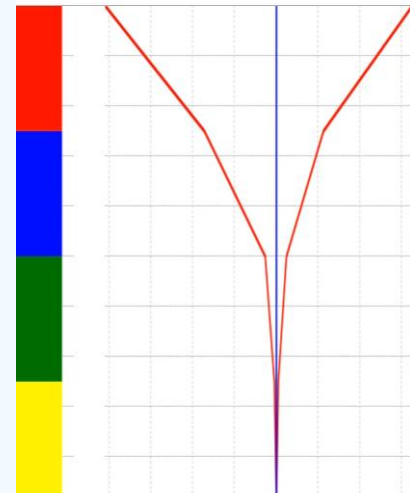


Chapitre Quatre

Réponse sismique d'un profil de sol

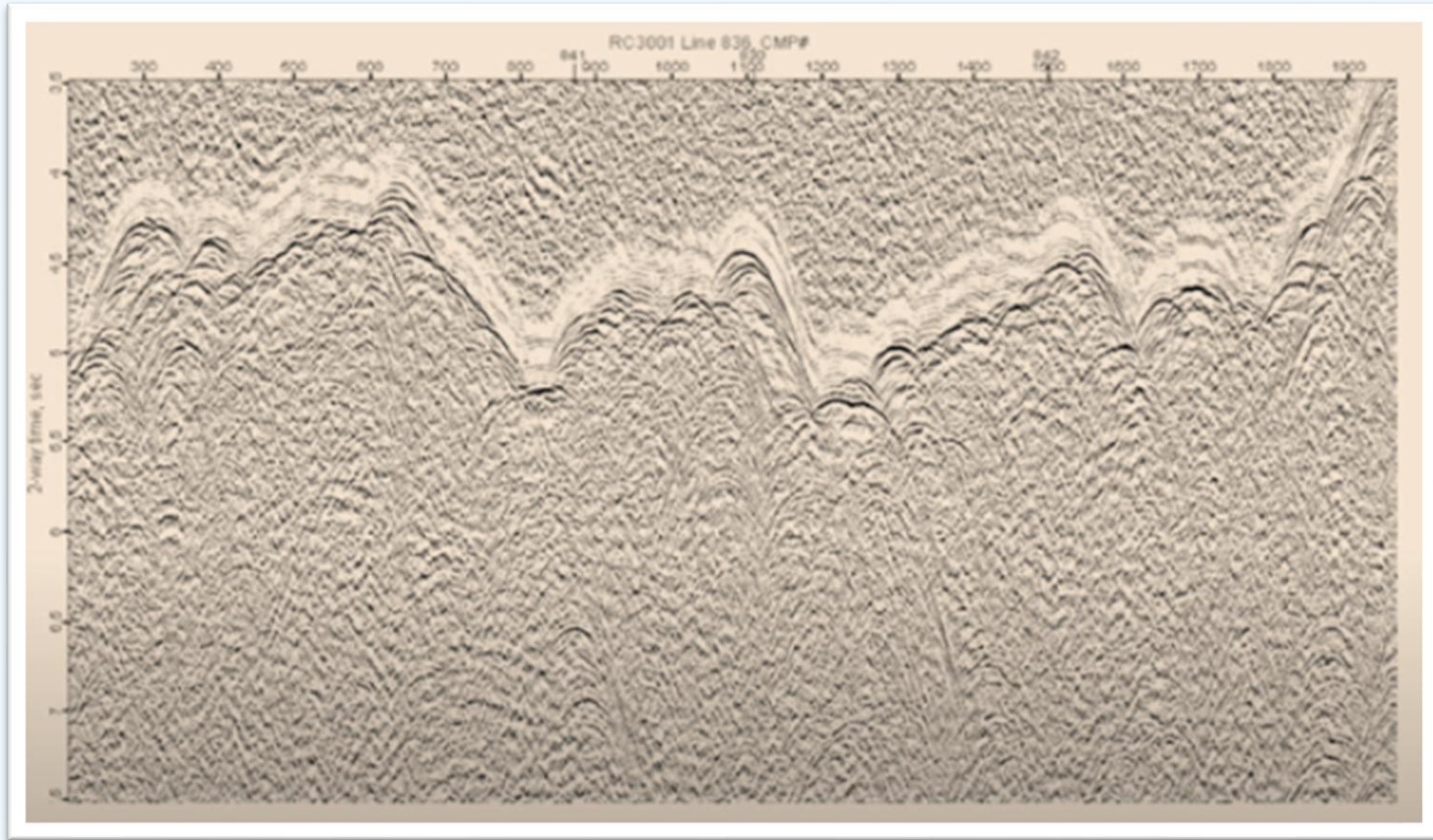
- ❑ *Introduction*
- ❑ *Rappels d'élasto-dynamique*
- ❑ *Propagation d'ondes dans les sols*
- ❑ *Procédure de résolution numérique*
- ❑ *Applications*



INTRODUCTION

□ Introduction

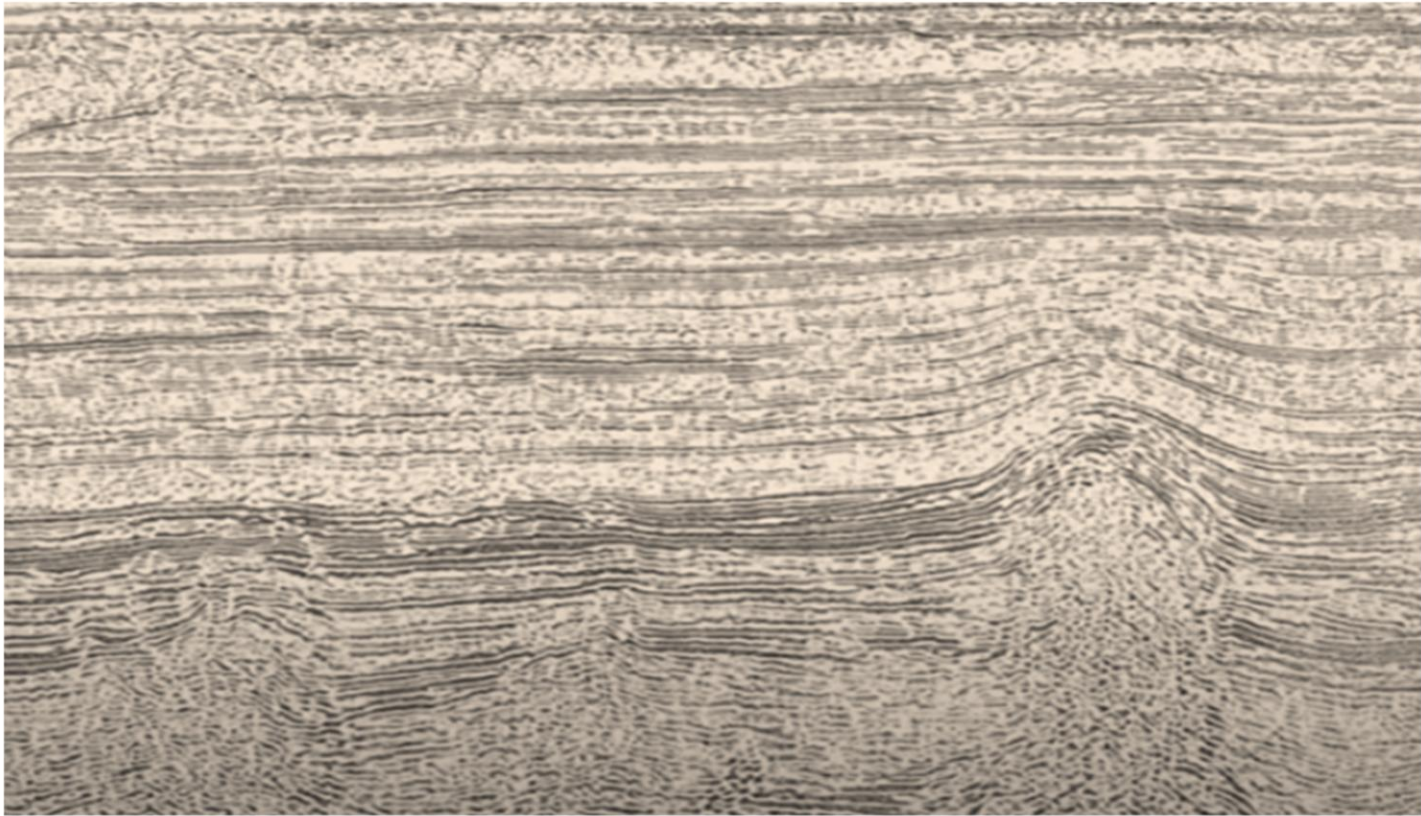
- **Echographie du sous-sol**



***Profil sismique résultant de la propagation des ondes P
pouvant se réfléchir sur des discontinuités de faibles profondeurs***

□ Introduction

- **Echographie du sous-sol**



***Profil sismique résultant de la propagation des ondes P
pouvant se réfléchir sur des discontinuités de faibles profondeurs***

RAPPELS D'ÉLASTO-DYNAMIQUE

□ Rappels d'élasto-dynamique

- **Equation de propagation**

Elle est donnée par l'expression de l'équation d'équilibre dynamique suivante :

$$\overline{\text{div}}(\bar{\sigma}) = \rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} = \rho \ddot{\bar{u}} \quad \Leftrightarrow \quad \sigma_{ij,j} = \rho \ddot{u}_i$$

où ρ désigne la densité du sol.

- **Loi de comportement élastique linéaire isotrope**

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$\bar{\sigma} = \lambda \text{Tr}(\bar{\varepsilon}) \bar{\delta} + 2\mu \bar{\varepsilon} \quad \Leftrightarrow \quad \sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}$$

où λ et μ désignent les coefficients de Lamé,

et inversement :

$$\bar{\varepsilon} = -\frac{\nu}{E} \text{Tr}(\bar{\sigma}) \bar{\delta} + \frac{1+\nu}{E} \bar{\sigma} \quad \Leftrightarrow \quad \varepsilon_{ij} = -\frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_{ij} + \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij}$$

où E désigne le module de Young et ν le coefficient de Poisson.

□ Rappels d'élasto-dynamique

- **Relations entre les paramètres d'élasticité**

Ces relations sont :

$$\lambda = \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad \text{et} \quad \mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{ou} \quad E = \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu} \quad \text{et} \quad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}$$

tels que : $E > 0$ et $-1 < \nu < +\frac{1}{2}$ (En pratique : $0 < \nu < +\frac{1}{2}$)

- **Tenseur de déformation**

Il est défini par l'expression suivante :

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} \left(\overline{\text{grad}}(\bar{u}) + {}^t\overline{\text{grad}}(\bar{u}) \right) \Leftrightarrow \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})$$

- **Equation de Navier**

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$(\lambda + \mu) \overline{\text{grad}} \left(\overline{\text{div}}(\bar{u}) \right) + \mu \Delta \bar{u} = \rho \ddot{\bar{u}} \Leftrightarrow (\lambda + \mu) u_{i,ij} + u_{i,jj} = \rho \ddot{u}_i$$

***PROPAGATION D'ONDES
DANS LES SOLS***

□ Propagation d'ondes dans les sols

• **Mouvement d'ondes**

Le mouvement d'ondes dans les massifs de sols se décompose en deux mouvements distincts :

- **Un mouvement irrotationnel**, noté $\bar{u}_1$, accompagné d'un changement de volume sans changement de forme.
- **Un mouvement rotationnel**, noté $\bar{u}_2$, accompagné d'un changement de forme sans changement de volume.

Soit donc :

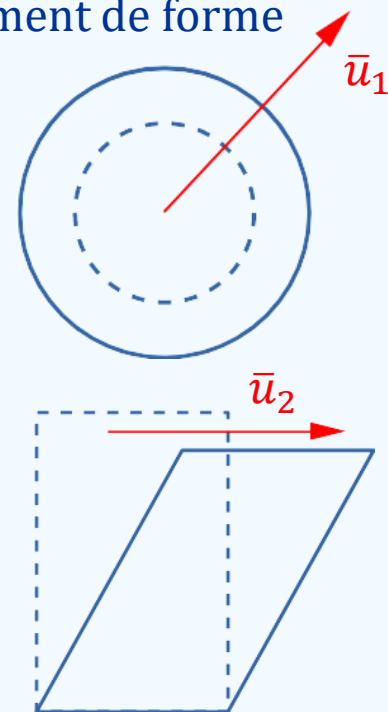
$$\bar{u} = \bar{u}_1 + \bar{u}_2$$

tels que :

$$\bar{u}_1 = \overline{\text{grad}}(\phi) \quad (\text{Mouvement irrotationnel})$$

$$\bar{u}_2 = \overline{\text{rot}}(\bar{\Omega}) \quad (\text{Mouvement rotationnel})$$

où ϕ désigne un potentiel scalaire et $\bar{\Omega}$ un potentiel vectoriel.



□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes primaires / Ondes secondaires**

On peut démontrer que les potentiels ϕ et $\bar{\Omega}$ sont donnés par les deux équations aux dérivées partielles suivantes (*Théorème de Poisson*) :

$$\Delta \phi = \frac{1}{V_p^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

et

$$\Delta \bar{\Omega} = \frac{1}{V_s^2} \frac{\partial^2 \bar{\Omega}}{\partial t^2}$$

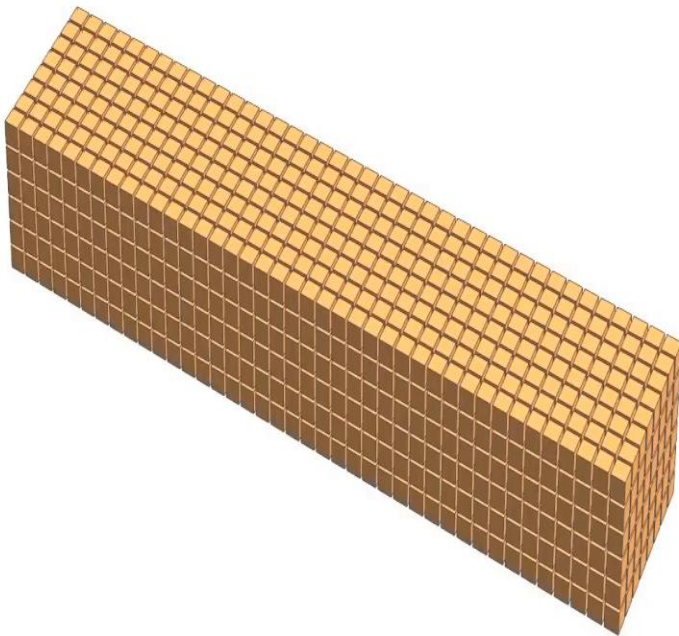
où $V_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}}$ désigne la vitesse des ondes primaires (Ondes longitudinales ou

Ondes de compression, *Ondes P*) et $V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ la vitesse des ondes secondaires (Ondes transversales ou Ondes de cisaillement, *Ondes S*).

□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes primaires / Ondes secondaires**

Ondes P



Ondes primaires (Ondes P)

Elles prennent naissance dans le foyer et se propagent à l'intérieur de la terre avec une amplitude qui décroît en $1/d$, où d désigne la distance épacentrale.

Elles se propagent longitudinalement avec une vitesse de l'ordre de 7 à 8 km/s en provoquant des compressions et des tractions alternées (changement de volume).

□ Propagation d'ondes dans les sols

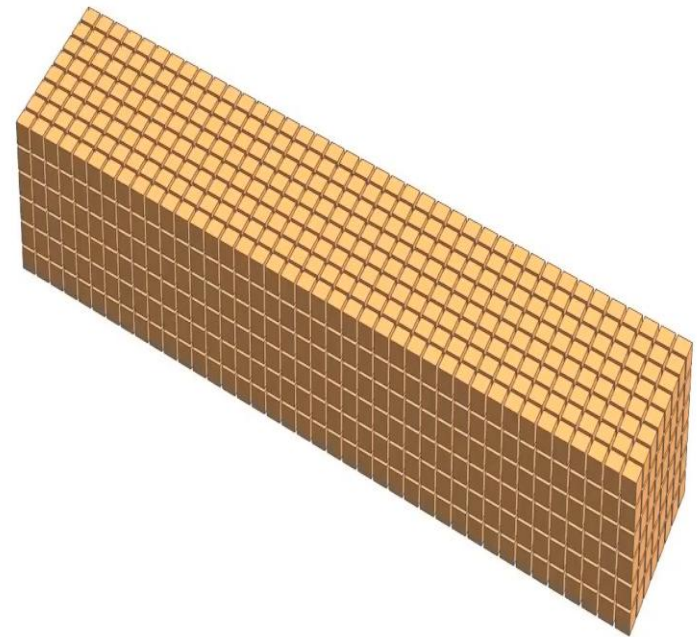
- **Ondes primaires / Ondes secondaires**

Ondes secondaires (Ondes S)

Elles prennent naissance dans le foyer et se propagent à l'intérieur de la terre avec une amplitude qui décroît en $1/d$, où d désigne la distance épacentrale.

Elles se propagent transversalement avec une vitesse de l'ordre de 4 à 5 km/s en provoquant une distorsion dans le plan normal à la direction de propagation de l'onde qui résulte d'un cisaillement sans changement de volume (changement de forme).

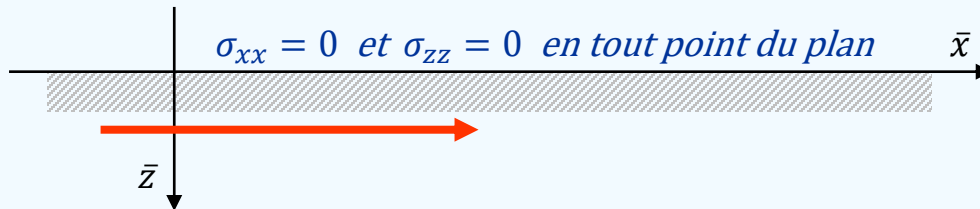
Ondes S



□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes de Rayleigh**

Ce sont des ondes planes qui se propagent parallèlement à la surface libre d'un demi-espace (milieu semi-infini) élastique, homogène et isotrope.



Leur vitesse de propagation, appelée vitesse de Rayleigh V_R , est reliée à la vitesse des ondes secondaires V_s par la relation suivante :

$$V_R = \sqrt{r} \cdot V_s$$

où r est la racine réelle de l'équation suivante :

$$r^3 - 8r^2 + 8(3 - 2s^2)r - 16(1 - s^2) = 0$$

avec $s = \frac{\mu}{\lambda + 2\mu} = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}}$ où ν est le coefficient de Poisson du sol.

Le déplacement correspondant est donné par $\bar{u}$ $\begin{cases} u_x(x, z, t) = f(z)e^{ik(x-V_R t)} \\ u_y(x, z, t) = 0 \\ u_z(x, z, t) = g(z)e^{ik(x-V_R t)} \end{cases}$

□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes de Rayleigh**

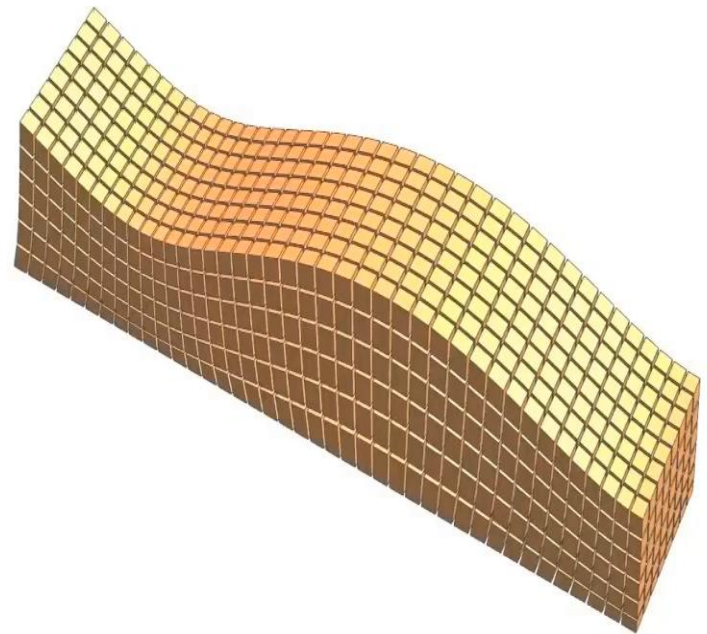
Ondes de Rayleigh (Ondes R)

Elles sont produites par les ondes de volume à leur arrivée en surface.

Elles décrivent des ellipses dans le plan vertical de propagation (semblables au mouvement de la houle) et provoquent des compressions ou des tractions associées au cisaillement du sol.

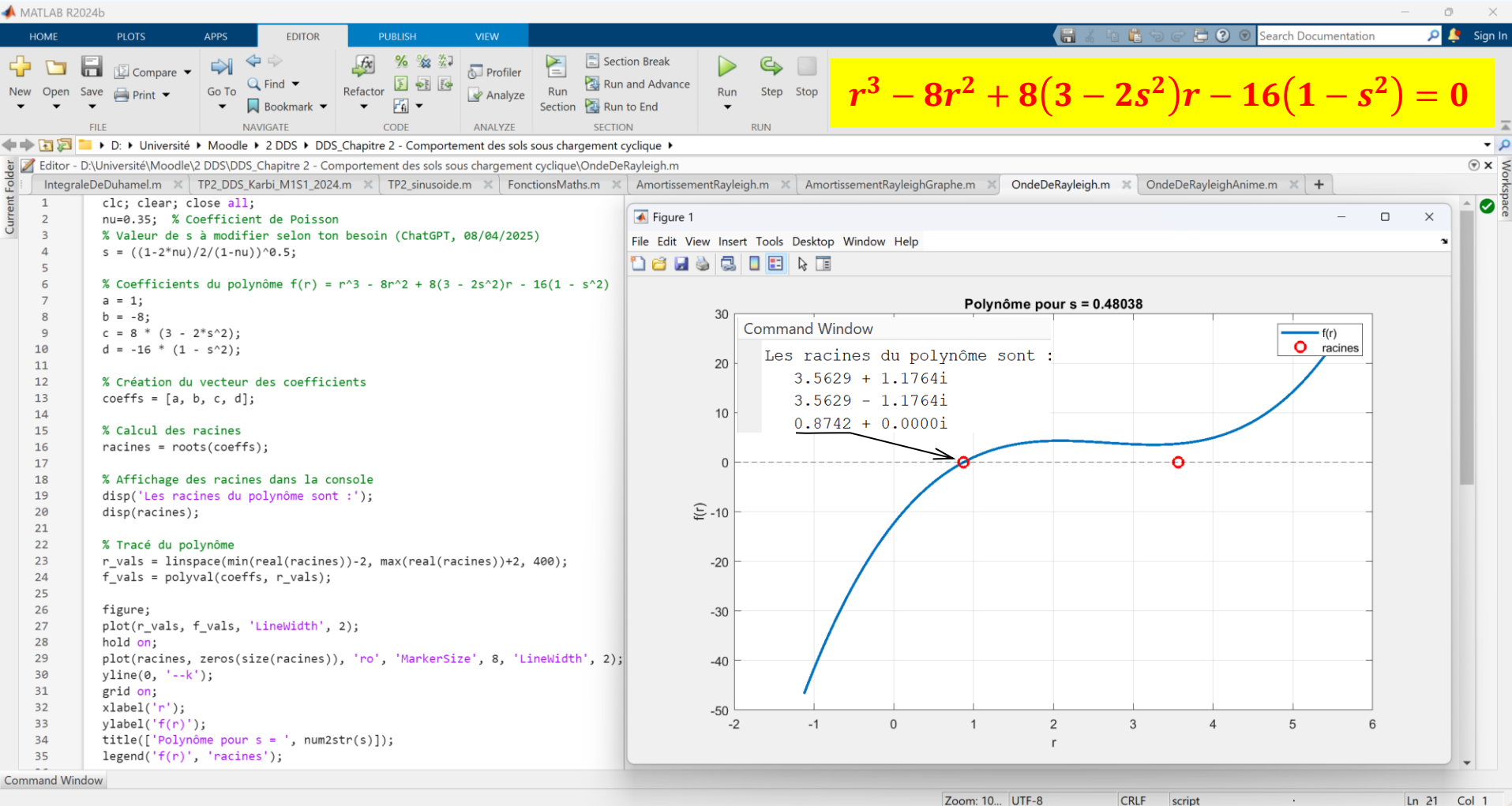
Elles se propagent autour de la terre avec une vitesse de l'ordre de 1.5 à 5 km/s dans les terrains compacts et rocheux et 0.5 à 1.5 km/s dans les terrains meubles.

Ondes R



Propagation d'ondes dans les sols

Ondes de Rayleigh : Solution de l'équation à l'aide de ChatGPT



□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes monochromatiques planes**

- **Définition**

Ondes monochromatiques : se dit d'une radiation composée de vibrations d'une même fréquence (Ondes propagées à la même fréquence).

- **Solution générale**

Pour une onde monochromatique stationnaire de pulsation ω , une solution générale des équations de Poisson est donnée par :

$$\phi = A \cdot \exp \left\{ \frac{i\omega}{V_p} \cdot (V_p \cdot t - l_x \cdot x - l_y \cdot y - l_z \cdot z) \right\}$$

$$\bar{\Omega} = \bar{B} \cdot \exp \left\{ \frac{i\omega}{V_s} \cdot (V_s \cdot t - l_x \cdot x - l_y \cdot y - l_z \cdot z) \right\}$$

avec : $\|\bar{l}\| = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2} = 1$, $\bar{l} \cdot \bar{B} = 0$ et $i^2 = -1$

↪ Vecteur des cosinus directeurs de la direction de propagation des ondes

□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes monochromatiques planes**

- **Composantes du déplacement**

Si l'on pose :

$$f_p = \exp \left\{ \frac{i\omega}{V_p} \cdot (V_p \cdot t - l_x \cdot x - l_y \cdot y - l_z \cdot z) \right\}$$

$$f_s = \exp \left\{ \frac{i\omega}{V_s} \cdot (V_s \cdot t - l_x \cdot x - l_y \cdot y - l_z \cdot z) \right\}$$

les composantes du déplacement peuvent s'écrire comme suit :

$$\bar{u}_1 = + \frac{i\omega}{V_p} \cdot f_p \cdot A \cdot \bar{l}$$

$$\bar{u}_2 = - \frac{i\omega}{V_s} \cdot f_s \cdot \bar{B} \wedge \bar{l}$$

Nota : Les mouvements engendrés par les ondes de cisaillement (Ondes S) peuvent se décomposer en :

- un mouvement dans le plan horizontal **SH** (Cisaillement horizontal),
- un mouvement dans le plan vertical **SV** (Cisaillement vertical).



□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Ondes monochromatiques planes**

- **Amplitudes du mouvement des ondes de cisaillement**

Les composantes horizontale et verticale du mouvement engendré par les ondes de cisaillement s'écrivent :

$$u_{SH} = A_{SH} \cdot f_S$$

$$u_{SV} = A_{SV} \cdot f_S$$

tels que :

$$A_{SH} = \frac{i\omega}{V_s} \frac{B_z}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2}}$$

$$A_{SV} = \frac{i\omega}{V_s} \frac{l_x B_y - l_y B_x}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2}}$$

désignent les amplitudes du mouvement des ondes de cisaillement horizontal SH et vertical SV.

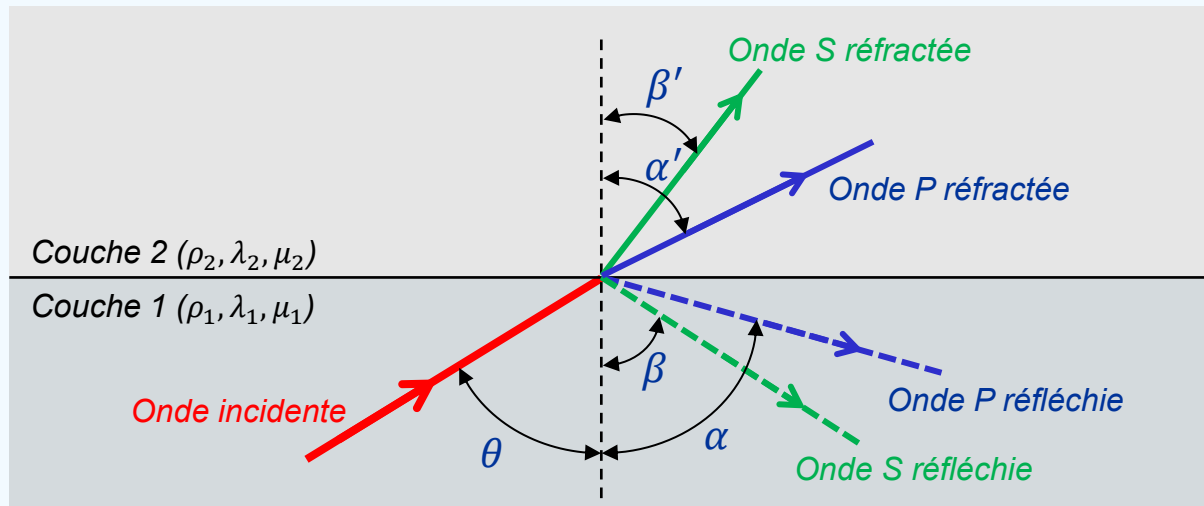
□ Propagation d'ondes dans les sols

- **Réflexion et réfraction des ondes planes à une interface**

Lorsqu'une onde atteint l'interface séparant deux couches de sol de caractéristiques mécaniques différentes (poids volumiques et constantes élastiques), il se produit des phénomènes de réflexion et de réfraction semblables à ceux observés en optique classique. La loi de diffraction (Loi de Snell) est donnée par la relation suivante :

$$\frac{V_{p1}}{\sin(\alpha)} = \frac{V_{s1}}{\sin(\beta)} = \frac{V_{p2}}{\sin(\alpha')} = \frac{V_{s2}}{\sin(\beta')} = c$$

où c désigne la vitesse apparente de propagation de l'onde incidente.



PROCÉDURE DE RÉOLUTION NUMÉRIQUE

□ Procédure de résolution numérique

• **Position du problème**

Le problème consiste à résoudre l'équation d'équilibre dynamique suivante :

$$\bar{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{u}} + \bar{\mathbf{C}}\dot{\mathbf{u}} + \bar{\mathbf{K}}\mathbf{u} = \bar{\mathbf{F}}(t)$$

où $\bar{\mathbf{M}}$ désigne la matrice des masses, $\bar{\mathbf{C}}$ la matrice des amortissements, $\bar{\mathbf{K}}$ la matrice des raideurs et $\bar{\mathbf{F}}(t)$ le vecteur des forces appliquées.

Pour ce faire, on utilisera l'une des méthodes de calcul suivantes :

- les *méthodes analytiques applicables aux problèmes de géométrie simple d'élasticité ou de viscoélasticité (généralement unidimensionnels)*.
- les *méthodes numériques (Méthode des différences finies, Méthode des éléments finis, Méthode des équations intégrales, ...)*.

Nota :

- Pour les problèmes linéaires, les matrices $\bar{\mathbf{K}}$ et $\bar{\mathbf{C}}$ sont constantes.
- Pour les problèmes non linéaires, $\bar{\mathbf{K}}$ et $\bar{\mathbf{C}}$ sont fonctions de $\mathbf{u}$ et $\dot{\mathbf{u}}$.
- En Dynamique des sols, on n'utilise pas la méthode de superposition modale comme en Dynamique des structures, mais on utilise les méthodes d'intégration des domaines fréquentiels.

□ Procédure de résolution numérique

- **Principe des calculs**

Pour résoudre l'équation d'équilibre dynamique précédente, on utilisera la transformée de Fourier définie par l'expression suivante :

$$p(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} c(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad | \quad c(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(t) e^{-i\omega t} dt$$

Tout ce qu'on a à faire, c'est de trouver la solution pour les pulsations ω .

La transformée de Fourier permet de mettre l'équation d'équilibre dynamique sous la forme suivante :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = e^{i\omega t}$$

⇒

$$\ddot{u} + 2\beta\bar{\omega}\dot{u} + \bar{\omega}^2 u = \frac{1}{m} e^{i\omega t}$$

où $\bar{\omega} = \sqrt{\frac{k}{m}}$ est la pulsation propre et $\beta = \frac{c}{2m\bar{\omega}}$ le taux d'amortissement critique.

□ Procédure de résolution numérique

- **Principe des calculs**

La solution générale de l'équation précédente est de la forme suivante :

$$u(t) = e^{-\beta\bar{\omega}t} \left[A e^{i\bar{\omega}\sqrt{1-\beta^2}t} + B e^{-i\bar{\omega}\sqrt{1-\beta^2}t} \right] + H(\omega) e^{i\omega t}$$

(Solution transitoire) (Solution stationnaire)

où $H(\omega)$ désigne la fonction de transfert donnée par l'expression suivante :

$$H(\omega) = \frac{1}{(1 + 2i\beta\mu - \mu^2)k}$$

où A et B sont des constantes (conditions aux limites) et $\mu = \omega/\bar{\omega}$.

La solution transitoire tend généralement vers zéro (elle s'amortit très vite), on ne s'intéressera alors qu'à la solution stationnaire. Soit donc :

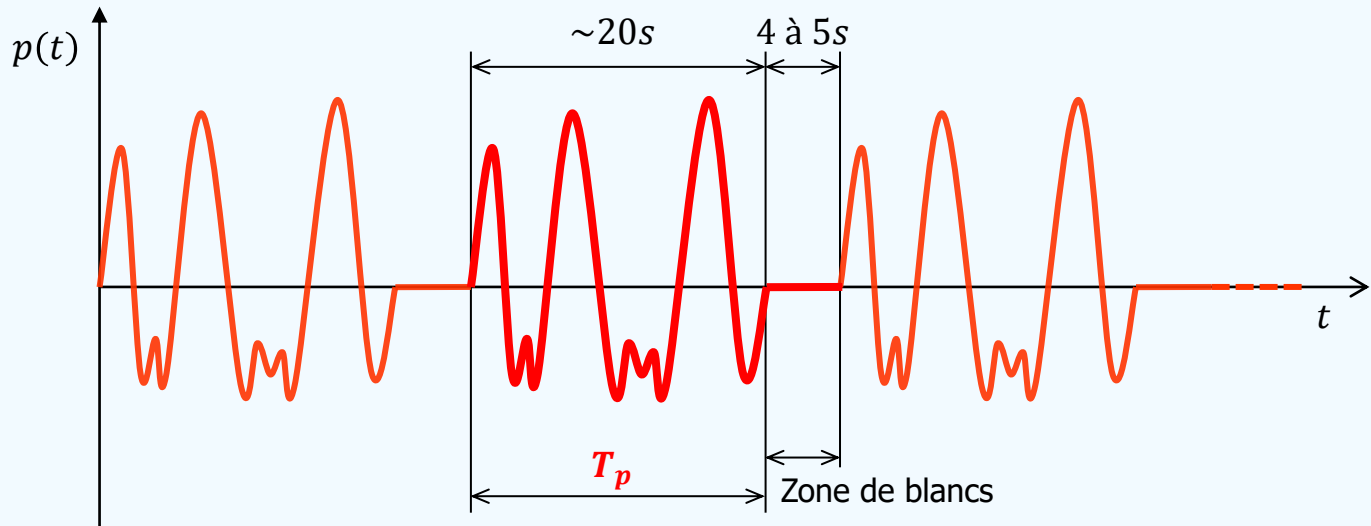
$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} c(\omega) H(\omega) e^{-i\omega t} d\omega$$

On notera que cette équation est valable pour tous les problèmes linéaires.

□ Procédure de résolution numérique

- **Principe des calculs**

En général, l'accélérogramme n'est pas périodique. On le rend d'abord périodique.



D'un point de vue numérique, on peut écrire :

$$p(t) = \sum_0^N c_n(t) e^{i\omega_n t} \quad | \quad c_n(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{T_p} p(t) e^{-i\omega_n t} dt$$

Nota : Il existe actuellement des algorithmes numériques appelés « *Algorithmes de transformée de Fourier* » rapides : FFT.

□ Procédure de résolution numérique

- **Principe des calculs**

A condition que le nombre de termes soit de la forme $N = 2^m$, on peut alors écrire :

$$u(t) = \sum_0^{N/2} H(\omega_n) C(\omega_n) e^{-i\omega_n t}$$

(Transformée de Fourier inverse)

Remarque : Sachant que le sol est loin d'avoir un comportement élastique linéaire, on adopte alors le modèle viscoélastique linéaire équivalent caractérisé par un module de cisaillement défini par la relation suivante (Lysmer, 1975) :

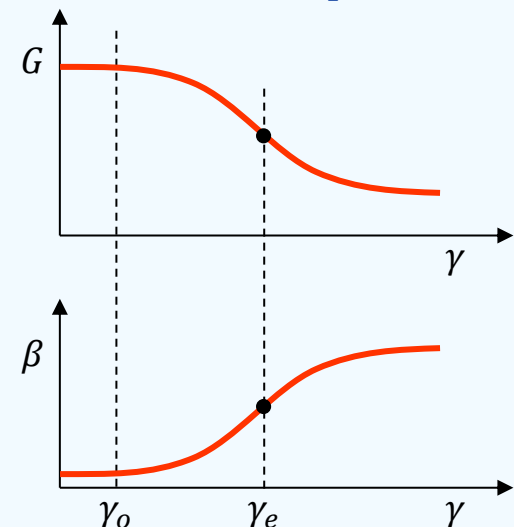
$$G^* = G \left[1 - 2\beta^2 + 2i\beta\sqrt{1 - \beta^2} \right]$$

On définit un niveau de référence moyen :

$$\gamma_e = \lambda \gamma_{max} ,$$

puis on calcule la valeur de G^* correspondante.

