POLYTECH NICE SOPHIA

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Mécanique des solides

1. Modéliser le comportement des matériaux

Reine Fares reine.fares@cea.fr

Cours de Modélisation par Abaqus

- Comportement cyclique des matériaux
  - Élément cubique unitaire pour tester les lois de comportement
- Poutre 1D appuyée et encastrée
  - Données : géométrie, charges, matériau, conditions aux limites
  - Résultats : flèche, contrainte max, réactions
- Déformées modales d'une structure
  - Premiers modes de vibration et masses associées
- Réservoir d'eau en décélération
  - Données : géométrie, matériau, charges statiques et linéaire
  - Résultats : déplacement dans le temps, distribution vide/matériel
- Poutre 3D en béton armé
  - Géométrie 3D, éléments finis solides

Tenseurs de contrainte

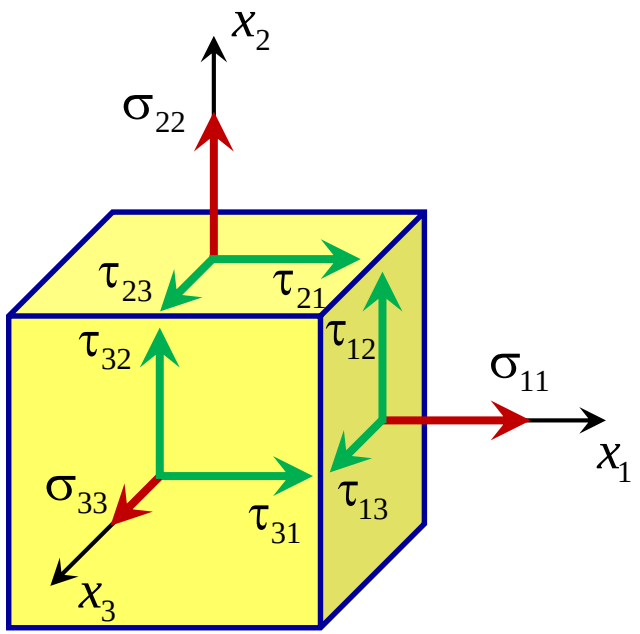
- Le tenseur de contrainte dépend du repère choisi
- Les contraintes dans les facettes positives sont positives selon la direction des axes
- Pression : contrainte négative
- **Tenseur de contrainte :** matrice symétrique $\tau_{ij} = \tau_{ji}$, unité de mesure [N/m^2]

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ \tau_{21} & \sigma_{22} & \tau_{23} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

- **Vecteur de contrainte :**

$$\boldsymbol{\sigma} = \left[\sigma_{11} \quad \sigma_{22} \quad \sigma_{33} \;\vdots\; \tau_{23} \quad \tau_{13} \quad \tau_{12} \right]^T$$

Normales **Tangentielles**



Tenseurs de déformation

- **Matrice de déformation :** matrice symétrique $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$

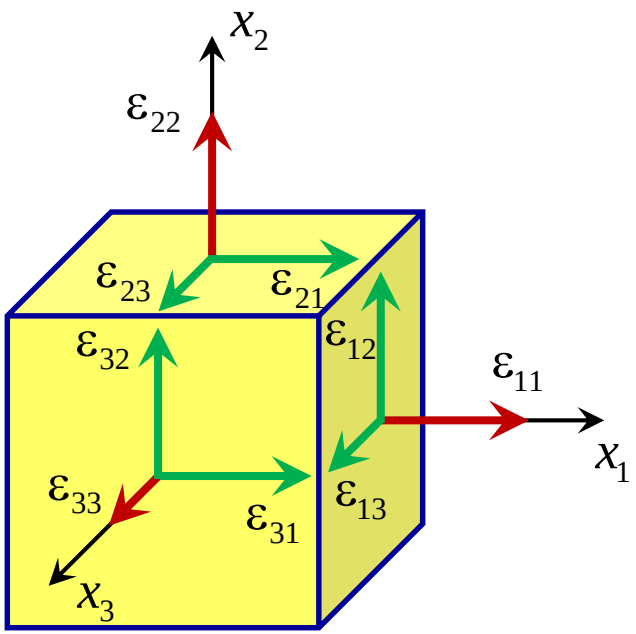
$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}$$

- **Vecteur de déformation**

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \left[\varepsilon_{11} \quad \varepsilon_{22} \quad \varepsilon_{33} \;\vdots\; \gamma_{23} \quad \gamma_{13} \quad \gamma_{12} \right]^T$$

Axiales **De cisaillement**

$$\gamma_{ij} = 2\varepsilon_{ij}$$

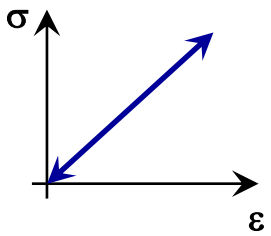


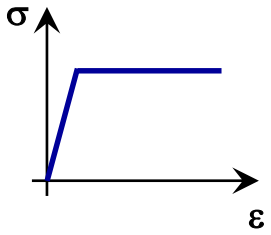
Types de comportement 1/4

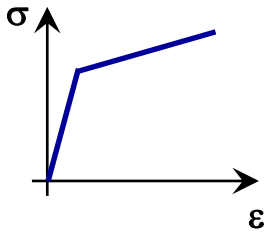
- Modélisation du comportement d'un matériau : relation entre déformation et contrainte

- **Élastique linéaire**
- **Parfaitement plastique**
- **Plastique avec écrouissage**

$$\sigma = E\,\varepsilon$$







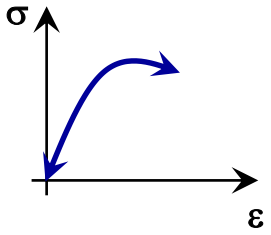
Types de comportement 2/4

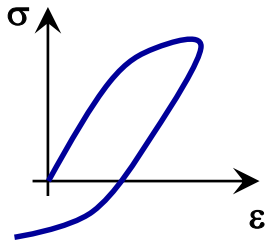
- Modélisation du comportement d'un matériau : relation entre déformation et contrainte

- **Élastique non linéaire**

- **Plastique non linéaire**

$$\Delta\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{E}\,\Delta\boldsymbol{\varepsilon}$$



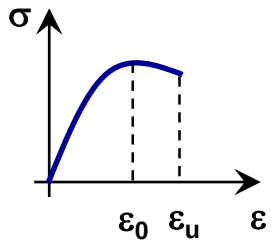


Types de comportement 3/4

- Comportement après la perte d'élasticité

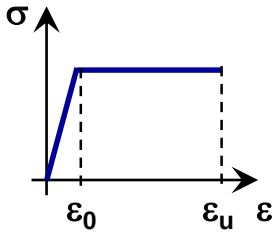
  - **Matériau fragile** $\varepsilon_u \square \varepsilon_0$

    Béton, Verre, Roche, Fonte



  - **Matériau ductile** $\varepsilon_u \square \varepsilon_0$

    Acier, Cuivre

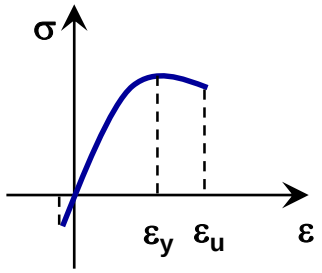


Types de comportement

- Comportement en traction et en compression

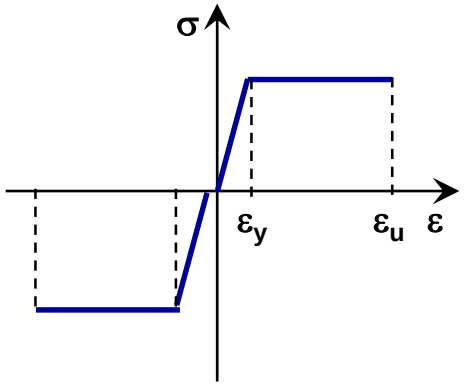
  - Asymétrique et fragile

    Béton, Roche



  - Symétrique et ductile

    Acier, Métaux



Matrice constitutive pour matériaux élastiques isotropes linéaires

- Paramètres à définir : **E**, **G**, ν

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{E}\,\boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \tau_{12} \\ \tau_{13} \\ \tau_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E(\nu-1)}{(\nu+1)(2\nu-1)} & \frac{-\nu E}{(\nu+1)(2\nu-1)} & \frac{-\nu E}{(\nu+1)(2\nu-1)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu E}{(\nu+1)(2\nu-1)} & \frac{E(\nu-1)}{(\nu+1)(2\nu-1)} & \frac{-\nu E}{(\nu+1)(2\nu-1)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu E}{(\nu+1)(2\nu-1)} & \frac{-\nu E}{(\nu+1)(2\nu-1)} & \frac{E(\nu-1)}{(\nu+1)(2\nu-1)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix}$$

