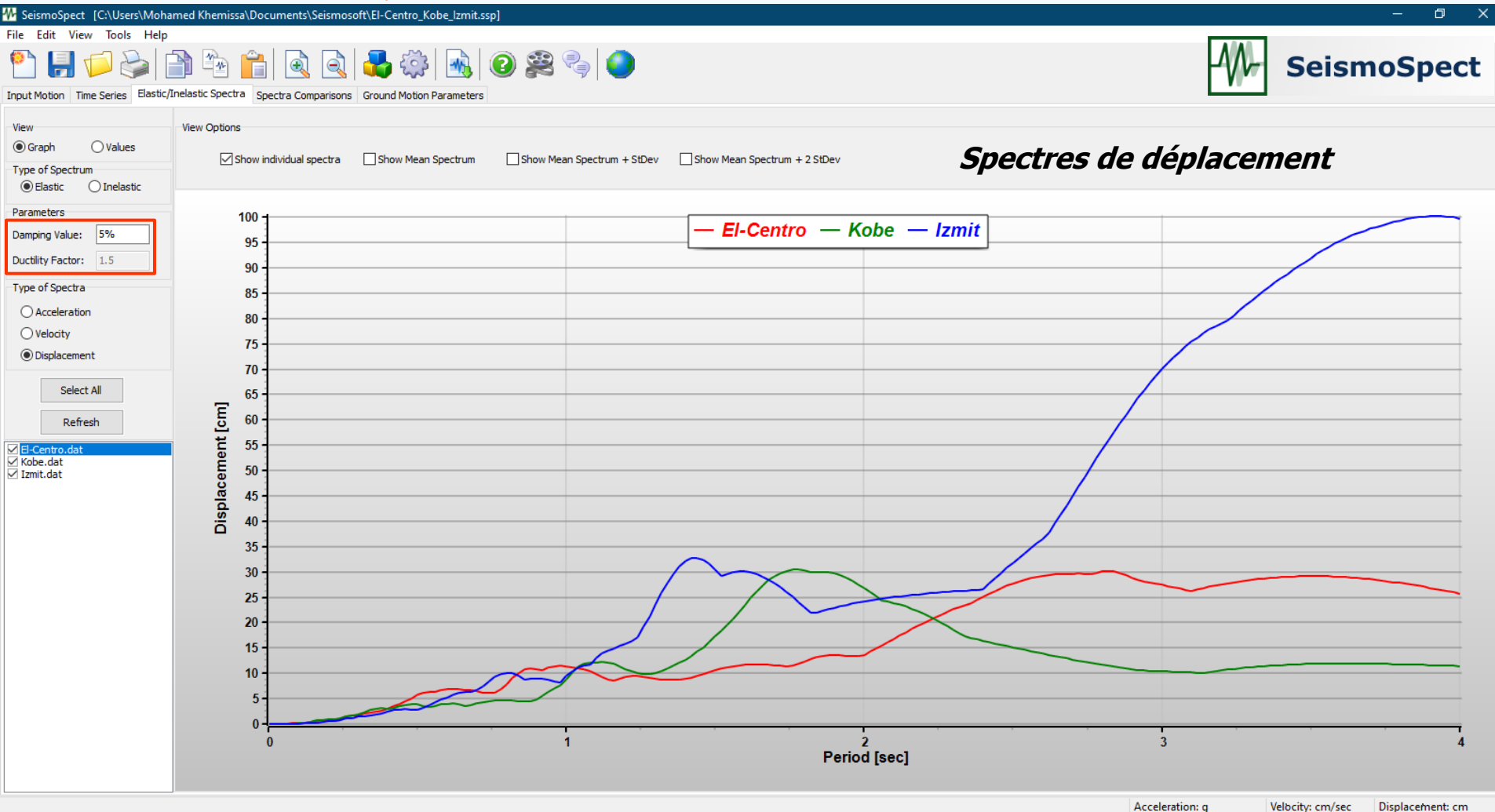
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*



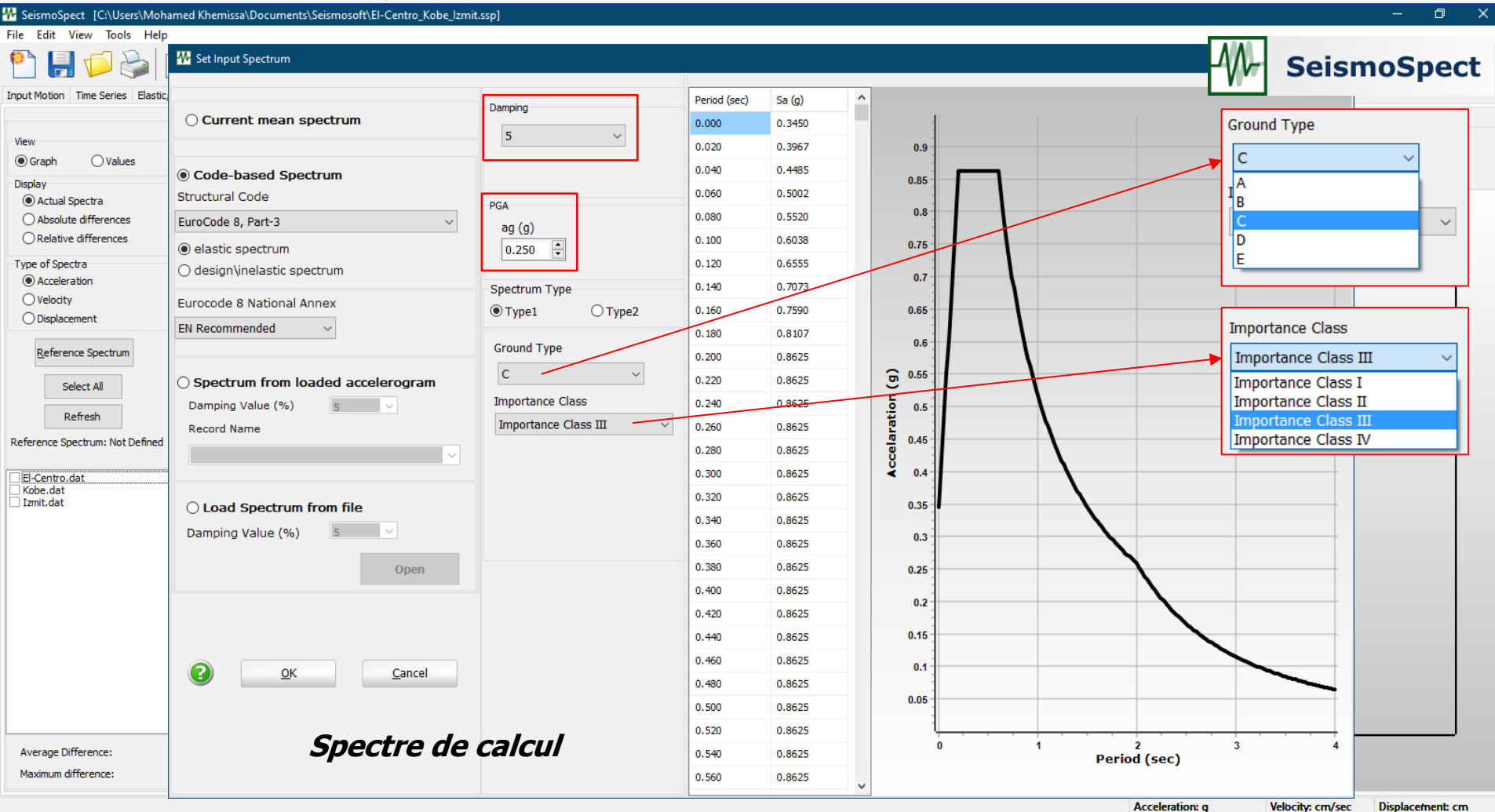
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*



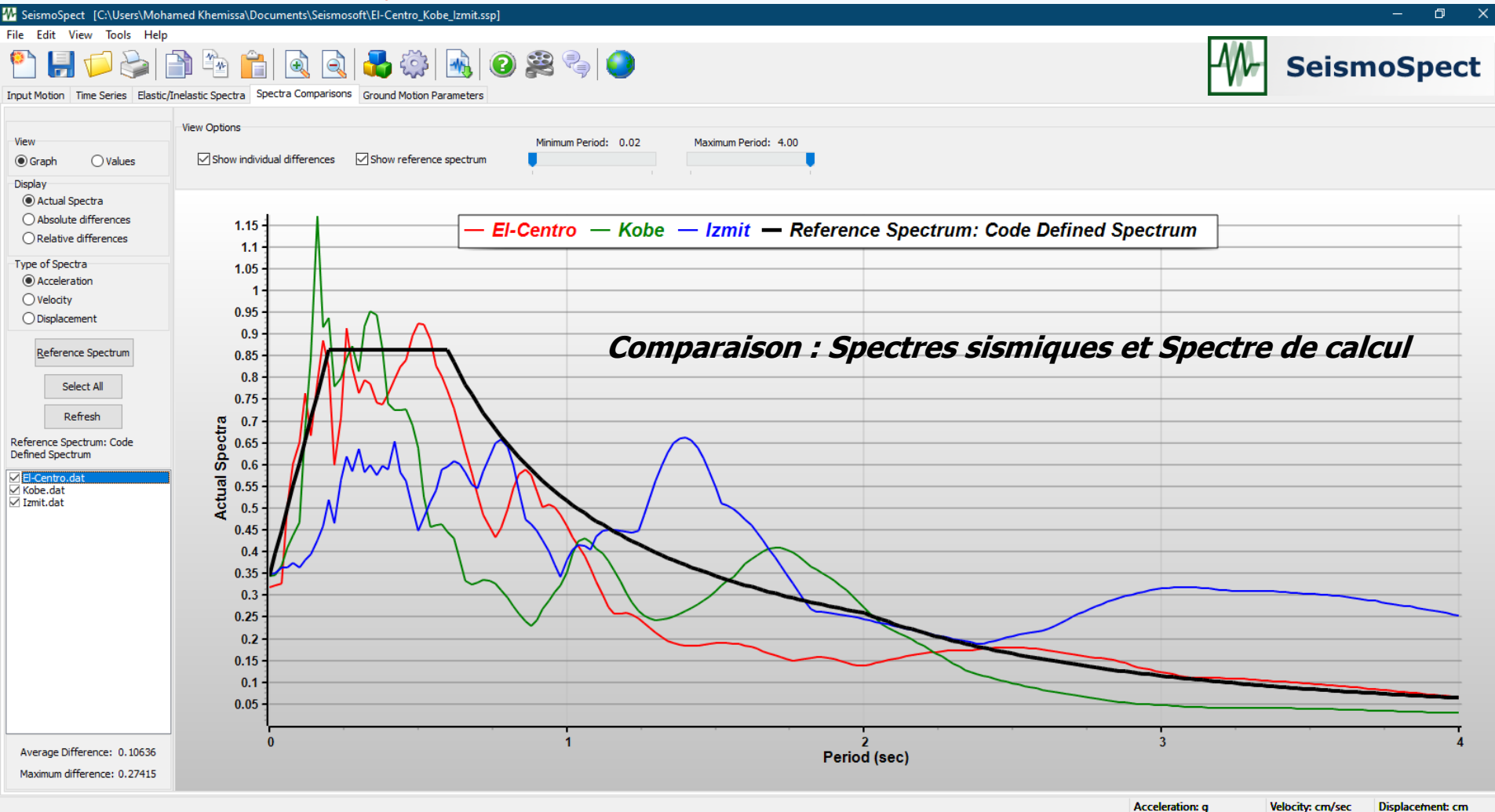
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*