Condition de validité : $\gamma_e \leq 10^{-3}$



□ Procédure de résolution numérique

• **Cas des problèmes non linéaires**

On procède par intégration pas à pas dans le temps en utilisant le plus souvent l'algorithme de Newmark. L'équation d'équilibre dynamique prendra alors la forme incrémentale suivante :

$$m\Delta\ddot{u} + c\Delta\dot{u} + k\Delta u = \Delta F$$

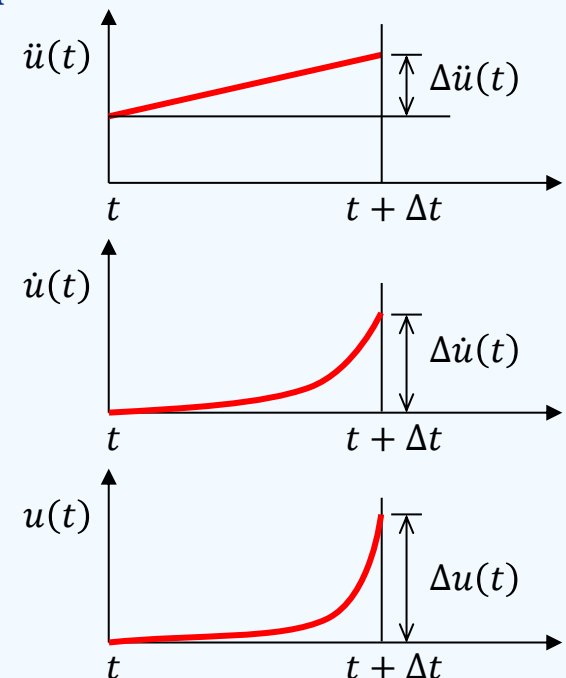
On notera que l'accélération pendant l'intervalle de temps Δt varie linéairement.

$$\Rightarrow \ddot{u}(\tau) = \ddot{u}(t) + \frac{\tau}{\Delta t} \Delta\ddot{u}(t) \quad | \quad t \leq \tau \leq t + \Delta t$$

$$\Rightarrow \dot{u}(\tau) = \dot{u}(t) + \tau\ddot{u}(t) + \frac{\tau^2}{2\Delta t} \Delta\ddot{u}(t)$$

$$\Rightarrow u(\tau) = u(t) + \tau\dot{u}(t) + \frac{\tau^2}{2}\ddot{u}(t) + \frac{\tau^3}{6\Delta t} \Delta\ddot{u}(t)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta\dot{u}(t) = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta u(t) - \frac{6}{\Delta t} \dot{u}(t) - 3\ddot{u}(t) \\ \Delta\ddot{u}(t) = \frac{3}{\Delta t} \Delta u(t) - 3\dot{u}(t) - \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}(t) \end{cases}$$



□ Procédure de résolution numérique

- **Cas des problèmes non linéaires**

Reportons $\Delta \dot{u}(t)$ et $\Delta \ddot{u}(t)$ dans l'équation de propagation, on déduira le système linéaire suivant :

$$\tilde{k}\Delta u = \Delta p \quad | \quad \begin{cases} \tilde{k} = k + \frac{6}{\Delta t^2} m + \frac{3}{\Delta t} c \\ \Delta p = \Delta F + \left[\frac{6}{\Delta t} \dot{u}(t) + 3\ddot{u}(t) \right] m + \left[3\dot{u}(t) + \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}(t) \right] c \end{cases}$$

Remarques :

- Le choix du pas de temps est déterminé par la stabilité de l'algorithme utilisé et la précision des calculs effectués.
- L'algorithme de Newmark est stable si $\Delta t \leq \frac{T}{2}$; T étant la période du système.
- L'expérience montre que la précision est satisfaite si $\Delta t \leq \frac{T}{10}$.
- Pour N-pas de temps, on a N-systèmes linéaires à résoudre.
- Il existe d'autres algorithmes qui permettent de résoudre le problème non linéaire.

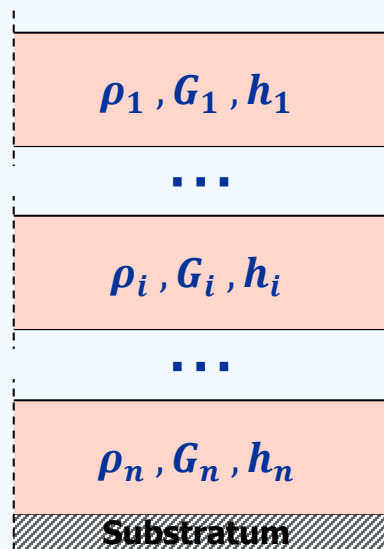
□ Procédure de résolution numérique

• **Discrétisation des profils de sol**

Pour modéliser un profil de sol, on doit distinguer entre :

- Le cas unidimensionnel (1D) pour lequel l'utilisation d'un modèle discret n'est pas indispensable dans la mesure où une solution continue peut être obtenue.
- Les cas bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D) pour lesquels un modèle discret s'avère nécessaire notamment lorsque la géométrie n'est pas régulière.

Le modèle à masses concentrées reliées par des ressorts qui a été proposé par Idriss et Seed (1968) pour discrétiser un profil de sol multicouche en est le plus simple.



$$m_i = \frac{1}{2} (\rho_i h_i + \rho_{i+1} h_{i+1})$$

$$k_i = \frac{G_i}{h_i}$$

Modèle d'Idriss et Seed (1968)

□ Procédure de résolution numérique

- **Discrétisation des profils de sol**

L'équation d'équilibre de la masse i s'écrit :

$$m_i \ddot{u}_i + k_{i-1}(u_i - u_{i-1}) - k_i(u_{i+1} - u_i) = 0 \quad | \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Soit pour l'ensemble des masses :

$$\bar{\bar{M}} \ddot{\bar{u}} + \bar{\bar{K}} \bar{u} = \bar{J} k_n u_b$$

où u_b désigne le déplacement imposé à la base de la colonne de sol et $\bar{J}$ un vecteur colonne dont tous les éléments sont nuls sauf le dernier égal à 1.

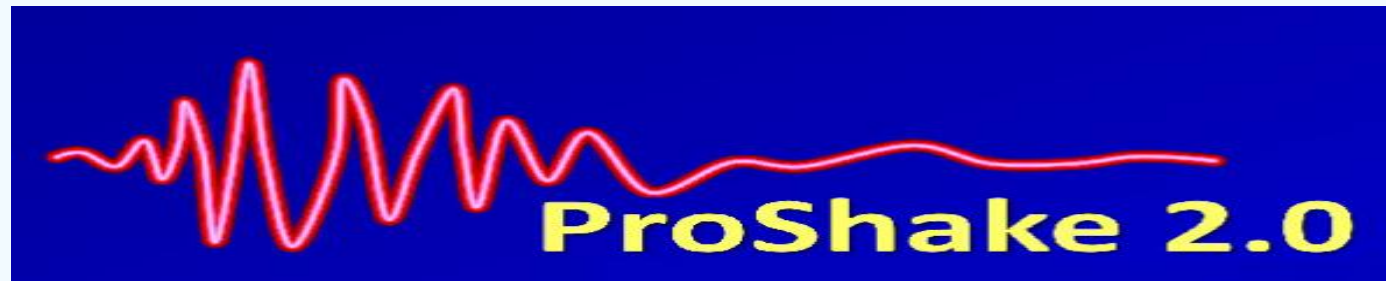
- Nota :**
- Dans le modèle viscoélastique linéaire équivalent, la matrice $\bar{\bar{K}}$ tient compte de l'amortissement du sol si elle est formée avec les modules de cisaillement complexes G^* .
 - Le vecteur $\bar{u}$ représente les déplacements absolus.
 - Le mouvement de référence est décomposé en séries de Fourier tronquées et l'équation est résolue pour chaque harmonique.
 - D'autres discrétisations que celle par masses concentrées sont possibles. La méthode des éléments finis en est l'exemple type.

APPLICATIONS PRATIQUES

□ Applications pratiques

Résolution par ordinateur à l'aide de logiciels spécialisés tels que :

- CYCLIC
- DEEPSOIL
- SHAKE
- PLAXIS
- FLAC
- ...



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

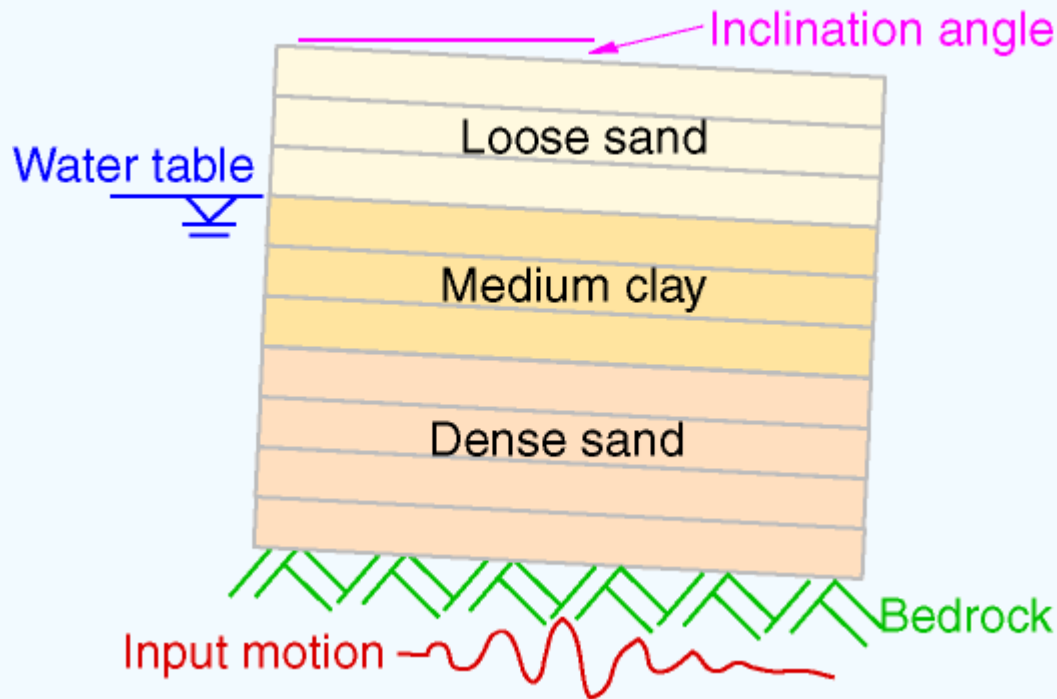


ITASCA
Flac



Cyclic1D

Beta 2.1.9, September 12, 2019



Exemple : Massif sableux moyennement dense de 10 m de profondeur reposant sur un substratum rigide avec la présence d'une nappe située à 3 m sous le T.N.

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type

☐ Elastic Analysis ☒ Plastic Analysis

Model Profile

Soil Profile Height (5m-300m)

Number of Elements

Water Table Depth (m)

Inclination Angle (0-10.0deg.)

Bedrock

Input Motion

Motion

Scale Factor (0.01-5.0)

Frequency (0.5-5hz)

Number of Cycles

Rayleigh Damping

Rayleigh Damping Coefficients:

Am = Ak =

Soil Properties

Cohesionless Soils Cohesive Soils U-Clay/Rock U-Sand U-LiqSand

1. Loose, Silt Permeability

2. Loose, Sand Permeability

3. Loose, Gravel Permeability

4. Medium, Silt Permeability

5. Medium, Sand Permeability

6. Medium, Gravel Permeability

7. Medium-Dense, Silt Permeability

8. Medium-Dense, Sand Permeability

9. Medium-Dense, Gravel Permeability

10. Dense, Silt Permeability

11. Dense, Sand Permeability

12. Dense, Gravel Permeability



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis ☒ Plastic Analysis

Model Profile
 Soil Profile Height (5m-300m)
 Number of Elements
 Water Table Depth (m)
 Inclination Angle (0-10.0deg.)
 Bedrock

Input Motion
 Motion
 El Centro S00E (1940)
 Scale Factor (0.01-5.0)
 Frequency (0.5-5hz)
 Number of Cycles

Rayleigh Damping
 Change Damping Coefficients...
 Rayleigh Damping Coefficients:
 Am = Ak =

Analysis Parameters
 Illustration of Model Parameters
 Save Model & Run Analysis

For situations other than the rigid base, properties of bedrock are as follows:

Bedrock type	Shear wave velocity ¹ (m/s)	Mass density (kg/m ³)
Soft Rock	700	2500
Rock	1100	2500
Hard Rock	1600	2500
U-Rock (User-defined) ²	(User-defined) ³	(User-defined) ⁴

1. Shear wave velocities for rocks are based on International Code Council (1998). *2000 International Building Code (Final Draft)*.
2. There are two options for a user to define own rock: one is to use the same properties as the soil column at the bottom element; the other is that the properties are defined by the user.
3. User-defined shear wave velocity in m/s (suggested values between 100 and 6000).
4. User-defined mass density in kg/m³ (suggested values between 1300 and 2500 kg/m³).



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



SeismoSignal

Soil Profile Height (5m-30m)
Number of Elements
Water Table Depth (m)
Inclination Angle (0-10.0)
Bedrock

Input Motion

☒ Motion
☒ El Centro S00E (1940)

Scale Factor (0.01-5.0)
Frequency (0.5-5Hz)
Number of Cycles
Rayleigh Damping

Rayleigh Damping Coef
Am = 2.1542

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output

Model Input

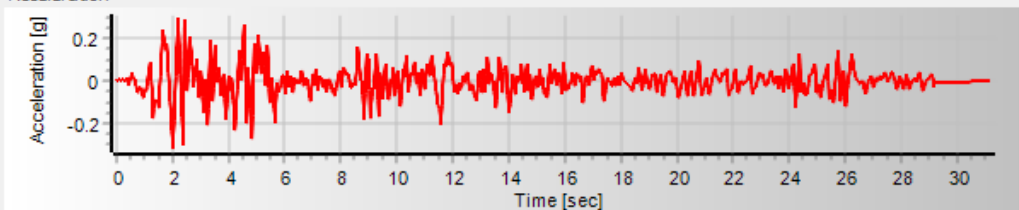
Analysis Type

SeismoSignal - C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\Seismosoft\EICentro.dat

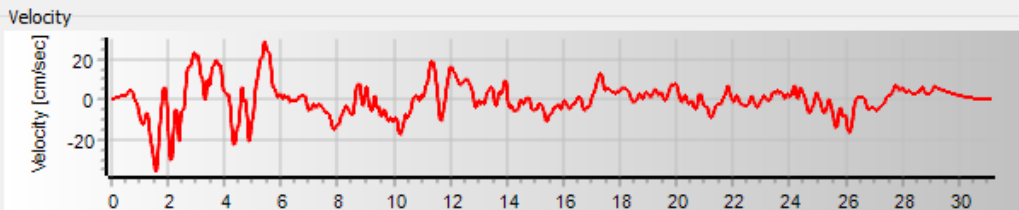
File Edit View Tools Help

Baseline Correction and Filtering Time Series Fourier and Power Spectra Elastic/Inelastic Response Spectra

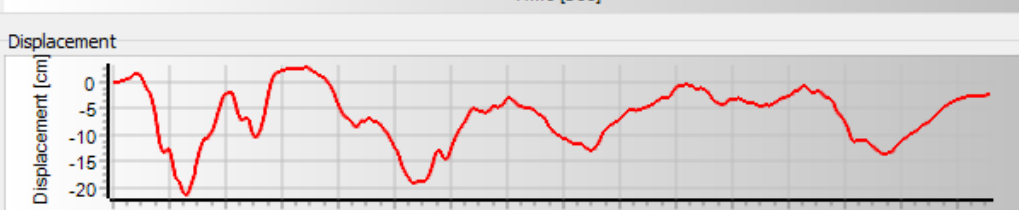
Acceleration



Velocity



Displacement



Acceleration: g Velocity: cm/sec Displacement: cm

Save Model & Run Analysis

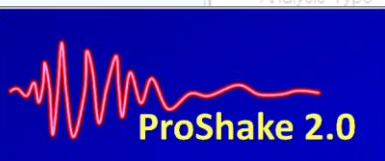
1940 El Centro earthquake



Los Angeles
El Centro

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 : Massif sableux homogène en profondeur



ProShake 2.0

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output

Model Input

Analysis Type

Number of Elements

Water Table Depth (m)

Inclination Angle (0-10.0)

Bedrock

Input Motion

Motion

El Centro S00E (1940)

Scale Factor (0.01-5.0)

Frequency (0.5-5Hz)

Number of Cycles

Rayleigh Damping

Change Damping Coefficients

Rayleigh Damping Coefficients:

Am = 2.15423 Ak = 0.00909457

Analysis Parameters

Illustration of Model Parameters

Save Model & Run Analysis

1940 El Centro earthquake



Los Angeles

El Centro

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

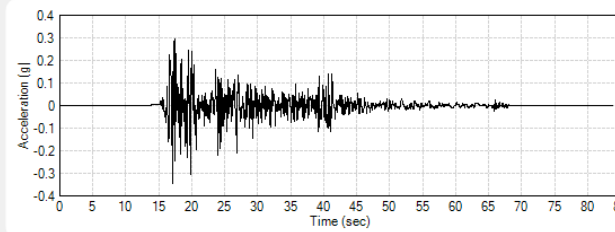
Areas affected United States, Mexico

Total damage \$6 million [2]

Max. intensity **X (Extreme)** [1]

Casualties 9 dead [2]
20 injured [3]

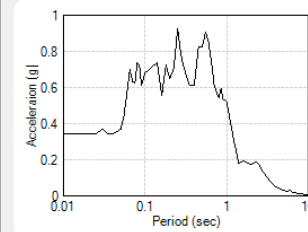
Acceleration Time History



Acceleration (g)

Time (sec)

Response Spectra



Acceleration (g)

Period (sec)

Description: El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Imp Vall Ir Dist component= 180

C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS\ELCENTRO.EQ

Object Motion Parameters

Parameter	Value
Number of Points	4187
Time Step	0.020
Peak Acceleration (g)	0.344
Peak Velocity (ft/sec)	1.149
Peak Displacement (ft)	0.365
RMS Acceleration (g)	0.068
Arias Intensity (ft/sec)	6.357
Cumulative Absolute Velocity (g-sec)	3.381
Response Spectrum Intensity (g ²)	0.683
Predominant Period (sec)	6.197

Target Spectra

Open Open Folder Cancel

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis
☒ Plastic Analysis

Model Profile
 Soil Profile Height (5m-300m)

Number of Cycles

Water Content

Inclination

Bedrock

Input Motion
☒ Motion
☐ El Cent

Scale Factor (0.01-5.0)

Frequency (0.5-5hz)

Number of Cycles

Rayleigh Damping

Rayleigh Damping Coefficients:
 Am = Ak =

Soil Properties
 Cohesionless Soils Cohesive Soils U-Clay/Rock U-Sand U-LiqSand

1. Loose, Silt Permeability

2. Loose, Sand Permeability

10. Dense, Silt Permeability

11. Dense, Sand Permeability

12. Dense, Gravel Permeability

Analysis Parameters

Scale Factor The amplitude of the input motion is multiplied by the Scale Factor. The Scale Factor may be positive or negative.

Frequency The Frequency (in Hz) has to be specified if harmonic "Sinusoidal Motion" is chosen

Number of Cycles The Number of Cycles has to be specified if "Sinusoidal Motion" is chosen.



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis

Model Profile
 Soil Profile Height (5m-300m)
 Number of Elements
 Water Table Depth (m)
 Inclination Angle (0-10.0deg)
 Bedrock

Input Motion
 Motion
 El Centro S00E (1940)
 Scale Factor (0.01-5.0)
 Frequency (0.5-5Hz)
 Number of Cycles

Rayleigh Damping
 Change Damping Coefficient
 Rayleigh Damping Coefficient

Am = 2.15423 Ak = 0.00909457

Illustration of Model Parameters

Save Model & Run Analysis

Modèle de Prevost (1985)
 (Surfaces à critères multiples)

Principal effective stress space

Deviatoric plane

Figure 1: Multi-yield surfaces in principal stress space and deviatoric plane (after Prevost 1985, Parra 1996, and Yang 2000).



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis
☒ Plastic Analysis

Soil Properties
☒ Cohesionless Soils
☐ Cohesive Soils
☐ U-Clay/Rock
☐ U-Sand
☐ U-LiqSand

Cohesionless Soil	Shear wave velocity at 10m depth ^{1,2} (m/s)	Friction angle ³ (degrees)	Poisson's ratio ⁴	Permeability coeff. ⁵ (m/s)	Mass density ⁶ (kg/m ³)
Loose, silt permeability	185	29	0.4	1.0E-07	1700
Loose, sand permeability	185	29	0.4	6.6E-05	1700
Loose, gravel permeability	185	29	0.4	1.0E-02	1700
Medium, silt permeability	205	31.5	0.4	1.0E-07	1900
Medium, sand permeability	205	31.5	0.4	6.6E-05	1900
Medium, gravel permeability	205	31.5	0.4	1.0E-02	1900
Medium-dense, silt permeability	225	35	0.4	1.0E-07	2000
Medium-dense, sand permeability	225	35	0.4	6.6E-05	2000
Medium-dense, gravel permeability	225	35	0.4	1.0E-02	2000
Dense, silt permeability	255	40	0.4	1.0E-07	2100



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis
☒ Plastic Analysis

Soil Properties
☒ Cohesionless Soils
☐ Cohesive Soils
☐ U-Clay/Rock
☐ U-Sand
☐ U-LiqSand

Model Profile	Cohesive Soil	Shear wave velocity (m/s)	Undrained shear strength ⁷ (kPa)	Poisson's ratio	Permeability coeff. ⁵ (m/s)	Mass density ⁶ (kg/m ³)
Soil Profile	Soft	100	18.0	0.4	1.0E-09	1300
Number of	Medium	200	37.0	0.4	1.0E-09	1500
Water Table	Stiff	300	75.0	0.4	1.0E-09	1800
Inclination						
Bedrock						

Input Motion
 Motion
 El Centro S00E (1940)

Scale Factor (0.01-5.0)

Frequency (0.5-5hz)

Number of Cycles

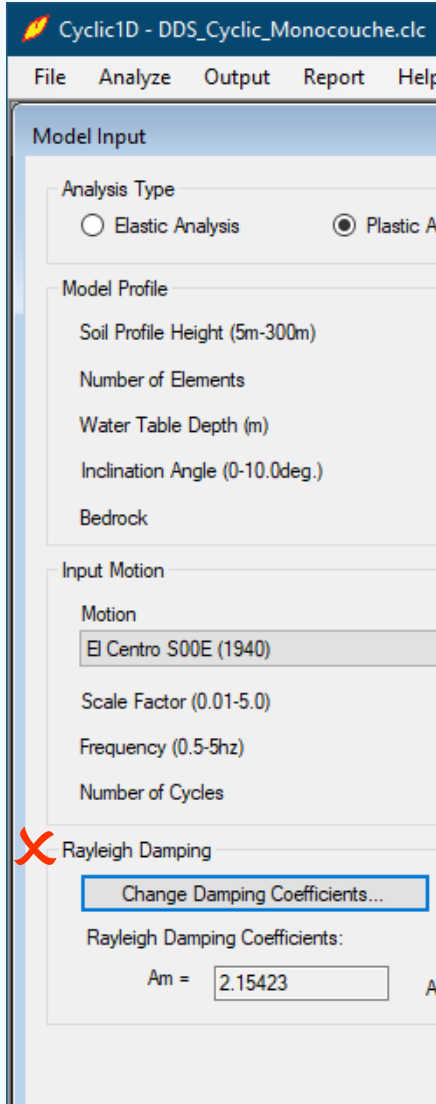
Rayleigh Damping
 Change Damping Coefficients...
 Rayleigh Damping Coefficients:
 Am = Ak =

Analysis Parameters
 Illustration of Model Parameters

Save Model & Run Analysis



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Additional Viscous Damping

In Cyclic1D, additional viscous Rayleigh-type damping is available of the form:

$$\mathbf{C} = A_m \mathbf{M} + A_k \mathbf{K}$$

where $\mathbf{M}$ is the mass matrix, $\mathbf{C}$ is the viscous damping matrix, $\mathbf{K}$ is the initial stiffness matrix. A_m and A_k are two user-specified constants.

The damping ratio curve $\xi(f)$ is calculated based on the following equation:

$$\xi = \frac{A_m}{4\pi f} + A_k \pi f \quad (a)$$

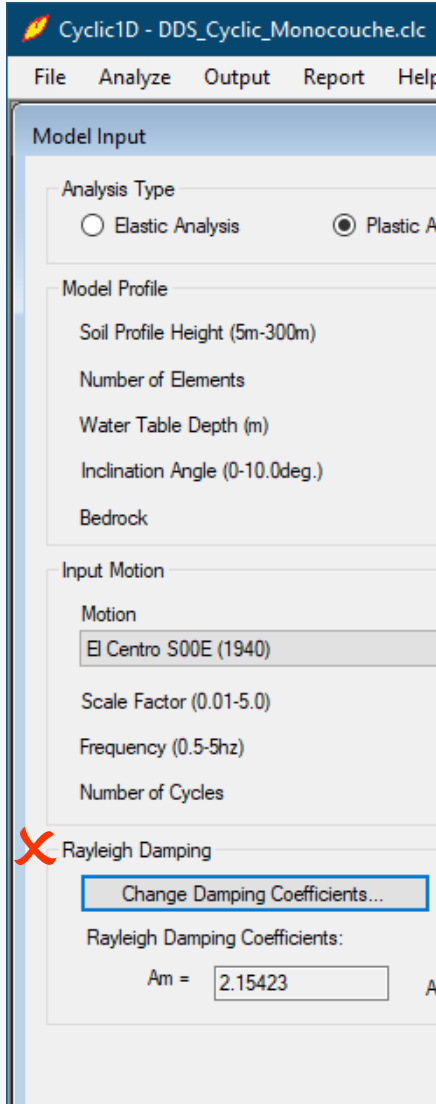
where f is frequency.

(1) Specification of A_m and A_k By Defining Damping Ratios

The user can define damping coefficients by specifying two frequencies, f_1 and f_2 (must be between 0.1 and 50 Hz), and two damping ratios, ξ_1 and ξ_2 (suggested values are between 0.2% and 20%).



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Additional Viscous Damping

In Cyclic1D, additional viscous Rayleigh-type damping is available of the form:

$$\mathbf{C} = A_m \mathbf{M} + A_k \mathbf{K}$$

where $\mathbf{M}$ is the mass matrix, $\mathbf{C}$ is the viscous damping matrix, $\mathbf{K}$ is the initial stiffness matrix. A_m and A_k are two user-specified constants.

The Rayleigh damping parameters A_m and A_k are obtained by solving the follow equations simultaneously:

$$\xi_1 = \frac{A_m}{4\pi f_1} + A_k \pi f_1 \quad (b)$$

$$\xi_2 = \frac{A_m}{4\pi f_2} + A_k \pi f_2 \quad (c)$$

(2) Direct Specification of A_m and A_k :

The user can also directly define Rayleigh damping coefficients A_m and A_k .



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis ☒ Plastic Analysis

Model Profile
 Soil Profile Height (5m-300m)
 Number of Elements
 Water Table Depth (m)
 Inclination Angle (0-10.0deg.)
 Bedrock

Input Motion
 Motion
 El Centro S00E (1940)
 Scale Factor (0.01-5.0)
 Frequency (0.5-5hz)
 Number of Cycles

Rayleigh Damping
 Change Damping Coefficients...
 Rayleigh Damping Coefficients:
 Am = 2.15423 Ak = 0.00909457

Damping Coefficients

☒ By Defining Damping Ratios ☐ By Defining Damping Coefficients

Damping Ratios
 Damping Ratio #1 (%) 20 @ Frequency #1 (0.1-50Hz) 1
 Damping Ratio #2 (%) 20 @ Frequency #2 (0.1-50Hz) 6

Damping Coefficients
 Mass Proportional Damping Coefficient Am 2.15423
 Stiffness Proportional Damping Coefficient Ak 0.00909457

Recalculate

Damping Curve

Frequency (Hz)

Save Model & Run Analysis



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

Cyclic1D - DDS_Cyclic_Monocouche.clc

File Analyze Output Report Help

Model Input

Analysis Type
☐ Elastic Analysis ☒ Plastic Analysis

Model Profile
 Soil Profile Height (5m-300m)
 Number of Elements
 Water Table Depth (m)
 Inclination Angle (0-10.0deg.)
 Bedrock

Input Motion
 Motion
 El Centro S00E (1940)
 Scale Factor (0.01-5.0)
 Frequency (0.5-5hz)
 Number of Cycles

Rayleigh Damping
 Change Damping Coefficients...
 Rayleigh Damping Coefficients:
 Am = 2.15423 Ak = 0.00909457

Analysis Parameters

Time Intergration Parameters
 Gamma 0.55
 Beta 0.275625

Convergence Tolerance 1E-05

Mass Matrix Type
☒ Consistent Mass Matrix
☐ Lumped Mass Matrix

Free Vibration Duration 10 [seconds]

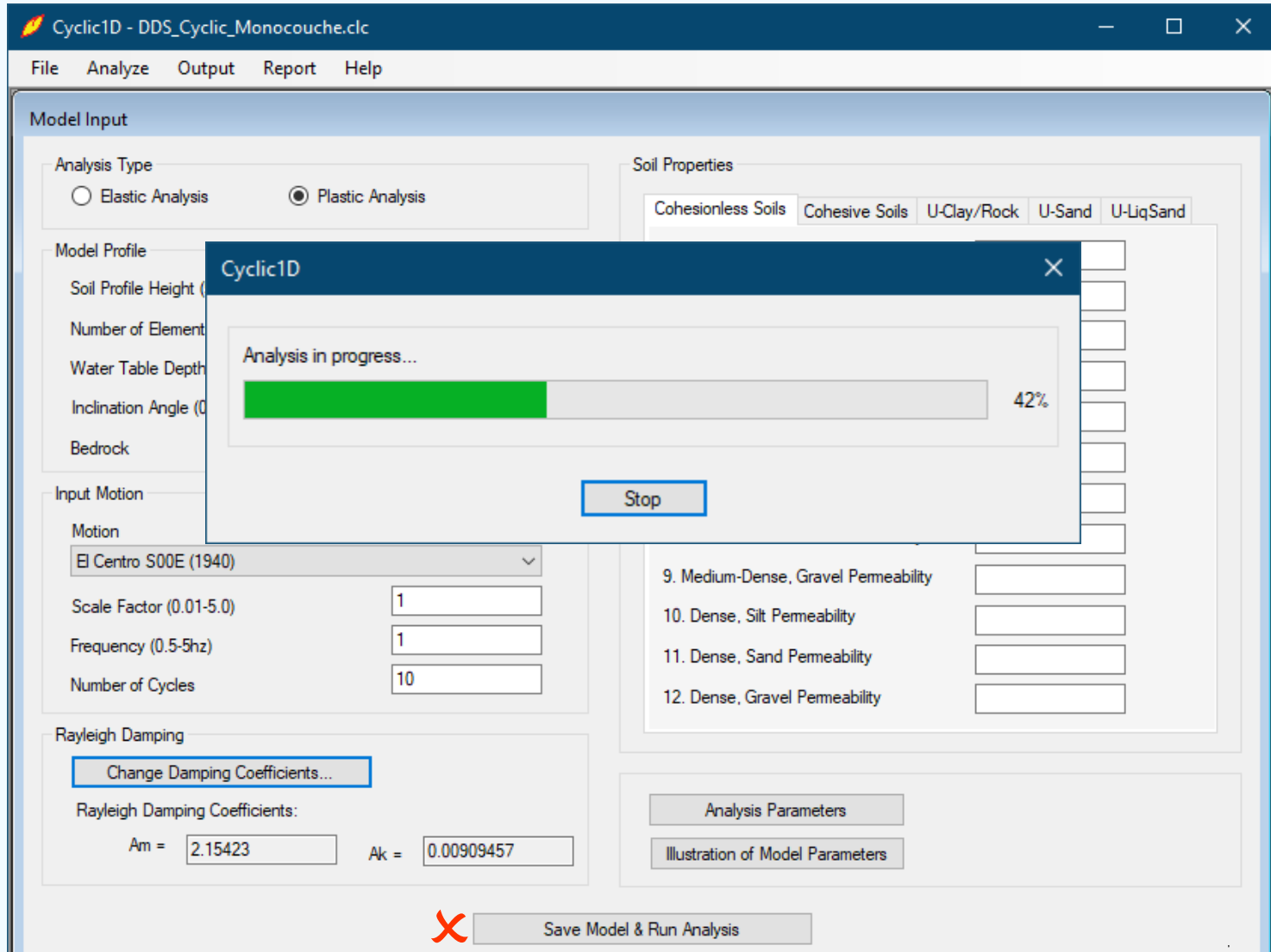
OK Cancel

Analysis Parameters
 Illustration of Model Parameters

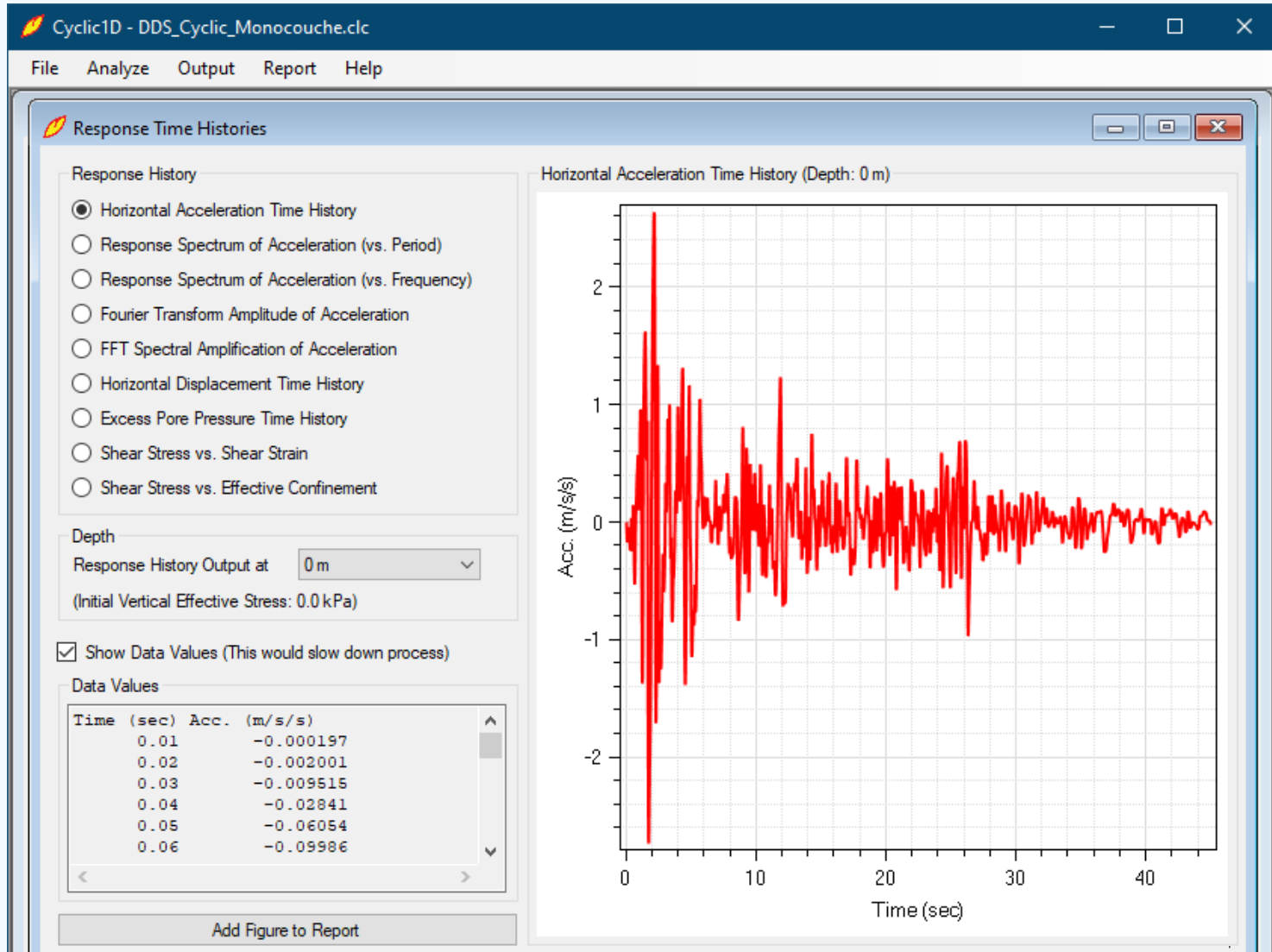
Save Model & Run Analysis



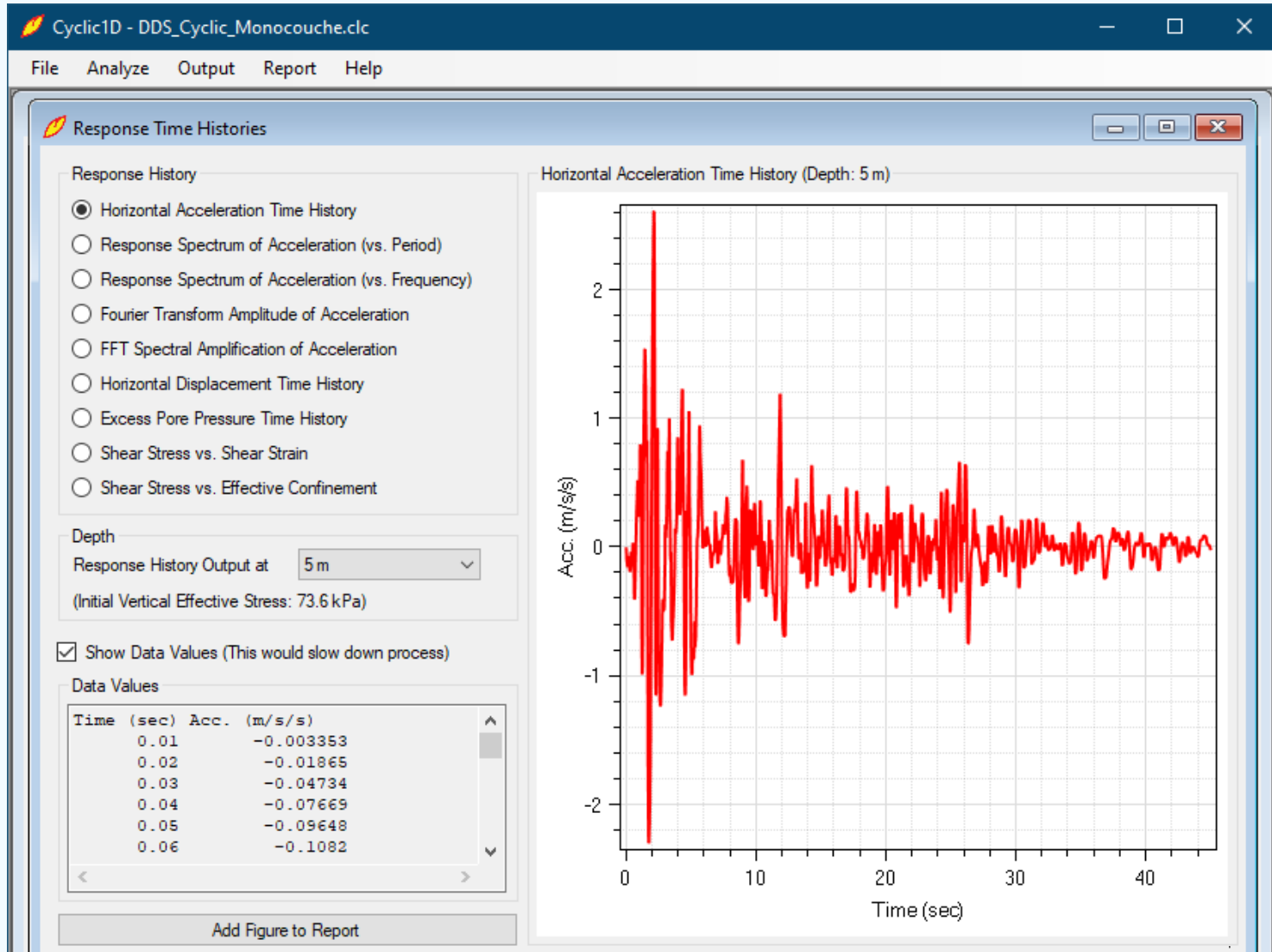
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