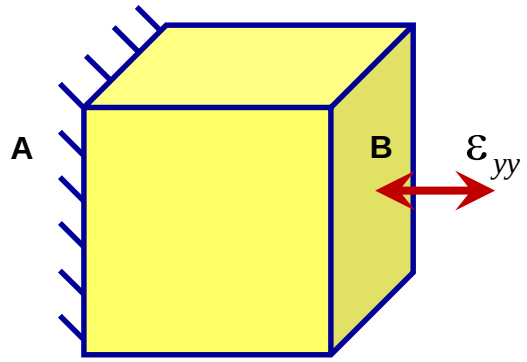
Loi de comportement 1/2

- **Données** : élément cubique unitaire pour tester les lois de comportement
  - Géométrie **3D** : 1 x 1 x 1 m
  - Matériau : acier (élastique-parfaitement plastique)

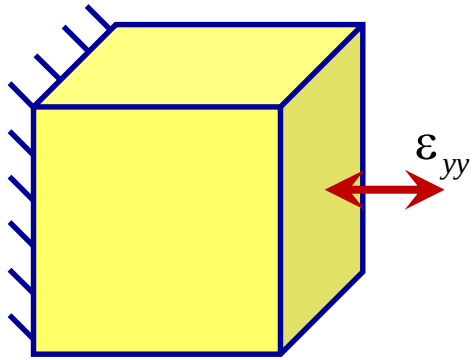
    Module de Young E = 210 10^9 N/m^2, Coefficient de Poisson ν = 0.3, Densité ρ = 8 t/m^3

    Perte d'élasticité : ε_y = 0.002, f_y = 450 N/mm^2

    Rupture : ε_u = 0.1, f_u = 540 N/mm^2
  - Conditions aux limites : A) u_y = 0, axe de symétrie x : u_z = 0, axe de symétrie z : u_x = 0
  - Contrôle en déformation : B) $u_y \neq 0$ (compression/traction)

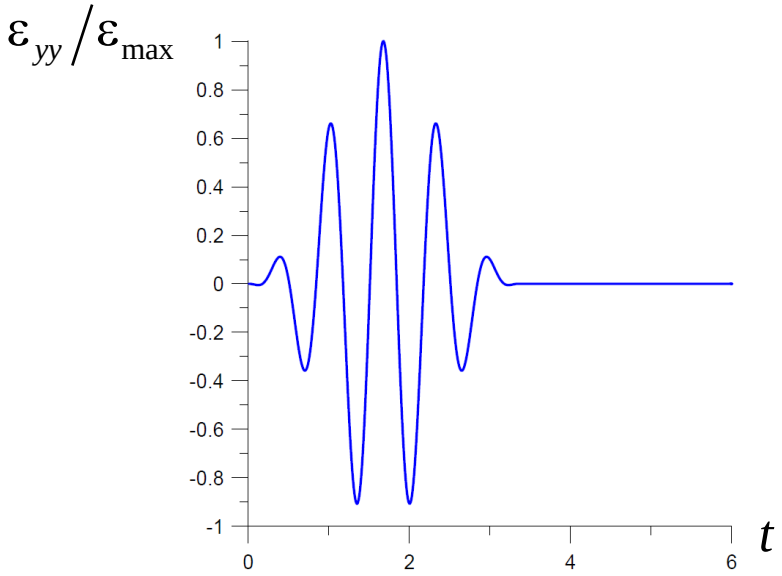


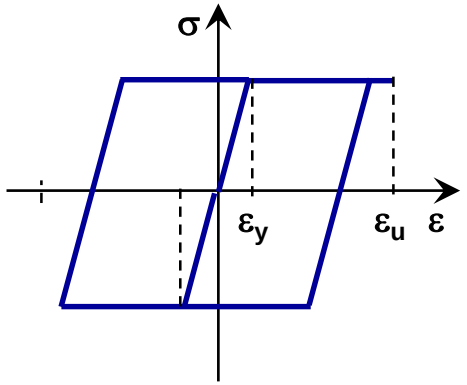
Loi de comportement 2/2



- **Résultats** :
  - Courbe déformation-contrainte :