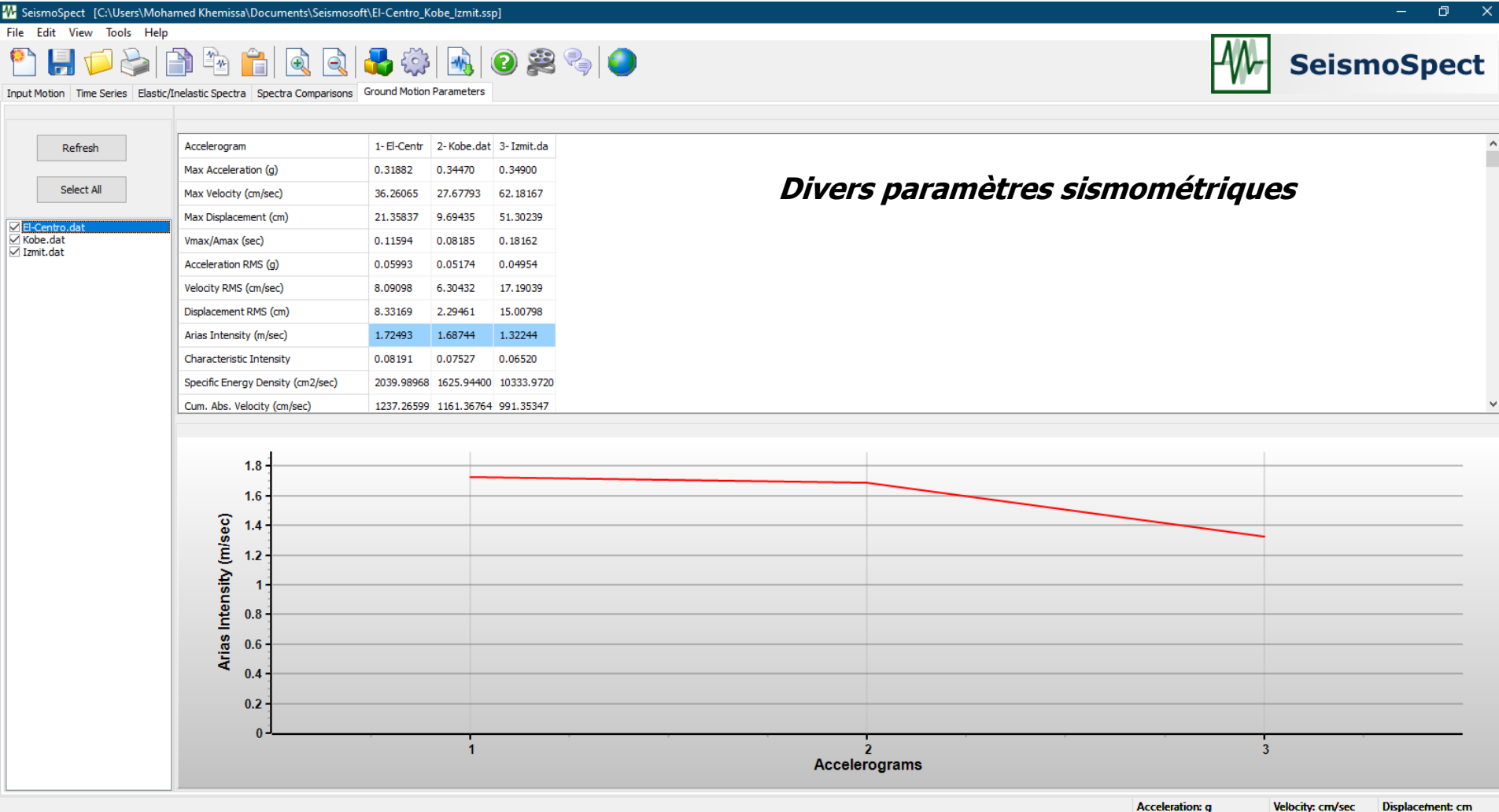
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Comparaison avec d'autres séismes de référence*

SeismoSpect [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_Izmit.ssp]

File Edit View Tools Help

Input Motion Time Series Elastic/Inelastic Spectra Spectra Comparisons Ground Motion Parameters

SeismoSpect

Refresh

Select All

☒ El-Centro.dat
☒ Kobe.dat
☒ Izmit.dat

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.31882	0.34470	0.34900
Max Velocity (cm/sec)	36.26065	27.67793	62.18167
Max Displacement (cm)	21.35837	9.69435	51.30239
Vmax/Amx (sec)	0.11594	0.08185	0.18162
Acceleration RMS (g)	0.05993	0.05174	0.04954
Velocity RMS (cm/sec)	8.09098	6.30432	17.19039
Displacement RMS (cm)	8.33169	2.29461	15.00798
Arias Intensity (m/sec)	1.72493	1.68744	1.32244
Characteristic Intensity	0.08191	0.07527	0.06520
Specific Energy Density (cm2/sec)	2039.98968	1625.94400	10333.9720
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	1237.26599	1161.36764	991.35347
Acc Spectrum Intensity (g*sec)	0.31402	0.32993	0.21397
Vel Spectrum Intensity (cm)	134.41753	153.57858	168.03037
Housner Intensity (cm)	124.41826	141.64485	176.17506
Sustained Max. Acceleration (g)	0.29839	0.26640	0.20460
Sustained Max. Velocity (cm/sec)	29.23473	23.63425	40.54964
Effective Design Acceleration (g)	0.28910	0.32884	0.32705
A95 parameter (g)	0.00032	0.00034	0.00035
Predominant Period (sec)	0.22000	0.08000	1.40000
Significant Duration (sec)	23.86400	12.86000	15.62000
Max Incremental Velocity (cm/sec)	42.63794	43.26907	83.64412
Damage Index((g)^c)	3.53659	2.78531	0.78455
Number of Effective Cycles	4.64182	5.68144	2.42979
IP Index	34.16441	41.78680	16.00262
Se,avg (g)	0.30908	0.33620	0.39278
Standardized CAV (g*sec)	1.12065	0.97533	0.85983