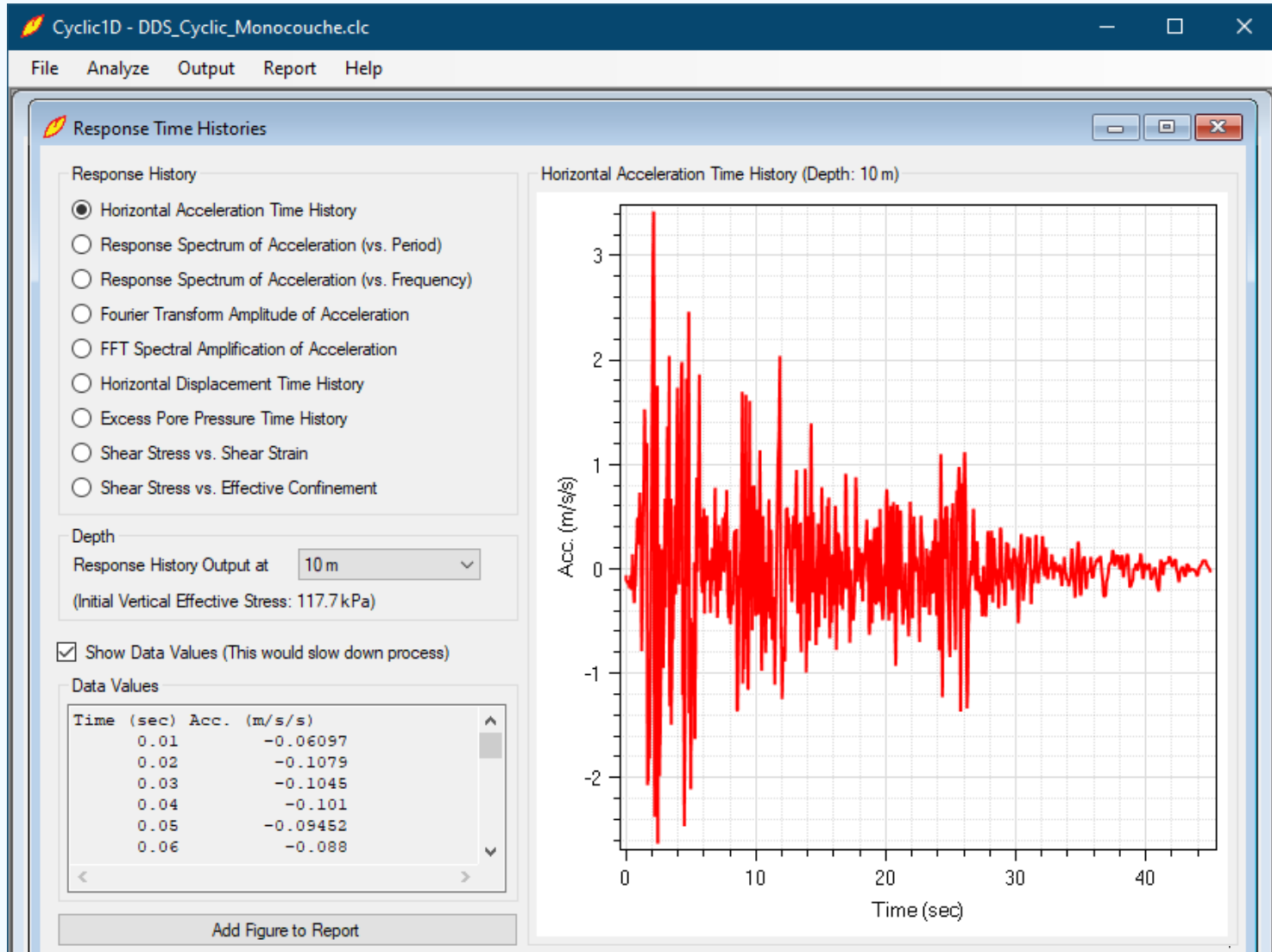
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



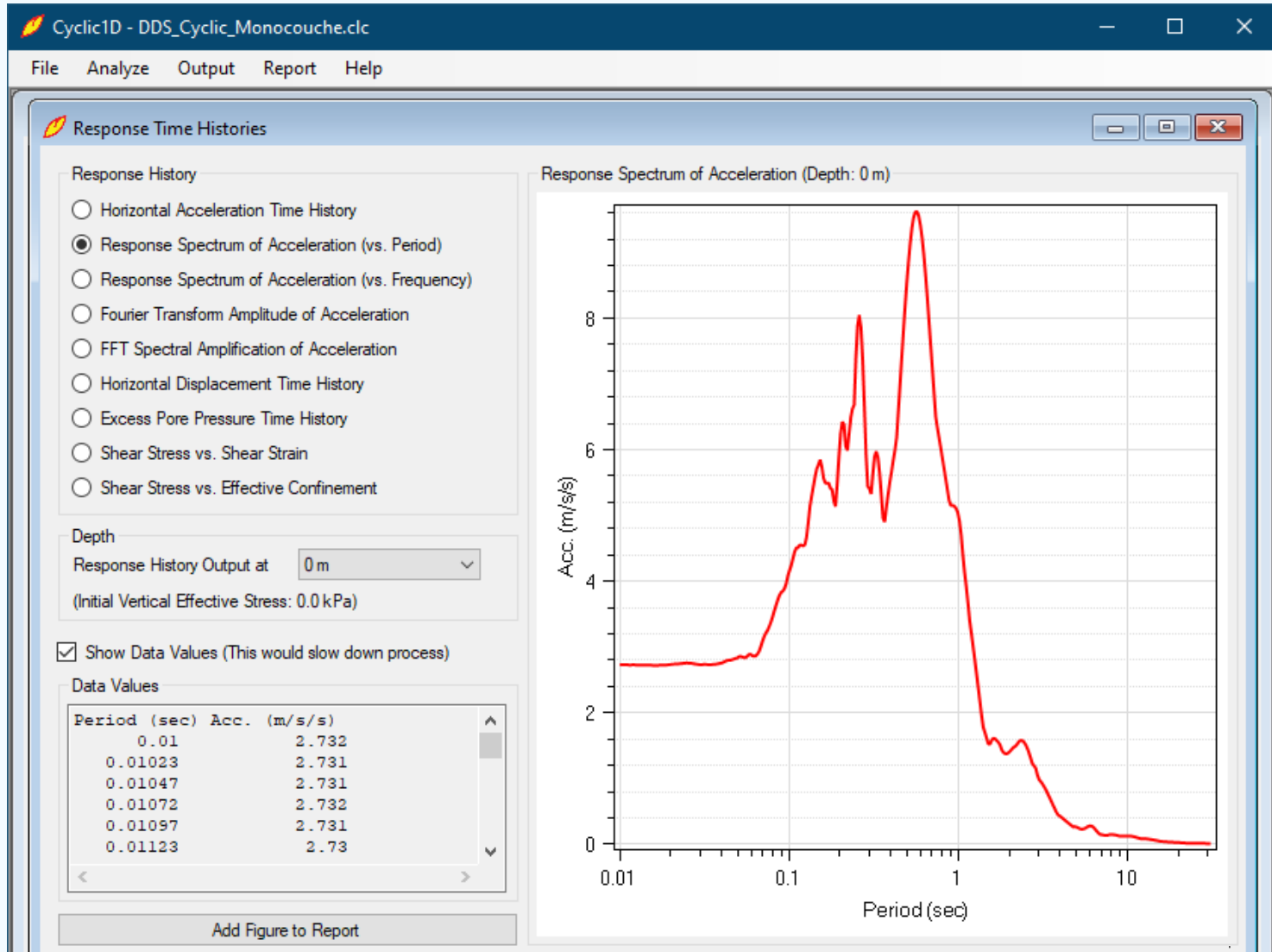
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



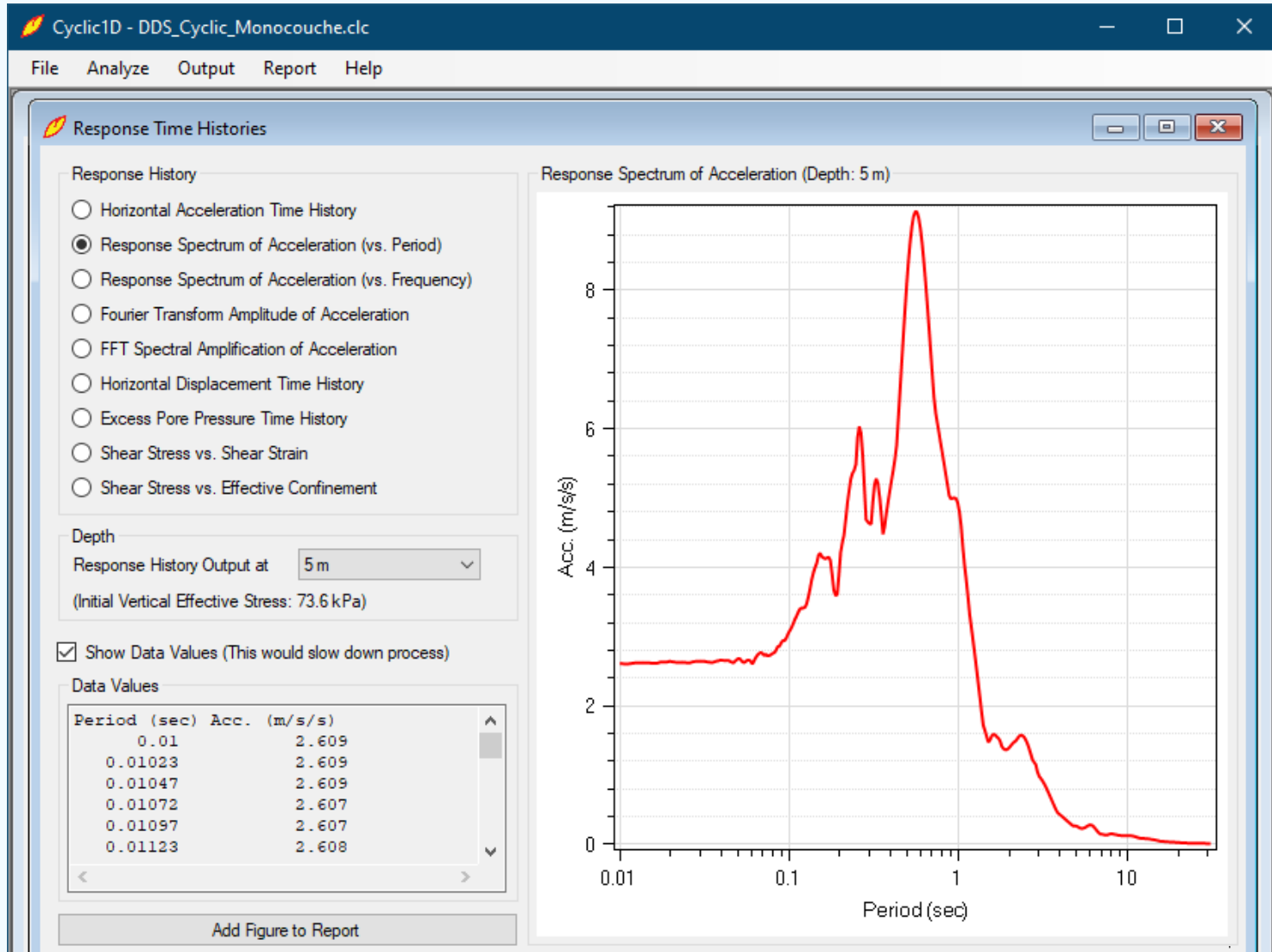
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



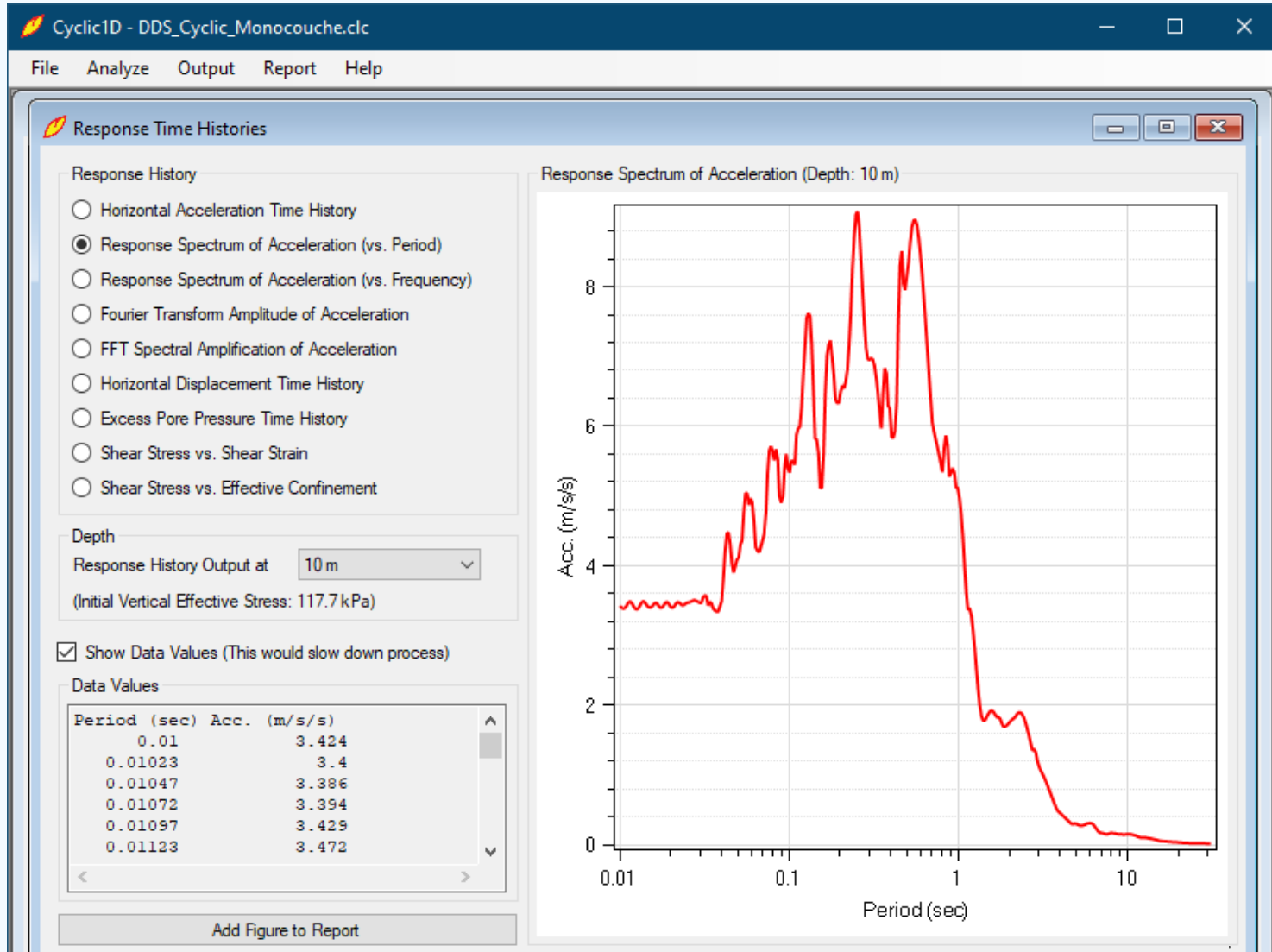
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



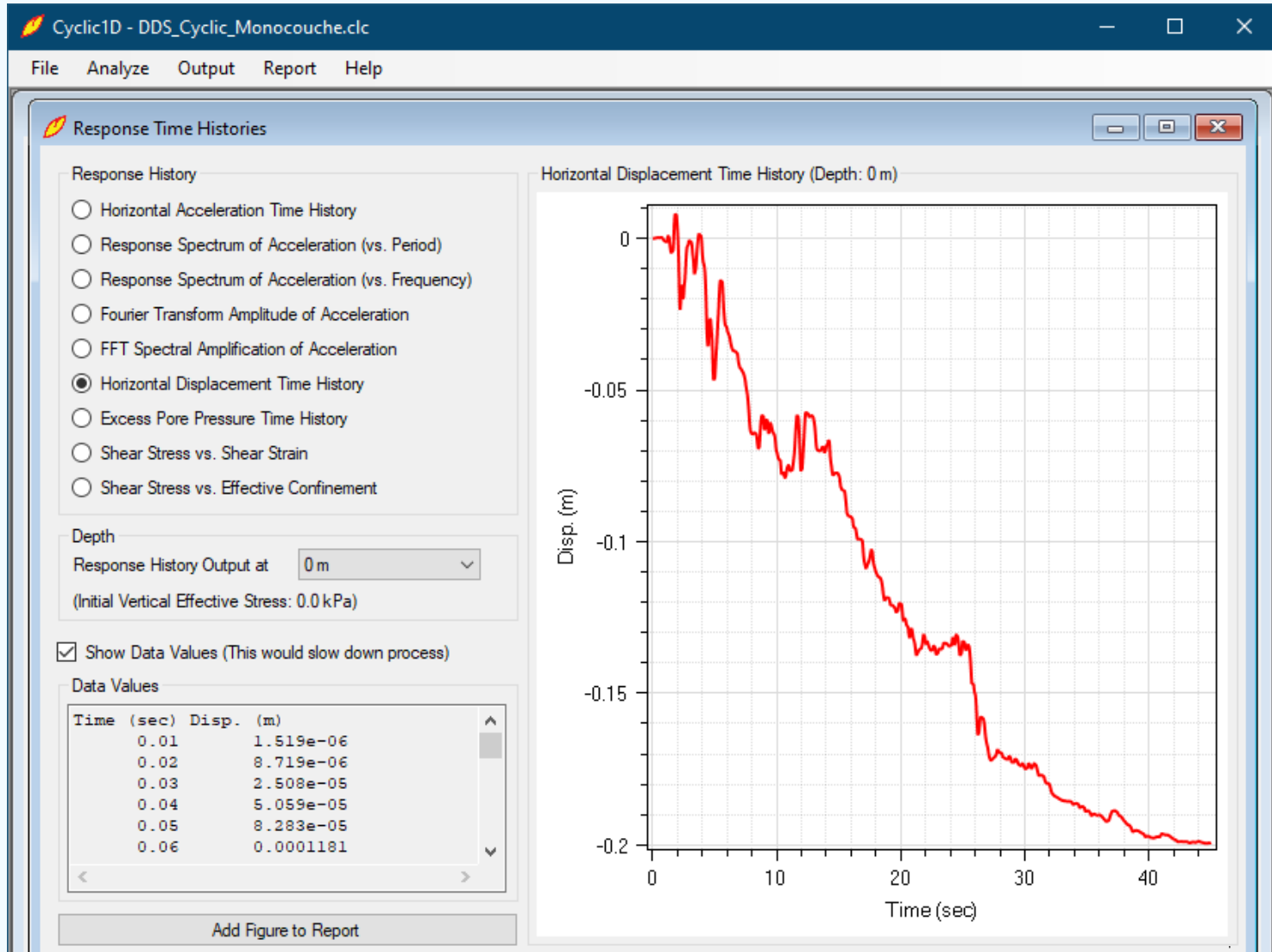
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



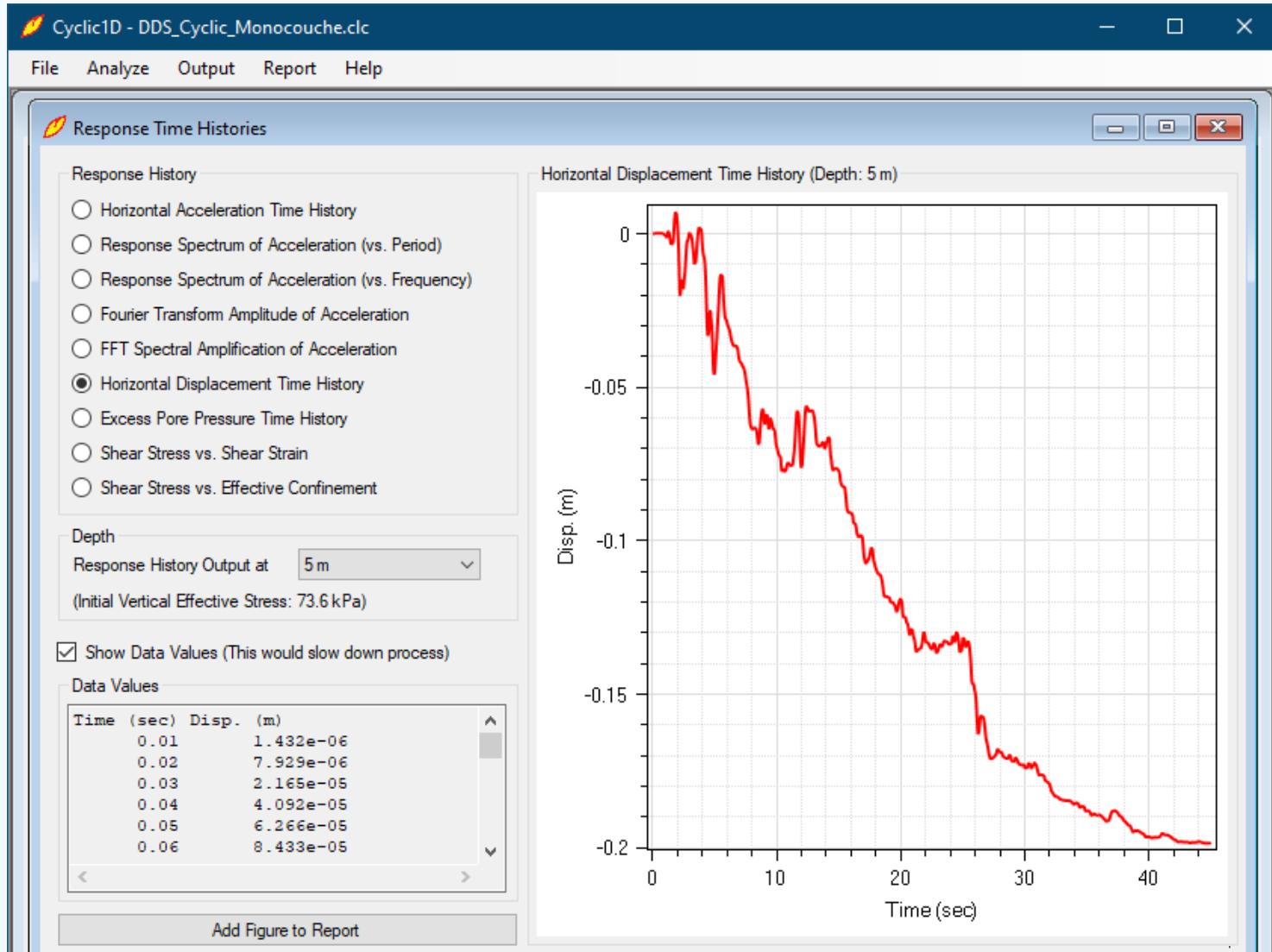
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



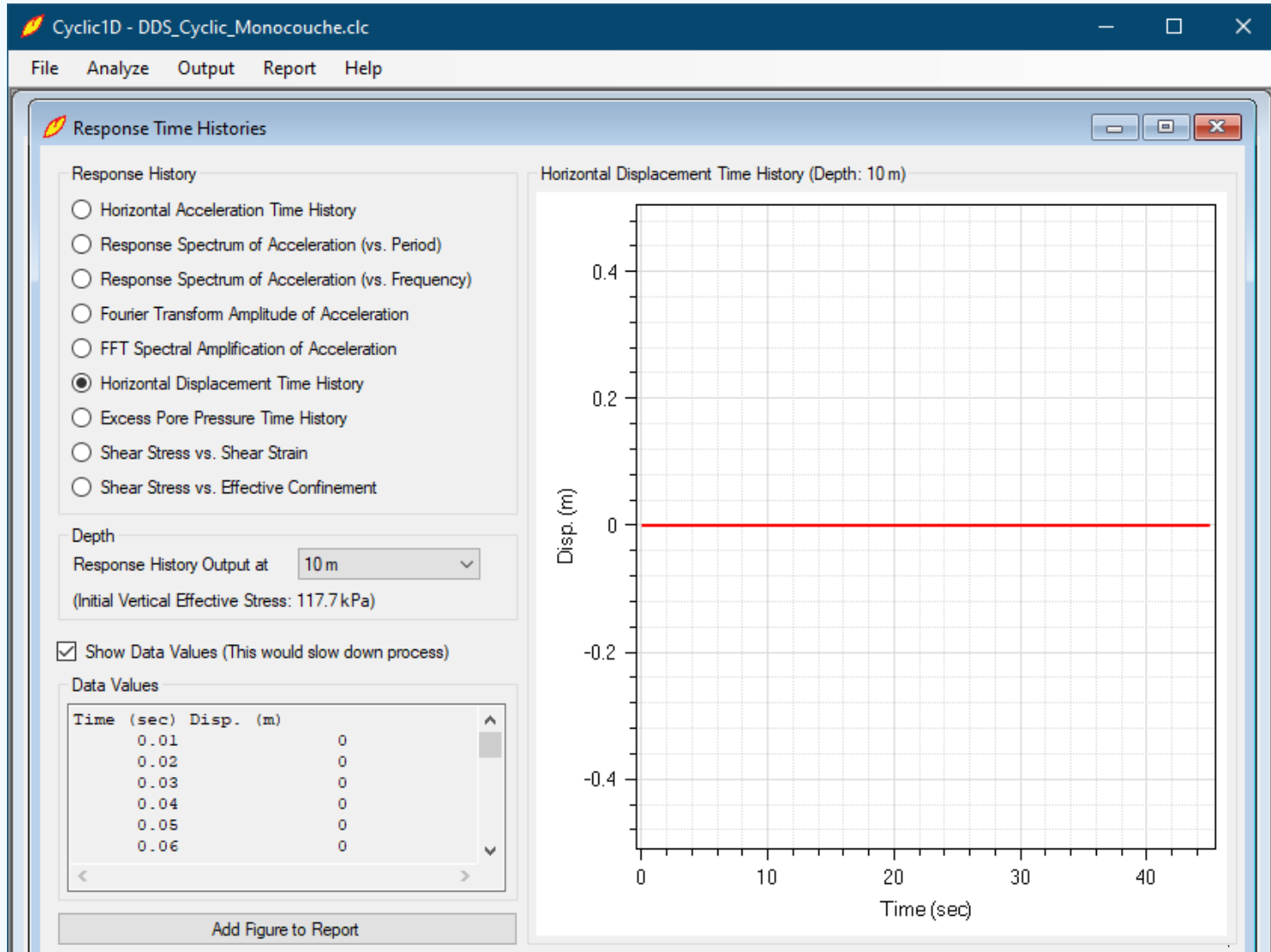
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



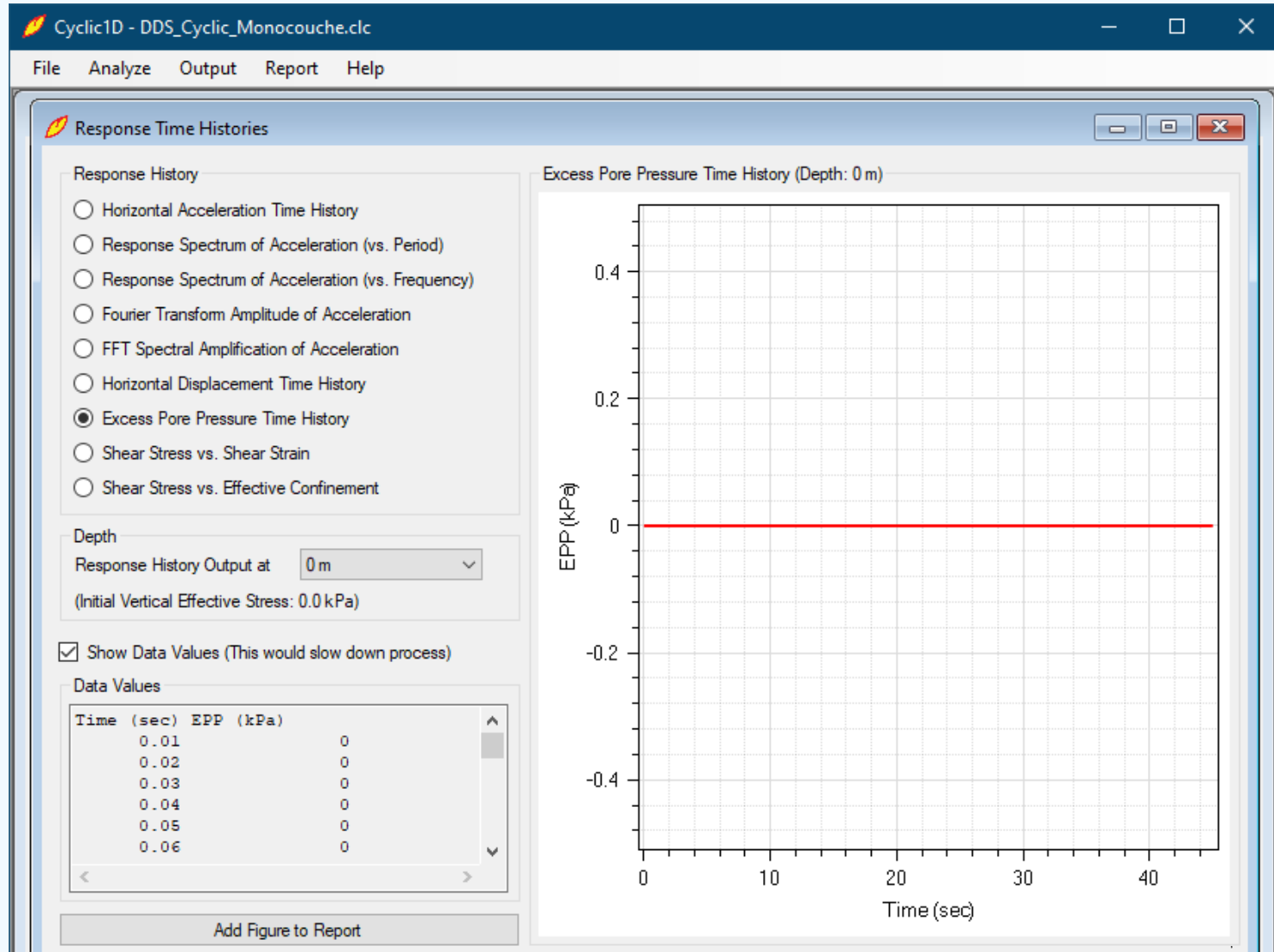
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



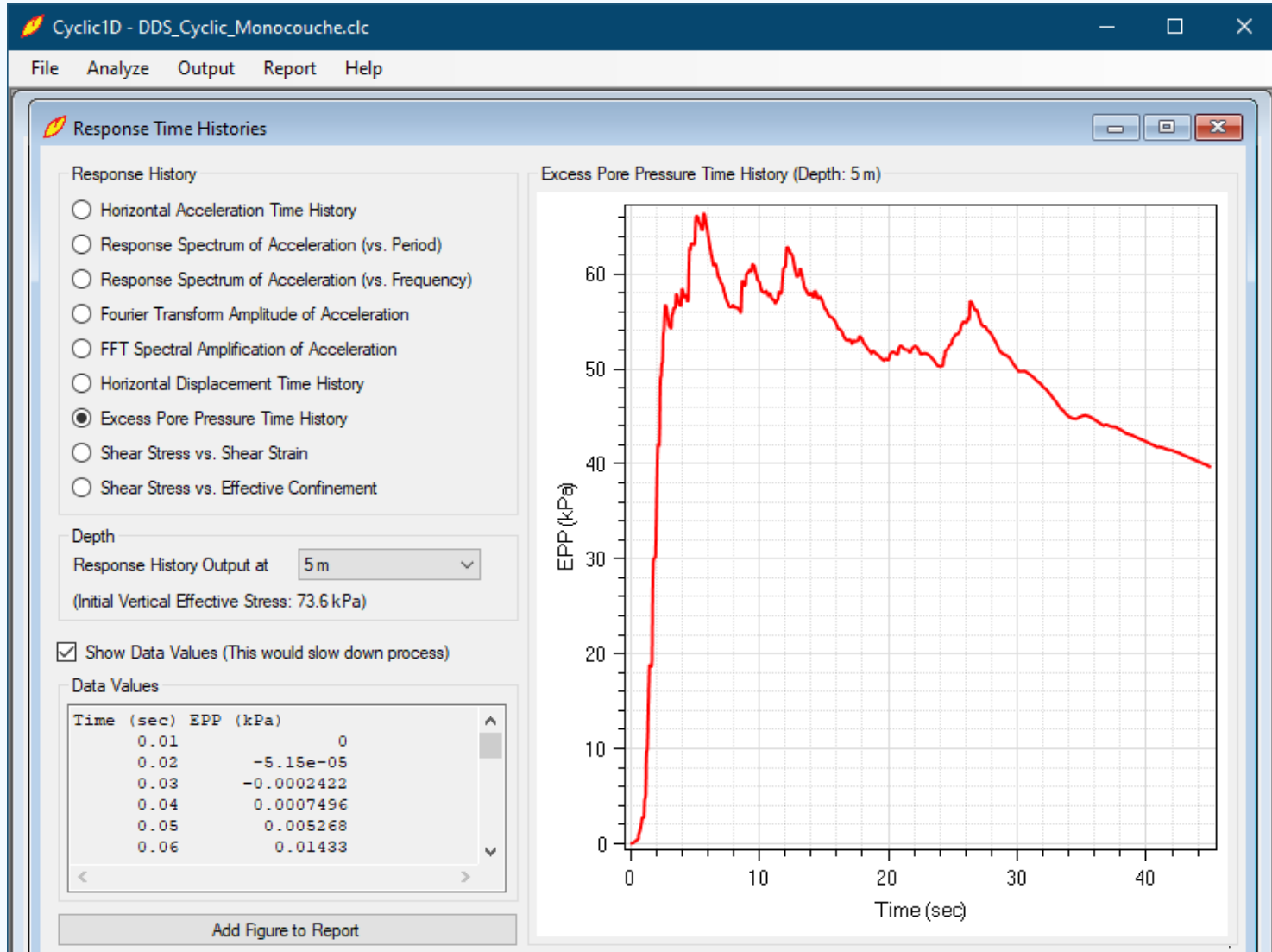
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