    pour le cube unitaire déplacement ≡ contrainte

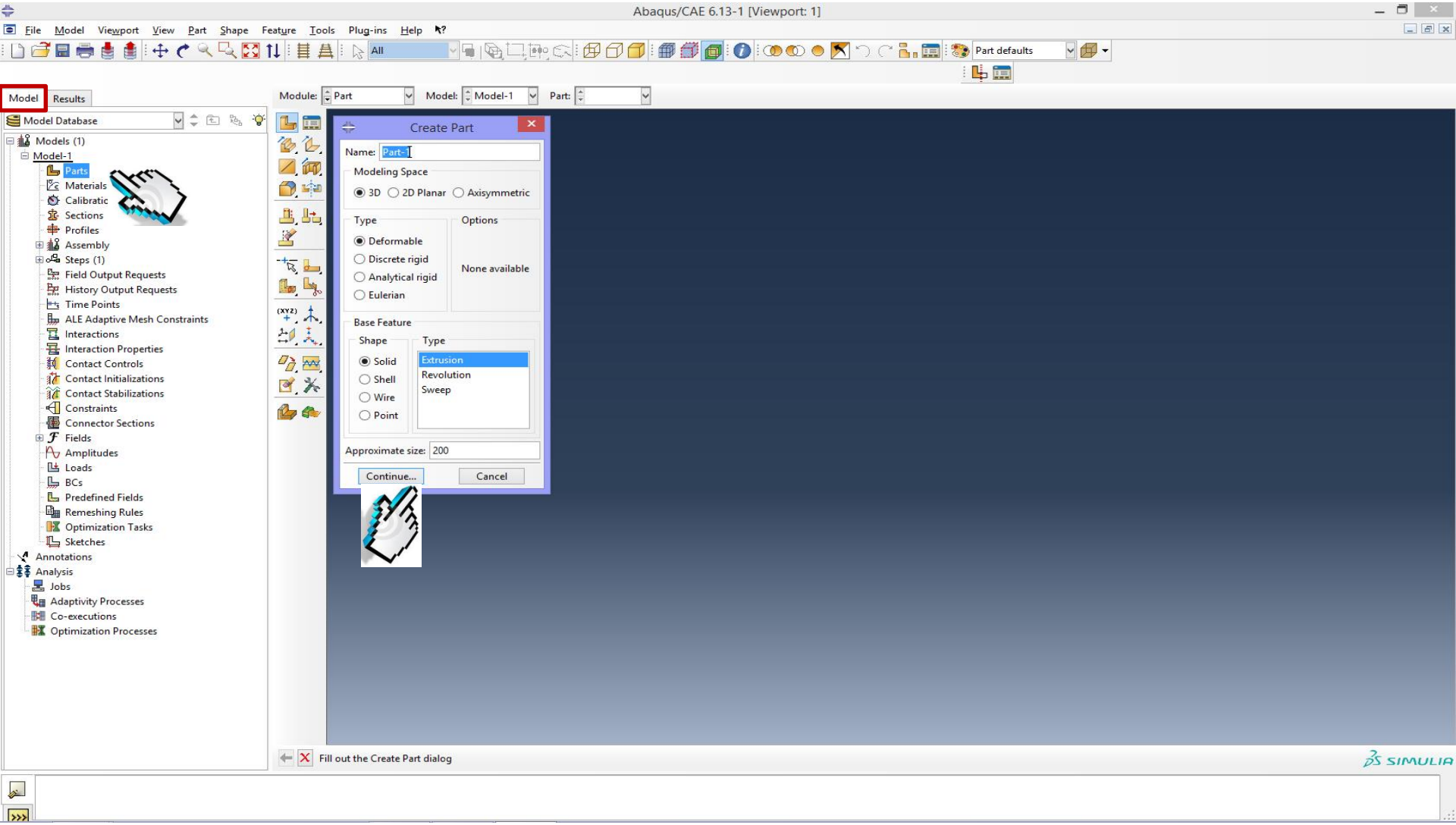




Comportement hystérétique sous charge cyclique quasi-statique ou dynamique

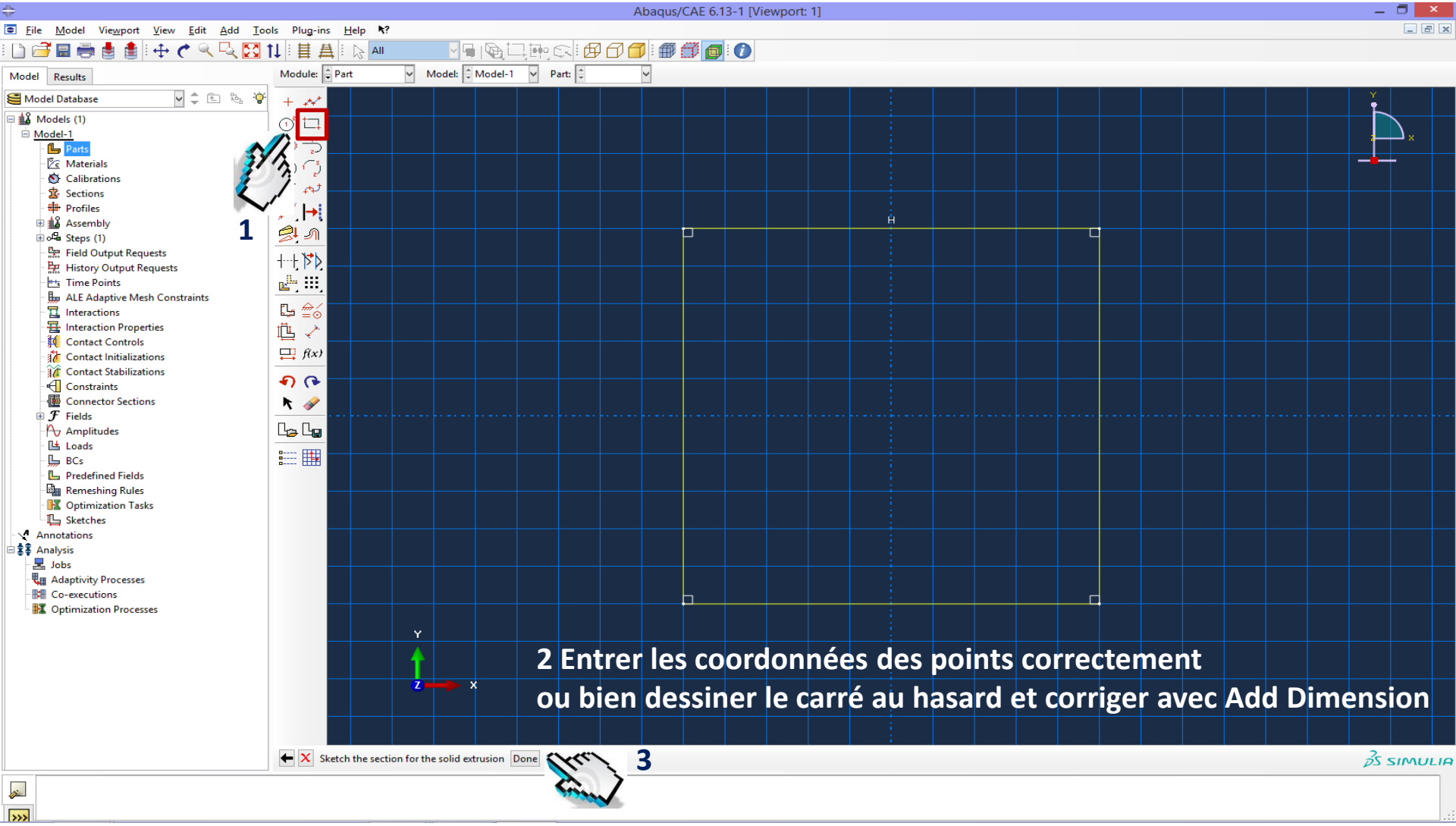
Model - Parts

1. Géométrie : type d'analyse (3D, 2D), type d'élément (solide, plaque, poutre)



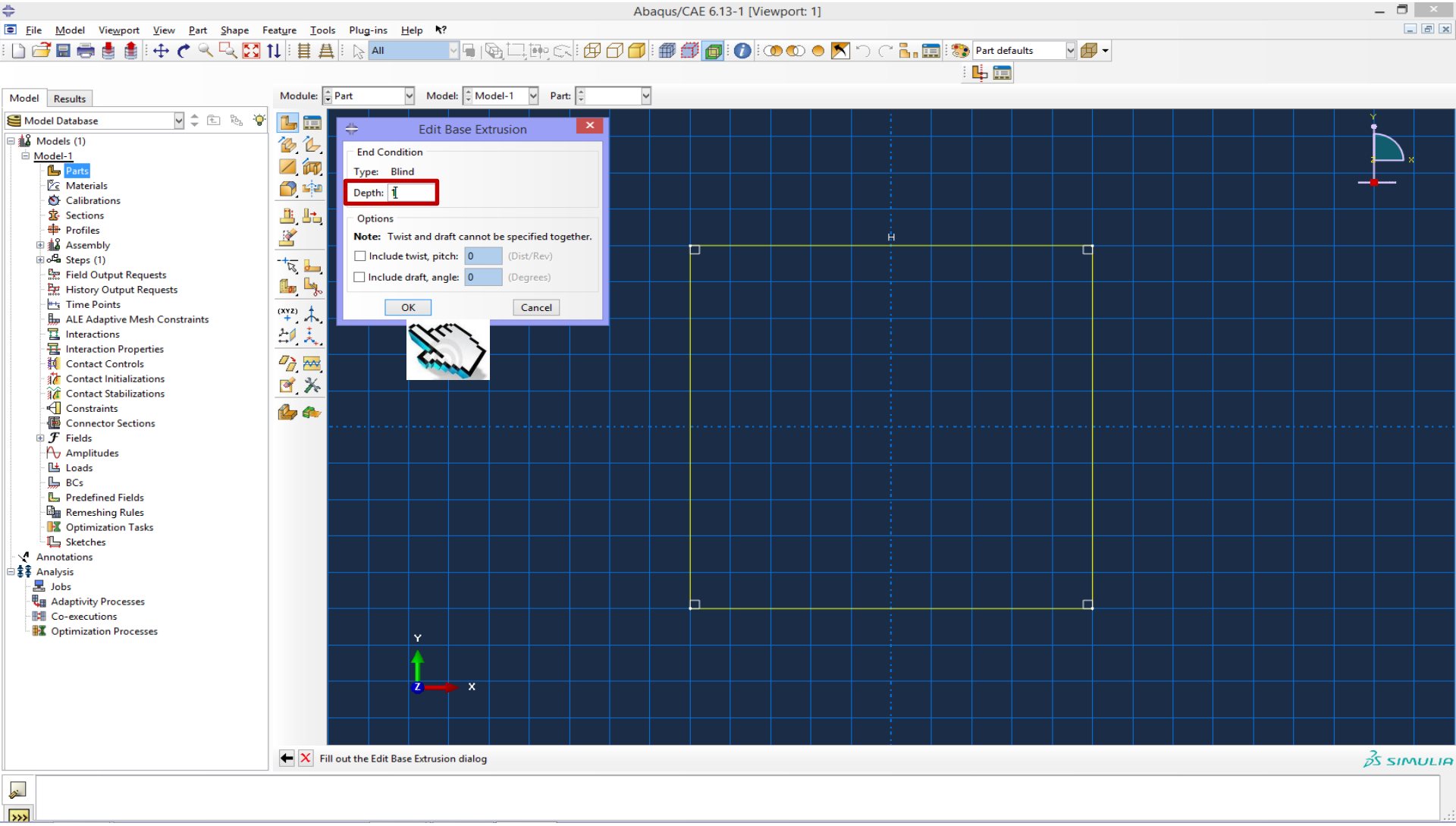
Model - Parts

1. Géométrie : section



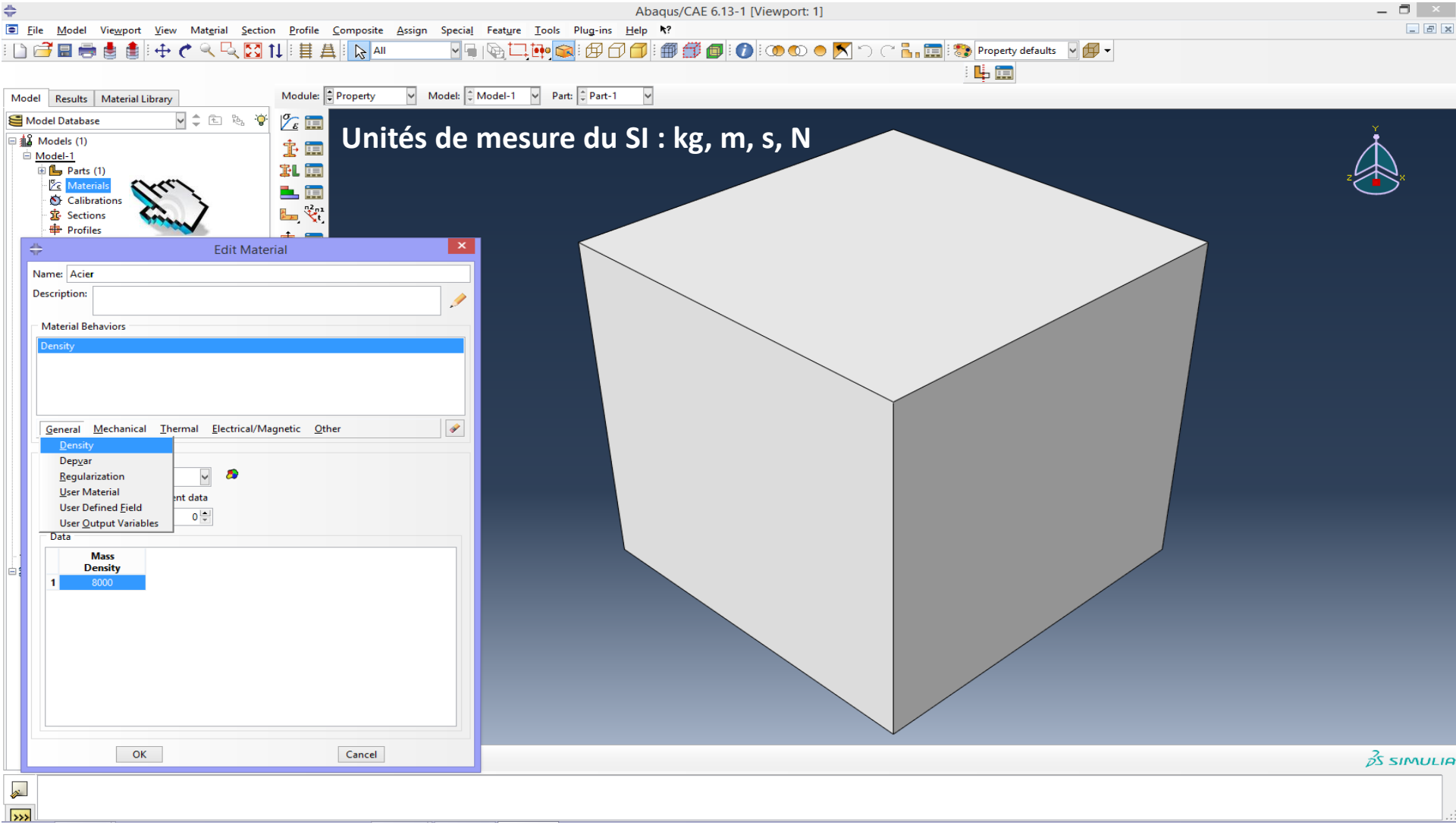
Model - Parts

1. Géométrie : épaisseur