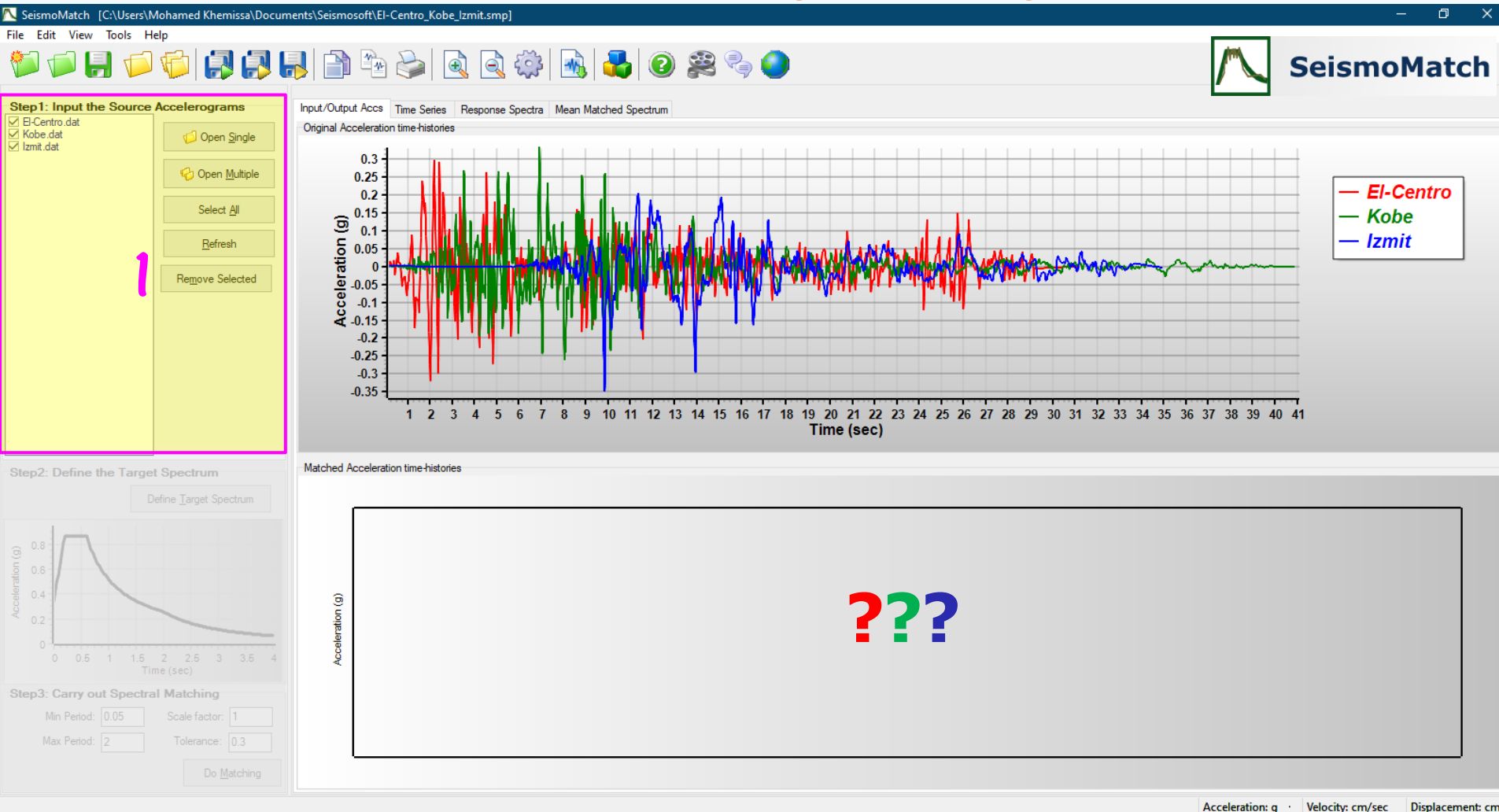
Divers paramètres sismométriques

Valeurs significatives

Séisme	El-Centro (USA)	Kobe (Japon)	Izmit (Turquie)
<i>Accélération maximale (xg)</i>	0.319	0.345	0.349
<i>Déplacement maximal (cm)</i>	21.358	9.694	51.302
<i>Intensité d'Arias (m/s)</i>	1.725	1.687	1.322
<i>Intensité d'Housner (cm)</i>	124.418	141.645	176.175
<i>Accélération effective de calcul (xg)</i>	0.289	0.329	0.327
<i>Durée significative du séisme (s)</i>	23.86	12.86	15.62

Acceleration: g Velocity: cm/sec Displacement: cm

❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Définition des accélérogrammes originaux*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9)

Définition du spectre de calcul

SeismoMatch [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_izmit.smp]

File Edit View Tools Help

Set Input Spectrum

Step1: Input the Source Accelerograms

- ☒ El-Centro.dat
- ☒ Kobe.dat
- ☒ Izmit.dat

Open Single
Open Multiple
Select All
Refresh
Remove Selected

Code-based Spectrum

Structural Code
EuroCode 8, Part-3

☒ elastic spectrum
☐ design\inelastic spectrum

Eurocode 8 National Annex
EN Recommended

Spectrum from loaded accelerogram

Damping Value (%) 5

Record Name
El-Centro.dat

Load Spectrum from file

Damping Value (%) 5

Open

Damping
5

PGA
ag (g)
0.250

Spectrum Type
☒ Type1 ☐ Type2

Ground Type
C

Importance Class
Importance Class III

Period (sec)	Sa (g)
0.000	0.3450
0.020	0.3967
0.040	0.4485
0.060	0.5002
0.080	0.5520
0.100	0.6038
0.120	0.6555
0.140	0.7073
0.160	0.7590
0.180	0.8107
0.200	0.8625
0.220	0.8625
0.240	0.8625
0.260	0.8625
0.280	0.8625
0.300	0.8625
0.320	0.8625
0.340	0.8625
0.360	0.8625
0.380	0.8625
0.400	0.8625
0.420	0.8625
0.440	0.8625
0.460	0.8625
0.480	0.8625
0.500	0.8625
0.520	0.8625
0.540	0.8625
0.560	0.8625

Ground Type
C

Importance Class
Importance Class III

Acceleration (g)

Period (sec)

Step2: Define the Target Spectrum

Define Target Spectrum

Acceleration (g)

Time (sec)

Step3: Carry out Spectral Matching

Min Period: 0.05 Scale factor: 1

Max Period: 2 Tolerance: 0.3

Do Matching

Acceleration: g · Velocity: cm/sec Displacement: cm

❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Détermination des accélérogrammes appariés*

SeismoMatch [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_Izmit.smp]

File Edit View Tools Help

Step1: Input the Source Accelerograms

- ☒ El-Centro.dat
- ☒ Kobe.dat
- ☒ Izmit.dat

Open Single
Open Multiple
Select All
Refresh
Remove Selected

Step2: Define the Target Spectrum

Define Target Spectrum

Acceleration (g)

Time (sec)

Step3: Carry out Spectral Matching

Min Period: 0.05 Scale factor: 1
Max Period: 2 Tolerance: 0.3
Do Matching

Input/Output Accs Time Series Response Spectra Mean Matched Spectrum

Original Acceleration time-histories

Accelerogram Matching Progress

Acceleration (g)

Time

Matched Acceleration time-histories

Acceleration (g)

Time

Accelerogram Matching Progress

Total Progress

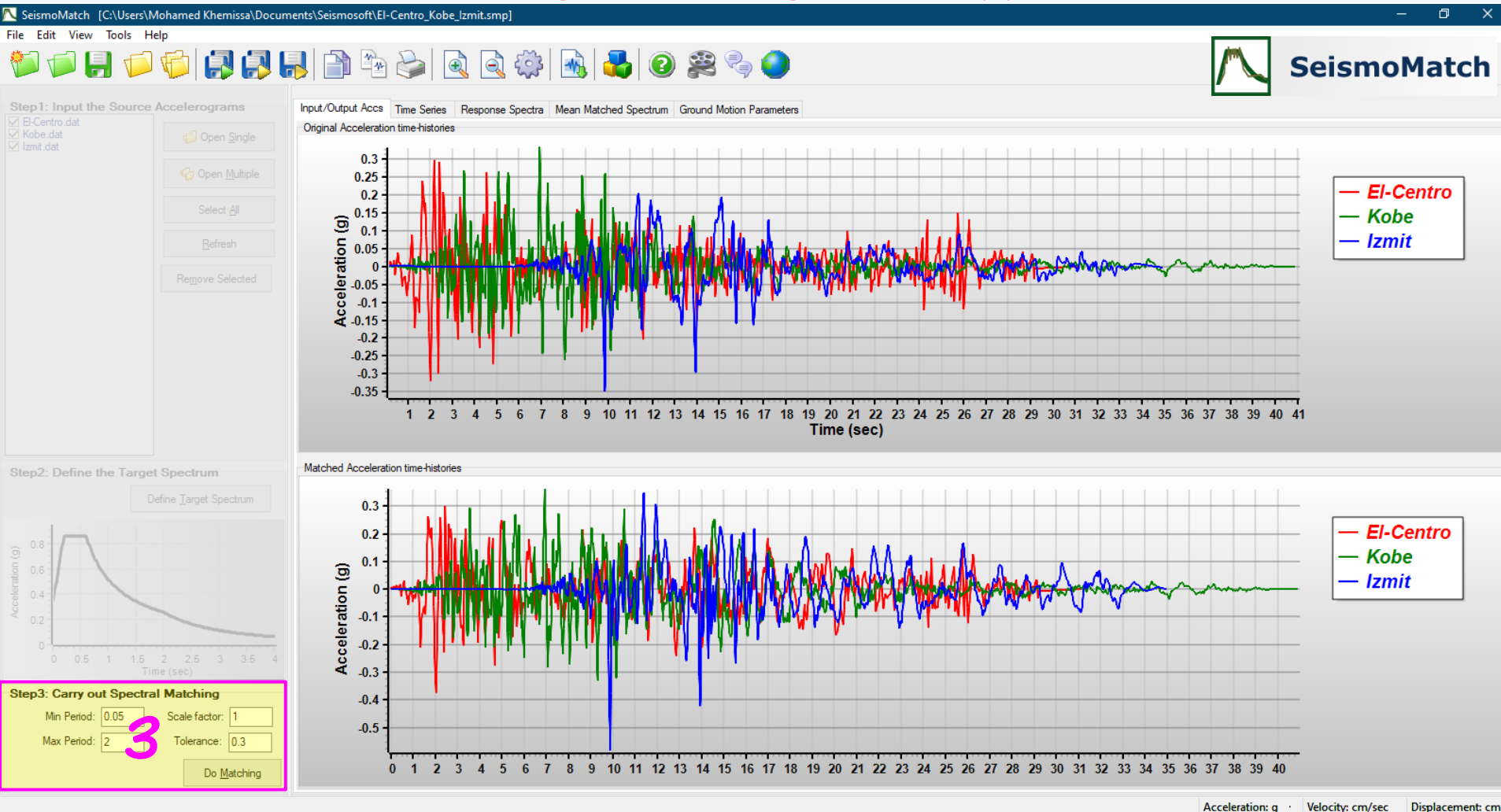
Progress by accelerogram

Accelerogram	Matching	Ave Misfit	Max Misfit	Iterations
El-Centro.	Converged	4.3 %	25.8 %	13
Kobe.dat	Converged	9.2 %	29.3 %	13
Izmit.dat	Converged	5.8 %	29.8 %	13