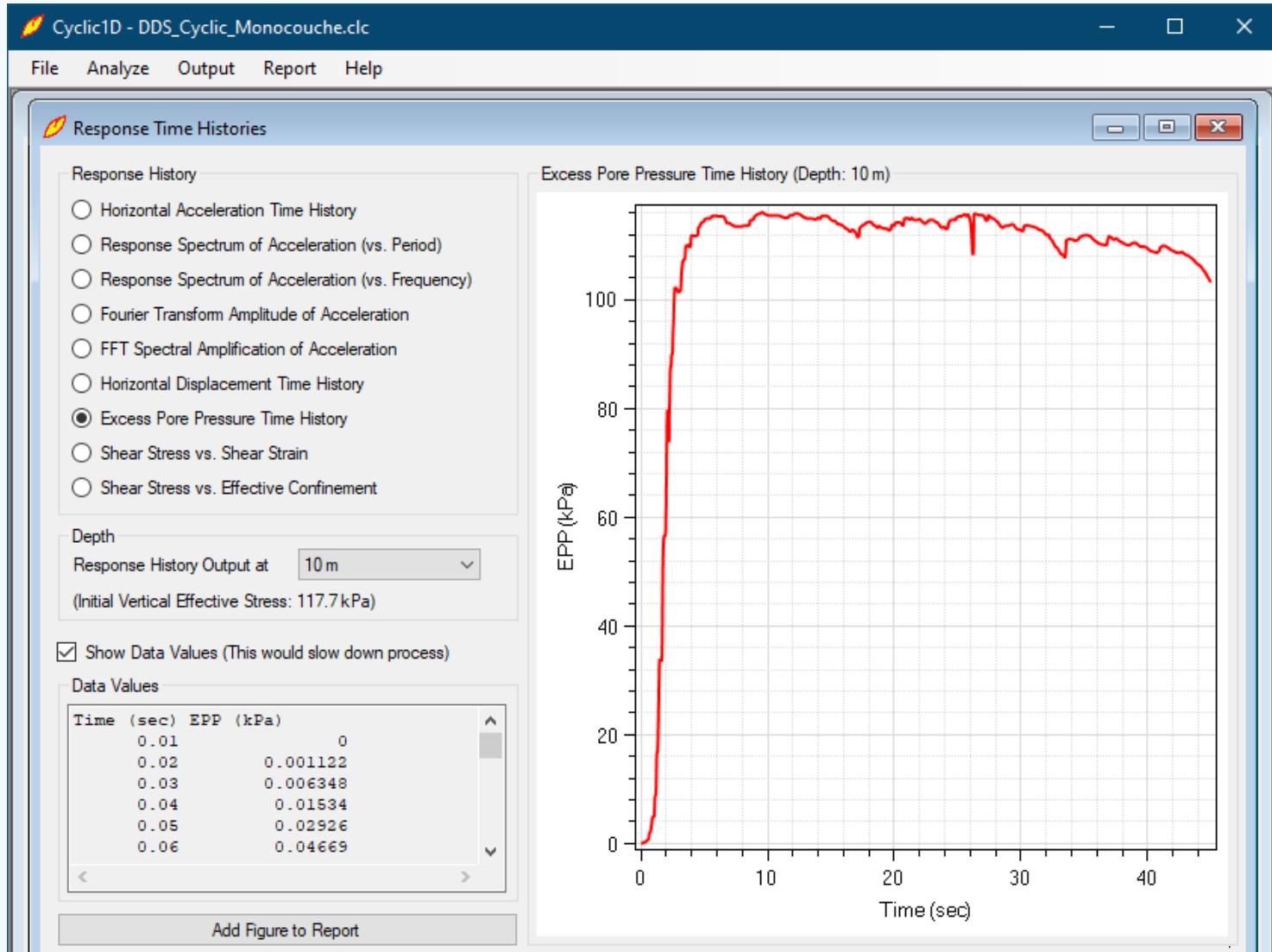
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



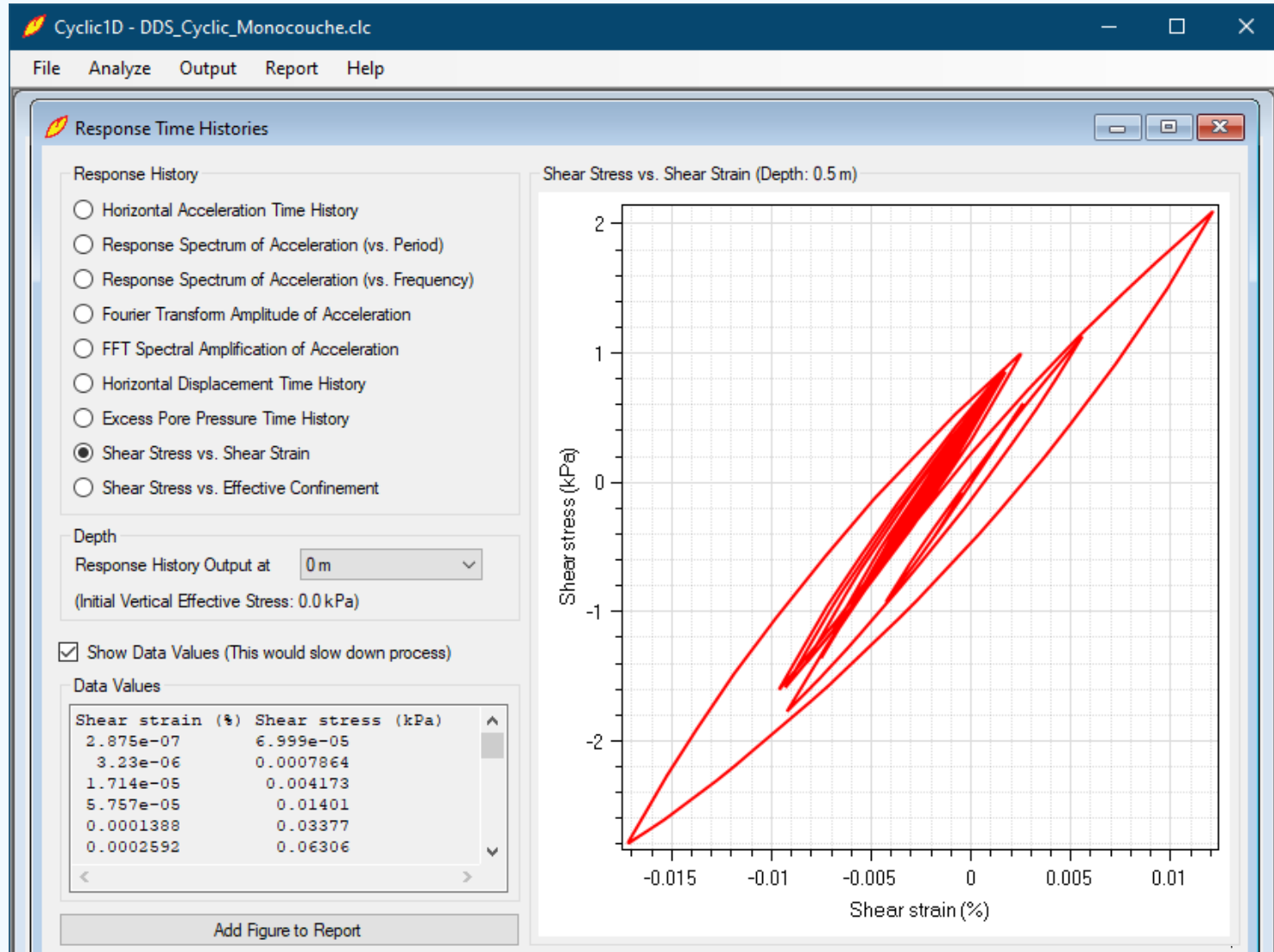
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



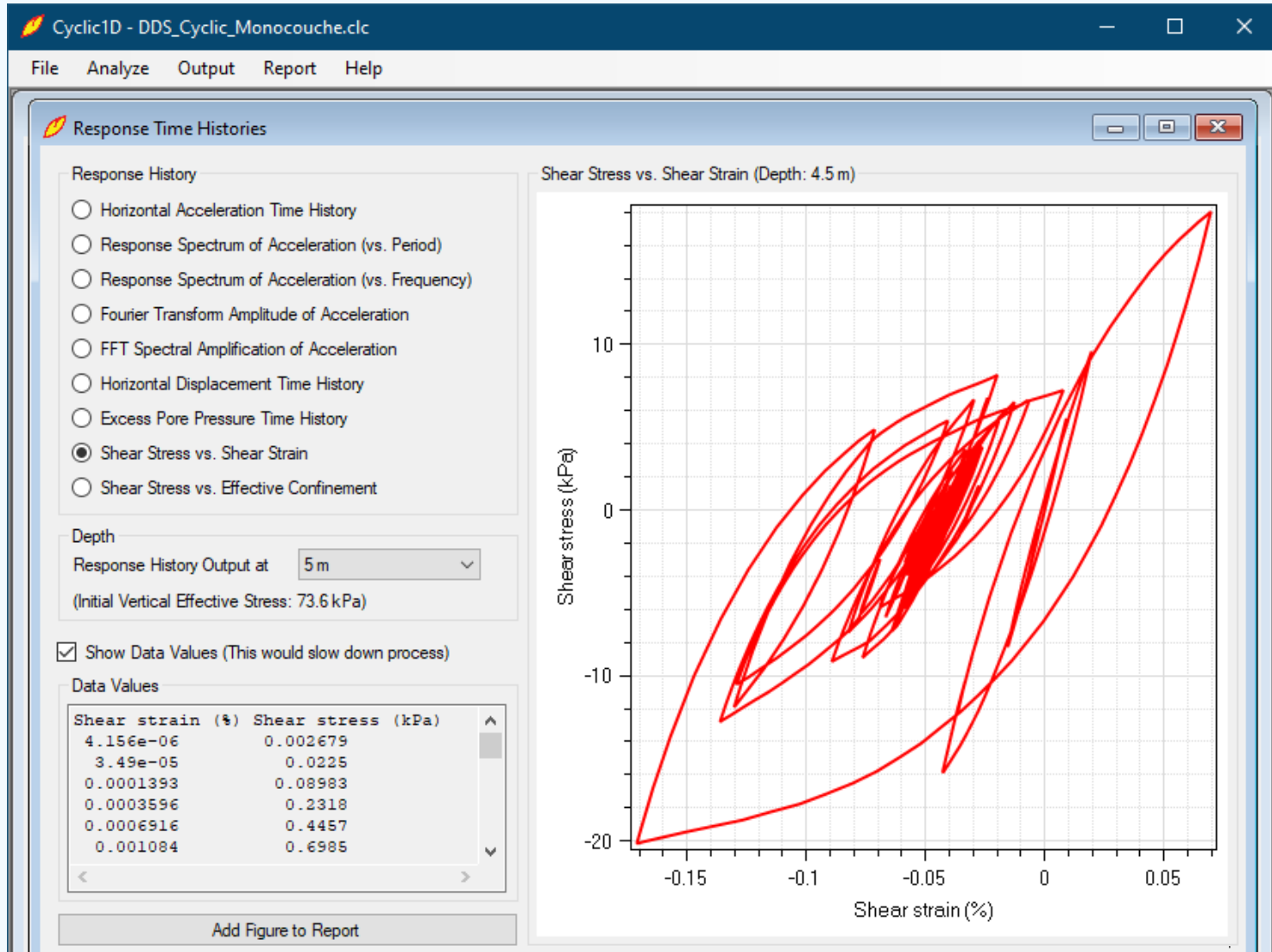
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



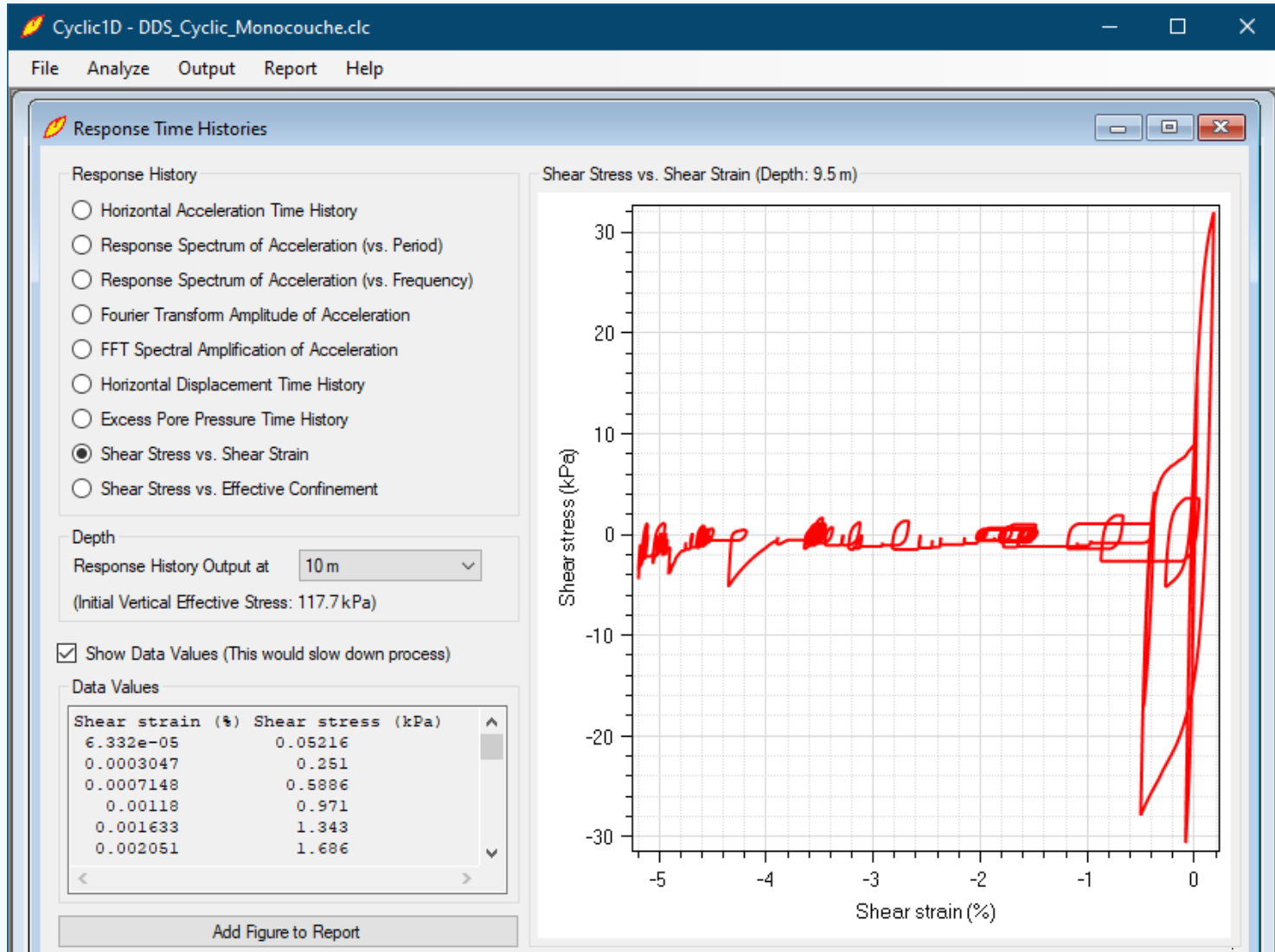
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



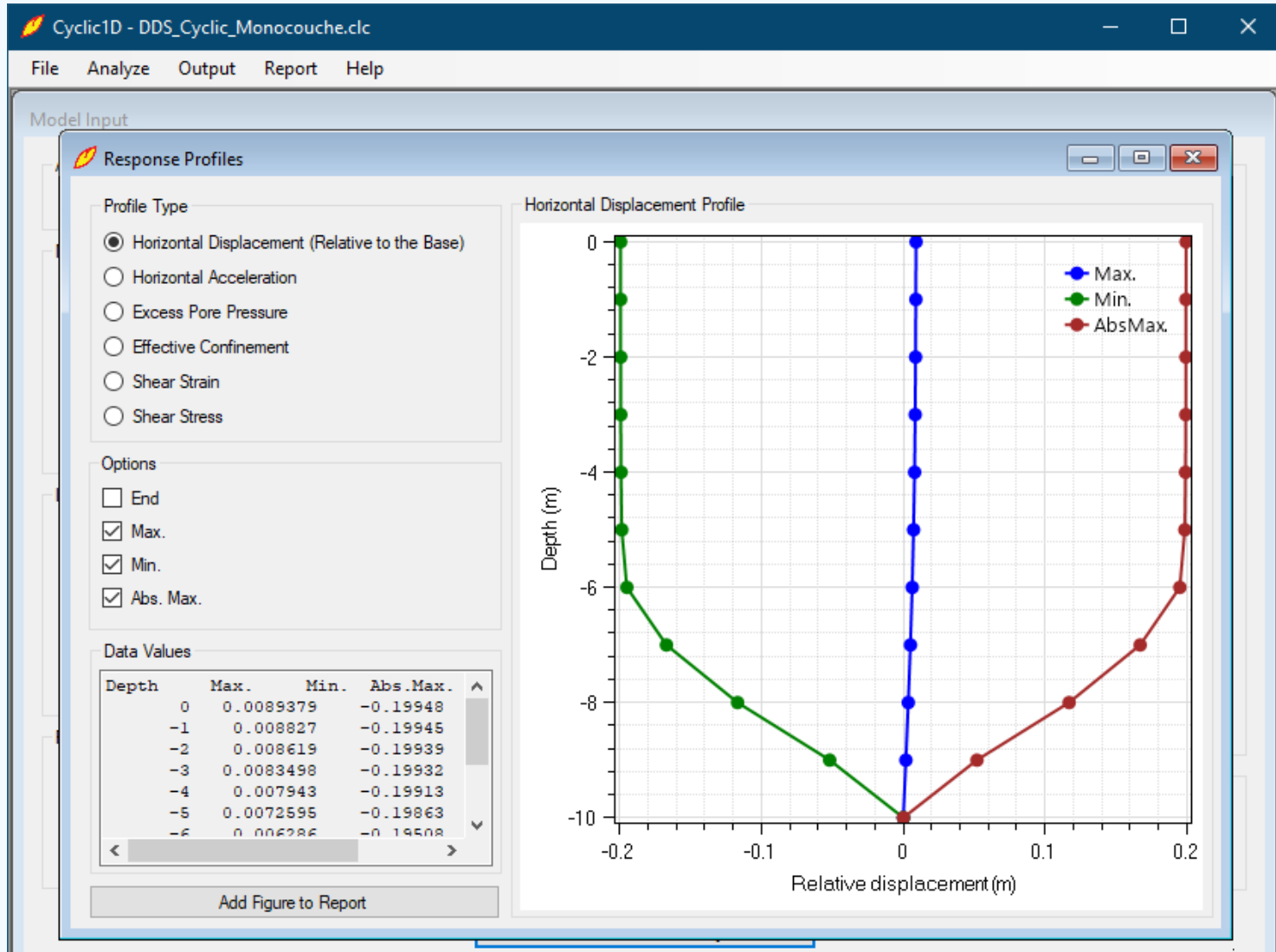
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



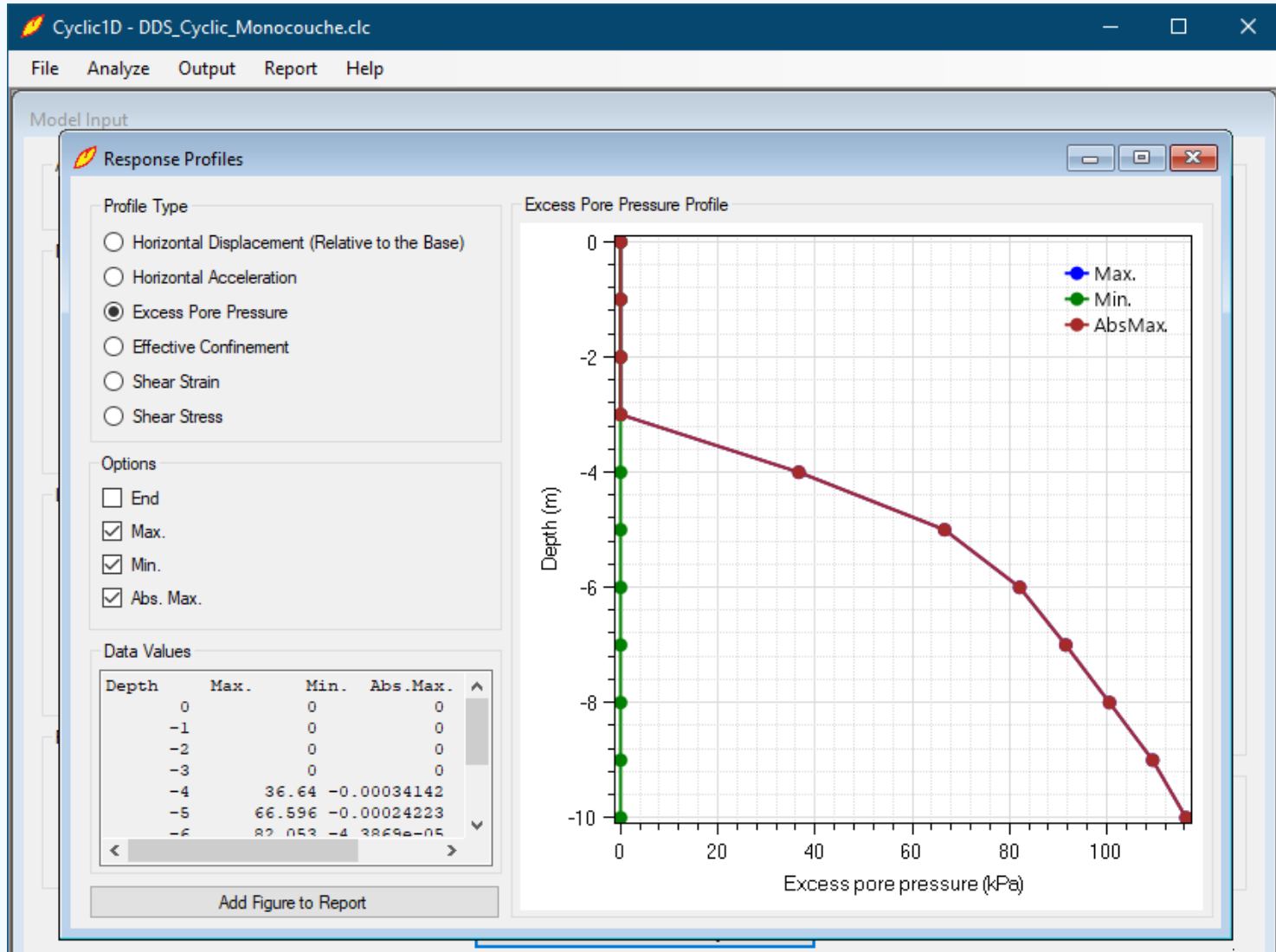
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



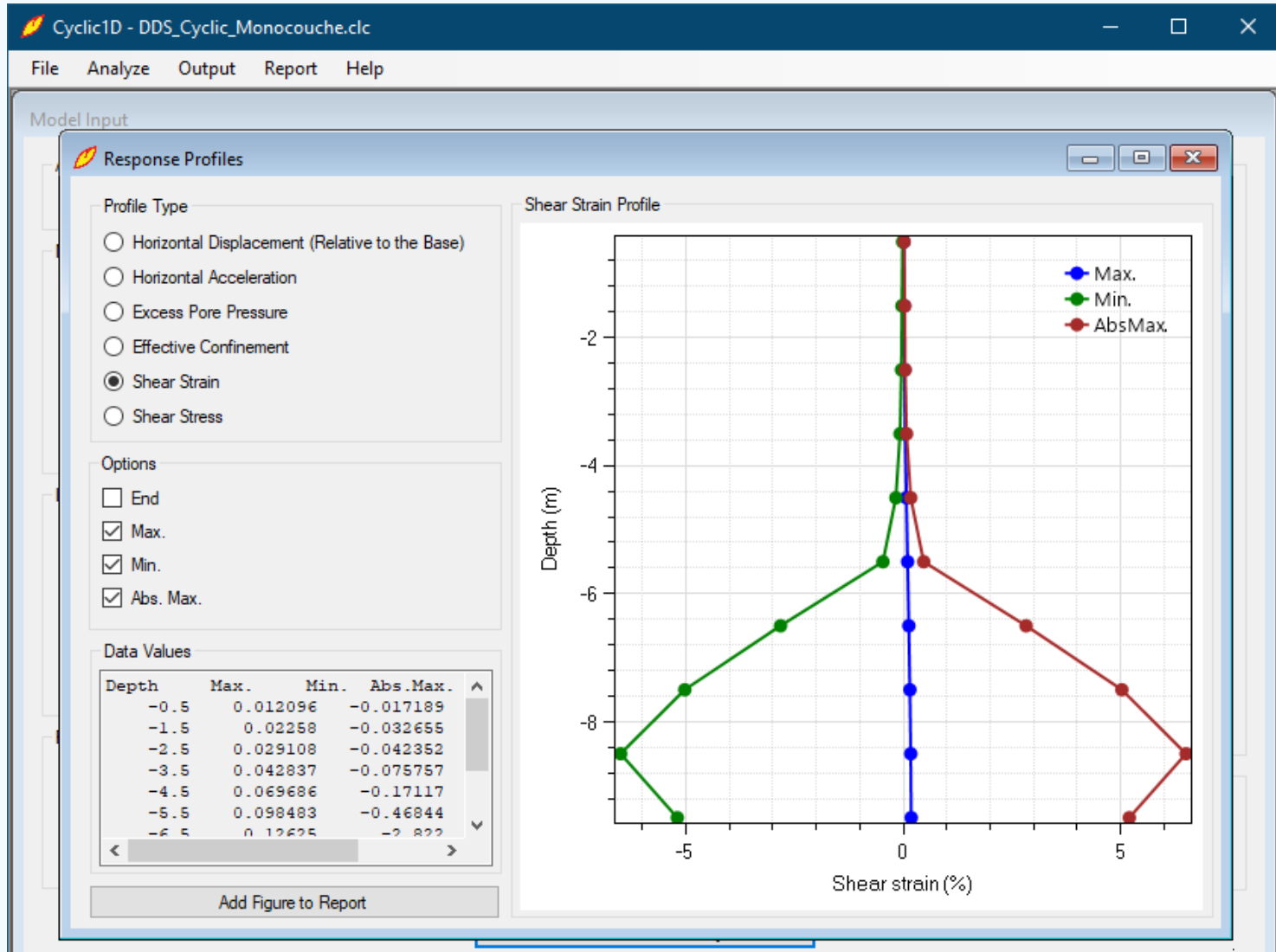
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



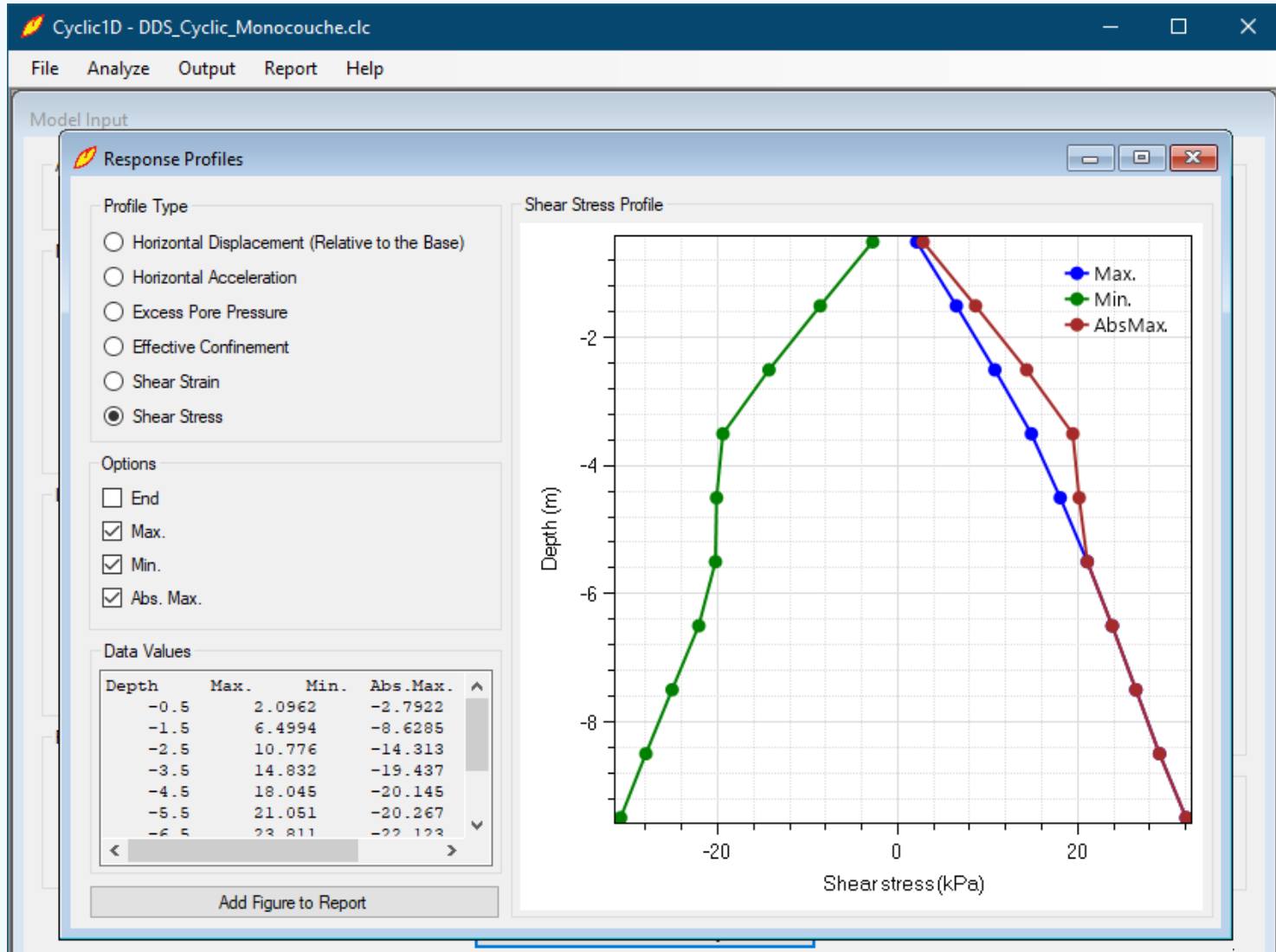
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



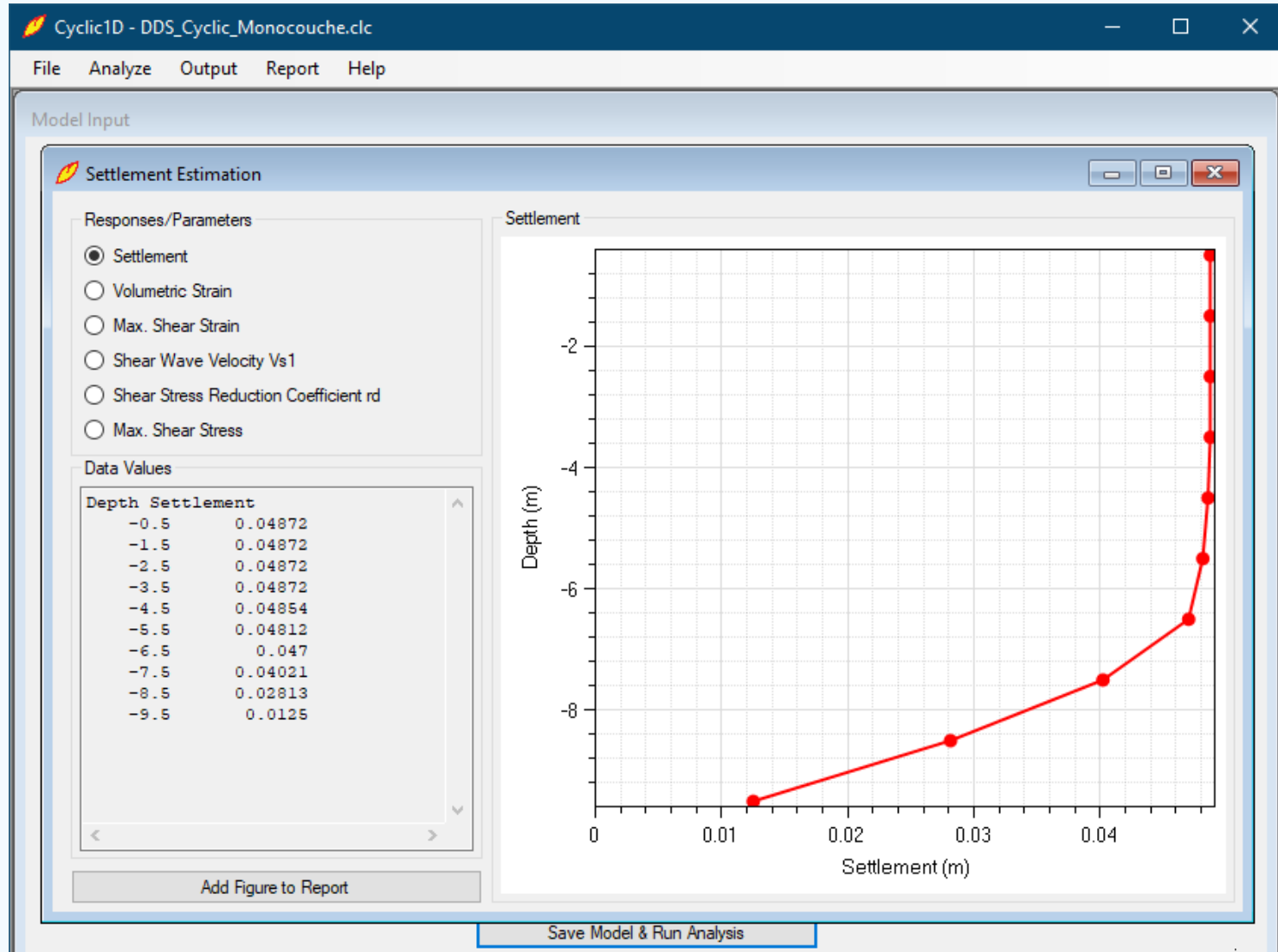
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



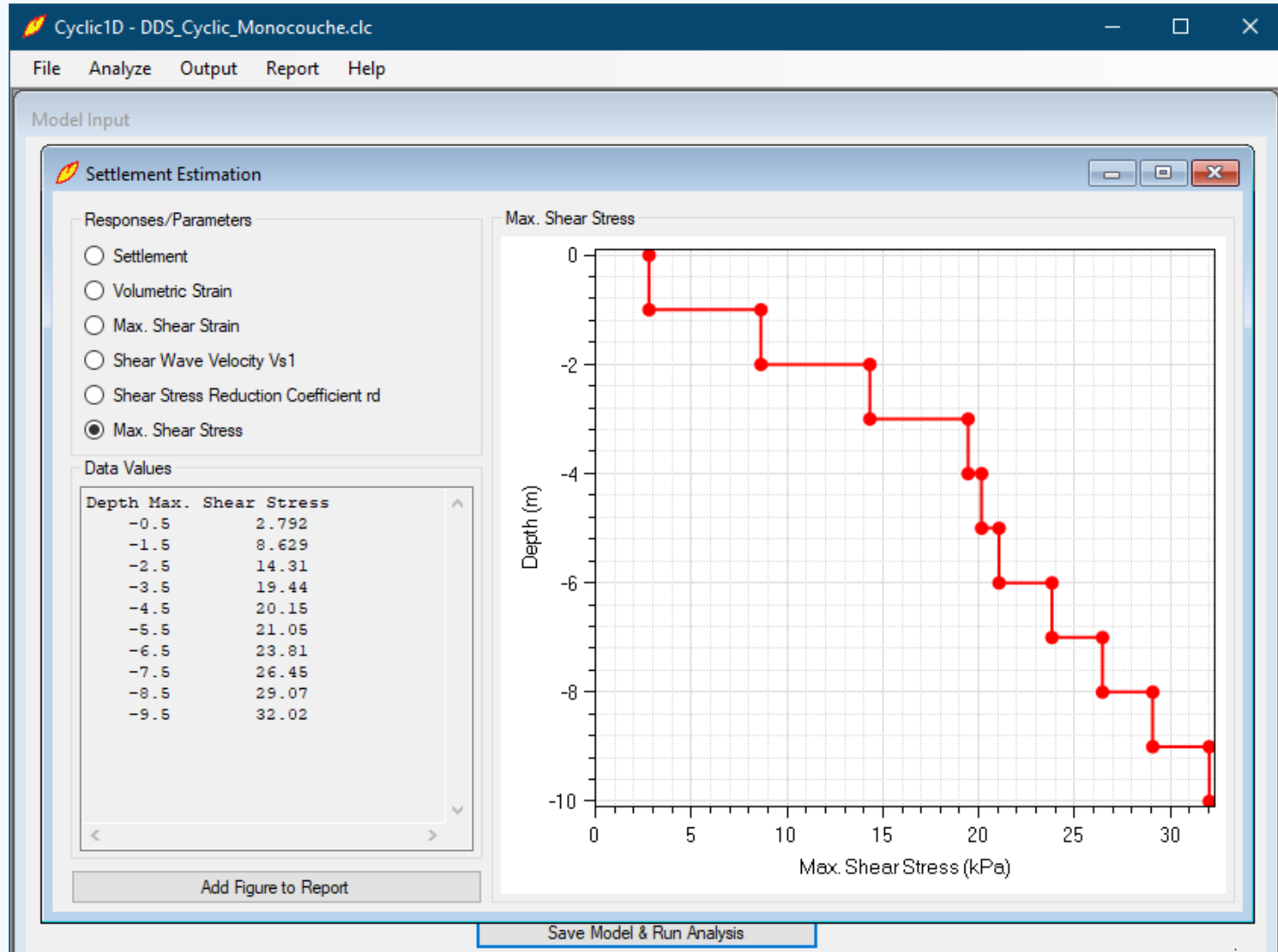
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

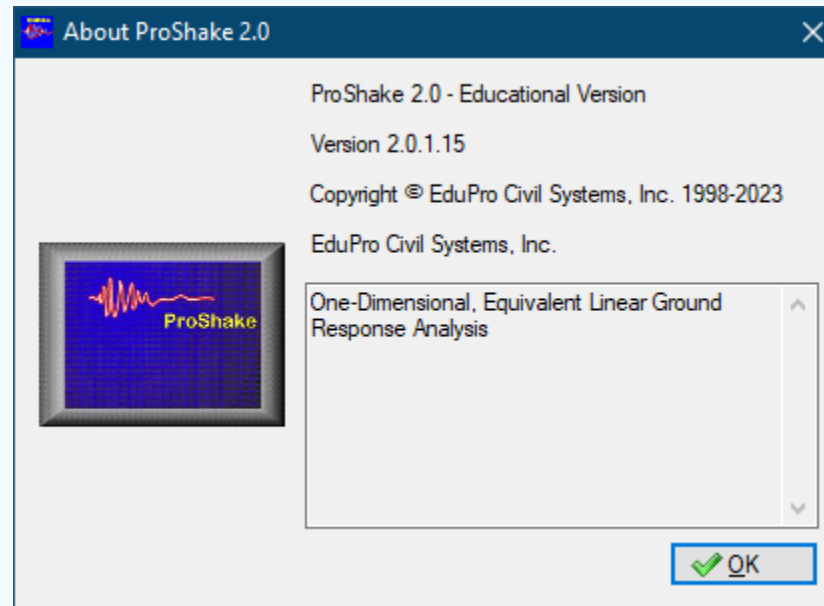
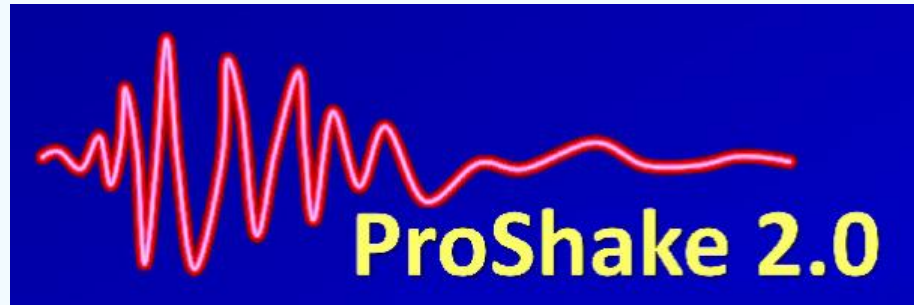


Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur





Exemple : Massif sableux moyennement dense de 10 m de profondeur reposant sur un substratum rigide avec la présence d'une nappe située à 3 m sous le T.N.