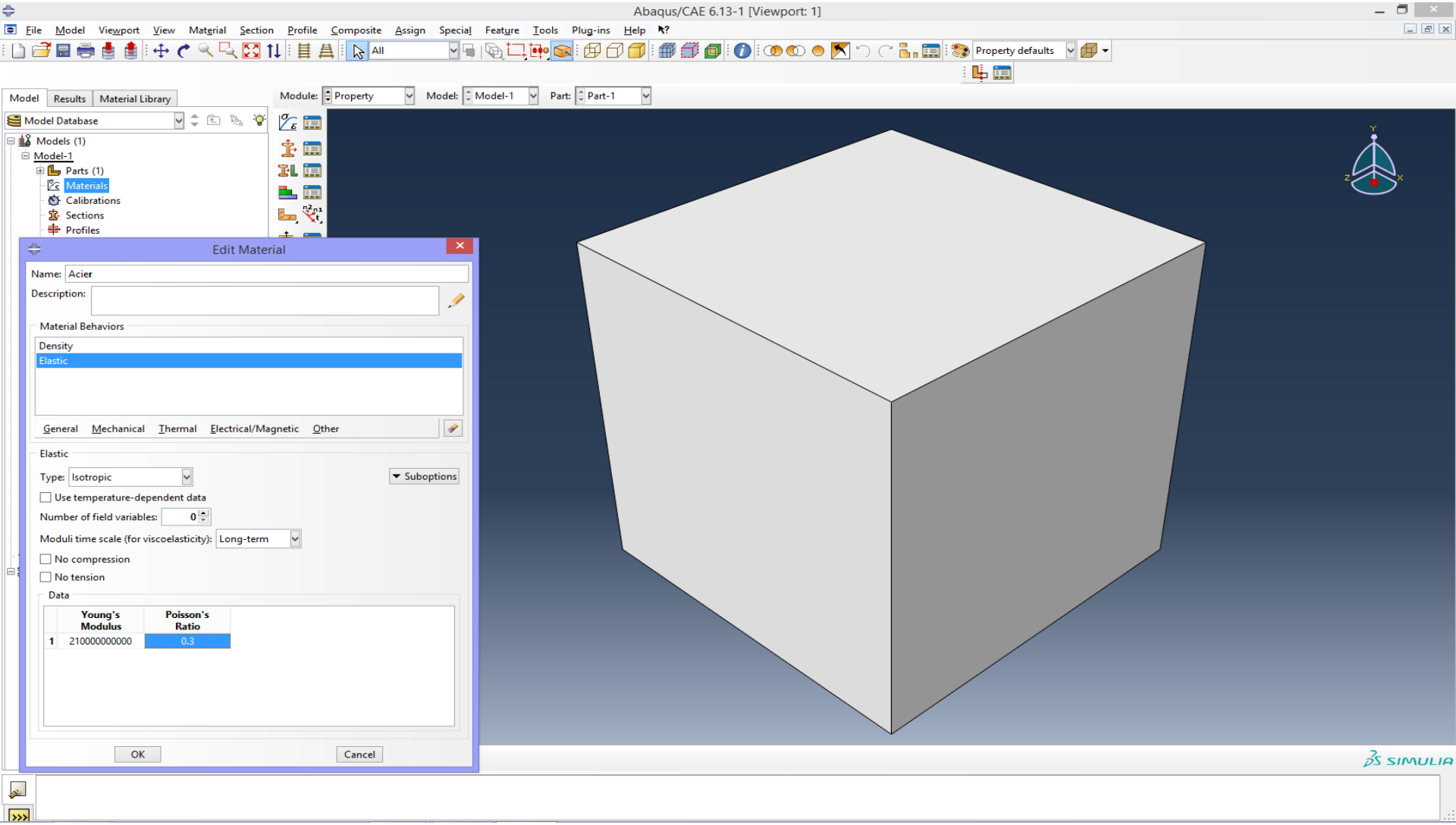
Model - Materials

2. Matériau : densité



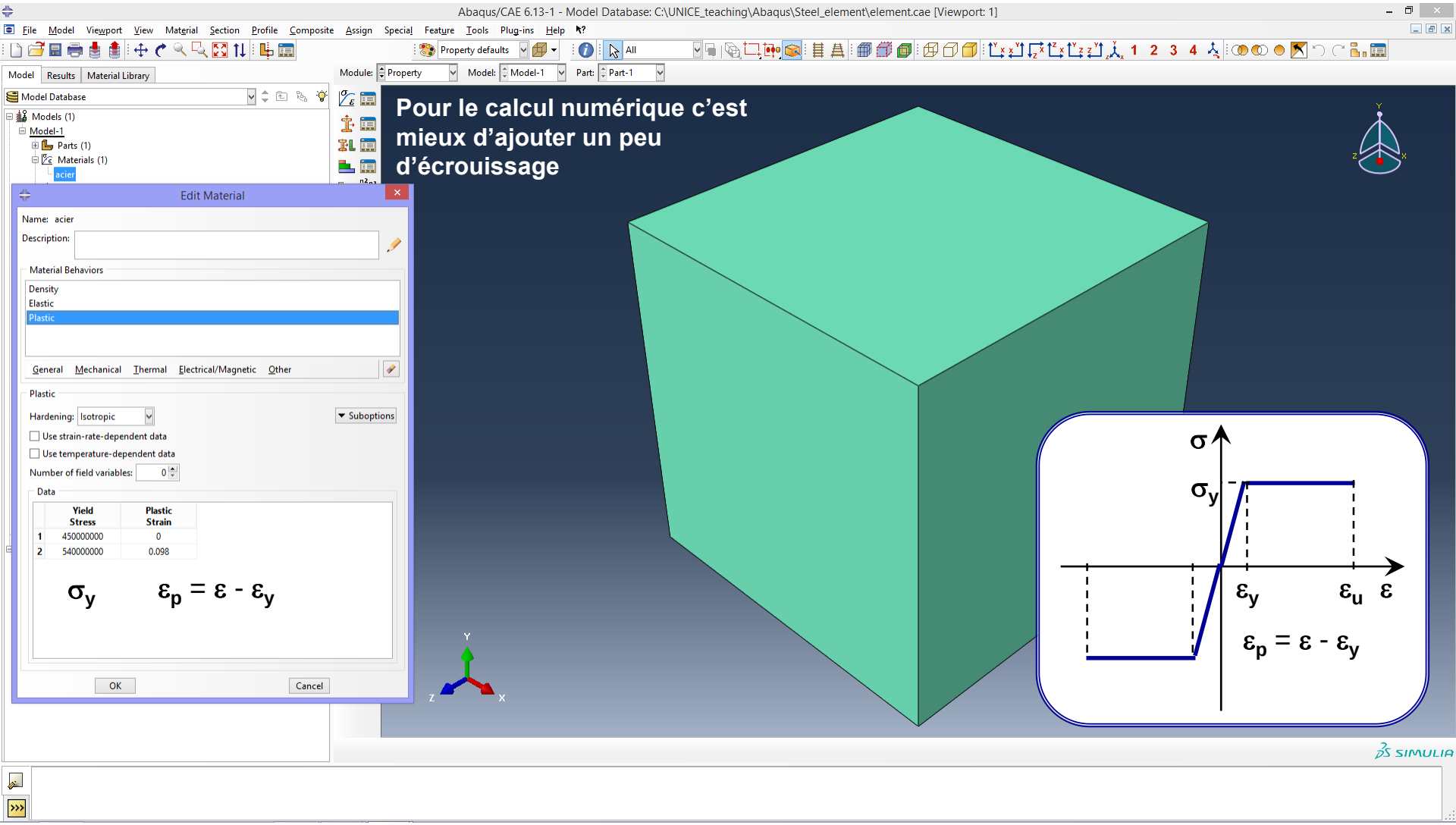
Model - Materials

2. Matériau : élasticité (E, ν)



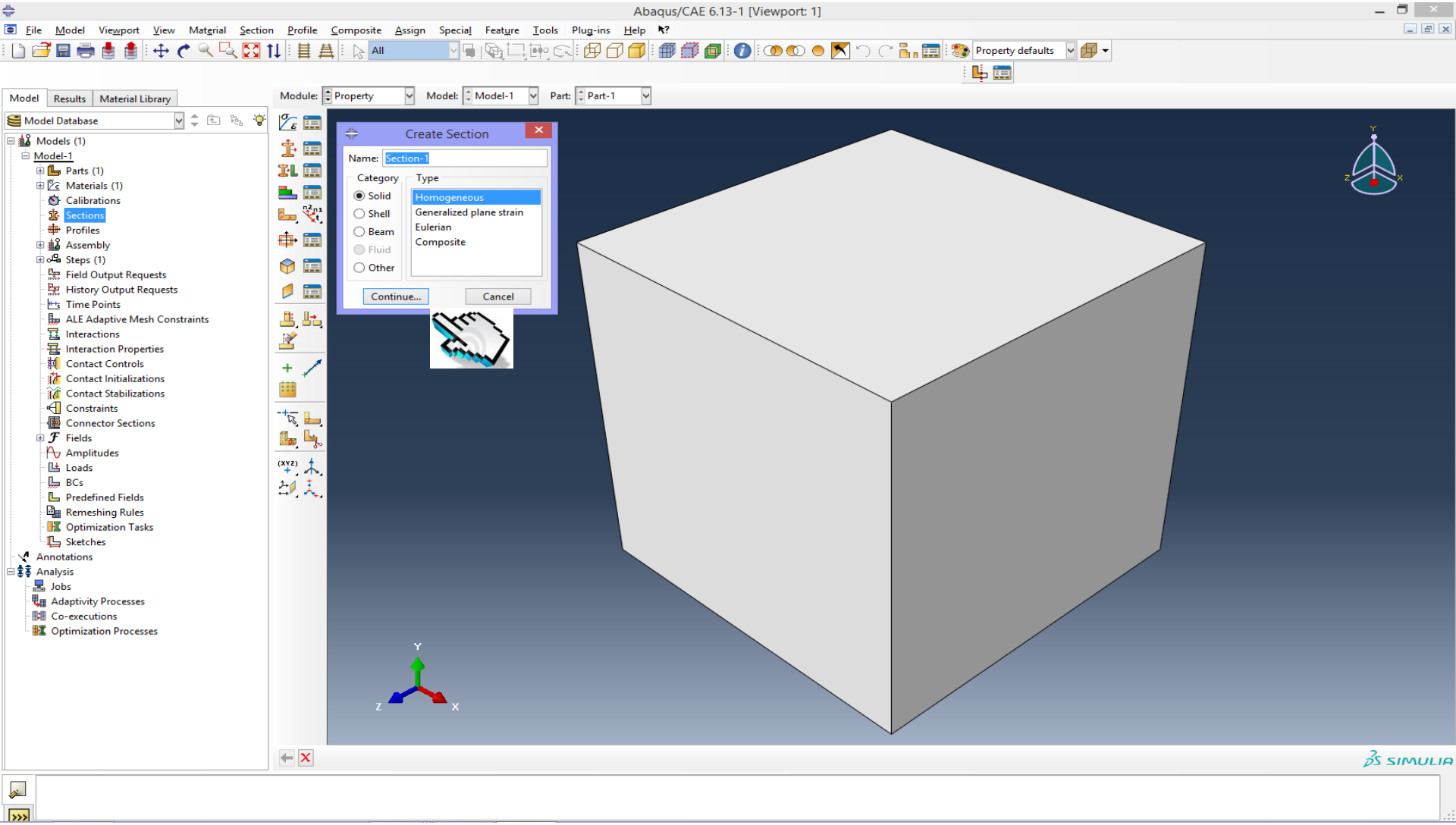
Model - Materials

2. Matériau : plasticité (σ_y, ε_p)



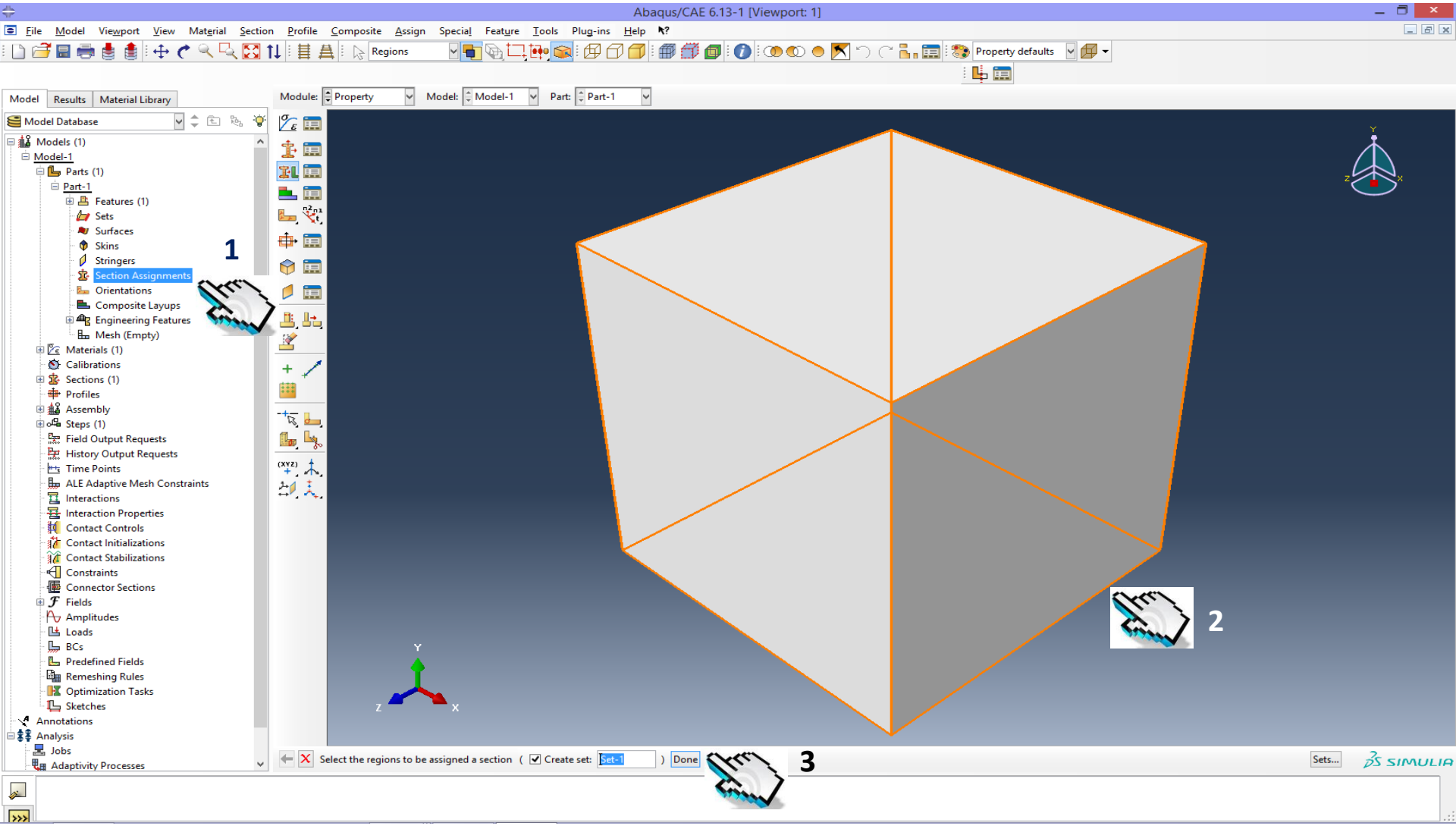
Model - Sections

3. Section : type de matériau



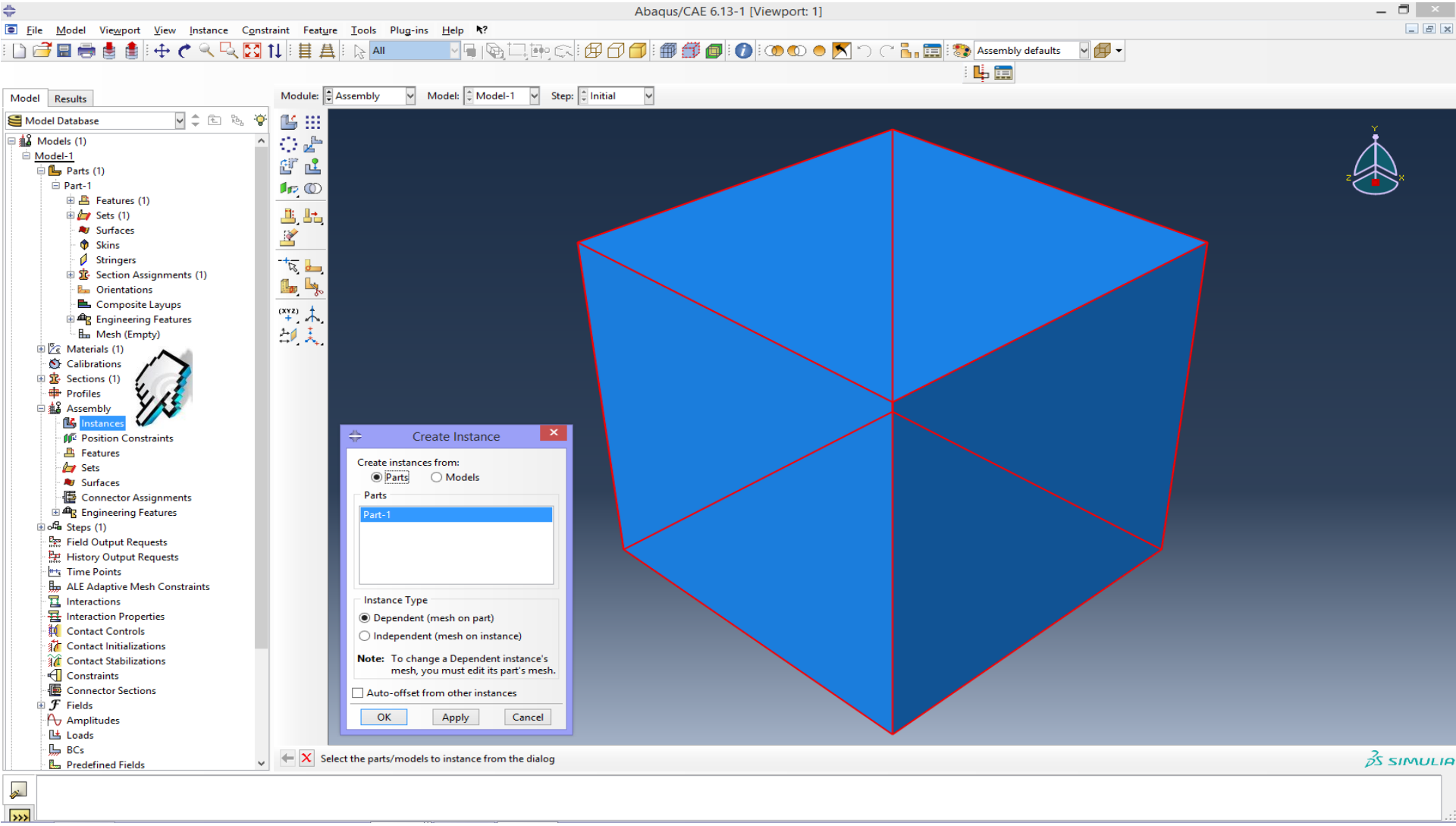
Model - Parts

4. Attribution de la section