OK

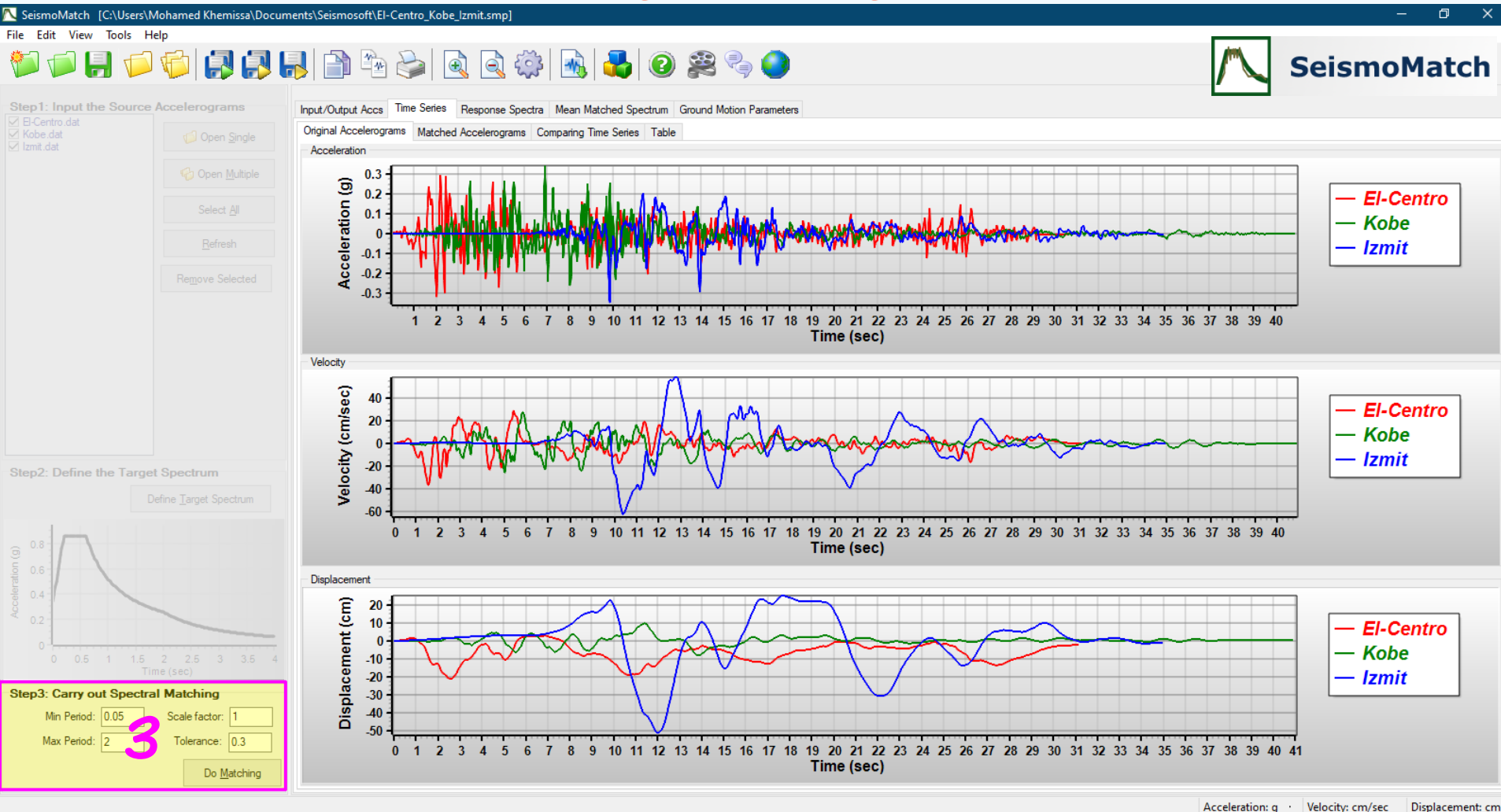
Acceleration: g · Velocity: cm/sec Displacement: cm

❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Accélérographes originaux et appariés*



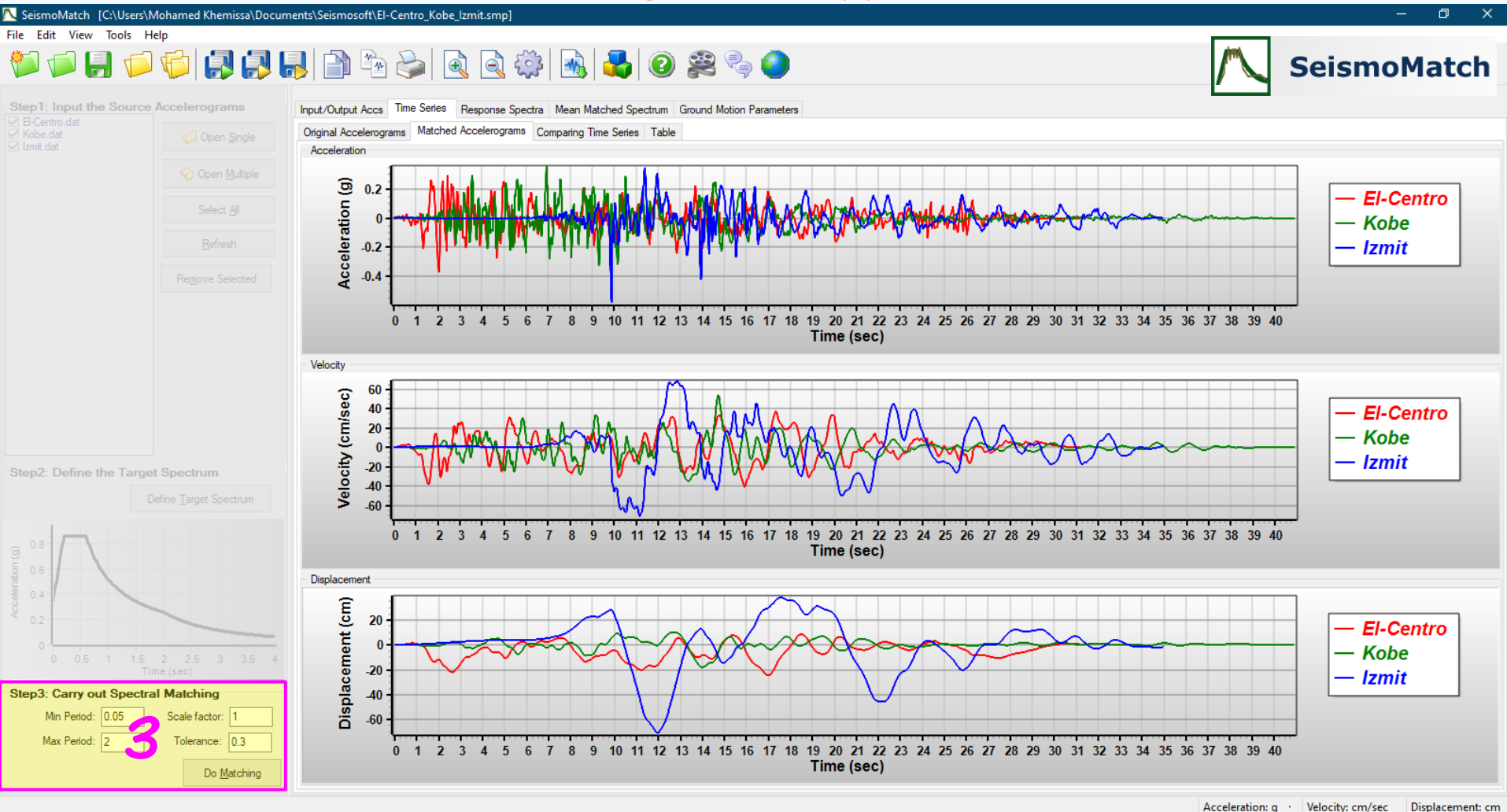
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9)

Sismogrammes originaux

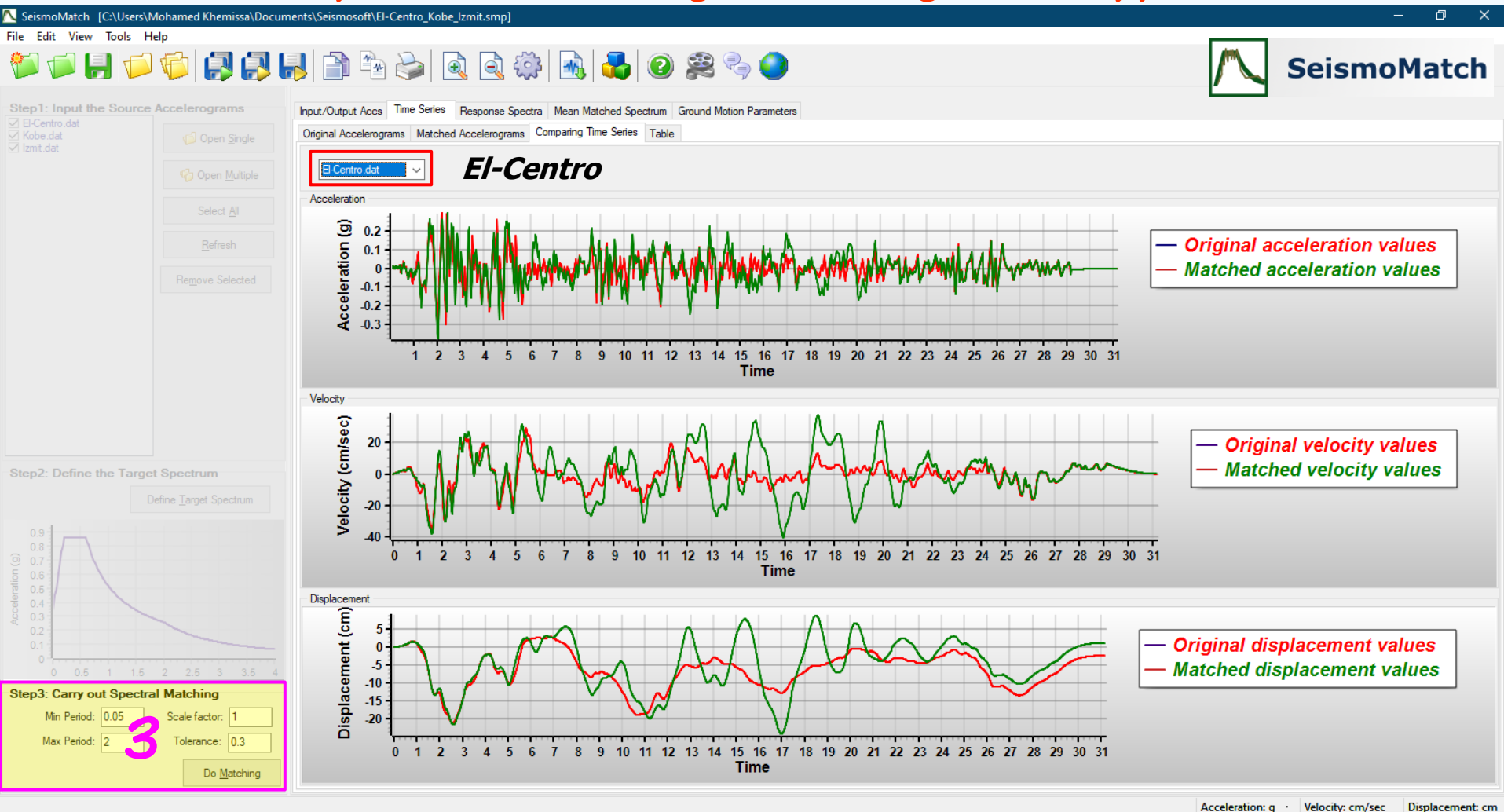


❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9)