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khemissa No. of Profiles: 1 Units: ☐ US Customary ☒ Metric
Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/2024 No. of Motions: 1

Profiles Motions

Insert Duplicate Profile 1 of 1 Delete Plot...

Profile Description: Massif sableux
Number of Layers: 2 Input Motion Layer Number: 1 Water Table Depth (m): 3.00

Layer Detail Layer Summary

Insert Duplicate Layer 1 of 2 Delete Plot... Copy Paste

Material Name: Massif sableux

Soil Model: Sand (Seed & Idriss)
Darendeli (2001)
EPRI
Gravel (Seed et al.)
Ishibashi & Zhang (1993)
Linear
Menq (2003)
Rock (Idriss)
Sand (Seed & Idriss)
Vucetic - Dobry

Thickness (m):
Unit Weight (kN/m³):
Strength Correction: ☐ Apply Stress Ratio: 0.80
C (kPa): 0.00 Phi (deg): 31.50

Soil Model Parameters
PI (%): 0.00
K0: 0.50
OCR: 1.00
No. of Cycles: 1.00
Freq (Hz): 1.00
Cu: 10.00

Layer Output
☒ Motion Time Histories
☒ Response Spectra
☐ Stress/Strain Time Histories
☒ Outcrop
☐ Apply to All Layers

Soil Model

Layer Plot Profile Plot Messages

Plot Item: Shear Wave Velocity

Depth (m)

Profile 1

1

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xltx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** **Solution Manager** **Output Manager**

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khemissa No. of Profiles: 1 Units: ☐ US Customary ☒ Metric
Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/2024 No. of Motions: 1

Profiles **Motions**

Insert Duplicate < < Profile 1 of 1 > > Delete Plot...

Profile Description: Massif sableux
Number of Layers: 2 Input Motion Layer Number: 1 Water Table Depth (m): 3.00

Layer Detail **Layer Summary**

Insert Duplicate < < Layer 2 of 2 > > Delete Plot... Copy Paste

Material Name: Substratum

Soil Model: Rock (Idriss)
Darendeli (2001)
EPRI
Gravel (Seed et al.)
Ishibashi & Zhang (1993)
Linear
Menq (2003)
Rock (Idriss)
Sand (Seed & Idriss)
Vucetic - Dobry

Thickness (m):
Unit Weight (kN/m³):
Strength Correction: ☐ Apply Stress Ratio: 0.80
C (kPa): Phi (deg):

Soil Model Parameters
PI (%): 0.00
K0: 0.50
OCR: 1.00
No. of Cycles: 1.00
D50 (mm): 1.00
Cu: 10.00

Layer Output
☒ Motion Time Histories
☒ Response Spectra
☒ Stress/Strain Time Histories
☒ Outcrop
☐ Apply to All Layers

Layer Plot **Profile Plot** **Messages**

Plot Item: Shear Wave Velocity

Depth (m)

Profile 1

1

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Ready

ProShake 2.0

Soil Model

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

INPUT MANAGER **Solution Manager** **Output Manager**

File Edit View Tools Windows Help

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khemissa No. of Profiles: 1 Units: ☐ US Customary ☒ Metric

Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/2024 No. of Motions: 1

Profiles Motions

Insert Duplicate Profile 1 of 1 Delete Plot...

Profile Description: Massif sableux

Number of Layers: 2 Input Motion Layer Number: 1 Water Table Depth (m): 3.00

Layer Detail **Layer Summary**

Layer Number	Material Name	Thickness (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Vs (m/sec)	Gmax (MPa)	Soil Model	PI (%)	K0
1	Massif sableux	10.00	19.00	203.0	79.8	Menq (2003)	0.00	0.50
2	Substratum	0.00	25.00	1584.5	6400.0	Rock (Idriss)	0.00	0.50

Soil Model

Layer Plot Profile Plot Messages

Plot Item: Shear Wave Velocity

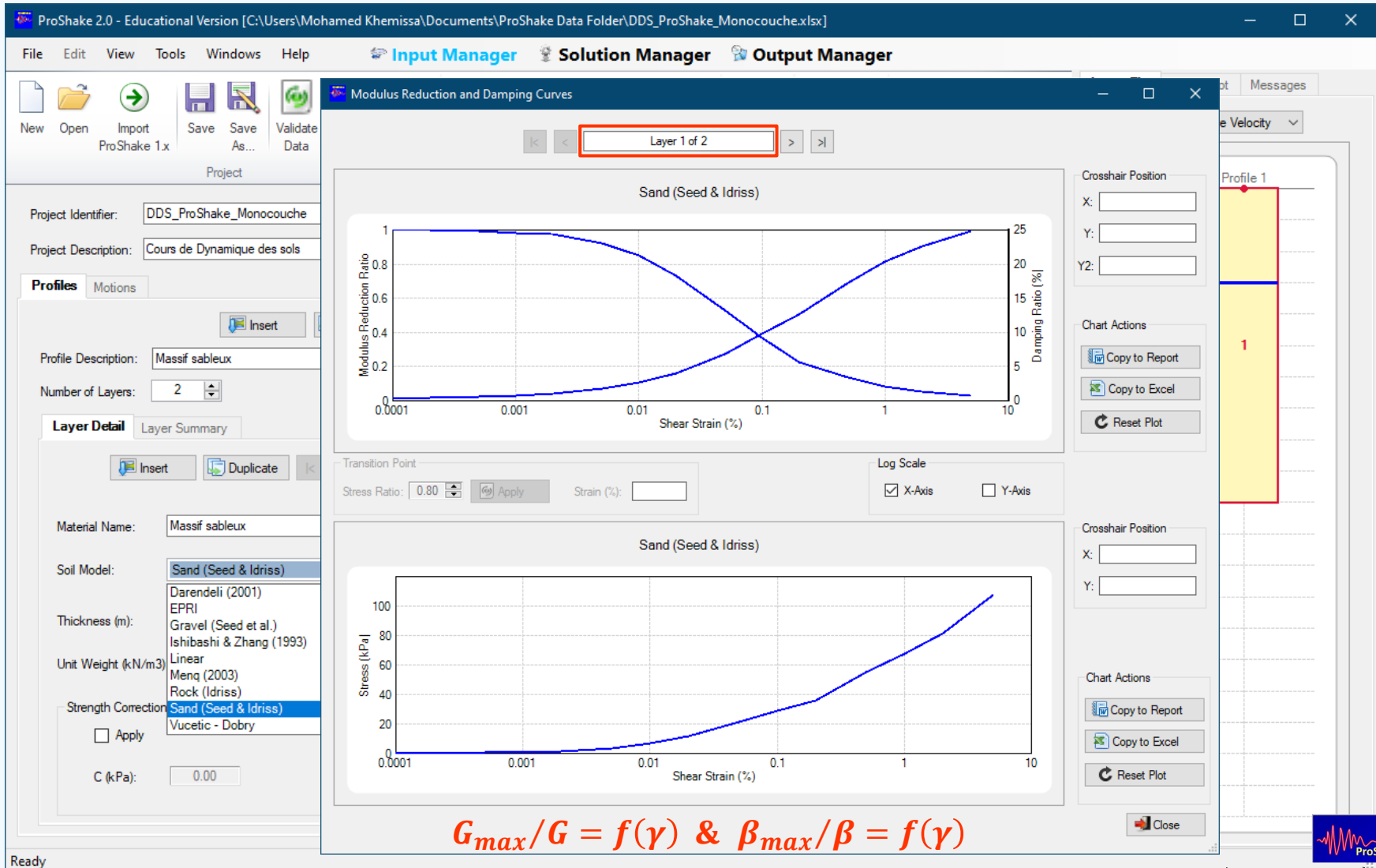
Depth (m)

Profile 1

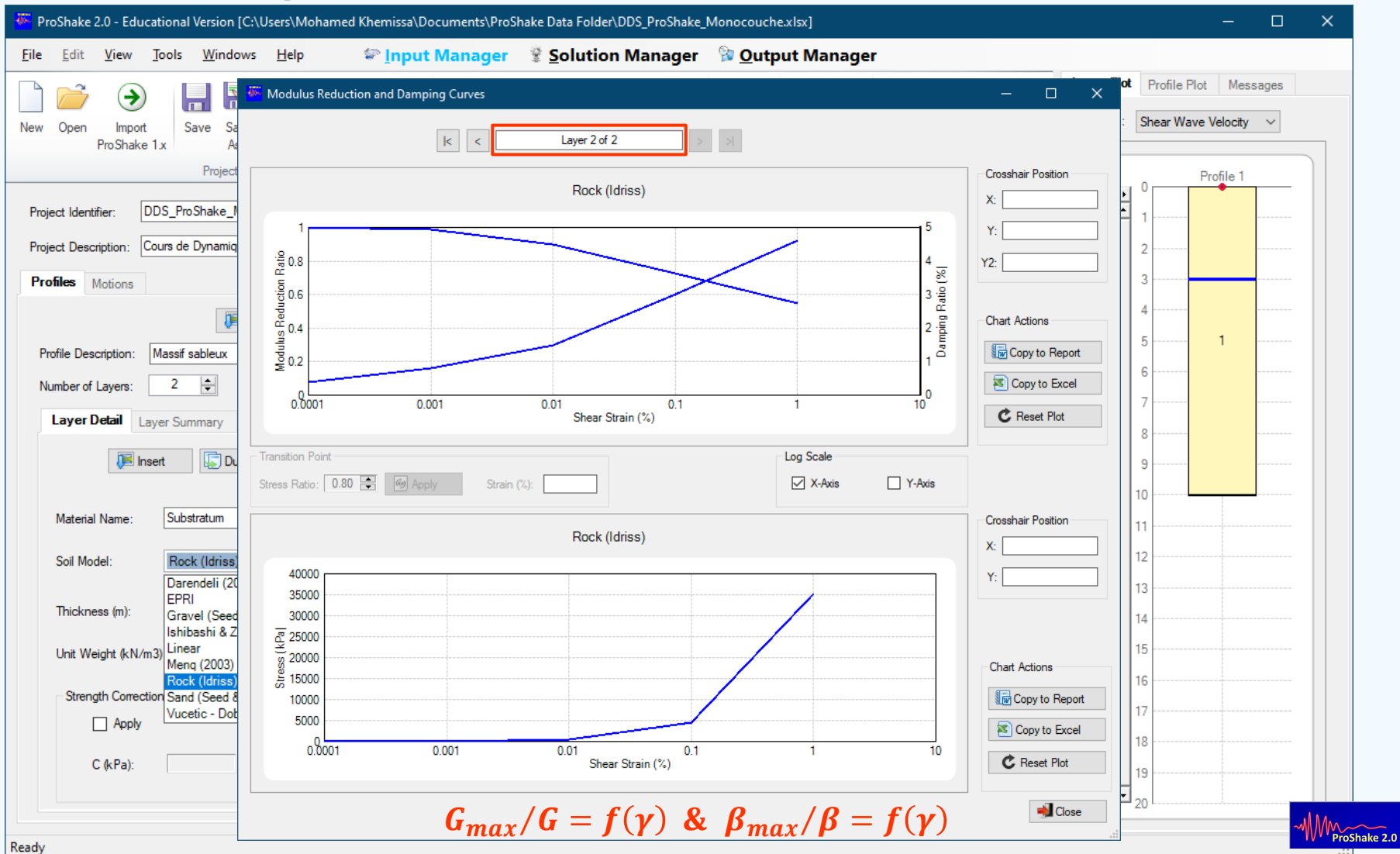
1

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



I
N
P
U
T
M
A
N
A
G
E
R

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** **Solution Manager** **Output Manager**

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khemissa No. of Profiles: 1 Units: ☐ US Customary ☒ Metric

Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/2024 No. of Motions: 1

Profiles **Motions**

Insert Duplicate Motion 1 of 1 Delete Summary

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65 Error Tolerance (%): 1.00 % Maximum Iterations: 50

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS\ELCENTRO.EQ

Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0 EARTHQUAKE FILE

Description: El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Imp Vall lrr Dist component= 180

No. of Values: 4187 Peak Acceleration (g): 0.344

No. of Fourier Terms: 8192 Time Step (sec): 0.020

Cutoff Frequency (Hz): 25.0 Nyquist Frequency: 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Motion Plots

Acceleration Time History... Velocity Time History... Displacement Time History... Husid Plot... Fourier Spectrum... Response Spectrum... Motion Parameters...

El Centro earthquake (1940)

Layer Plot Profile Plot Messages

Plot Item: Shear Wave Velocity

Depth [m]

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Profile 1

1

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help

Input Manager Solution Manager Output Manager

C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche

Project Description: Cours de Dynamique des sols

Profiles Motions

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS\ELCENTRO.EQ

Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0

Description: El Centro (1940/05/18) station

No. of Values: 4187

No. of Fourier Terms: 8192

Cutoff Frequency (Hz): 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Object Motion Parameters

Parameter	Value
Number of Points	4187
Time Step	0.020
Peak Acceleration (g)	0.344
Peak Velocity (m/sec)	0.350
Peak Displacement (m)	0.111
RMS Acceleration (g)	0.068
Arias Intensity (m/sec)	1.938
Cumulative Absolute Velocity (g-sec)	3.381
Response Spectrum Intensity (g ²)	0.683
Predominant Period (sec)	6.197

Acceleration Time History

Response Spectra

Target Spectra

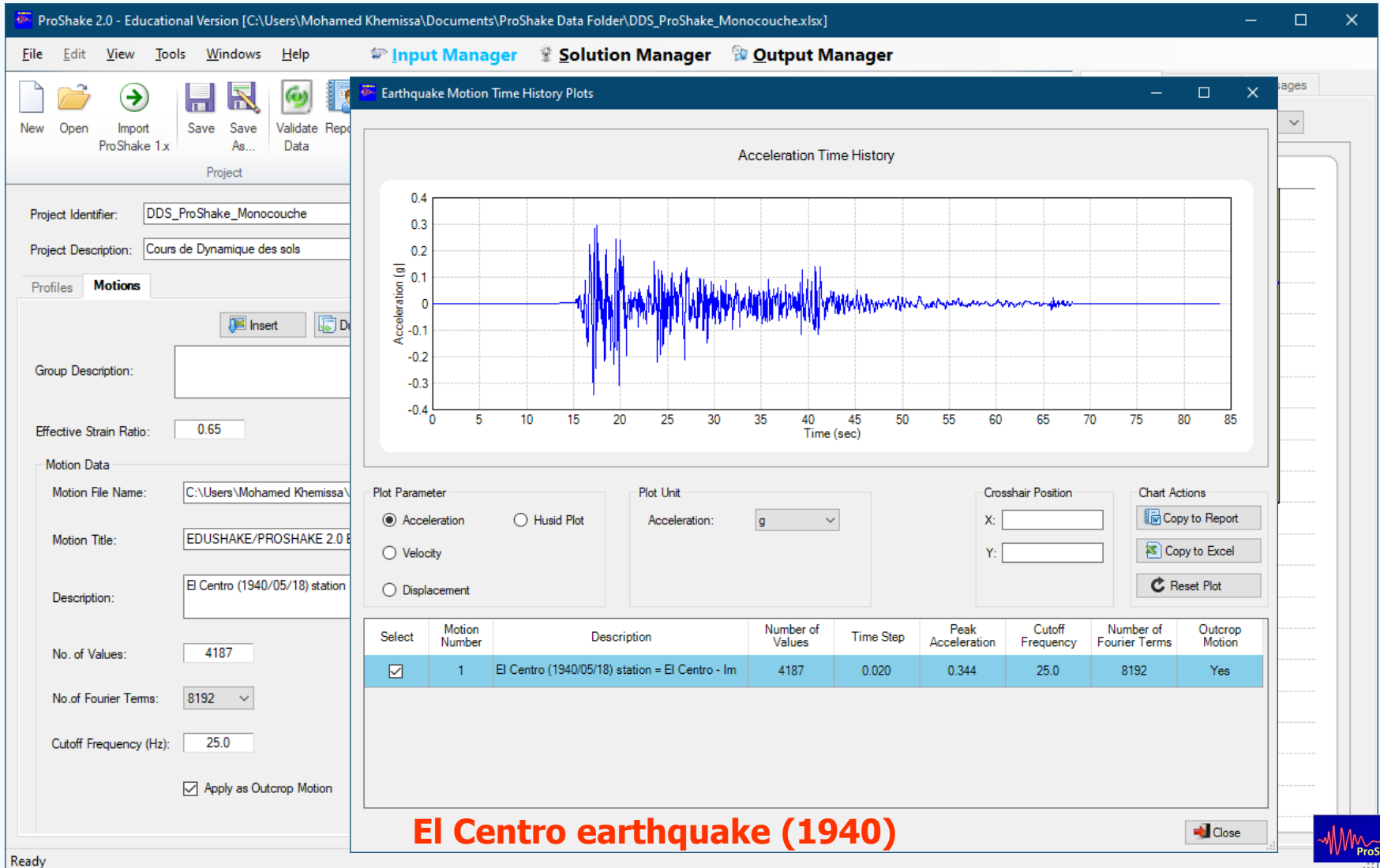
☐ Target Spectra

☒ Open ☐ Open Folder ☐ Cancel

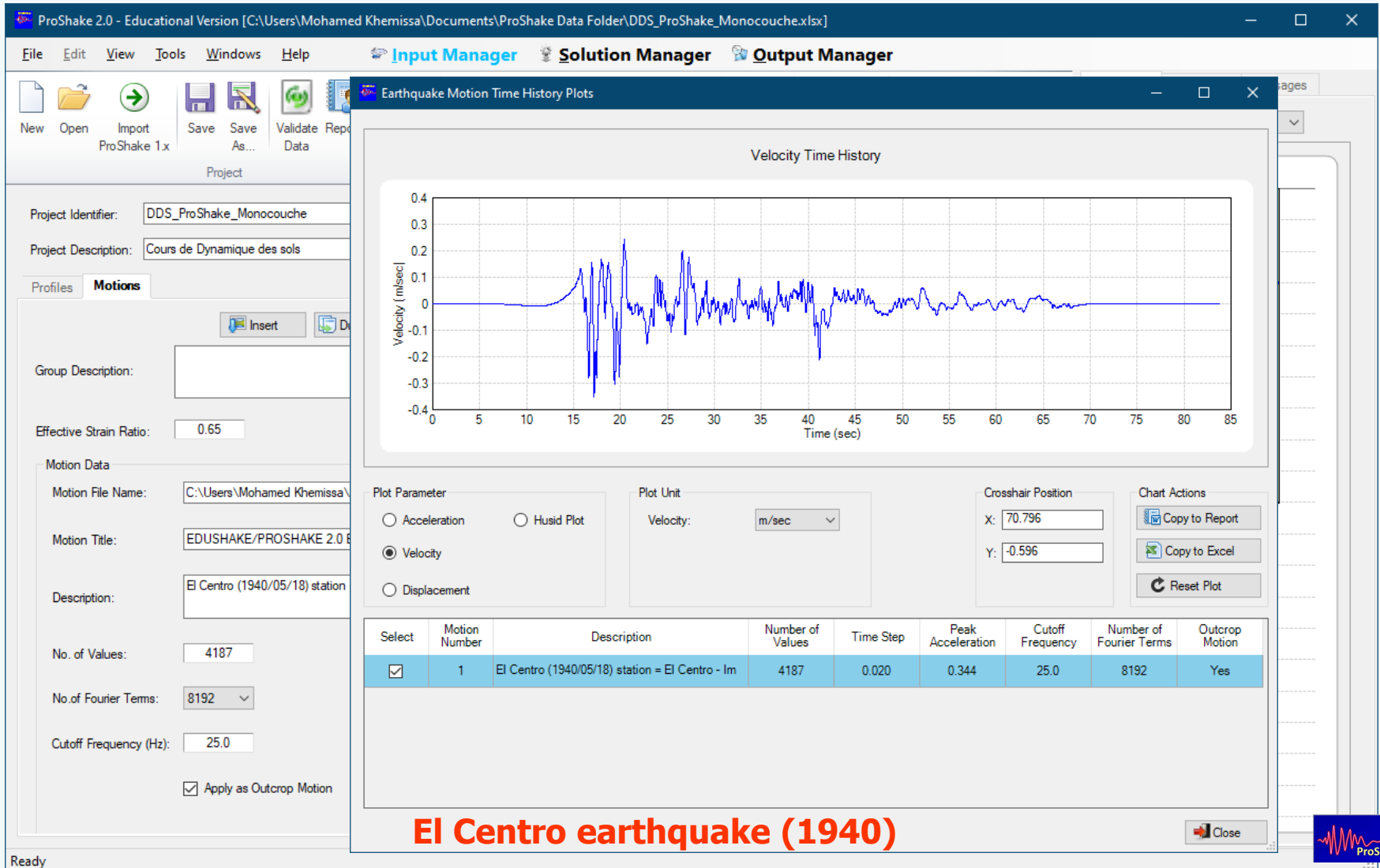
Description: El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Imp Vall In Dist component = 180

El Centro earthquake (1940)

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data

Project

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche

Project Description: Cours de Dynamique des sols

Profiles Motions

Insert

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\

Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0

Description: El Centro (1940/05/18) station

No. of Values: 4187

No. of Fourier Terms: 8192

Cutoff Frequency (Hz): 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Earthquake Motion Time History Plots

Displacement Time History

Displacement (m)

Time (sec)

Plot Parameter

☐ Acceleration ☐ Husid Plot ☒ Displacement

Plot Unit

Displacement: m

Crosshair Position

X: 70.796

Y: -0.596

Chart Actions

Copy to Report

Copy to Excel

Reset Plot

Select	Motion Number	Description	Number of Values	Time Step	Peak Acceleration	Cutoff Frequency	Number of Fourier Terms	Outcrop Motion
☒	1	El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Im	4187	0.020	0.344	25.0	8192	Yes

El Centro earthquake (1940)

Close

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche
Project Description: Cours de Dynamique des sols

Profiles Motions

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0
Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0
Description: El Centro (1940/05/18) station

No. of Values: 4187
No. of Fourier Terms: 8192
Cutoff Frequency (Hz): 25.0
☒ Apply as Outcrop Motion

Earthquake Motion Time History Plots

Husid Plot of Acceleration

Plot Parameter: ☐ Acceleration ☒ Husid Plot ☐ Velocity ☐ Displacement

Plot Unit: Husid Parameter: Decimal

Crosshair Position: X: 70.796 Y: -0.596

Chart Actions: Copy to Report Copy to Excel Reset Plot

Select	Motion Number	Description	Number of Values	Time Step	Peak Acceleration	Cutoff Frequency	Number of Fourier Terms	Outcrop Motion
☒	1	El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Im	4187	0.020	0.344	25.0	8192	Yes

El Centro earthquake (1940)

Ready

Close

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data

Project

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche

Project Description: Cours de Dynamique des sols

Profiles Motions

Insert

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\

Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0

Description: El Centro (1940/05/18) station

No. of Values: 4187

No. of Fourier Terms: 8192

Cutoff Frequency (Hz): 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Earthquake Motion Fourier Spectrum Plots

Fourier Amplitude Spectrum

Amplitude (g-sec)

Frequency (Hz)

Plot Parameter

☒ Fourier Spectrum

☐ Phase Spectrum

☐ Power Spectrum

Parameter

☒ Frequency

☐ Period

Log Scale

☐ X-Axis

☐ Y-Axis

Crosshair Position

X:

Y:

Chart Actions

Copy to Report

Copy to Excel

Reset Plot

Select	Motion Number	Description	Number of Values	Time Step	Peak Acceleration	Cutoff Frequency	Number of Fourier Terms	Outcrop Motion
☒	1	El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Im	4187	0.020	0.344	25.0	8192	Yes

El Centro earthquake (1940)

Close

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data

Project

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche

Project Description: Cours de Dynamique des sols

Profiles Motions

Insert

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\

Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0

Description: El Centro (1940/05/18) station

No. of Values: 4187

No. of Fourier Terms: 8192

Cutoff Frequency (Hz): 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Earthquake Motion Fourier Spectrum Plots

Fourier Phase Spectrum

Plot Parameter

☐ Fourier Spectrum ☒ Frequency ☐ Period ☐ Power Spectrum

Log Scale

☐ X-Axis ☐ Y-Axis

Crosshair Position

X: Y:

Chart Actions

Select	Motion Number	Description	Number of Values	Time Step	Peak Acceleration	Cutoff Frequency	Number of Fourier Terms	Outcrop Motion
☒	1	El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Im	4187	0.020	0.344	25.0	8192	Yes

El Centro earthquake (1940)

Ready

Close

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data

Project

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche

Project Description: Cours de Dynamique des sols

Profiles Motions

Insert

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\

Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0

Description: El Centro (1940/05/18) station

No. of Values: 4187

No. of Fourier Terms: 8192

Cutoff Frequency (Hz): 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Earthquake Motion Fourier Spectrum Plots

Fourier Power Spectrum

Amplitude (m²/sec²)

Frequency (HZ)

Plot Parameter

☐ Fourier Spectrum

☐ Phase Spectrum

☒ Power Spectrum

Parameter

☒ Frequency

☐ Period

Log Scale

☐ X-Axis

☐ Y-Axis

Crosshair Position

X:

Y:

Chart Actions

Copy to Report

Copy to Excel

Reset Plot

Select	Motion Number	Description	Number of Values	Time Step	Peak Acceleration	Cutoff Frequency	Number of Fourier Terms	Outcrop Motion
☒	1	El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Im	4187	0.020	0.344	25.0	8192	Yes

El Centro earthquake (1940)

Close

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... **Validate Data** Report Spreadsheet Settings Response Soil Spectrum Data Models Show Menu Status Bar Convert Motion File Utilities About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khemissa No. of Profiles: 1 Units: ☐ US Customary ☒ Metric
Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/2024 No. of Motions: 1

Profiles **Motions**

Insert Duplicate Motion 1 of 1 Delete Summary

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65 Error Tolerance (%): 1.00 % Maximum Iterations: 50

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS\ELCENTRO.EG
Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0 EARTHQUAKE FILE
Description: El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Imp Vall lrr Dist component= 180

No. of Values: 4187 Peak Acceleration (g): 0.344
No. of Fourier Terms: 8192 Time Step (sec): 0.020
Cutoff Frequency (Hz): 25.0 Nyquist Frequency: 25.0

☒ Apply as Outcrop Motion

Motion Plots

Acceleration Time History...
Velocity Time History...
Displacement Time History...
Husid Plot...
Fourier Spectrum...
Response Spectrum...
Motion Parameters...

Layer Plot Profile Plot **Messages**

Data checked OK!

Validate Data

Ready

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Report Spreadsheet Settings **Response Spectrum Data**

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khemissa
Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/2024

Profiles **Motions**

Insert Duplicate Motion 1 of 1

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65 Error Tolerance (%):

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS\ELC...
Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0 EARTHQUAKE FILE
Description: El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Imp Vall Irr Dist component= 18...

No. of Values: 4187 Peak Acceleration (g):
No. of Fourier Terms: 8192 Time Step (sec):
Cutoff Frequency (Hz): 25.0 Nyquist Frequency:

☒ Apply as Outcrop Motion

Response Spectrum Data

Response Spectra Periods

Number	Period	Spectral Acceleration (g)	Frequency
1	0.020	0.157	50.000
2	0.040	0.157	25.000
3	0.060	0.158	16.667
4	0.080	0.161	12.500
5	0.100	0.169	10.000
6	0.120	0.181	8.333
7	0.140	0.203	7.143
8	0.160	0.231	6.250
9	0.180	0.196	5.556
10	0.200	0.196	5.000
11	0.220	0.246	4.545
12	0.240	0.296	4.167
13	0.260	0.371	3.846
14	0.280	0.400	3.571
15	0.300	0.416	3.333
16	0.320	0.457	3.125
17	0.340	0.487	2.941

OK Cancel

Ready

ProShake 2.0

Response Spectrum Data

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

INPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Report Spreadsheet Settings **Response Spectrum Data**

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analyst Name: M. Khe
Project Description: Cours de Dynamique des sols Project Date: 31/03/

Profiles **Motions**

Insert Duplicate Motion 1 of

Group Description:

Effective Strain Ratio: 0.65 Error Tolerance (%):

Motion Data

Motion File Name: C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\EQS\ELC
Motion Title: EDUSHAKE/PROSHAKE 2.0 EARTHQUAKE FILE
Description: El Centro (1940/05/18) station = El Centro - Imp Vall lrr Dist component= 18

No. of Values: 4187 Peak Acceleration (g):
No. of Fourier Terms: 8192 Time Step (sec):
Cutoff Frequency (Hz): 25.0 Nyquist Frequency:

☒ Apply as Outcrop Motion

Response Spectrum Data

Response Spectra Periods

Number	Damping
1	5.00 %

OK Cancel

Ready

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

SOLUTION MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** **Solution Manager** **Output Manager**

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche

Profile Number	Profile Description	Motion Number	Motion Description	Number of Iterations	Max G Error (%)	Max Damping Error (%)	Status
1	Massif sableux	1	El Centro (1940/05/18)	6	0.61 %	0.83 %	Completed

Analyze

Ready

Messages

Analysis started @ 03:18:42.809
Preparing analysis data/updating report...
Profile 1 started @ 03:18:46.691
Motion 1 completed in 0.071 sec
Profile 1 completed @ 03:18:46.943
Analysis completed @ 03:18:47.052
Total elapsed time = 4.244 sec

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analysis Date: 03/04/2024 15:25

Solution Convergence Ground Motion Stress and Strain Depth Plots Response Spectra Transfer Function Animation

Profile Number	Motion Number	Number of Iterations	Max G Error (%)	Max Damping Error (%)	Avg G Error (%)	Avg Damping Error (%)	Travel Time Ratio
1	1	6	0.61 %	0.83 %	0.61 %	0.83 %	1.38

Results

Ready

Messages

Left click column header to sort.
Right click Select column to select/clear all
Right click other columns to filter by current value.

ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File Utilities About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analysis Date: 03/04/2024 15:25

Solution Convergence Ground Motion **Stress and Strain** Depth Plots Response Spectra Transfer Function Animation

Select	Profile Number	Motion Number	Layer Number	Outcrop
☒	1	1	2	Yes

Stress and Strain
► Time History

Plot Type
☒ Time History
☐ Fourier Spectrum

Plot...