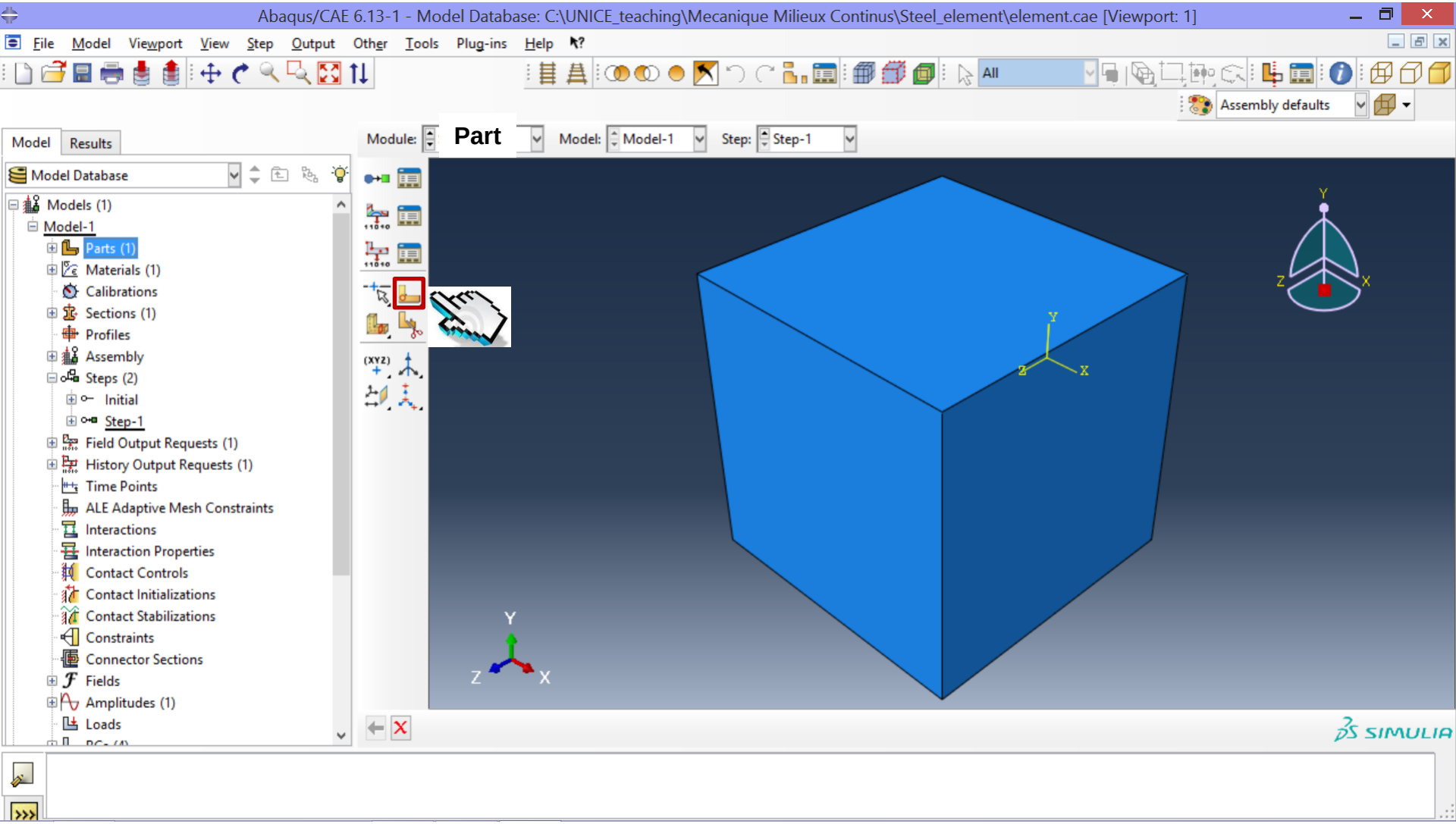
Model - Assembly

5. Assemblage



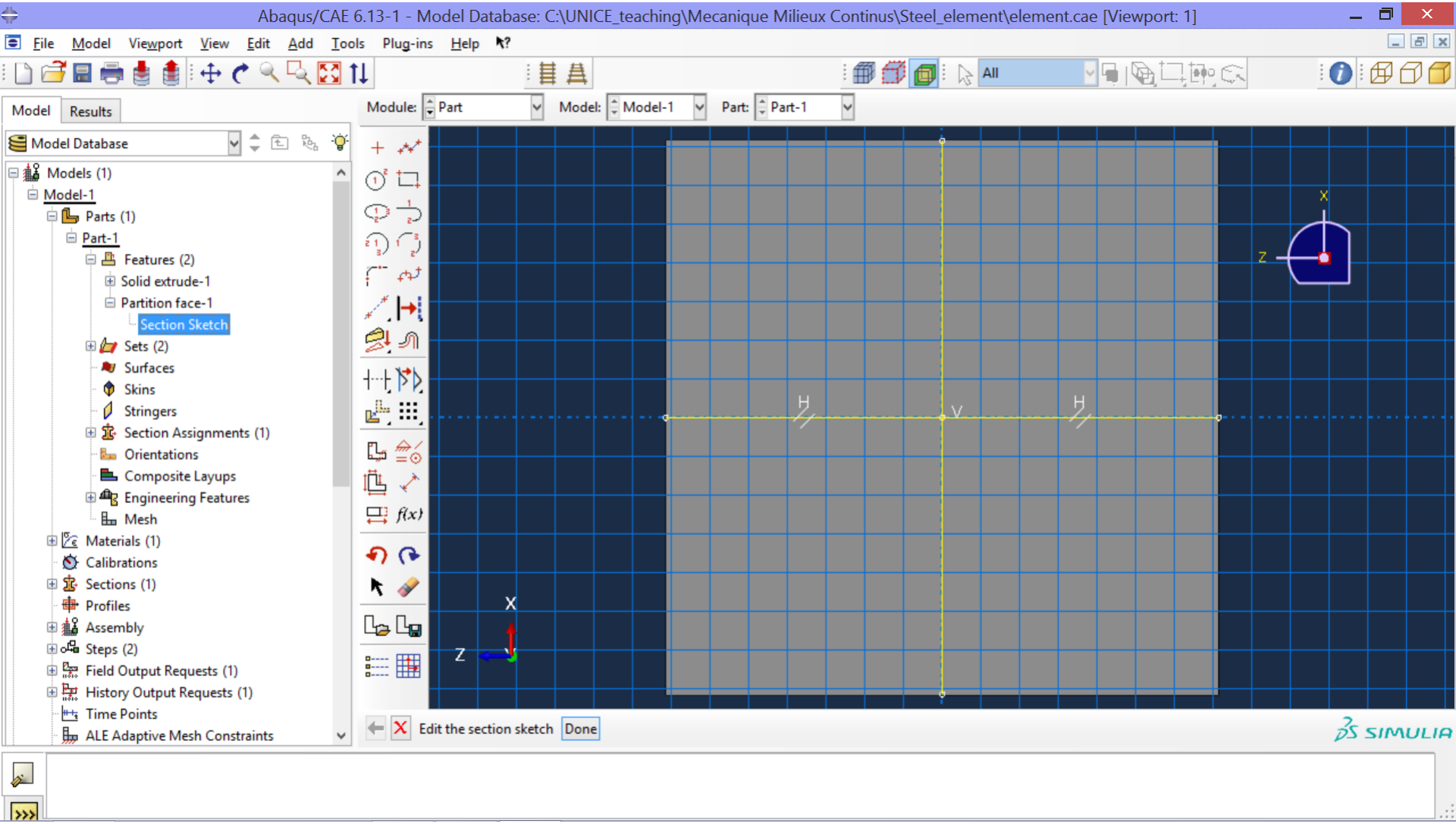
Model - Parts

6. Partitions : dessin des parties où appliquer des conditions



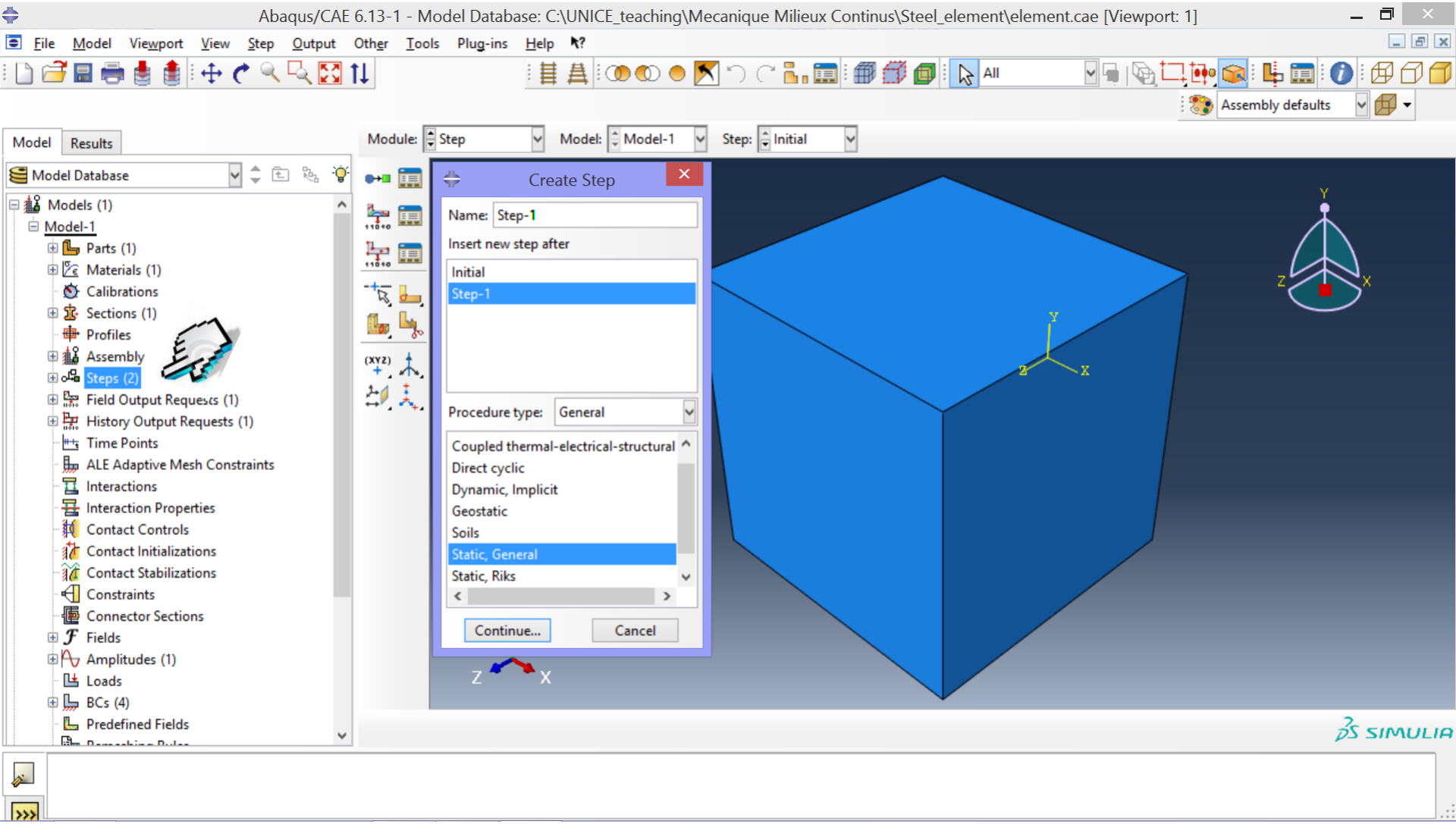
Model - Parts

6. Partitions : dessin des parties où appliquer des conditions



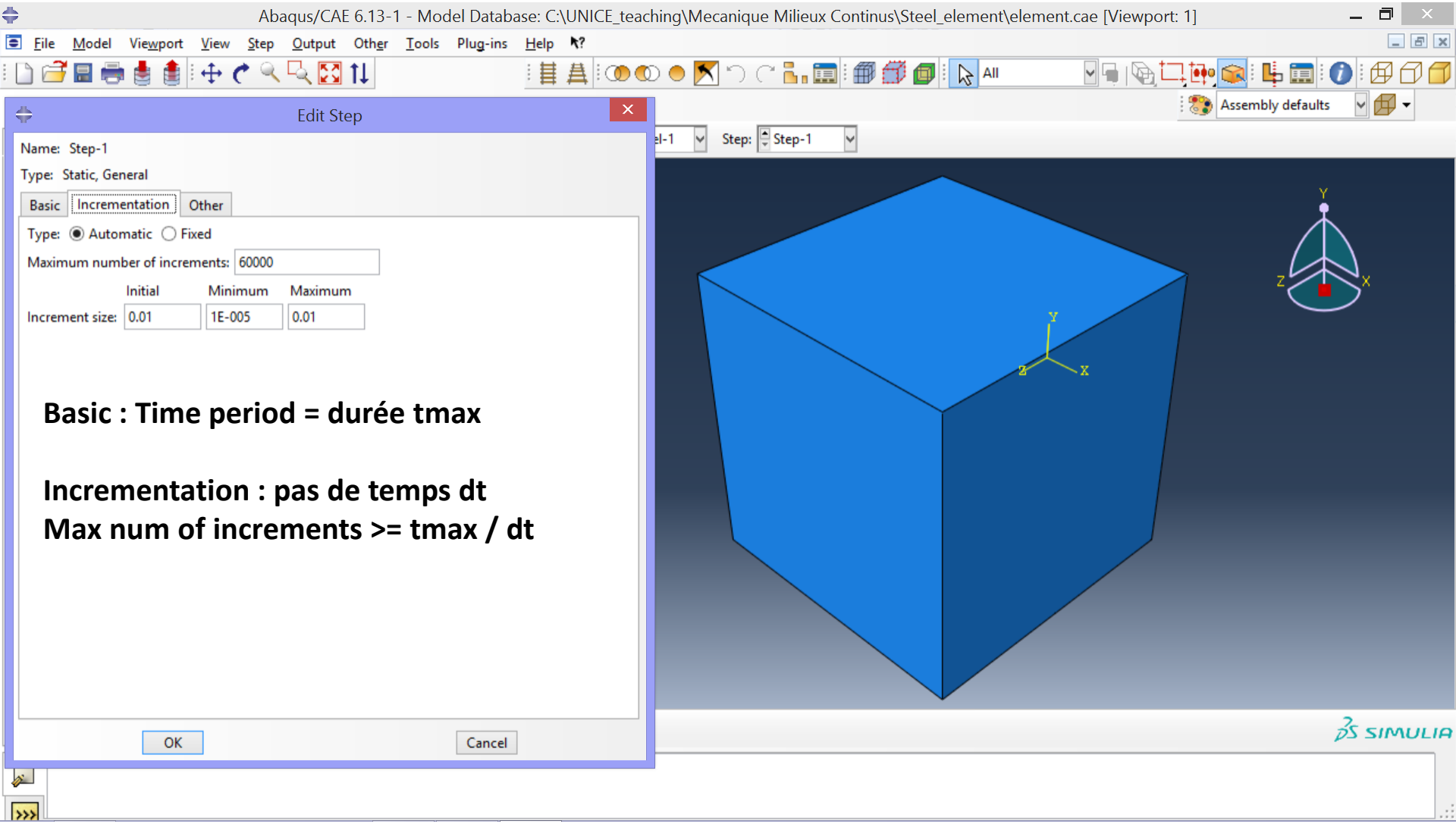
Model - Steps

7. Pas de calcul : Statique, Quasi-statique



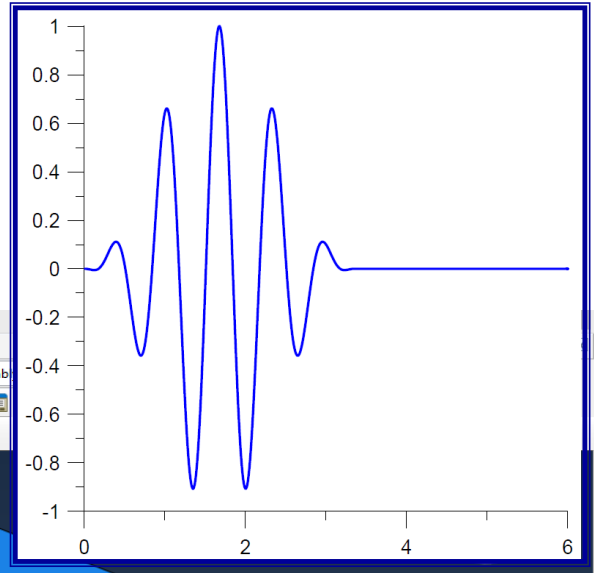