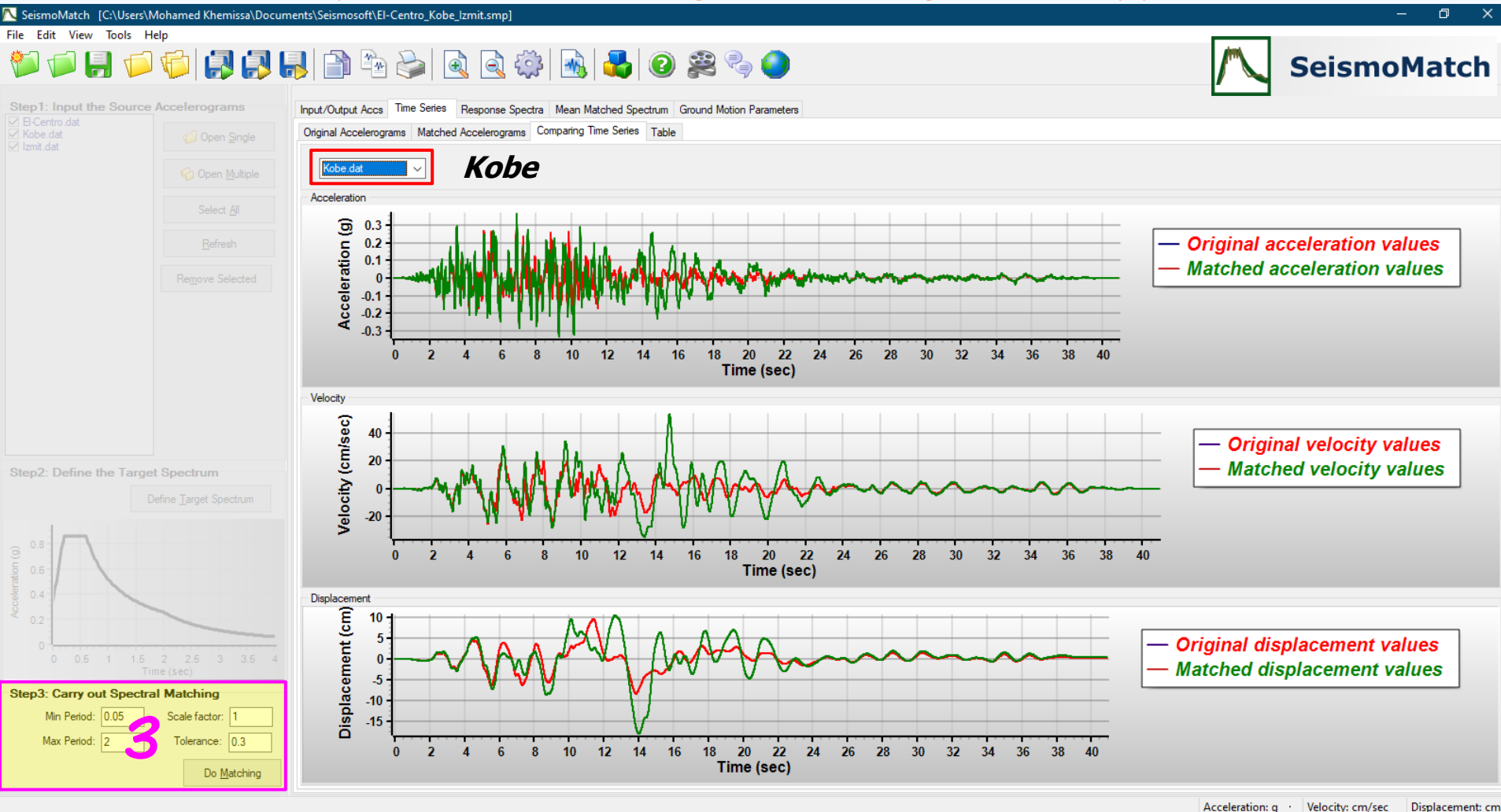
Sismogrammes appariés



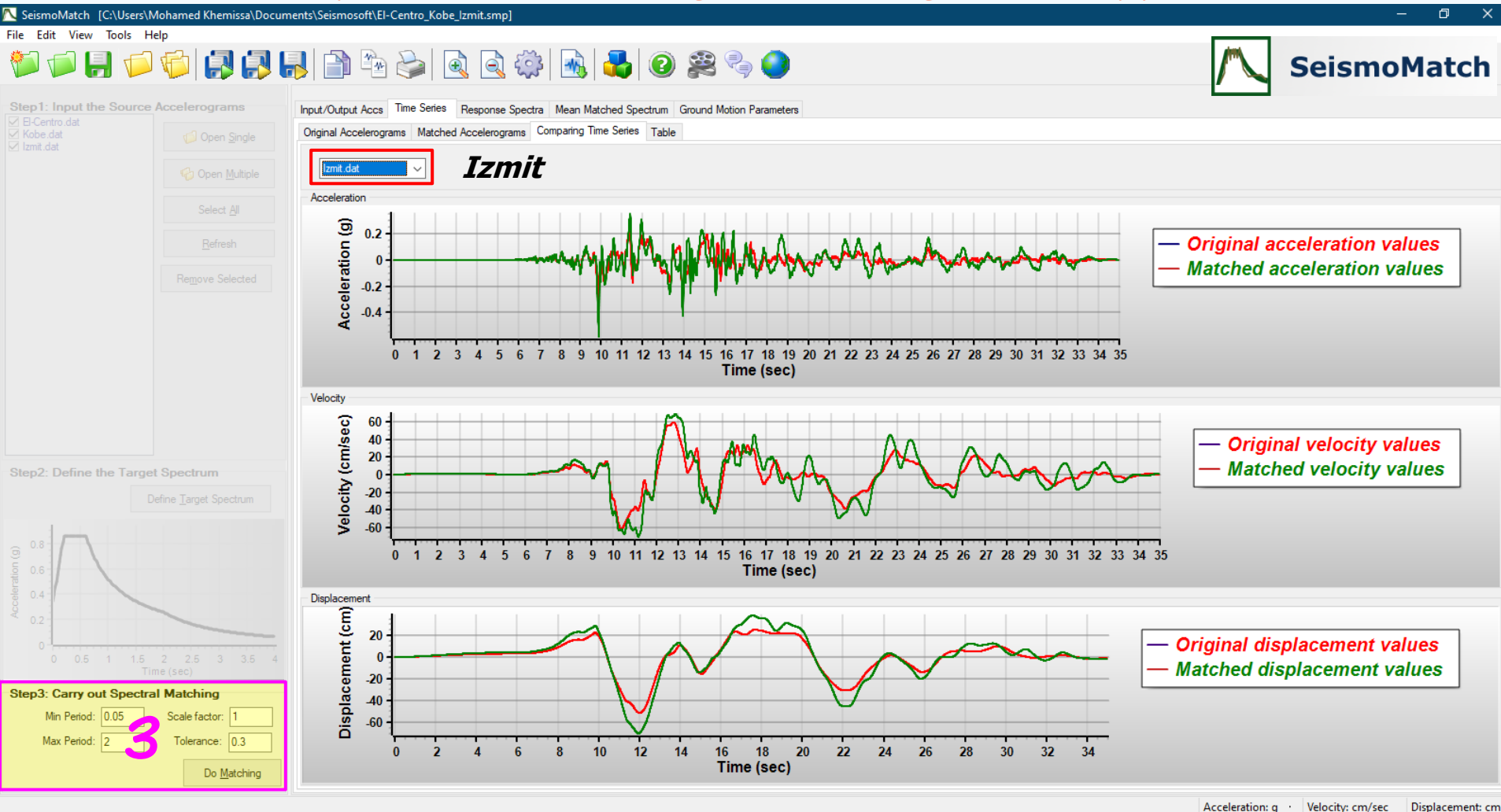
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison des sismogrammes originaux et appariés*



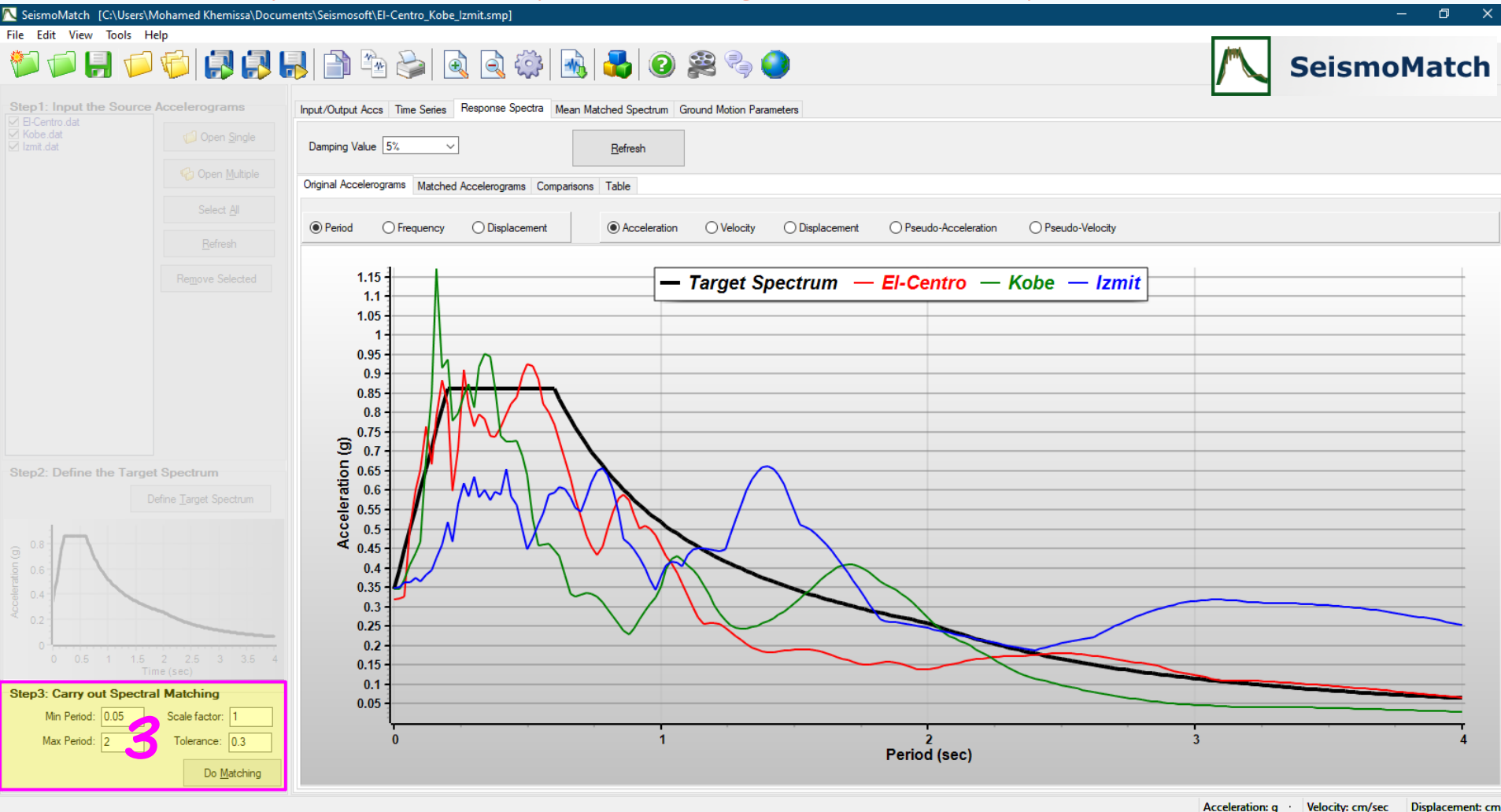
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison des sismogrammes originaux et appariés*