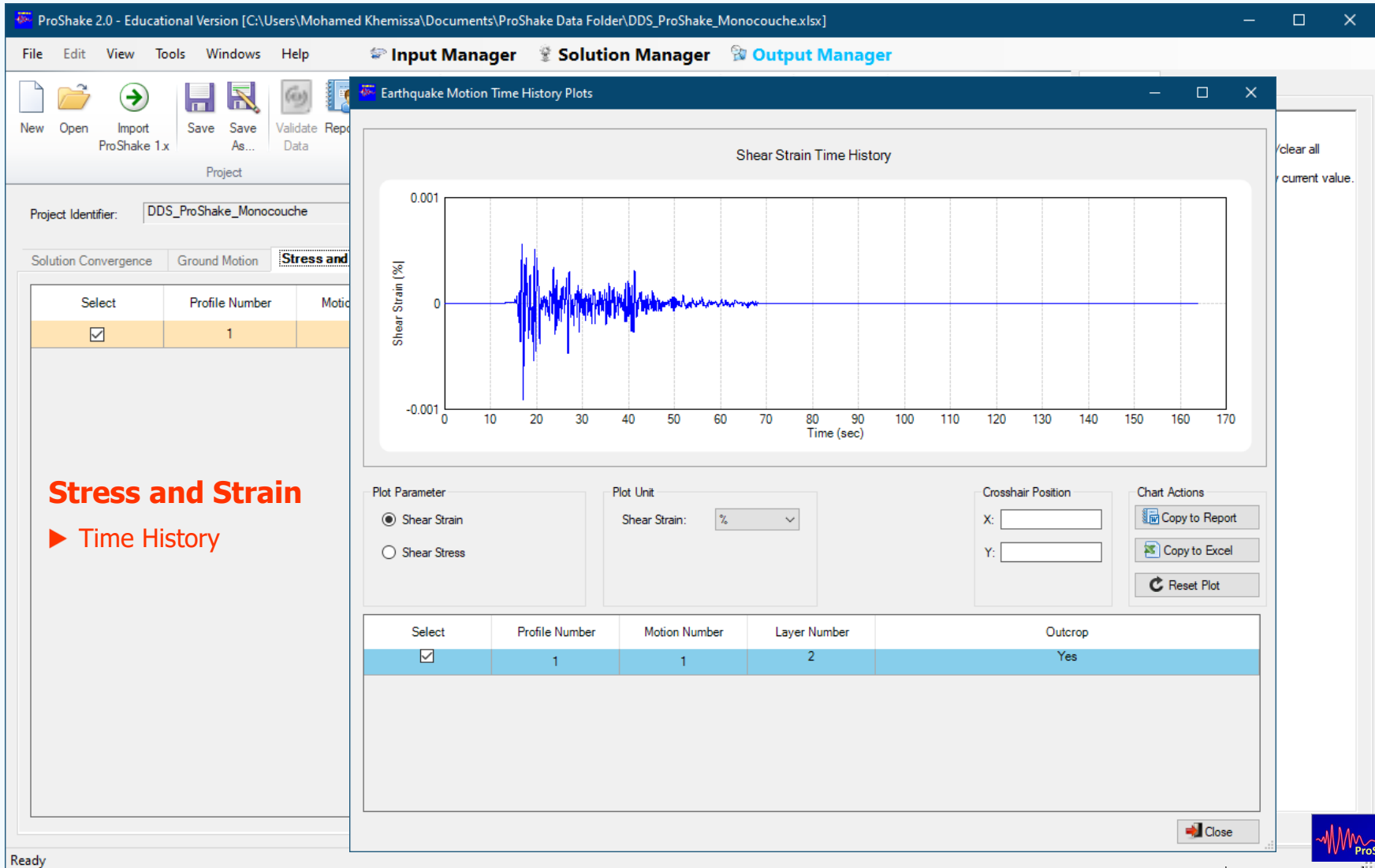
Messages
 Left click column header to sort.
 Right click Select column to select/clear all
 Right click other columns to filter by current value.

Ready

ProShake 2.0

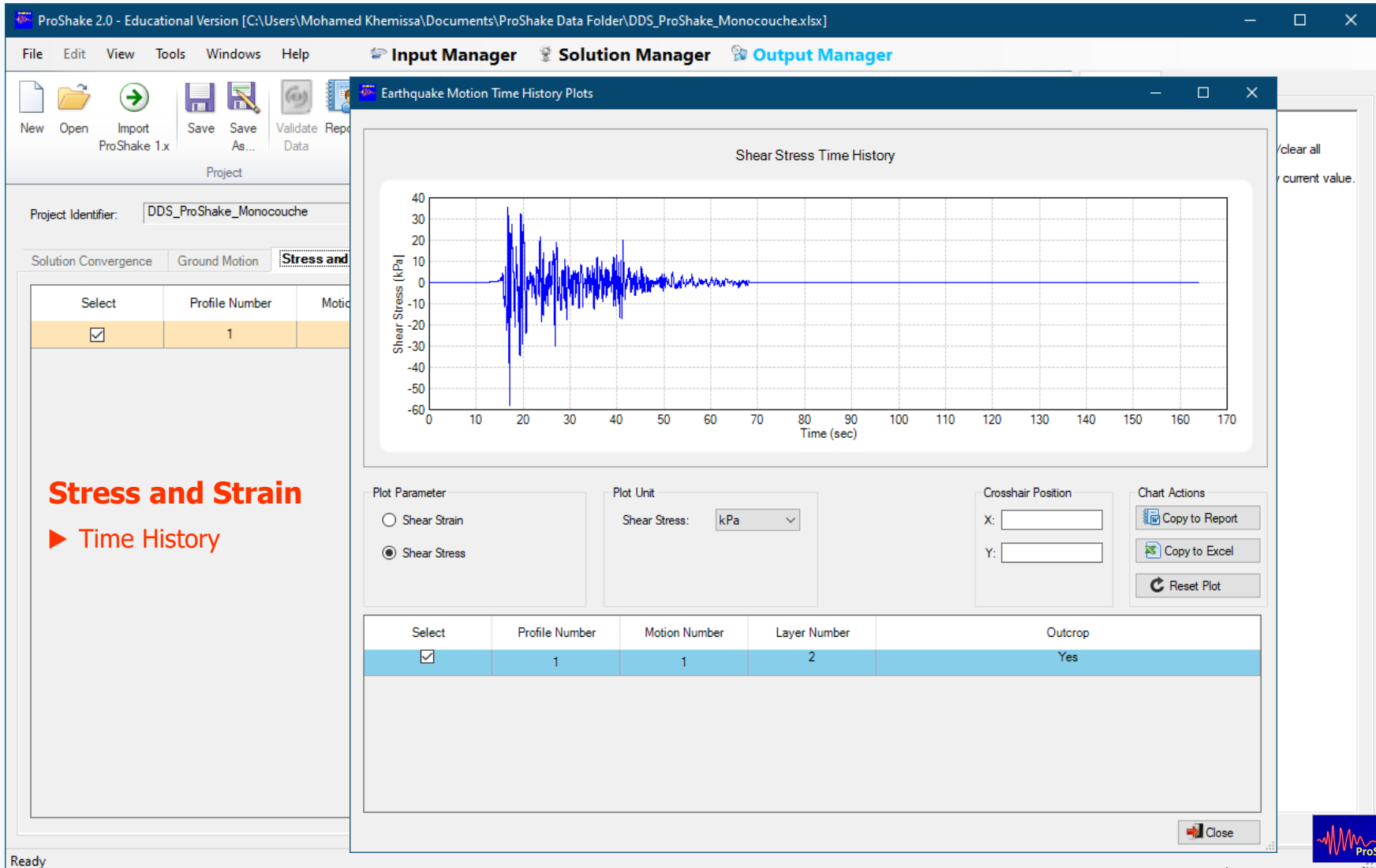
OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

OUTPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** **Solution Manager** **Output Manager**

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File Utilities About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analysis Date: 03/04/2024 15:25

Solution Convergence Ground Motion **Stress and Strain** Depth Plots Response Spectra Transfer Function Animation

Select	Profile Number	Motion Number	Layer Number	Outcrop
☒	1	1	2	Yes

Stress and Strain

► Fourier Spectrum

Plot Type

☐ Time History

☒ Fourier Spectrum

Plot...

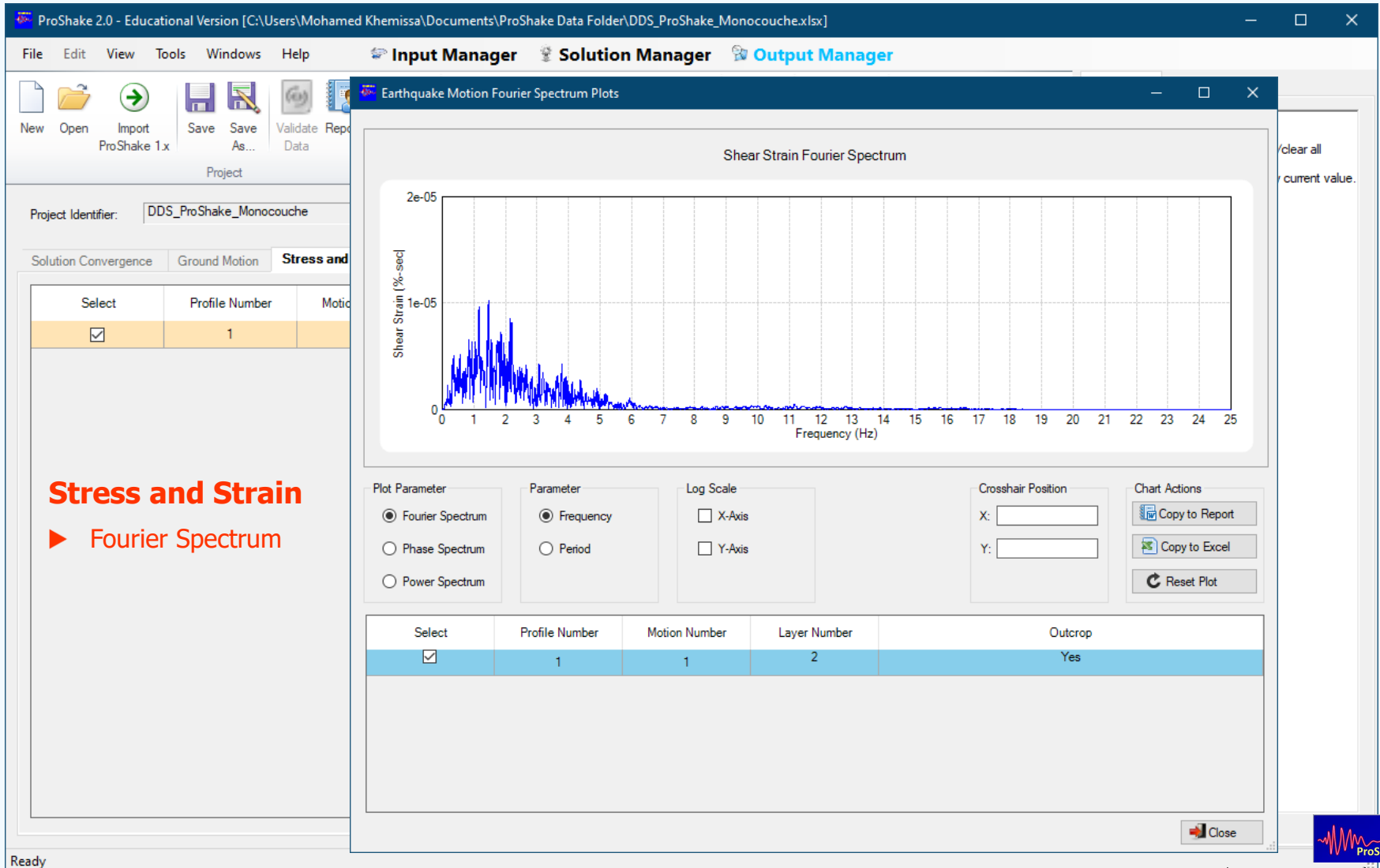
Messages

Left click column header to sort.
Right click Select column to select/clear all
Right click other columns to filter by current value.

Ready

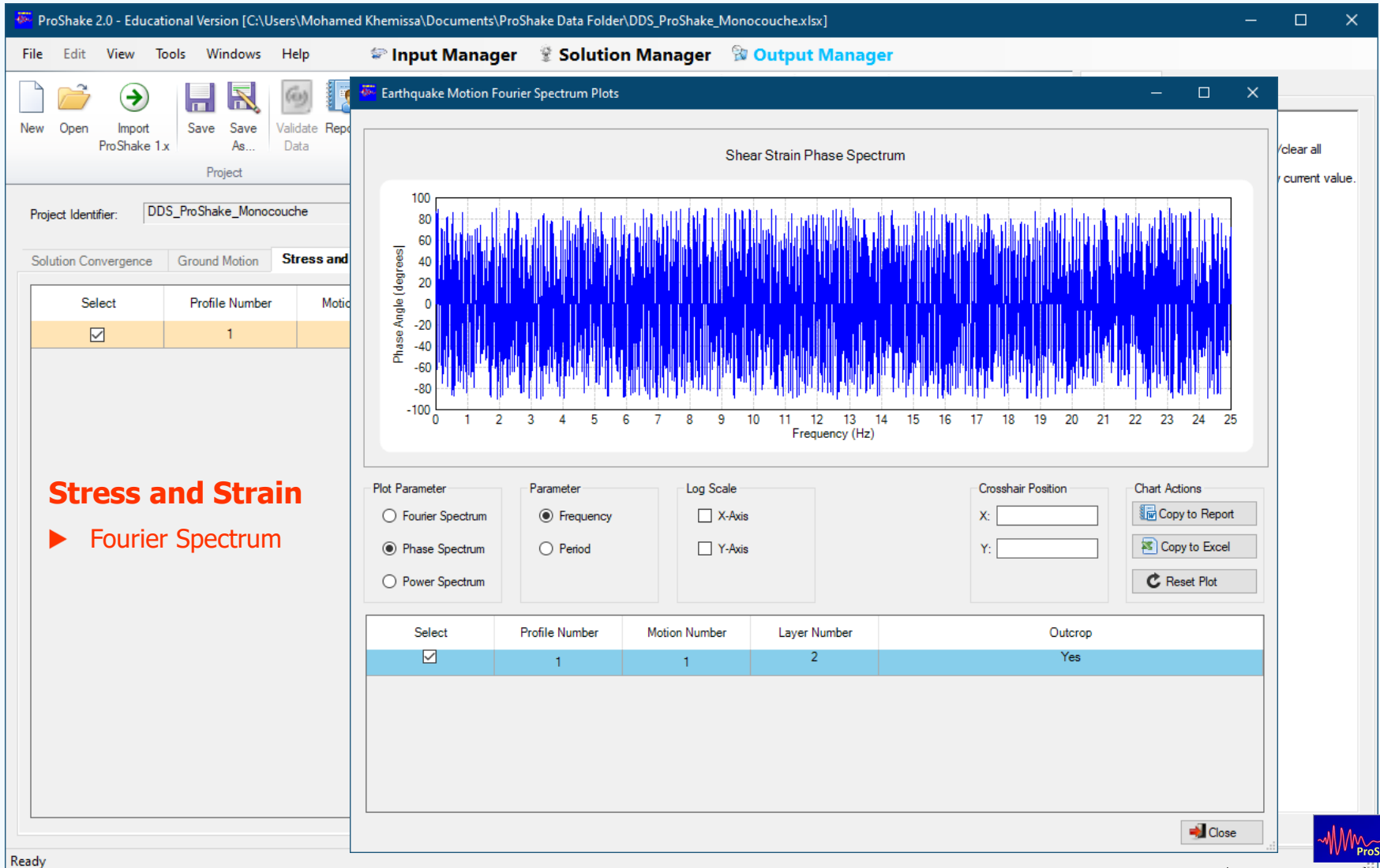
ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



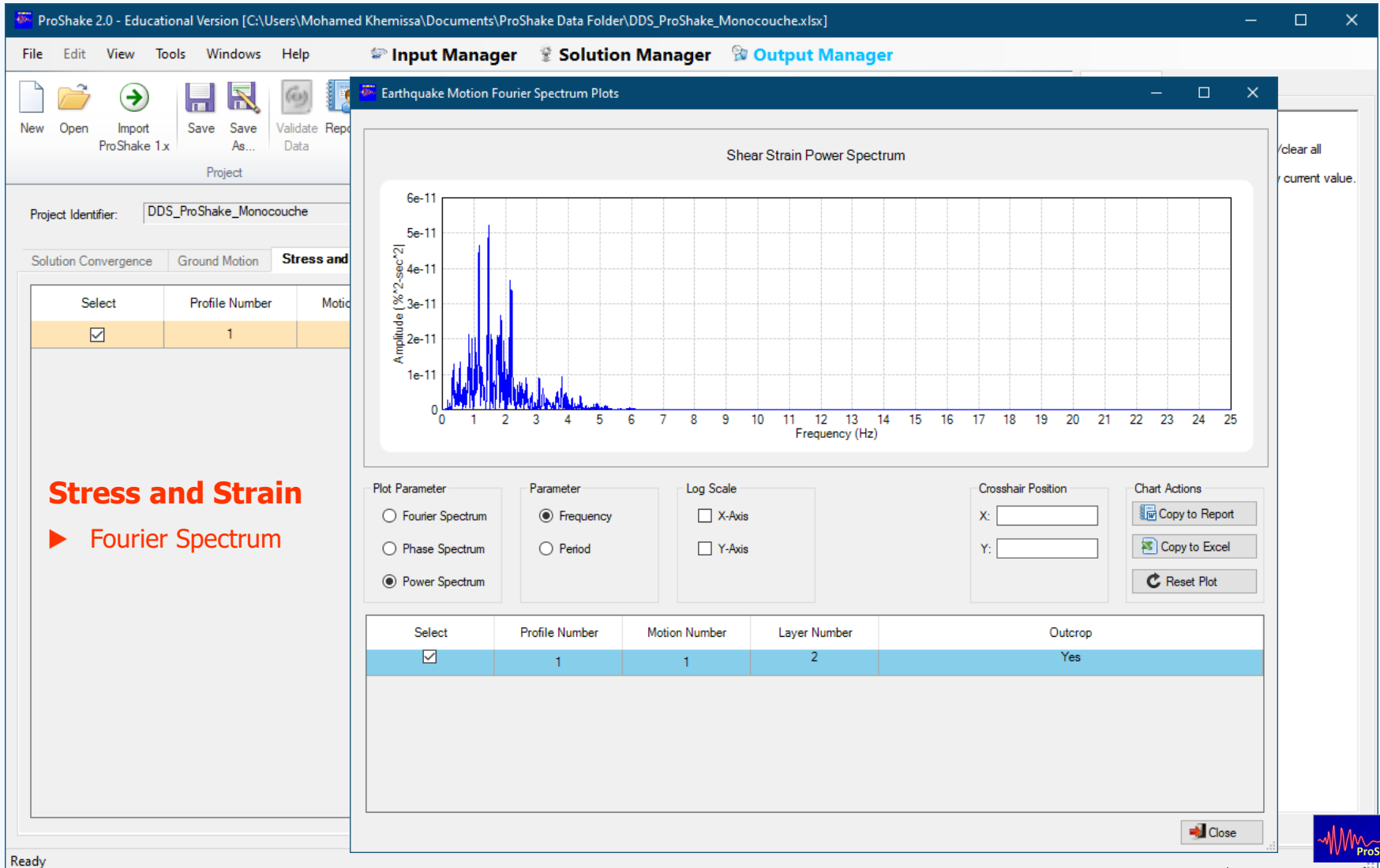
OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

OUTPUT MANAGER

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** **Solution Manager** **Output Manager**

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File Utilities About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analysis Date: 03/04/2024 15:25

Solution Convergence Ground Motion Stress and Strain **Depth Plots** Response Spectra Transfer Function Animation

Select	Profile Number	Motion Number
☒	1	1

Depth Plots

Plot...

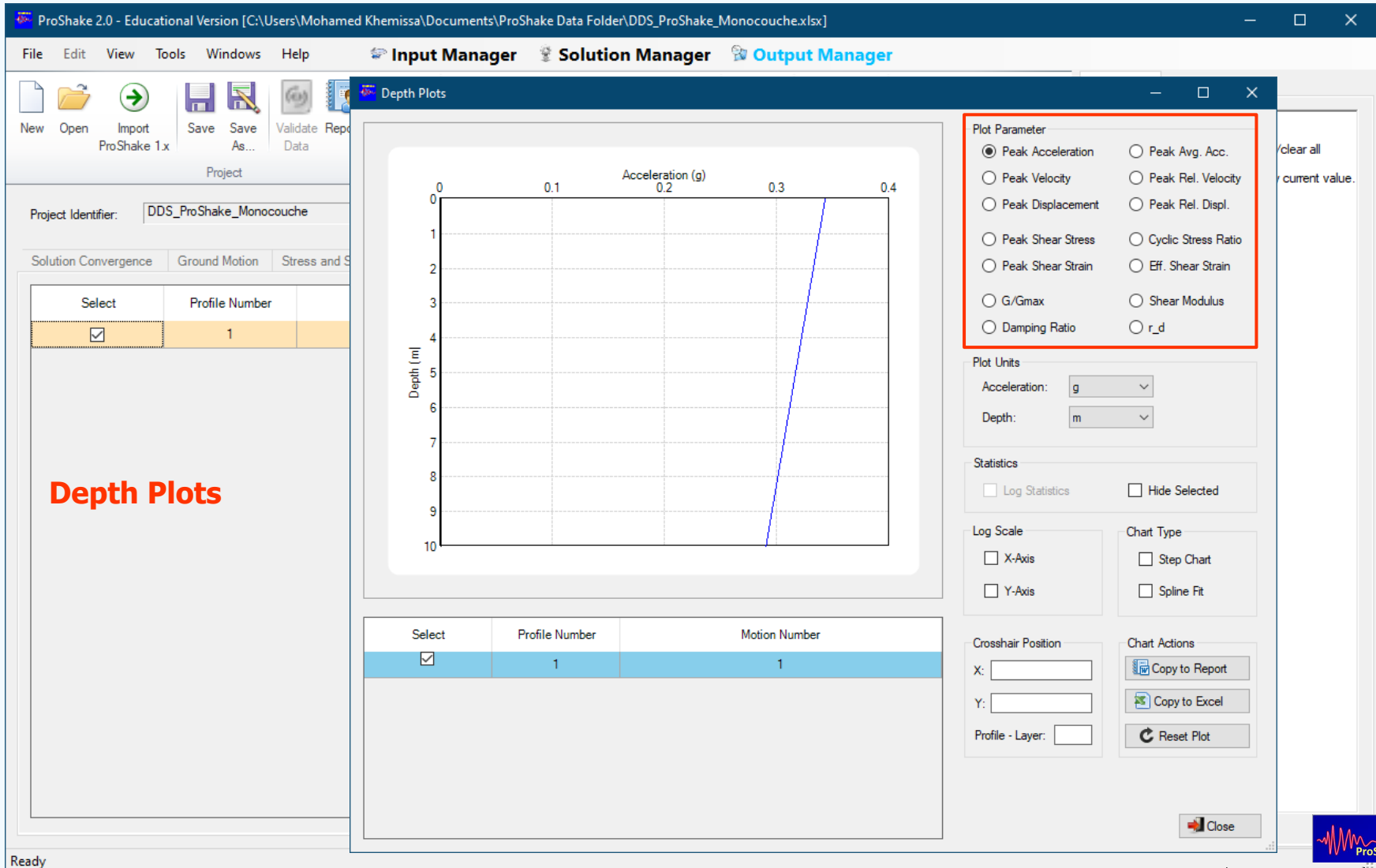
Messages

Left click column header to sort.
Right click Select column to select/clear all
Right click other columns to filter by current value.

Ready

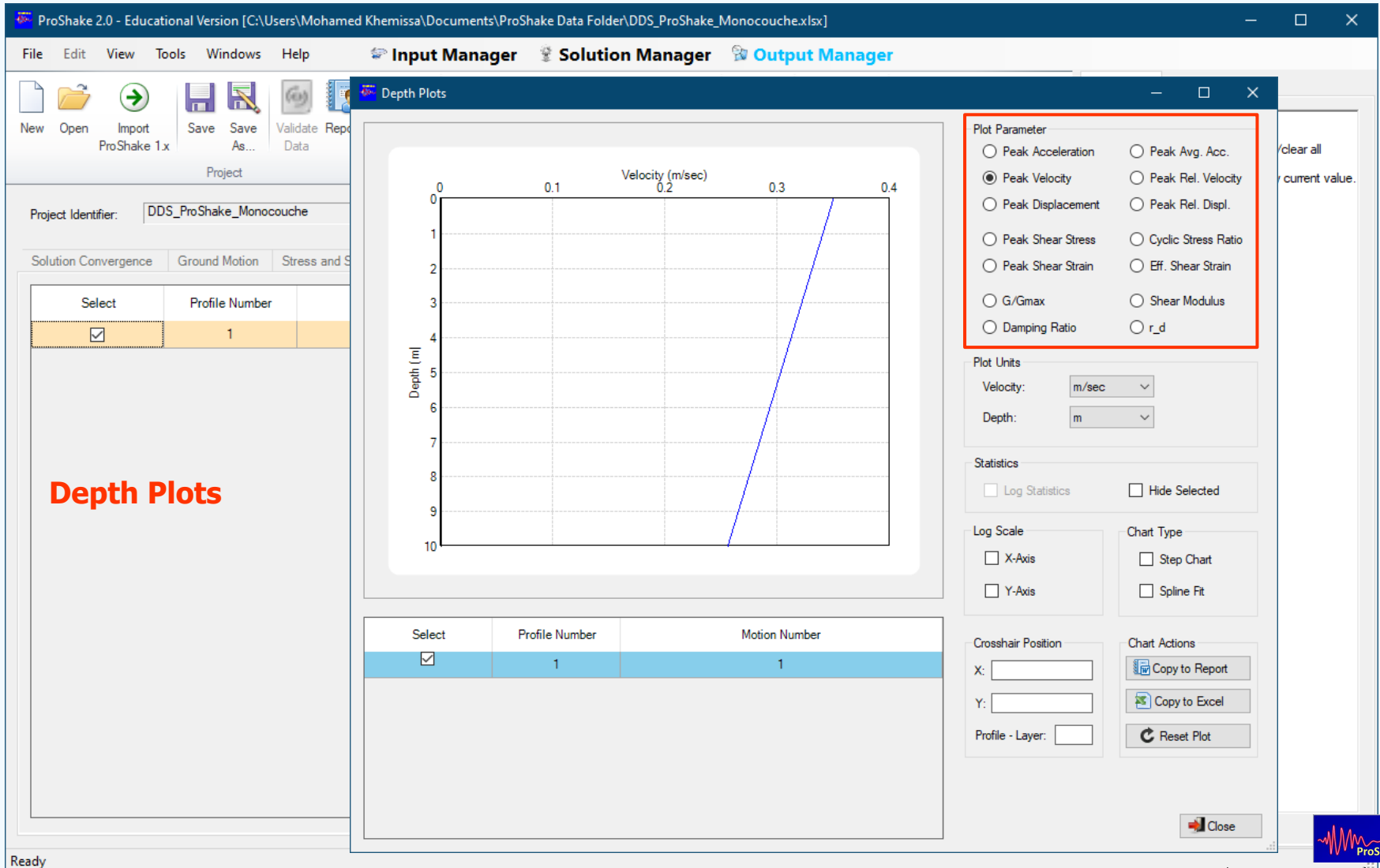
ProShake 2.0

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



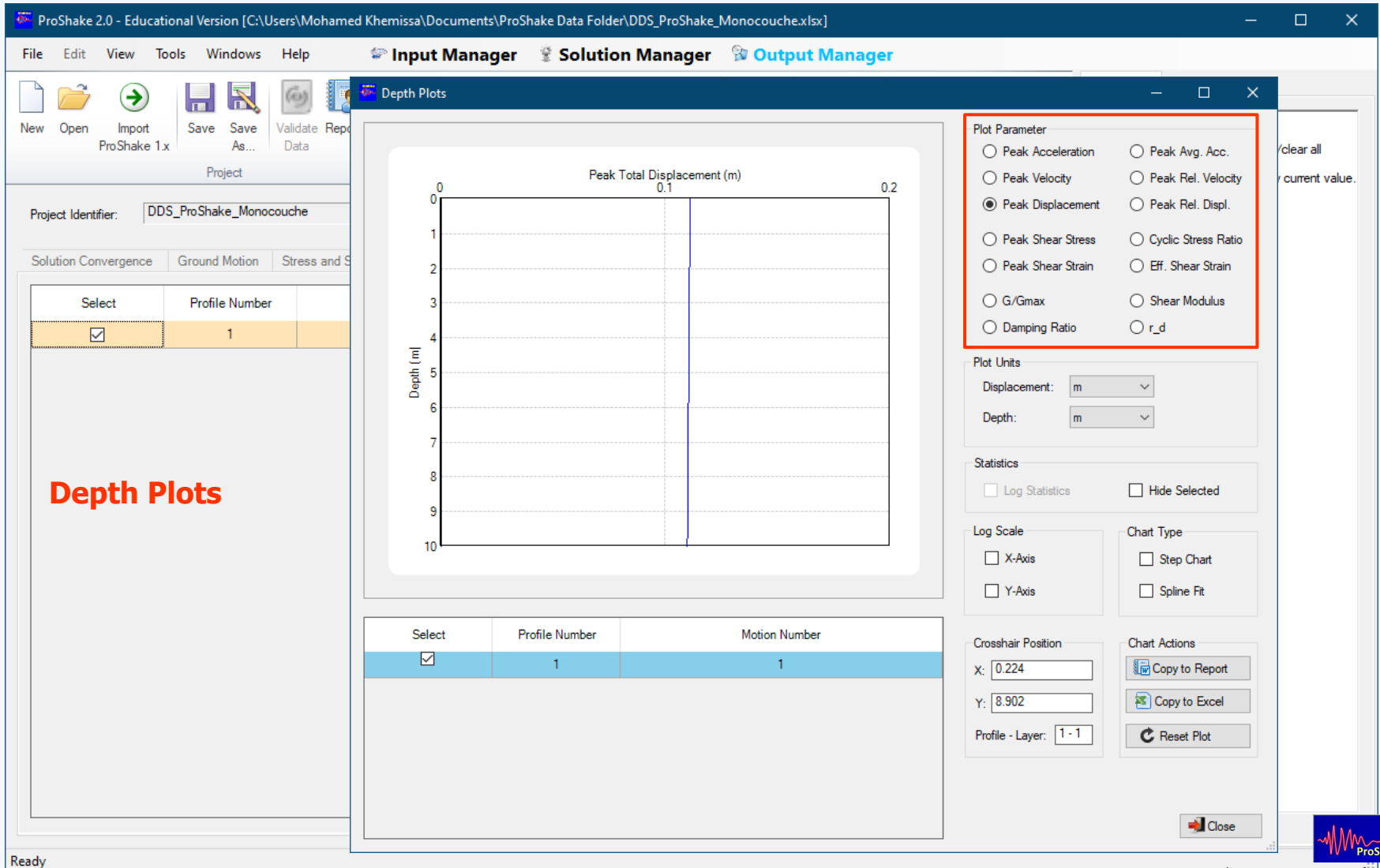
OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



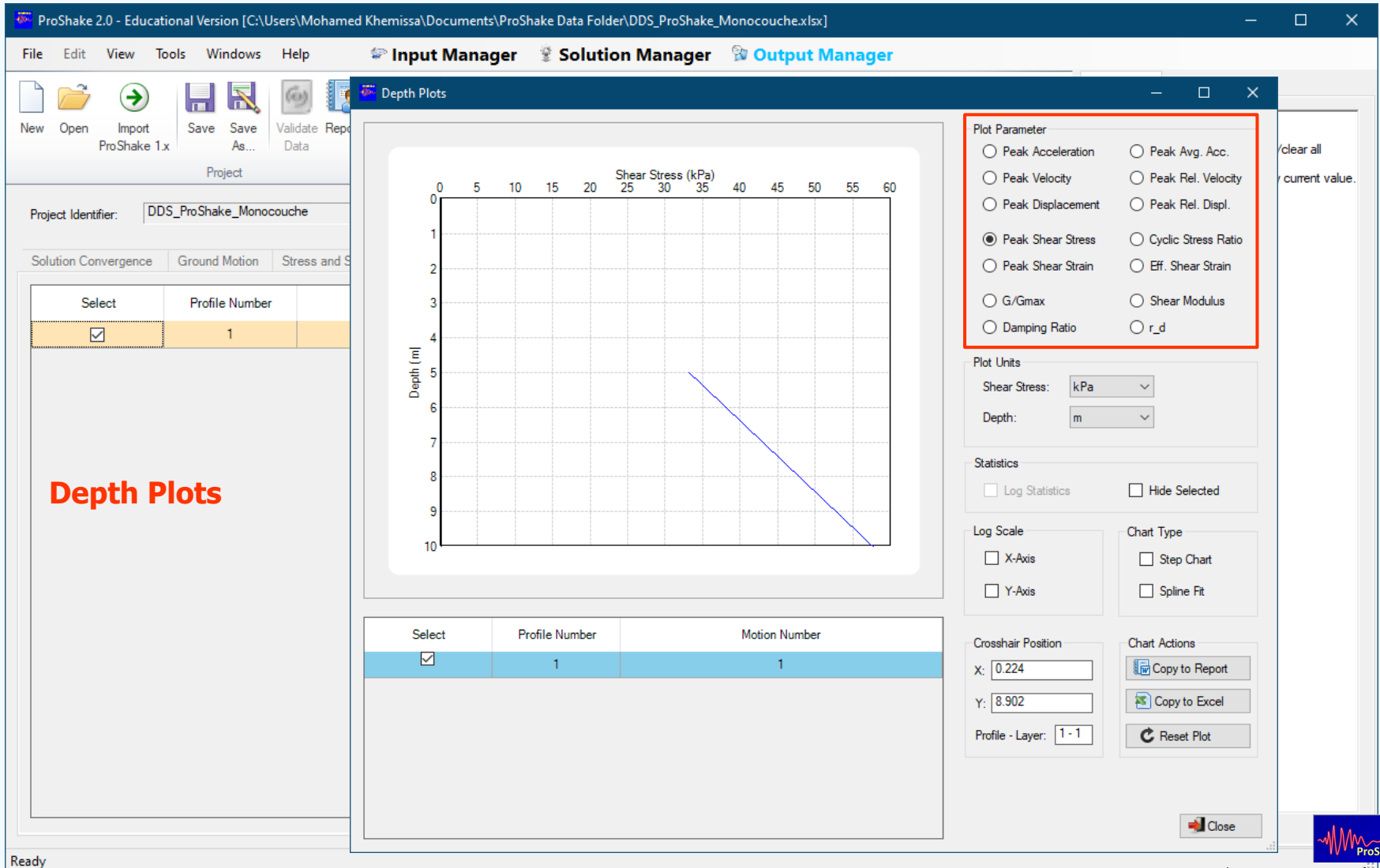
OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

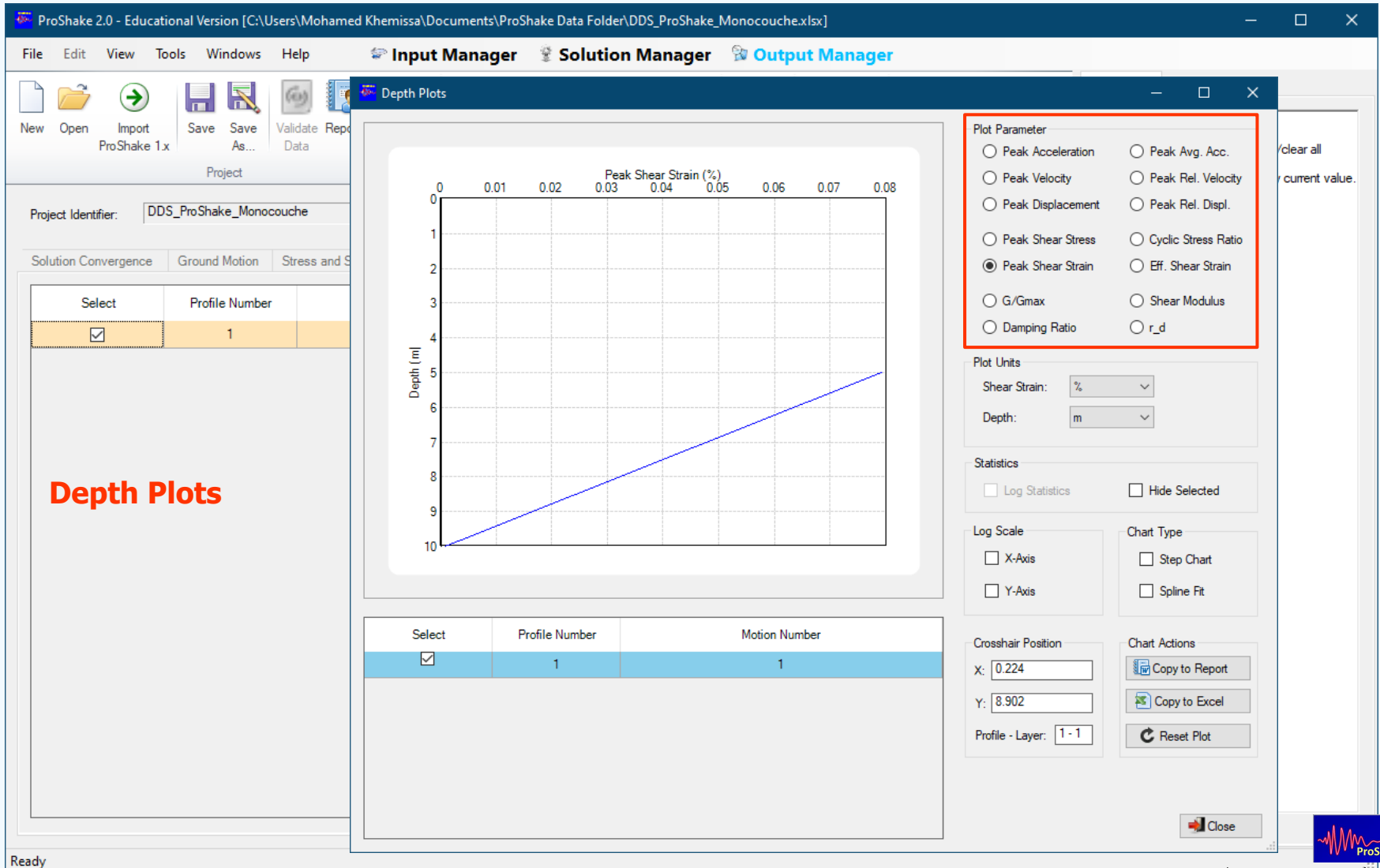


OUTPUT
MANAGER

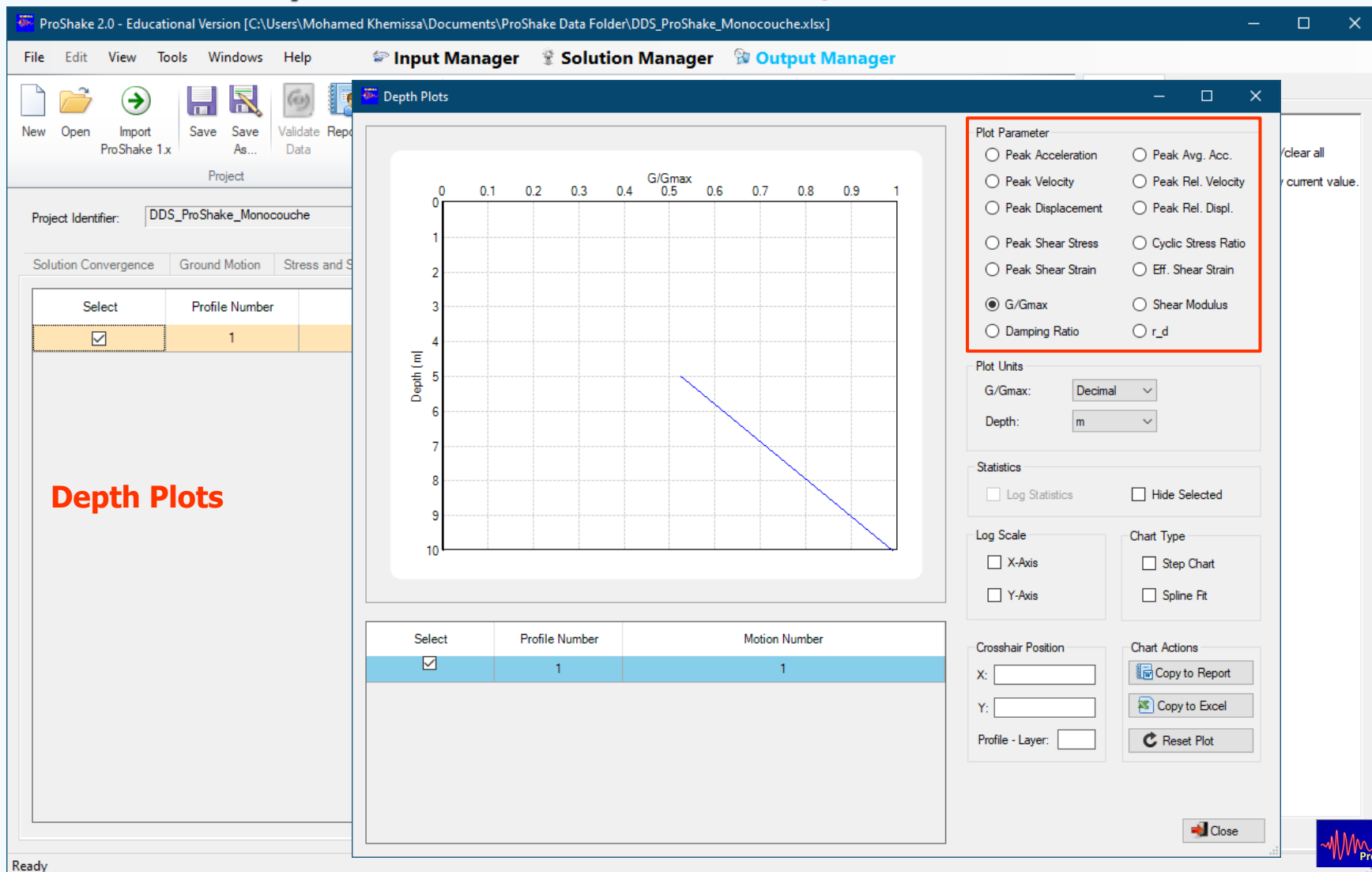
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