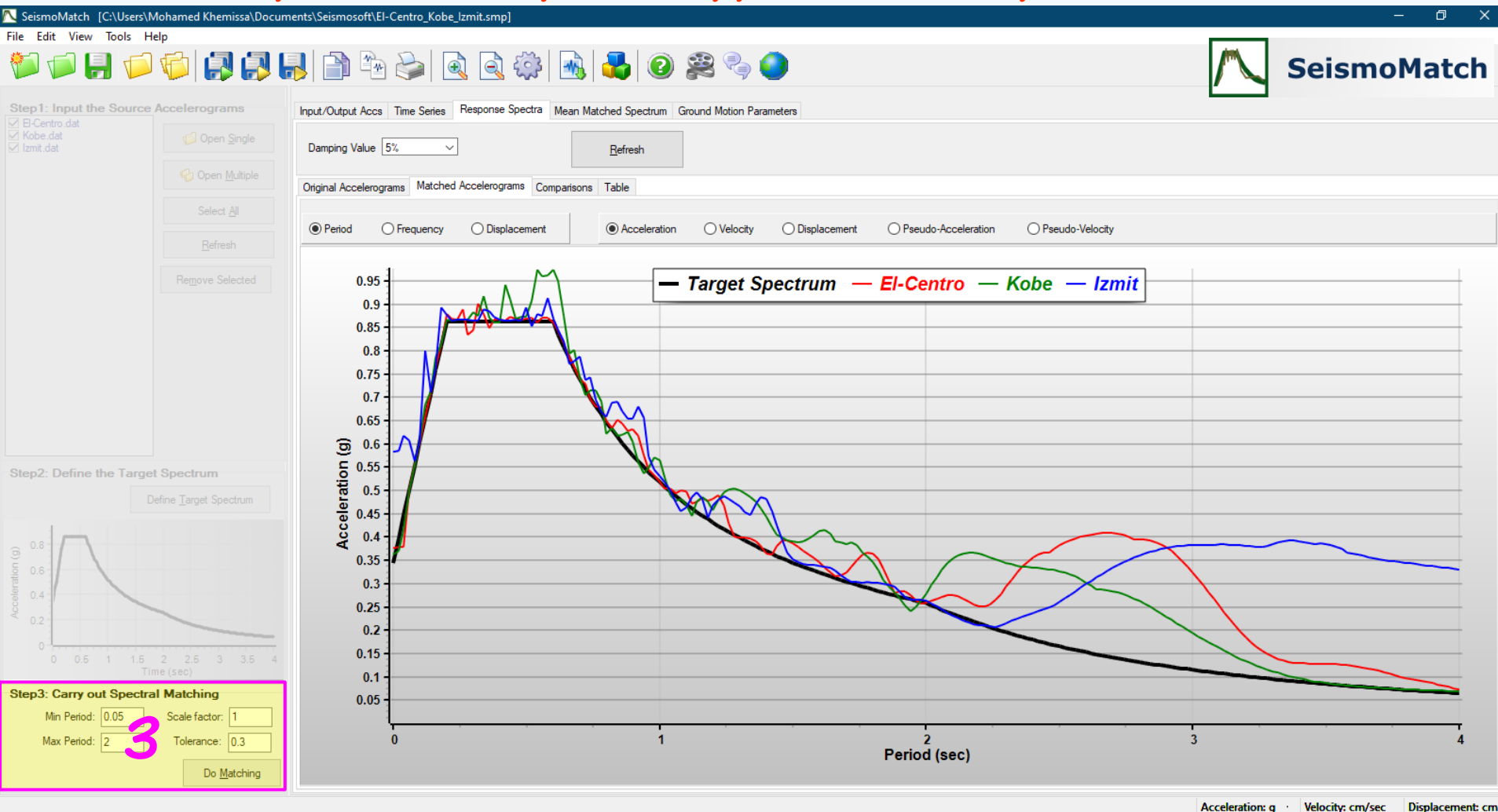
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Comparaison des sismogrammes originaux et appariés*



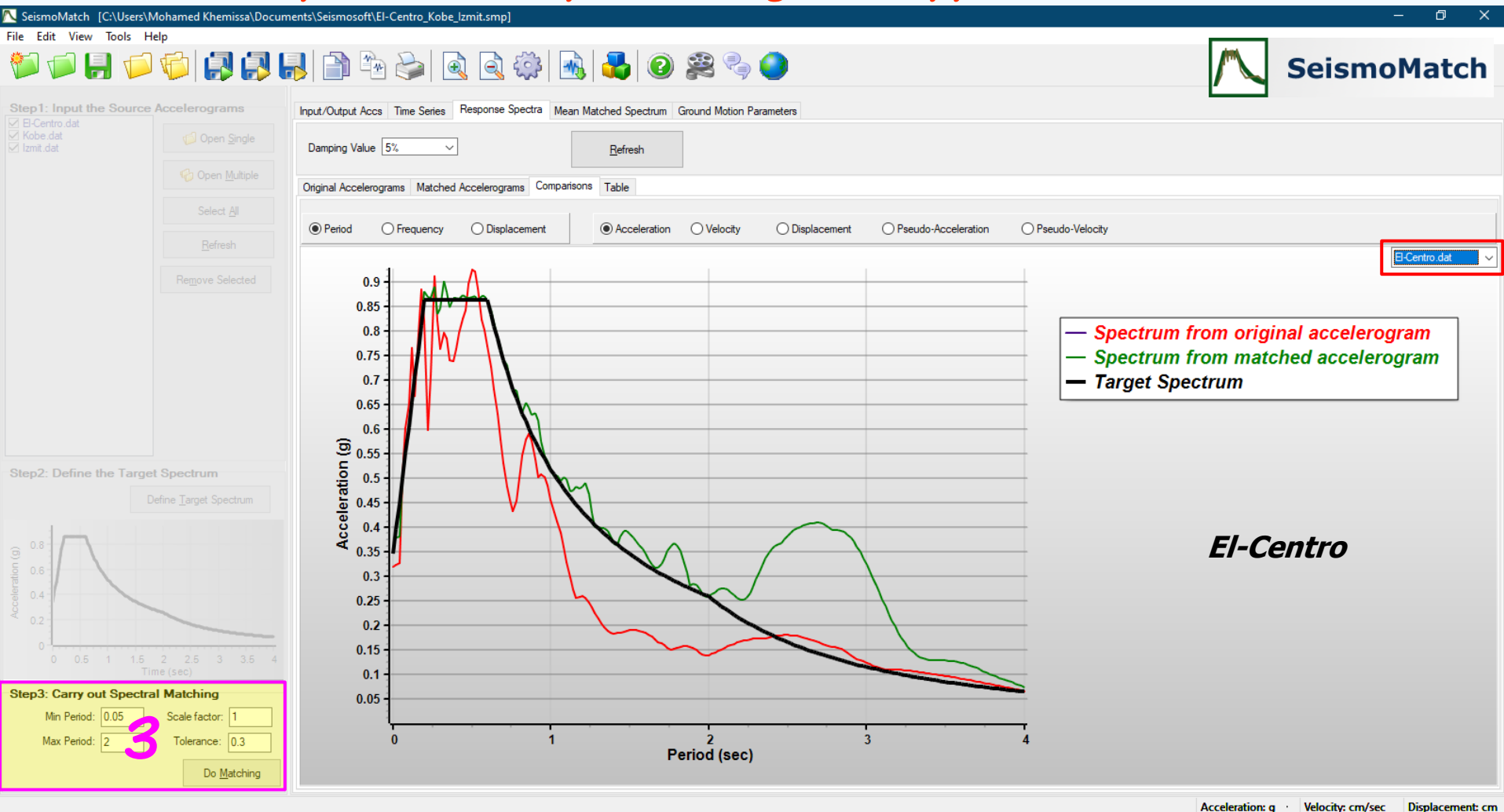
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison des spectres originaux avec le spectre de calcul*