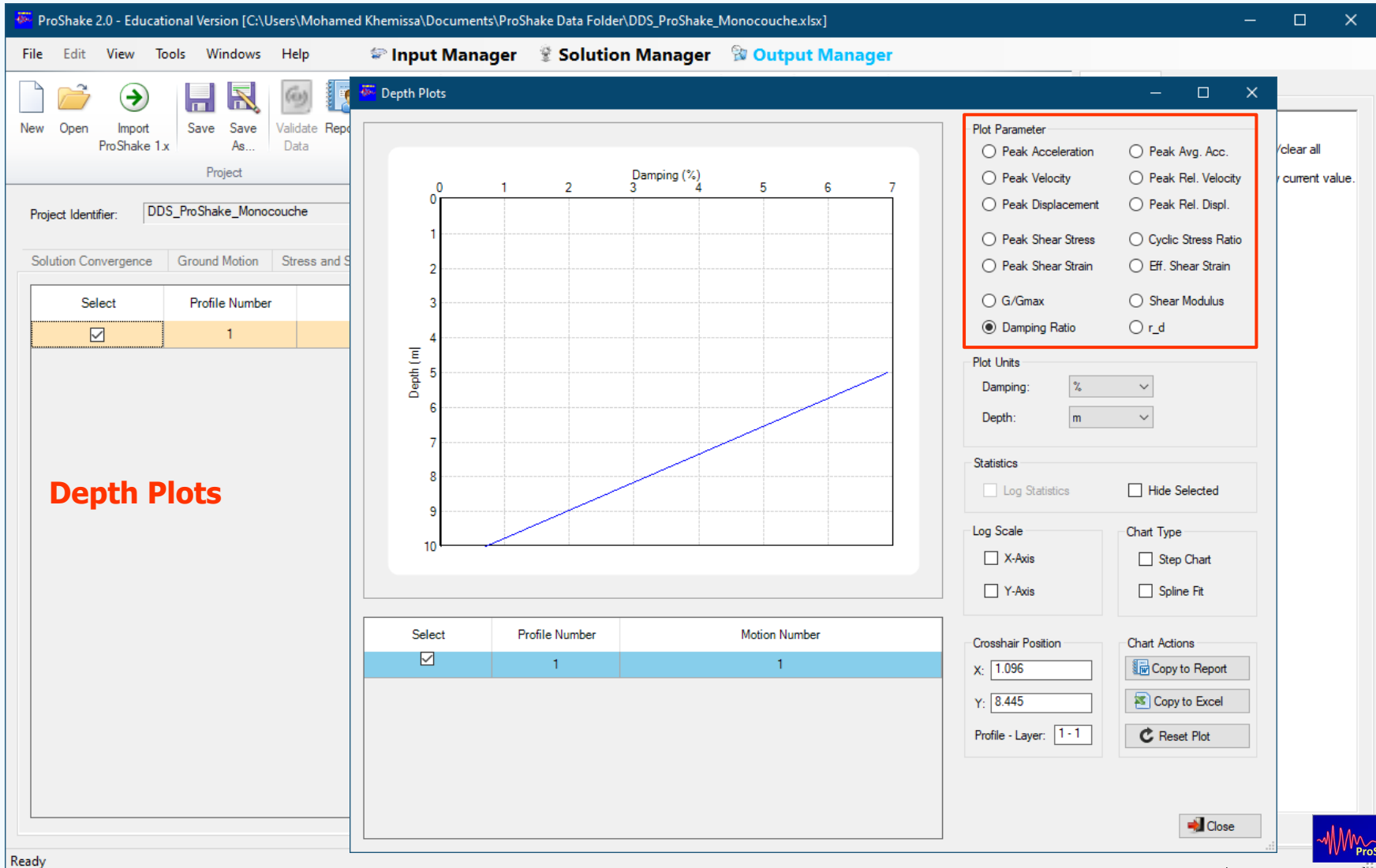
Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

ProShake 2.0 - Educational Version [C:\Users\Mohamed Khemissa\Documents\ProShake Data Folder\DDS_ProShake_Monocouche.xlsx]

File Edit View Tools Windows Help Input Manager Solution Manager Output Manager

New Open Import ProShake 1.x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File Utilities About Help

Project Identifier: DDS_ProShake_Monocouche Analysis Date: 03/04/2024 15:25

Solution Convergence Ground Motion Stress and Strain Depth Plots Response Spectra **Transfer Function** Animation

Select	Profile Number	Motion Number	Layer A	Outcrop A	Layer B
☒	1	1	1	☒	2

Transfer Function

Number of Freq.: 201.00
Frequency Step: 0.10

$$H(f) = \frac{\ddot{u}_A(f)}{\ddot{u}_B(f)}$$

Plot...

Messages

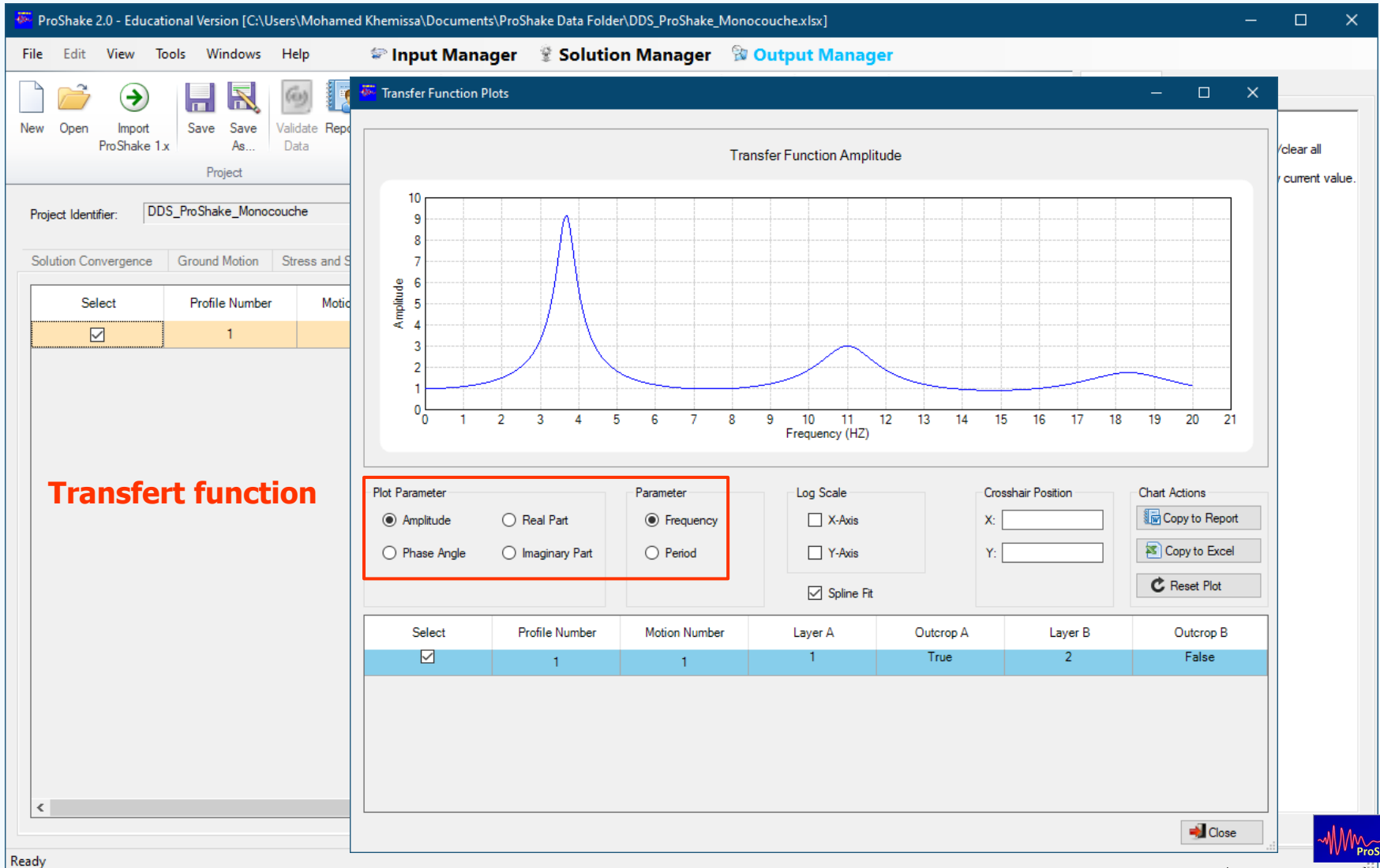
Left click column header to sort.
Right click Select column to select/clear all
Right click other columns to filter by current value.

Ready

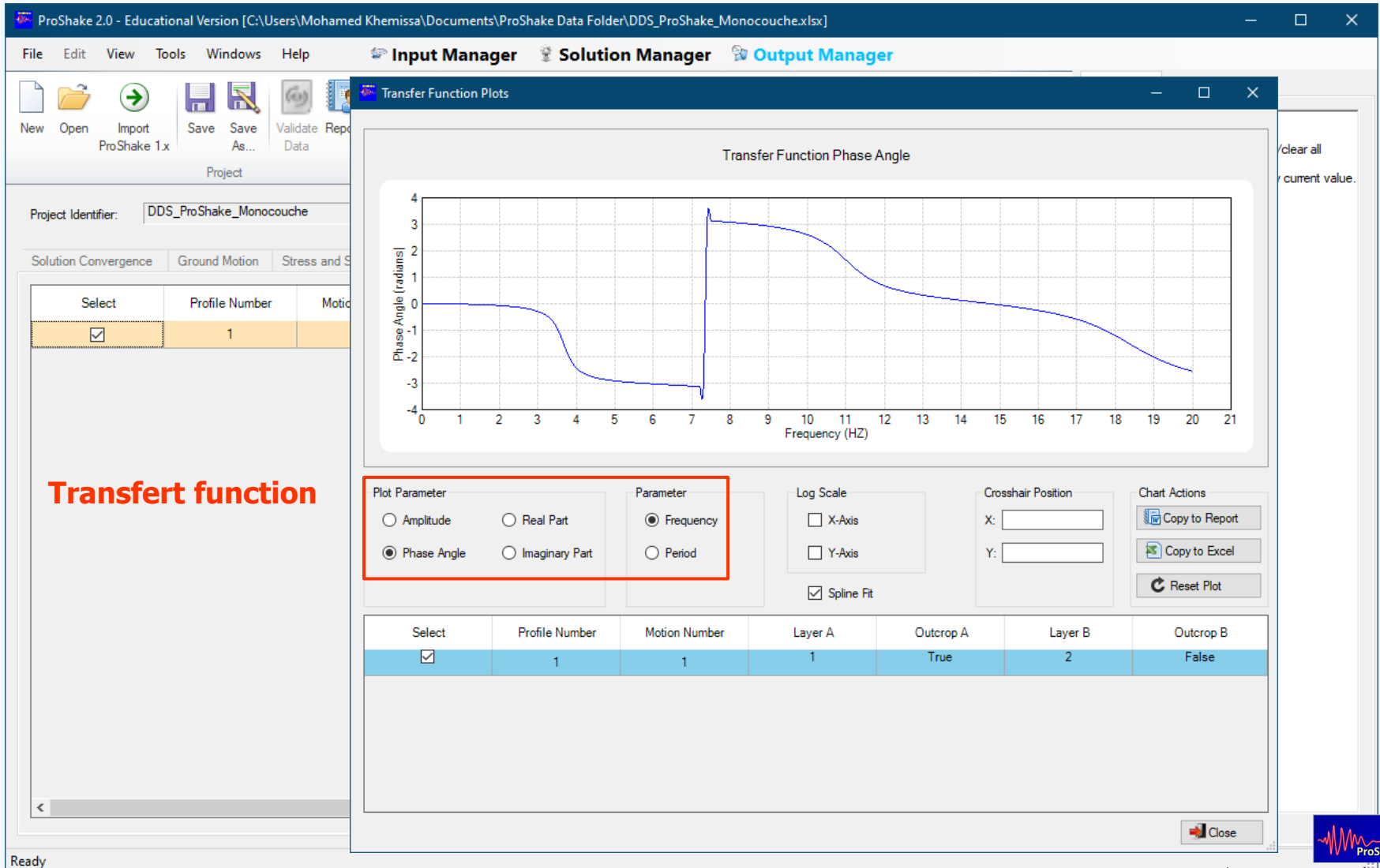
ProShake 2.0

Transfert function

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur

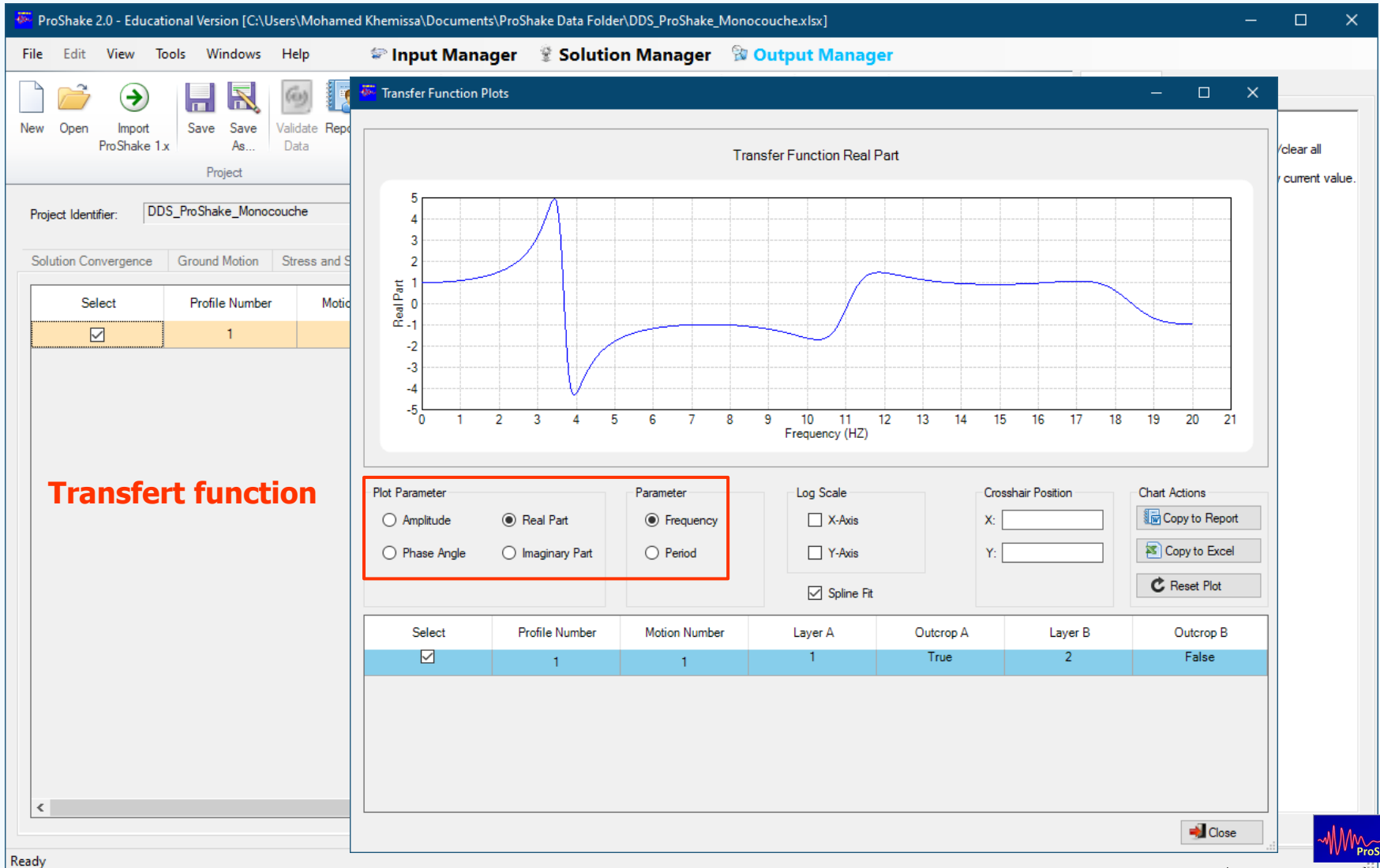


Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



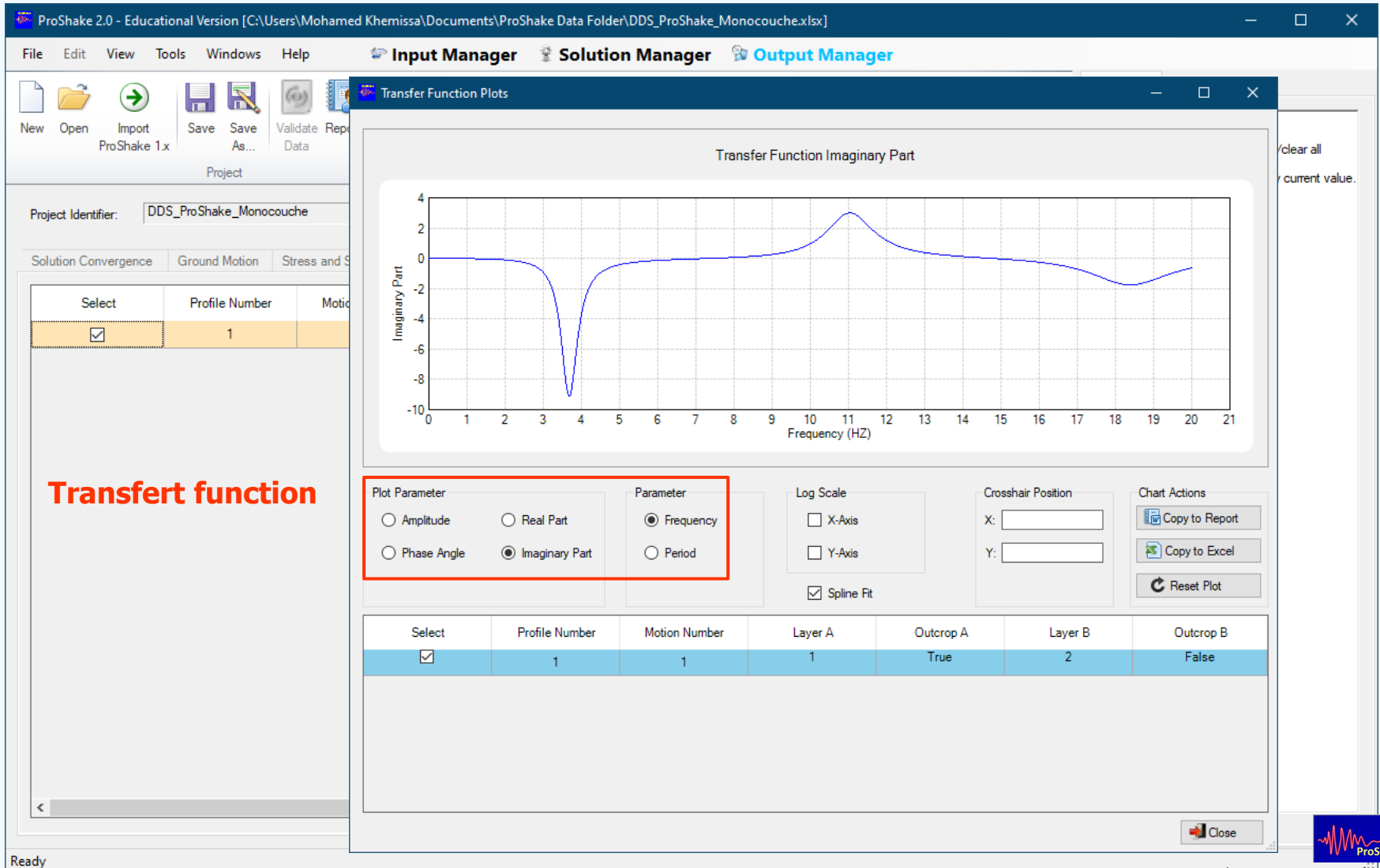
OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



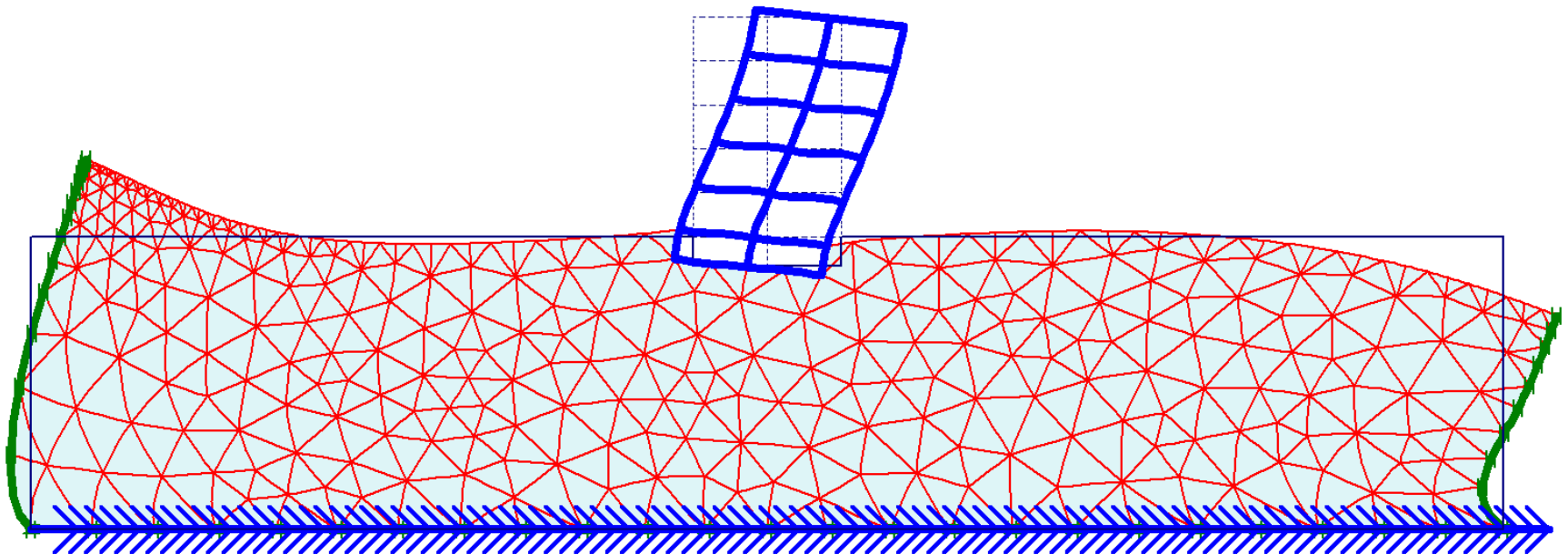
OUTPUT
MANAGER

Exemple : Massif sableux homogène en profondeur



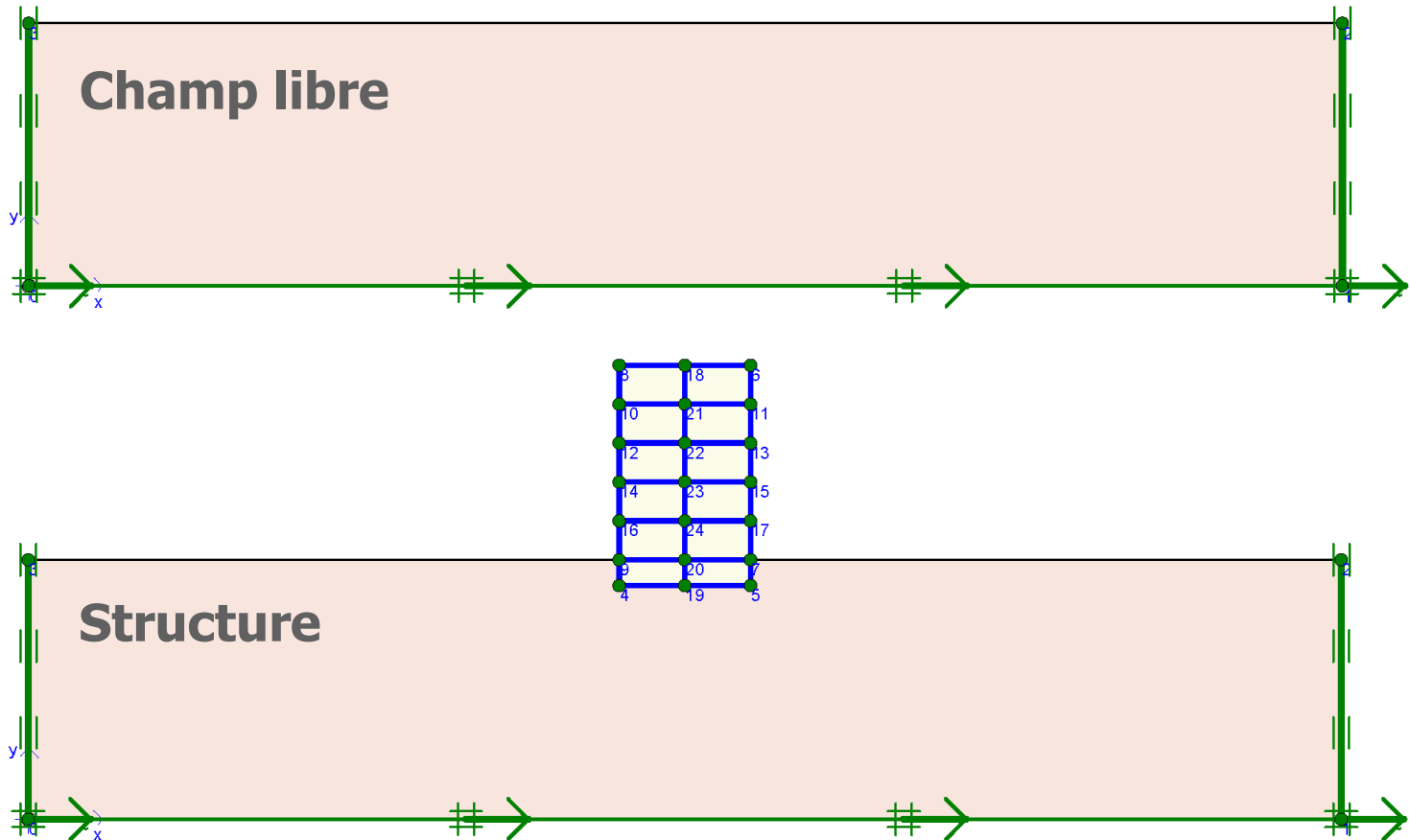


EXEMPLE N° 3 : INTERACTION SOL-STRUCTURE



Exemple n°: 3

- Modèle de calcul : Bâtiment R+4 avec vide sanitaire**



Exemple n°: 3

- Modèle de calcul : Caractéristiques du massif de fondation**

Material sets

Mohr-Coulomb - Massif de fondation

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification: Massif de fondation

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

γ_{unsat} 16.000 kN/m³

γ_{sat} 18.000 kN/m³

Comments

Permeability

k_x : 1.157E-08 m/s

k_y : 1.157E-08 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Exemple n°: 3

- Modèle de calcul : Caractéristiques du massif de fondation**

Material sets

Mohr-Coulomb - Massif de fondation

General Parameters Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 1.000E+04 kN/m²

ν (nu) : 0.350

Strength

c_{ref} : 5.000 kN/m²

ϕ (phi) : 25.000 °

ψ (psi) : 0.000 °

Alternatives

G_{ref} : 3703.704 kN/m²

E_{oed} : 1.605E+04 kN/m²

Velocities

V_s : 47.630 m/s

V_p : 99.150 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

❑ Exemple n°: 3

- **Modèle de calcul : Caractéristiques du massif de fondation**

Material sets

Mohr-Coulomb - Massif de fondation

General | Parameters | Interfaces

Strength

☐ Rigid

☒ Manual

R_{inter} : 0.500

Real interface thickness

δ_{inter} : 0.000

Next Ok Cancel Help

Exemple n°: 3

- Modèle de calcul : Caractéristiques de la structure**

Material sets

Global >>>

Project Database

Plate properties

Material set

Identification: Structure

Material type: Elastic

Comments

Properties

EA : 5.000E+06 kN/m

EI : 9000.000 kNm²/m

d : 0.147 m

w : 5.000 kN/m/m

v : 0.000

M_p : 1.000E+15 kNm/m

N_p : 1.000E+15 kN/m

Rayleigh α : 0.010

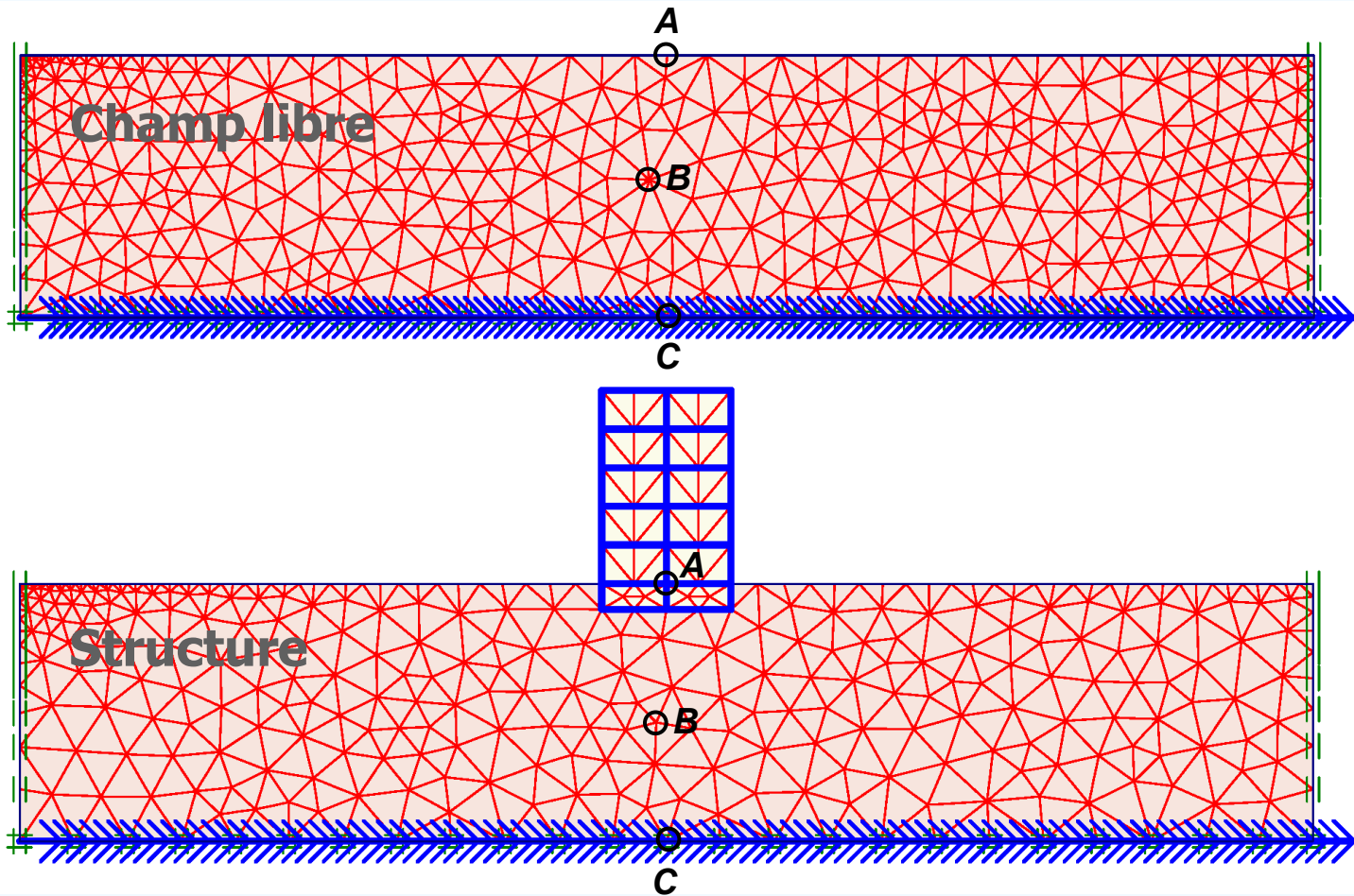
Rayleigh β : 0.010

Ok Cancel Help

OK Apply Help

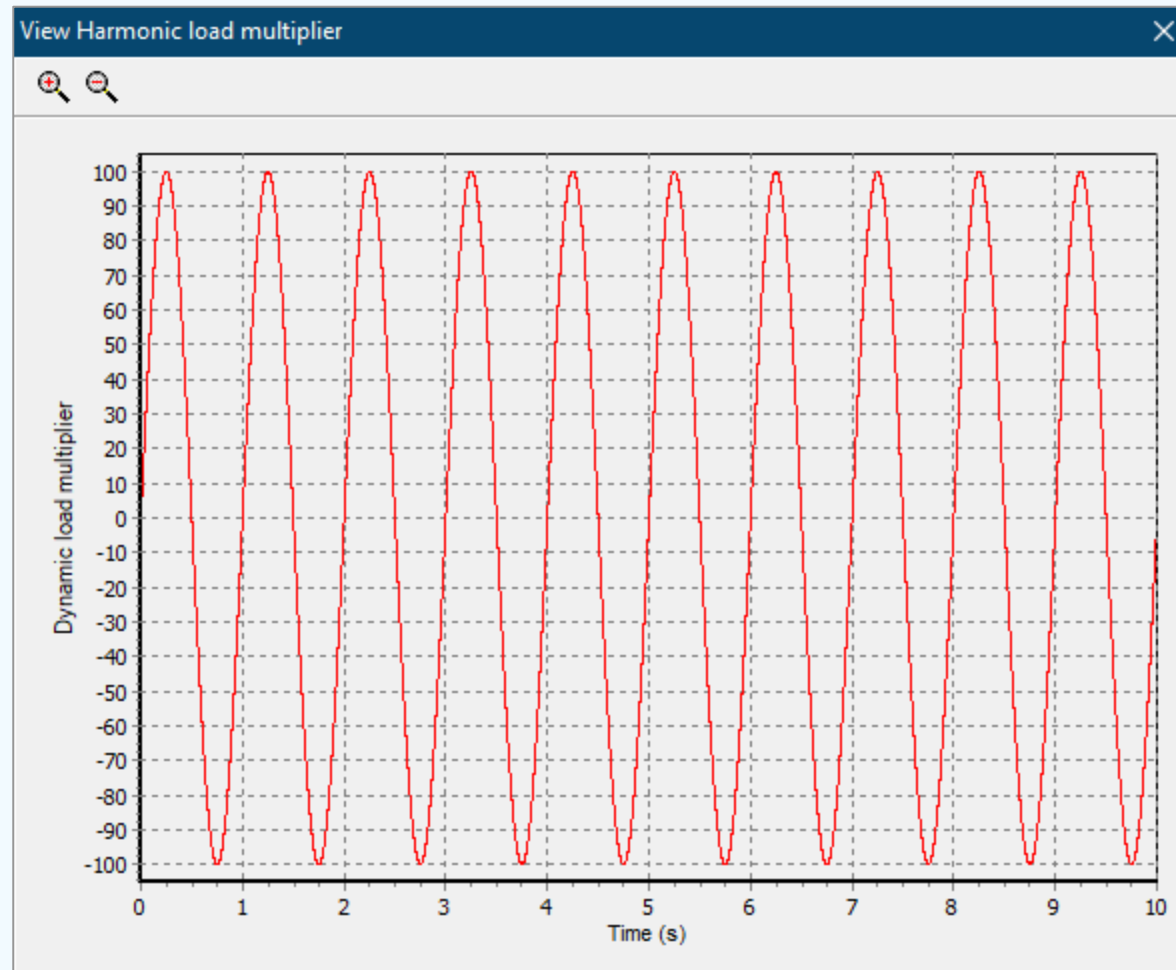
Exemple n°: 3

- Modèle de calcul : Maillage en éléments finis**



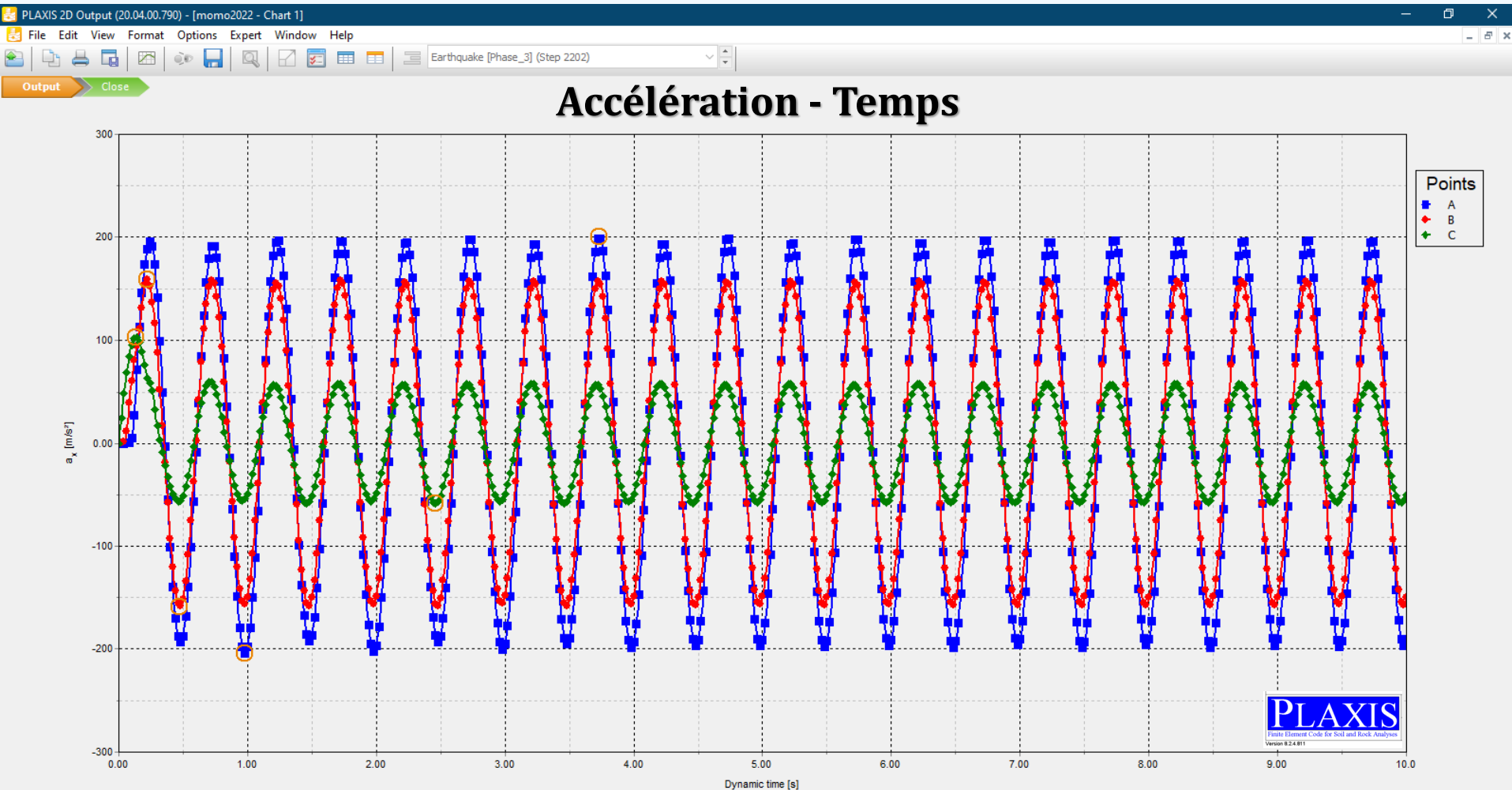
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration harmonique : Multiplicateur du chargement dynamique**



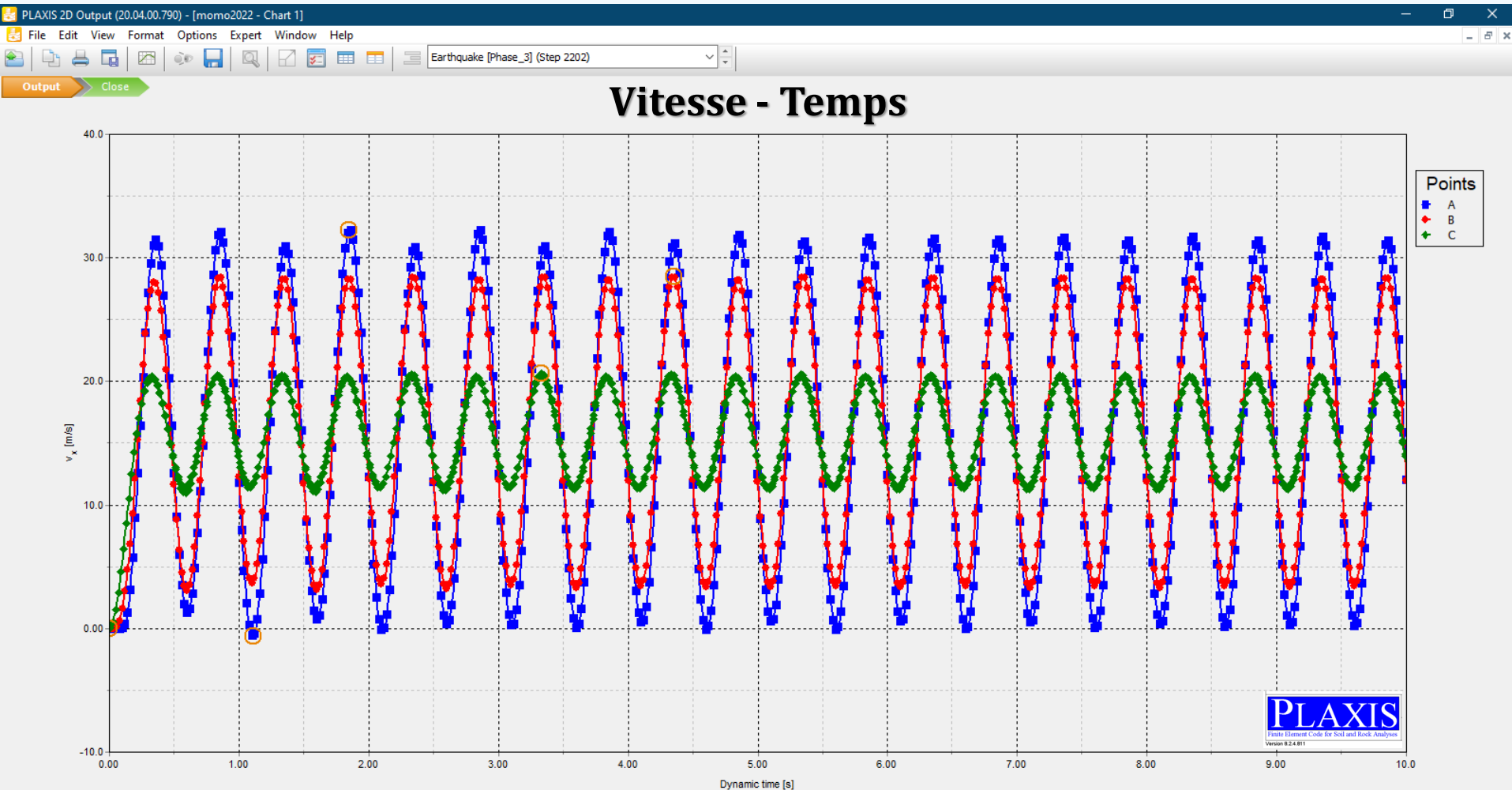
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration harmonique : Résultats des calculs**



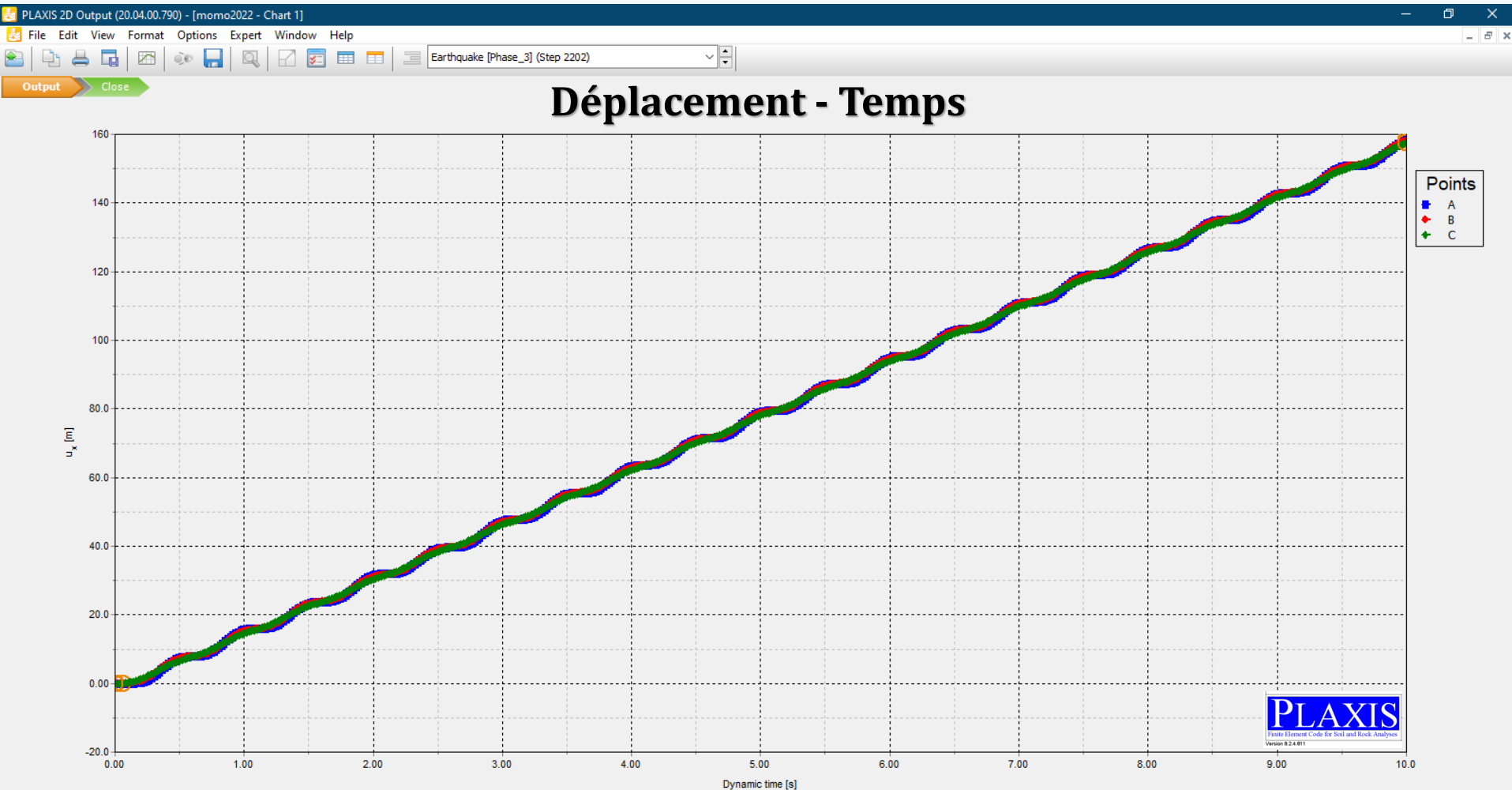
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration harmonique : Résultats des calculs**



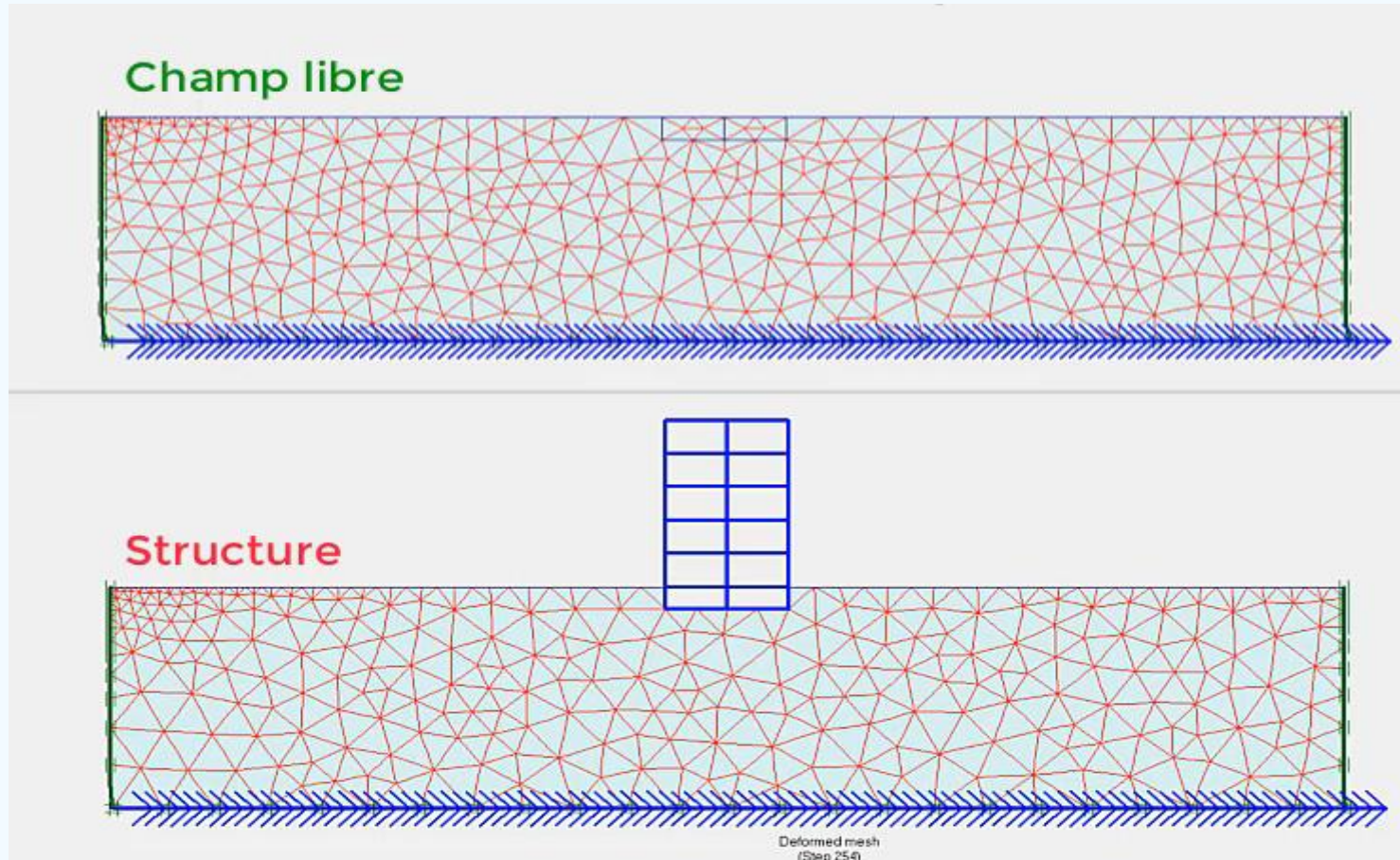
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration harmonique : Résultats des calculs**



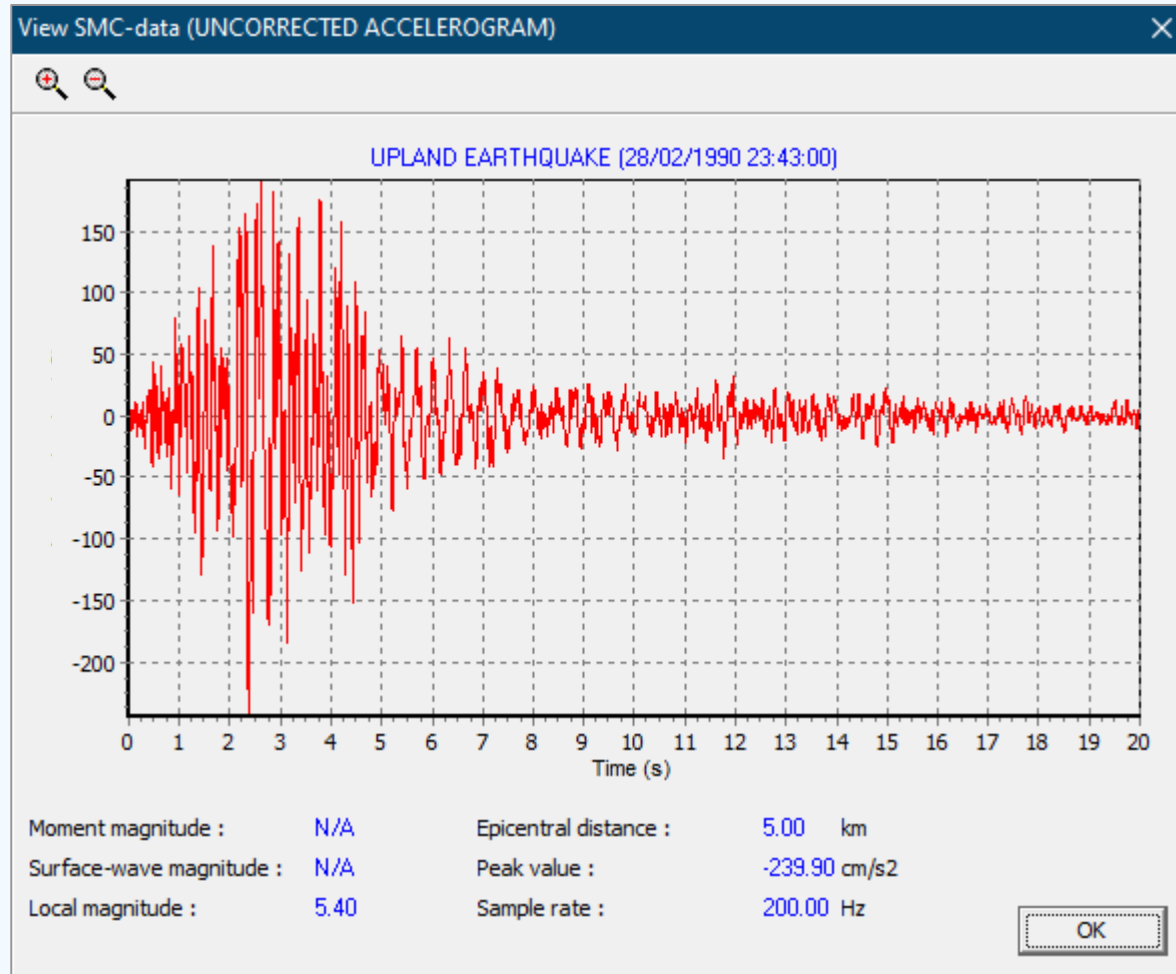
□ Exemple n°: 3

- **Cas d'une vibration harmonique : Animation**



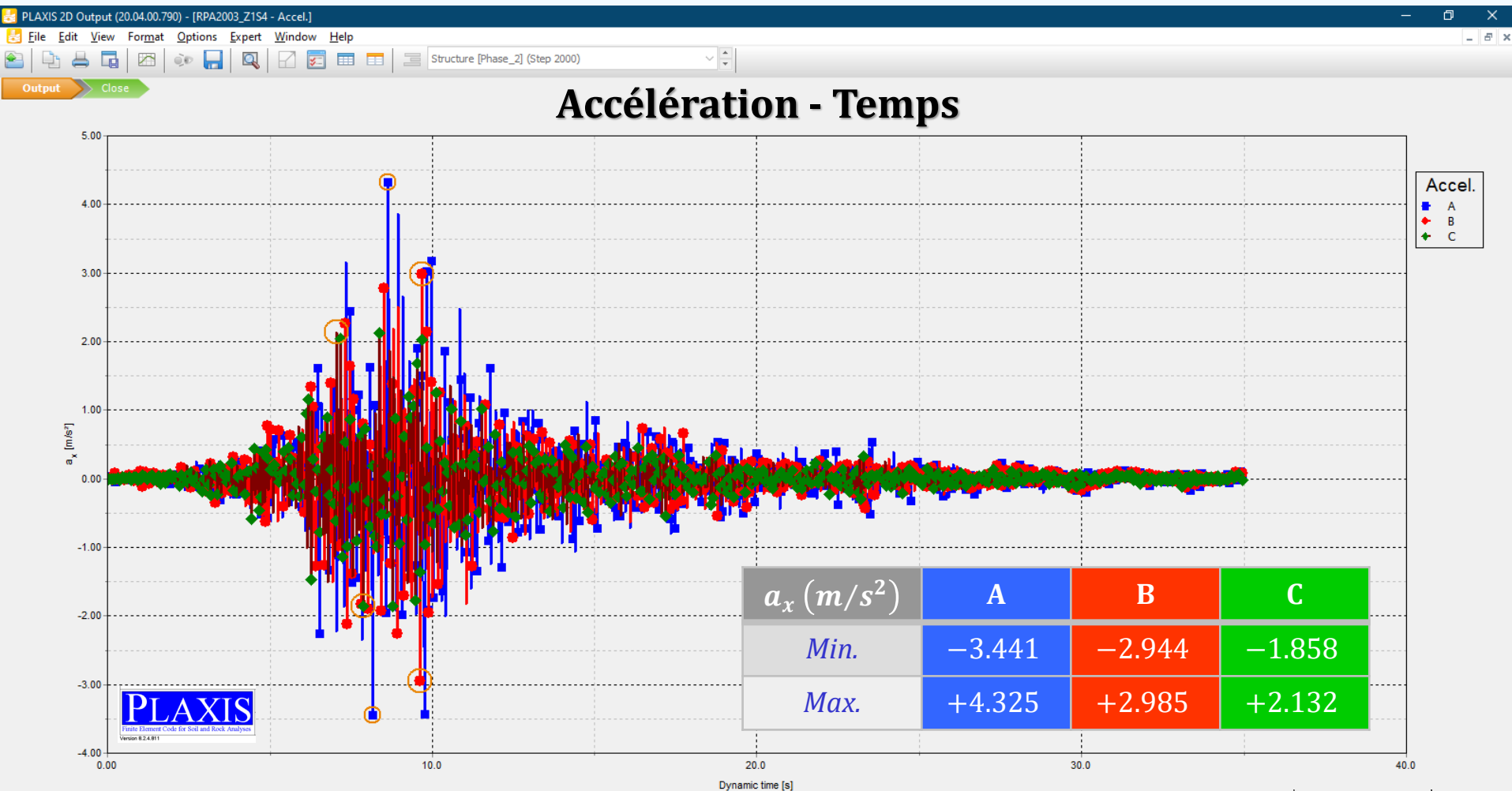
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration sismique : Séisme d'Upland-California, USA**



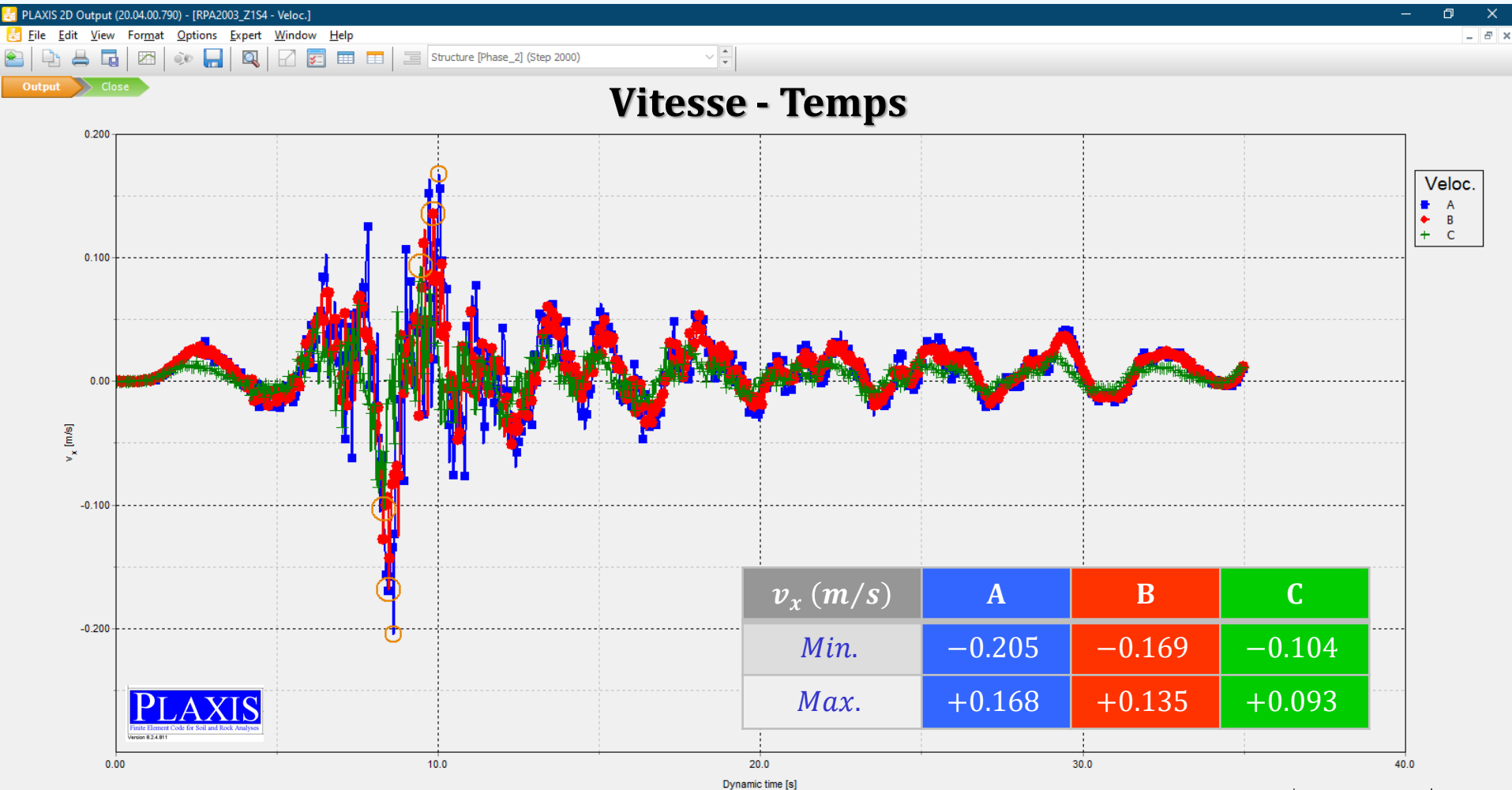
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration sismique : Résultats des calculs**



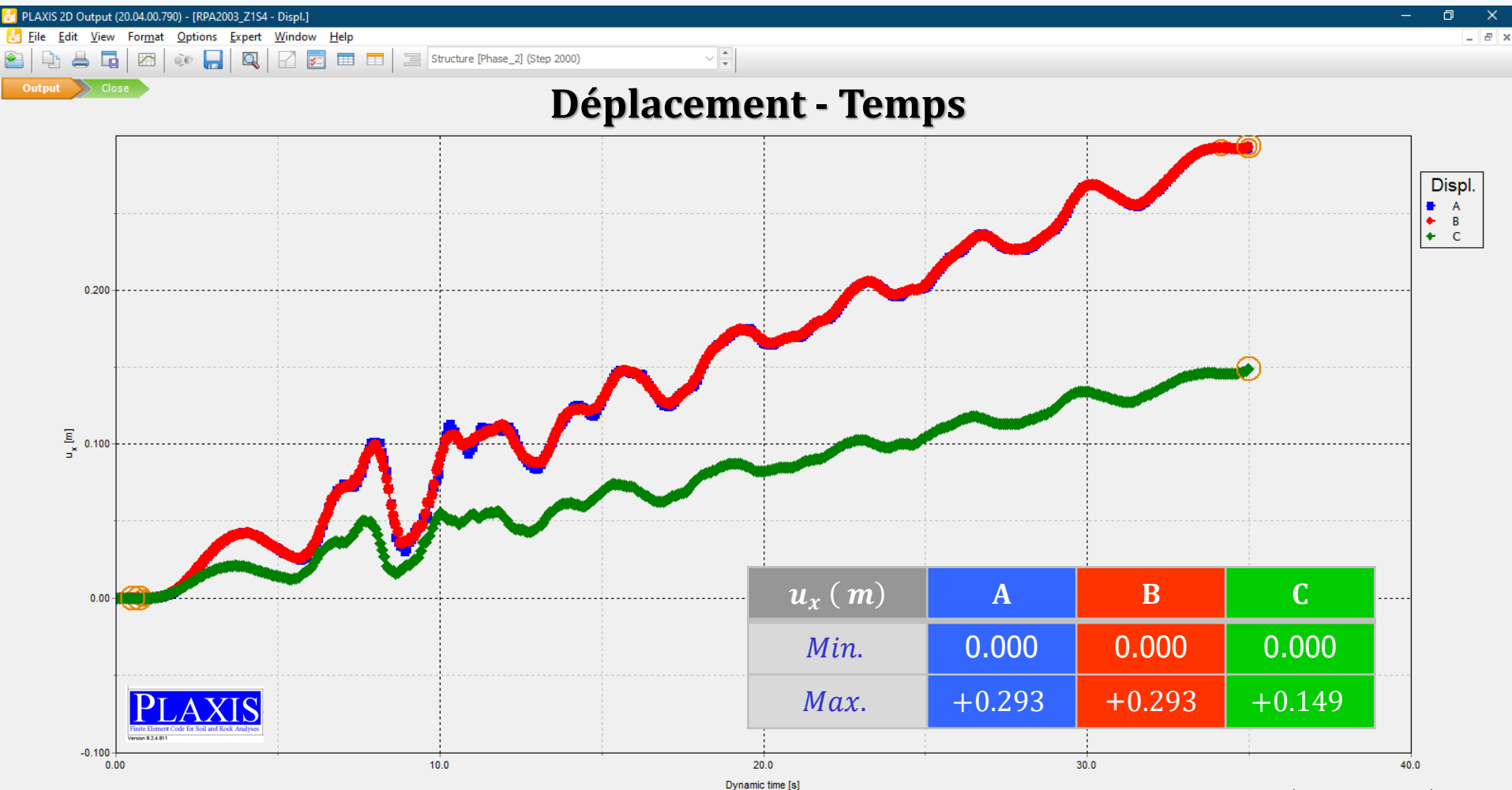
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration sismique : Résultats des calculs**



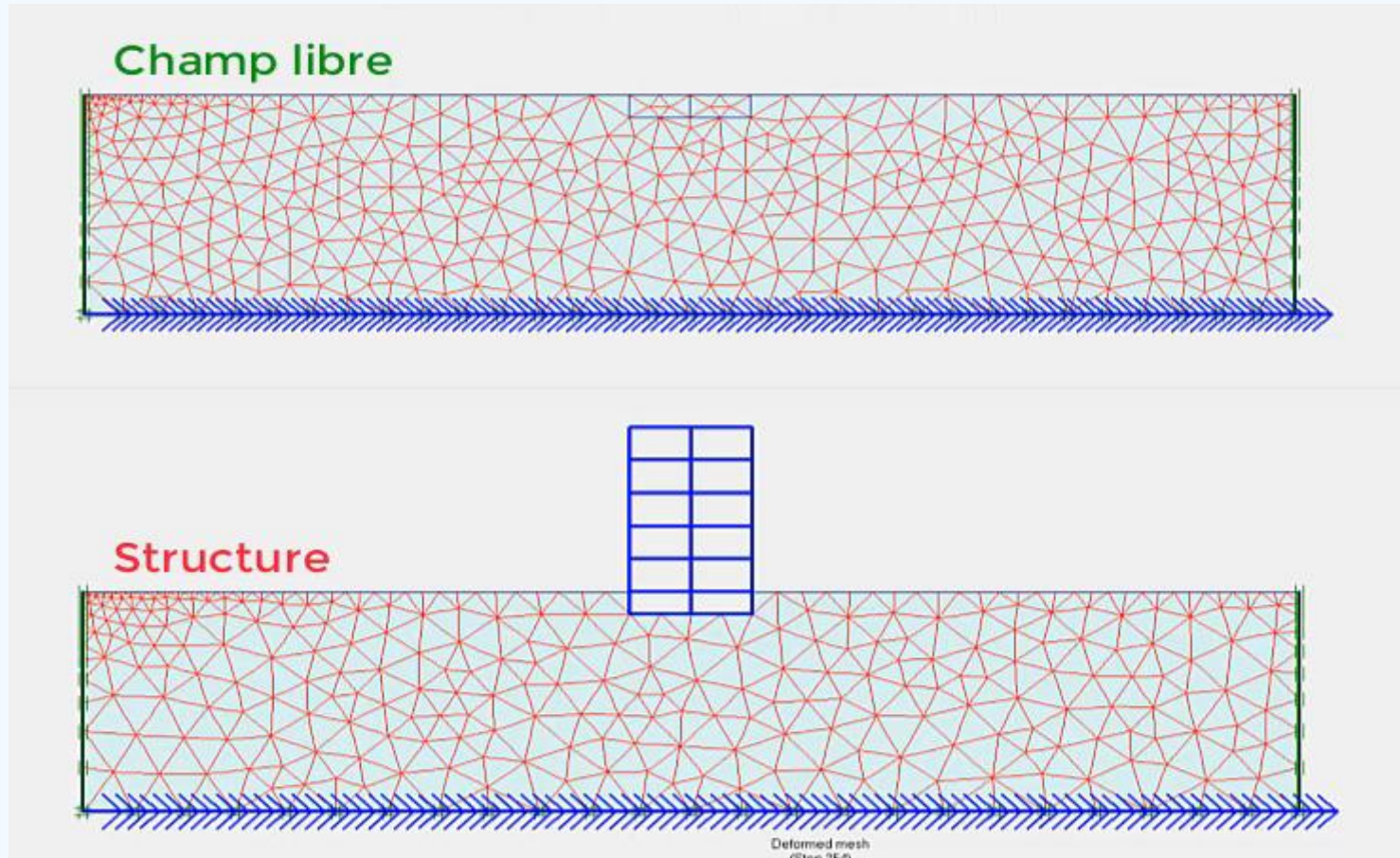
Exemple n°: 3

- Cas d'une vibration sismique : Résultats des calculs**



❑ Exemple n°: 3

- **Cas d'une vibration sismique : Animation**



Merci de votre attention

Fin du Chapitre Quatre