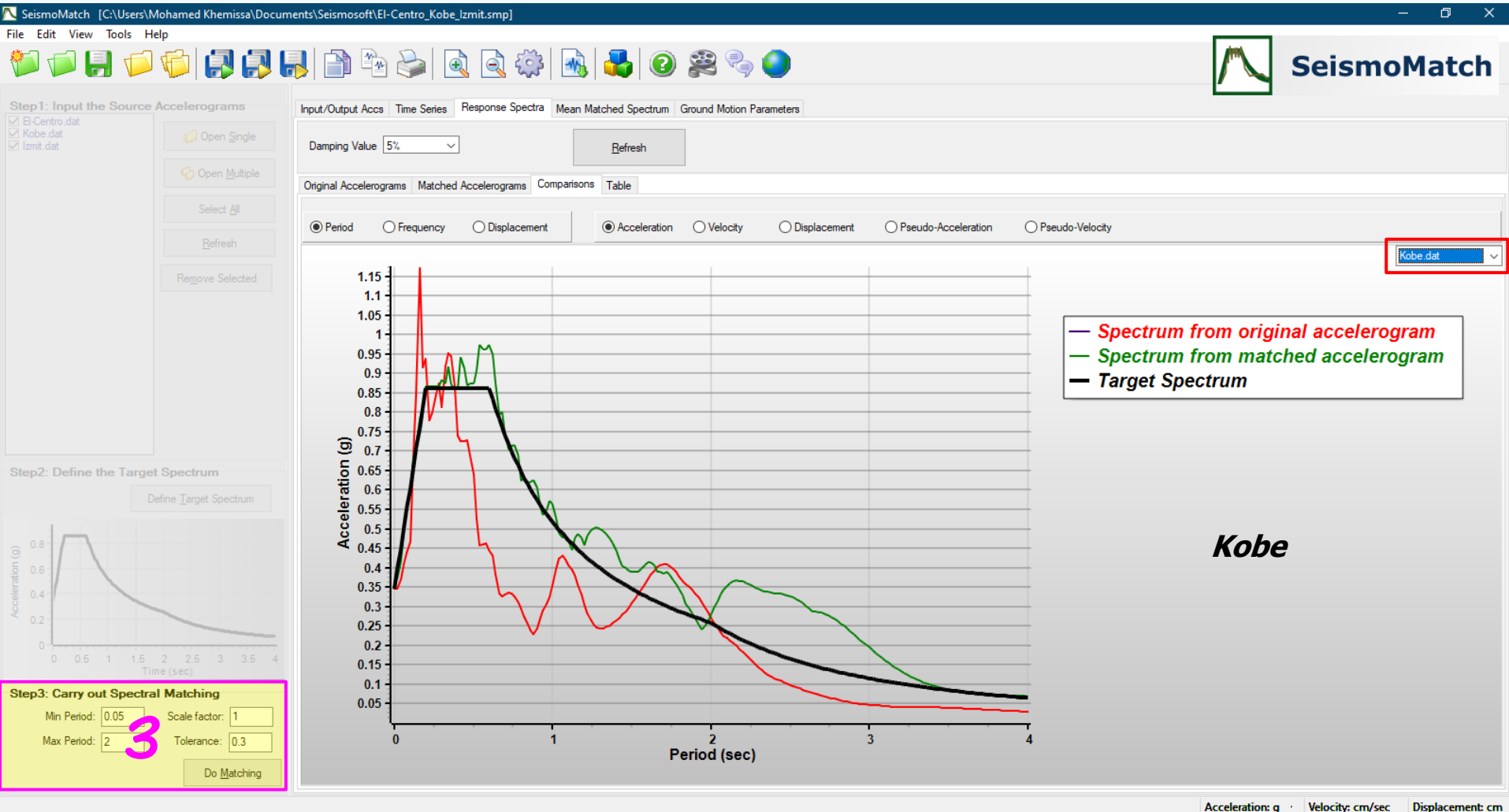
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – $M_w=6.9$) *Comparaison des spectres appariés avec le spectre de calcul*



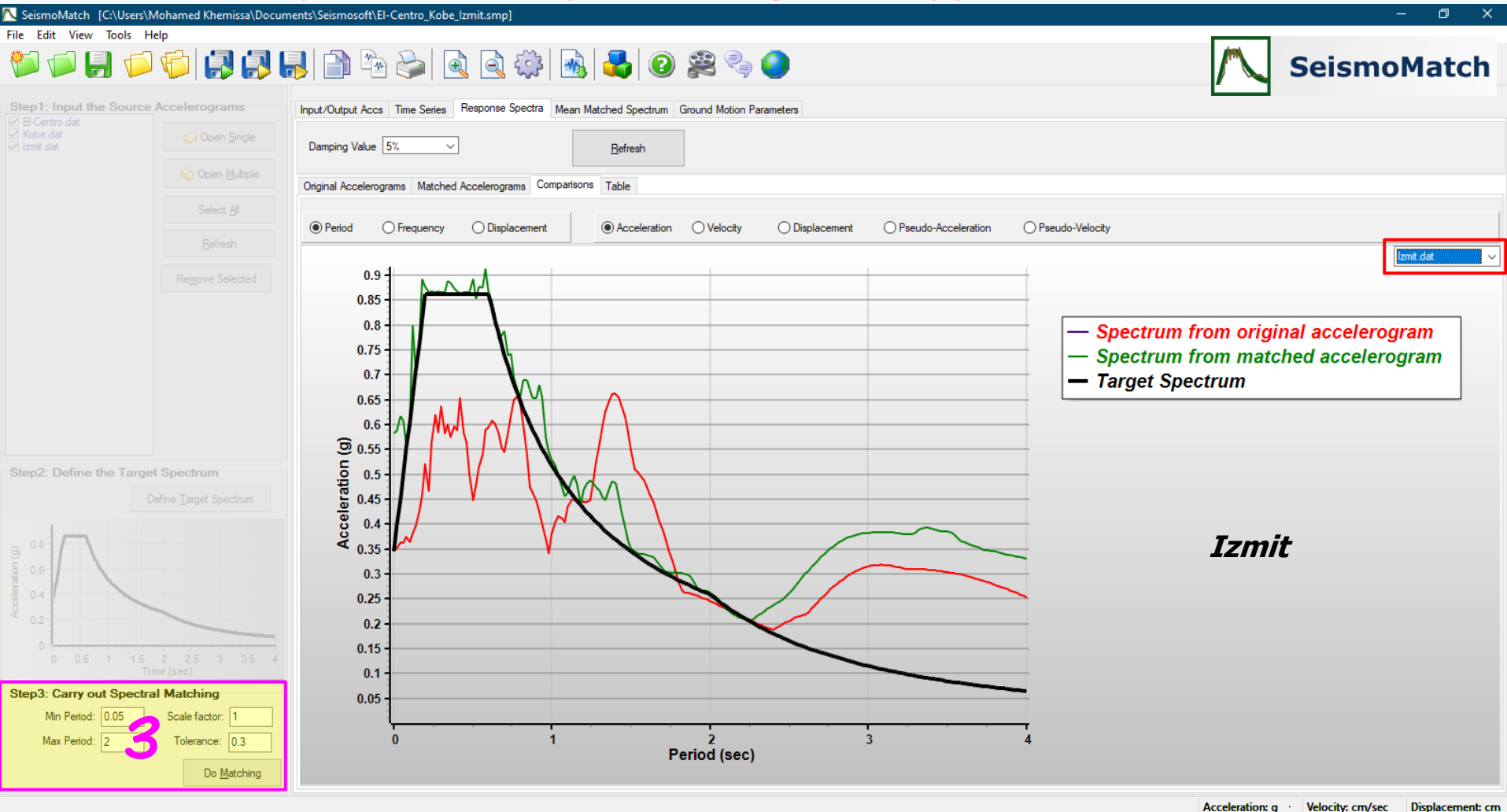
❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Comparaison des spectres originaux, appariés et de calcul*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Comparaison des spectres originaux, appariés et de calcul*

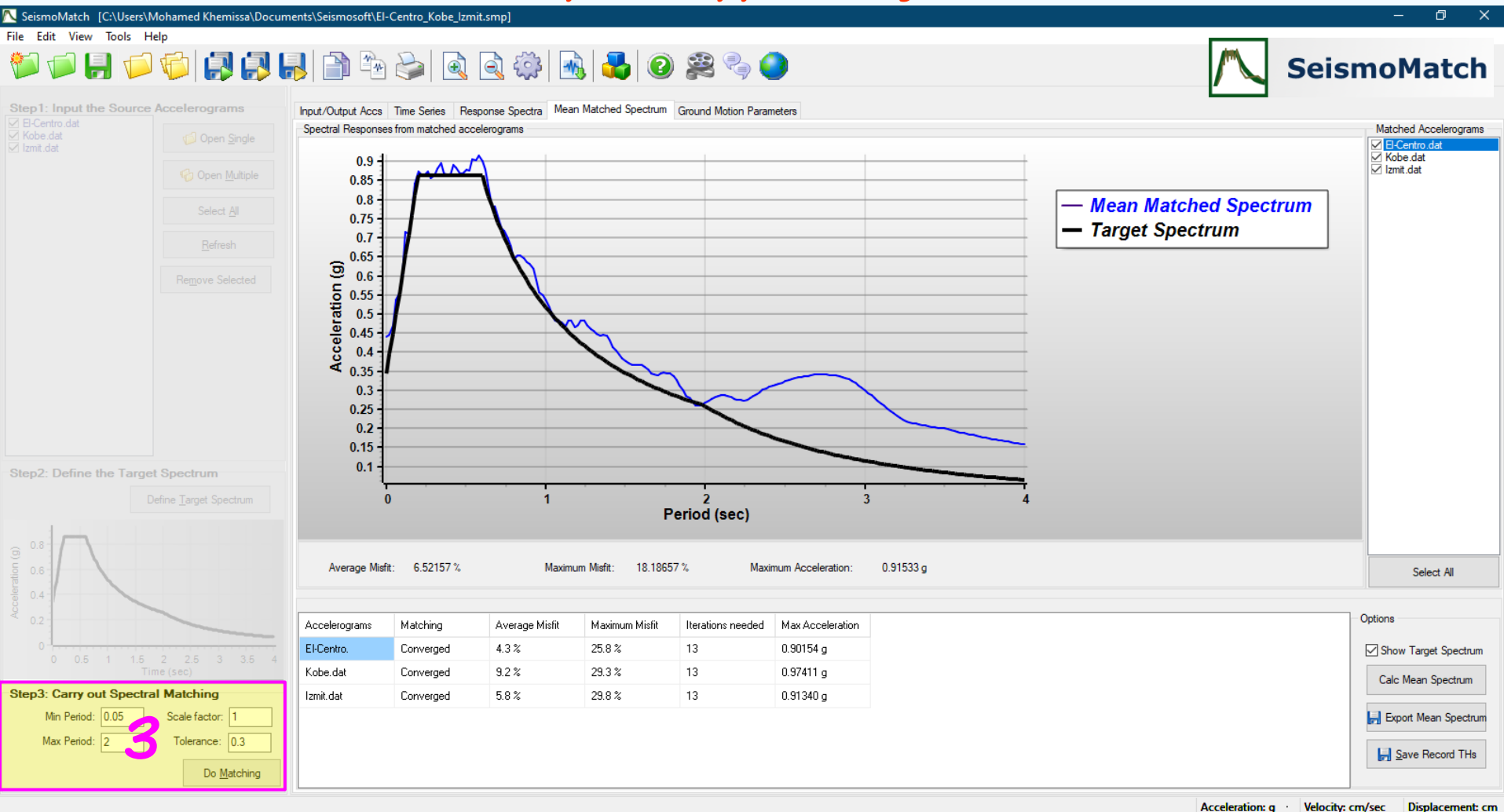


❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Comparaison des spectres originaux, appariés et de calcul*



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9)

Spectre apparié moyen



❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9)

Divers paramètres sismométriques originaux et appariés

SeismoMatch [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_Izmit.smp]

File Edit View Tools Help

Step1: Input the Source Accelerograms

☒ El-Centro.dat
☒ Kobe.dat
☒ Izmit.dat

Open Single
 Open Multiple
 Select All
 Refresh
 Remove Selected

Step2: Define the Target Spectrum

Define Target Spectrum

Acceleration (g)

Time (sec)

Step3: Carry out Spectral Matching

Min Period: 0.05 Scale factor: 1
 Max Period: 2 Tolerance: 0.3
 Do Matching

Input/Output Accs Time Series Response Spectra Mean Matched Spectrum Ground Motion Parameters

Ground Motion Parameters for Original Accelerograms

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.31882	0.34470	0.34900
Max Velocity (cm/sec)	36.15387	27.67793	62.18167
Max Displacement (cm)	21.35725	9.69435	51.30239
Vmax/Amx (sec)	0.11560	0.08185	0.18162
Acceleration RMS (g)	0.06123	0.05174	0.04954
Velocity RMS (cm/sec)	8.08846	6.30432	17.19039
Displacement RMS (cm)	8.32939	2.29461	15.00798
Arias Intensity	1.80159	1.68744	1.32244
Characteristic Intensity	0.08461	0.07527	0.06520
Specific Energy Density (cm ² /sec)	2039.89297	1625.94400	10333.9720
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	1261.79340	1161.36764	991.35347
Acc Spectrum Intensity (g*sec)	0.31383	0.32996	0.21397
Vel Spectrum Intensity (cm)	134.15484	153.58376	168.03091
Housner Intensity (cm)	124.26127	141.64890	176.17520
Sustained Max. Acceleration (g)	0.20505	0.26640	0.20460
Sustained Max. Velocity (cm/sec)	29.07792	23.63425	40.54964
Effective Design Acceleration (g)	0.28974	0.32884	0.32705
A95 parameter (g)	0.00032	0.00034	0.00035
Predominant Period (sec)	0.50000	0.16000	1.40000
Significant Duration (sec)	23.84000	12.86000	15.62000

Ground Motion Parameters for Matched Accelerograms

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.37593	0.36291	0.58357
Max Velocity (cm/sec)	40.34118	53.77286	70.62052
Max Displacement (cm)	24.30710	17.84986	70.40009
Vmax/Amx (sec)	0.10939	0.15104	0.12336
Acceleration RMS (g)	0.08031	0.07280	0.07464
Velocity RMS (cm/sec)	14.49087	10.44503	22.97182
Displacement RMS (cm)	8.44602	3.77223	20.52279
Arias Intensity	3.09922	3.34144	3.00197
Characteristic Intensity	0.12710	0.12565	0.12058
Specific Energy Density (cm ² /sec)	6547.33844	4463.22836	18453.8340
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	1781.77269	1790.98140	1587.48450
Acc Spectrum Intensity (g*sec)	0.33399	0.33851	0.33932
Vel Spectrum Intensity (cm)	201.81606	217.34742	185.73139
Housner Intensity (cm)	195.15096	208.75762	184.48801
Sustained Max. Acceleration (g)	0.24191	0.32151	0.35026
Sustained Max. Velocity (cm/sec)	37.39011	33.72335	67.21634
Effective Design Acceleration (g)	0.34937	0.32246	0.53189
A95 parameter (g)	0.00038	0.00036	0.00058
Predominant Period (sec)	0.32000	0.60000	0.58000
Significant Duration (sec)	22.28000	14.81000	17.62000

Maximum Acceleration (g)

Matched Accelerograms

Acceleration: g Velocity: cm/sec Displacement: cm

❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Divers paramètres sismométriques originaux et appariés*

SeismoMatch [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_Izmit.smp]

File Edit View Tools Help

Step1: Input the Source Accelerograms

✓ El-Centro.dat
✓ Kobe.dat
✓ Izmit.dat

Open Single
Open Multiple
Select All
Refresh
Remove Selected

Step2: Define the Target Spectrum

Define Target Spectrum

Acceleration (g)

Time (sec)

Step3: Carry out Spectral Matching

Min Period: 0.05 Scale factor: 1
Max Period: 2 Tolerance: 0.3
Do Matching

Input/Output Accs Time Series Response Spectra Mean Matched Spectrum Ground Motion Parameters

Ground Motion Parameters for Original Accelerograms

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.31882	0.34470	0.34900
Max Velocity (cm/sec)	36.15387	27.67793	62.18167
Max Displacement (cm)	21.357	9.694	51.302
Vmax/Amx (sec)	0.1	0.1	0.1
Acceleration RMS (g)	0.0	0.0	0.0
Velocity RMS (cm/sec)	8.0	8.0	8.0
Displacement RMS (cm)	8.0	8.0	8.0
Arias Intensity	1.802	1.687	1.322
Characteristic Intensity	0.0	0.0	0.0
Specific Energy Density (cm ² /sec)	20.0	20.0	20.0
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	12.0	12.0	12.0
Acc Spectrum Intensity (g ² sec)	0.3	0.3	0.3
Vel Spectrum Intensity (cm)	13.0	13.0	13.0
Housner Intensity (cm)	12.0	12.0	12.0
Sustained Max. Acceleration (g)	0.2	0.2	0.2
Sustained Max. Velocity (cm/sec)	29.0	29.0	29.0
Effective Design Acceleration (g)	0.290	0.329	0.327
A95 parameter (g)	0.0	0.0	0.0
Predominant Period (sec)	0.5	0.5	0.5
Significant Duration (sec)	23.84	12.86	15.62

Ground Motion Parameters for Matched Accelerograms

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.37593	0.36291	0.58357
Max Velocity (cm/sec)	40.34118	53.77286	70.62052

Valeurs significatives des paramètres originaux

Séisme	El-Centro (USA)	Kobe (Japon)	Izmit (Turquie)
Accélération maximale (xg)	0.319	0.345	0.349
Déplacement maximal (cm)	21.357	9.694	51.302
Intensité d'Arias (m/s)	1.802	1.687	1.322
Intensité d'Housner (cm)	124.261	141.649	176.175
Accélération effective de calcul (xg)	0.290	0.329	0.327
Durée significative du séisme (s)	23.84	12.86	15.62

Maximum Acceleration (g)

Time (sec)

Matched Accelerograms

Acceleration: g Velocity: cm/sec Displacement: cm

❑ Exemple : Séisme d'El-Centro, Californie, USA (18/05/1940 – Mw=6.9) *Divers paramètres sismométriques originaux et appariés*

SeismoMatch [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\El-Centro_Kobe_Izmit.smp]

File Edit View Tools Help

Step1: Input the Source Accelerograms

✓ El-Centro.dat
✓ Kobe.dat
✓ Izmit.dat

Open Single
Open Multiple
Select All
Refresh
Remove Selected

Step2: Define the Target Spectrum

Define Target Spectrum

Acceleration (g)

Time (sec)

Step3: Carry out Spectral Matching

Min Period: 0.05 Scale factor: 1
Max Period: 2 Tolerance: 0.3
Do Matching

Input/Output Accs Time Series Response Spectra Mean Matched Spectrum Ground Motion Parameters

Ground Motion Parameters for Original Accelerograms

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.31882	0.34470	0.34900
Max Velocity (cm/sec)	36.15387	27.67793	62.18167
Max Displacement (cm)	21.307	17.850	70.400
Vmax/Amax (sec)	0.1	0.1	0.1
Acceleration RMS (g)	0.0	0.0	0.0
Velocity RMS (cm/sec)	8.0	8.0	8.0
Displacement RMS (cm)	8.0	8.0	8.0
Arias Intensity	1.0	1.0	1.0
Characteristic Intensity	0.0	0.0	0.0
Specific Energy Density (cm ² /sec)	20.0	20.0	20.0
Cum. Abs. Velocity (cm/sec)	12.0	12.0	12.0
Acc Spectrum Intensity (g*sec)	0.3	0.3	0.3
Vel Spectrum Intensity (cm)	13.0	13.0	13.0
Housner Intensity (cm)	12.0	12.0	12.0
Sustained Max. Acceleration (g)	0.2	0.2	0.2
Sustained Max. Velocity (cm/sec)	29.0	29.0	29.0
Effective Design Acceleration (g)	0.2	0.2	0.2
A95 parameter (g)	0.0	0.0	0.0
Predominant Period (sec)	0.5	0.5	0.5
Significant Duration (sec)	23.0	23.0	23.0

Ground Motion Parameters for Matched Accelerograms

Accelerogram	1- El-Centr	2- Kobe.dat	3- Izmit.da
Max Acceleration (g)	0.37593	0.36291	0.58357
Max Velocity (cm/sec)	40.34118	53.77286	70.62052

Valeurs significatives des paramètres appariés

Séisme	El-Centro (USA)	Kobe (Japon)	Izmit (Turquie)
Accélération maximale (xg)	0.376	0.363	0.584
Déplacement maximal (cm)	24.307	17.850	70.400
Intensité d'Arias (m/s)	3.099	3.341	3.002
Intensité d'Housner (cm)	195.151	208.758	184.488
Accélération effective de calcul (xg)	0.349	0.322	0.532
Durée significative du séisme (s)	22.280	14.810	17.620

Maximum Acceleration (g)

Time (sec)

Matched Accelerograms

Acceleration: g · Velocity: cm/sec Displacement: cm

Merci de votre attention

Fin de la 2^{ème} Partie