Model - Steps

7. Pas de calcul : Statique, Quasi-statique



Model - Amplitudes

8. Histoire de charge : amplitude dans le temps



Abaqus/CAE 6.13-1 [Viewport: 1]

File Model Viewport View Load BC Predefined Field Load Case Feature Tools Plug-ins Help

Module: Load Model: Model-1 Step: Step-2

Model Results

Model Database

- Models (1)
  - Model-1
    - Parts (1)
      - Part-1
    - Materials (1)
    - Calibrations
    - Sections (1)
    - Profiles
    - Assembly
    - Steps (3)
    - Field Output Requests (2)
    - History Output Requests (2)
    - Time Points
    - ALE Adaptive Mesh Constraint
    - Interactions
    - Interaction Properties
    - Contact Controls
    - Contact Initializations
    - Contact Stabilizations
    - Constraints
    - Connector Sections
    - Fields
    - Amplitudes
    - Loads
    - BCs (1)
    - Predefined Fields
    - Remeshing Rules
    - Optimization Tasks
    - Sketches
  - Annotations
- Analysis
  - Jobs
  - Adaptivity Processes
  - Co-executions
  - Optimization Processes

Edit Amplitude

Name: Amp-1

Type: Tabular

Time span: Step time

Smoothing: Use solver default / Specify:

Amplitude Data | Baseline Correction

	Time/Frequency	Amplitude
4	0.0003	0
5	0.0004	0
6	0.0005	0
7	0.0006	0
8	0.0007	0

OK Cancel

Tabular

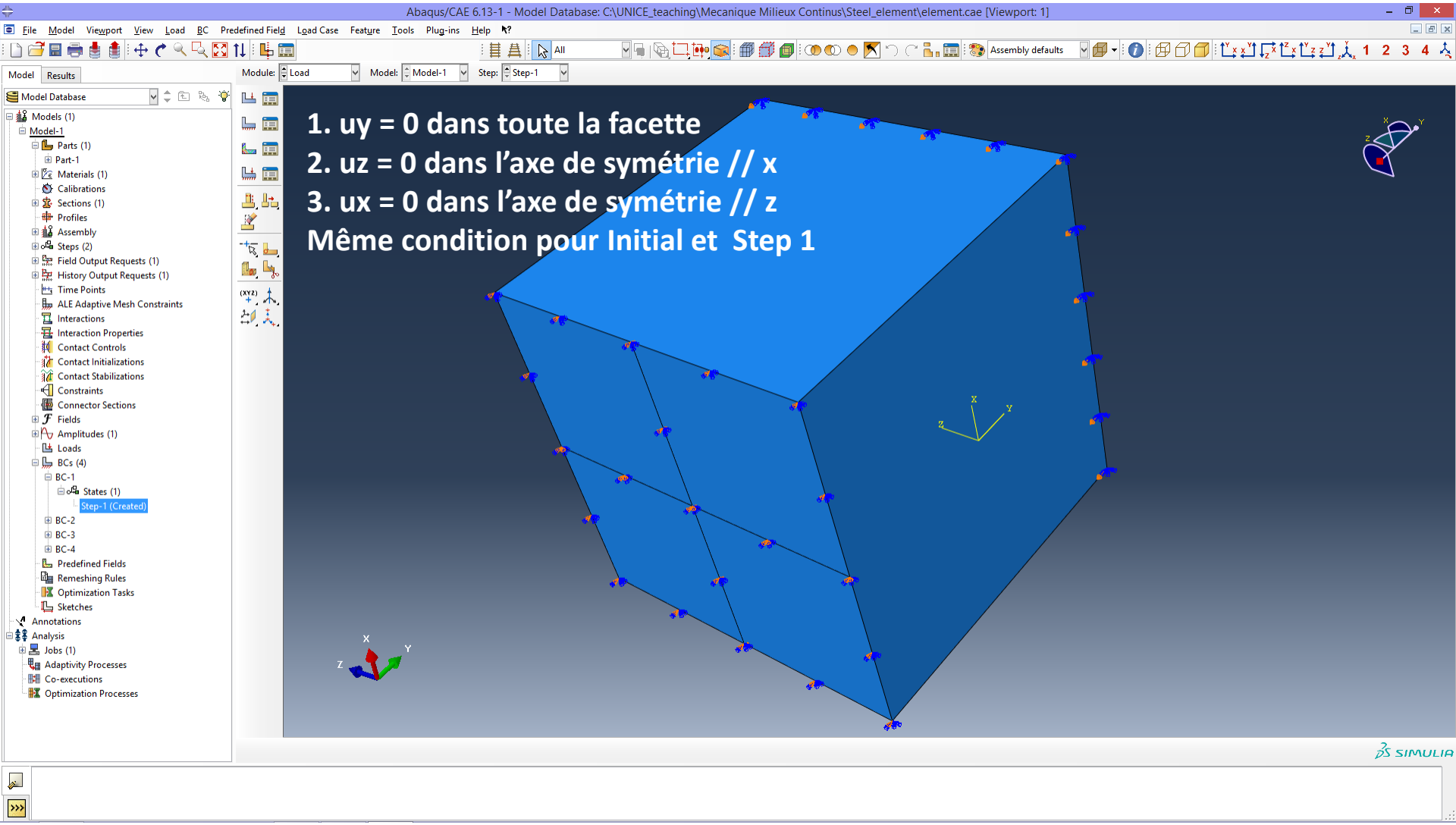
Amplitude = A(x) / Amax

SIMULIA

The set 'Section' has been created (1 face).

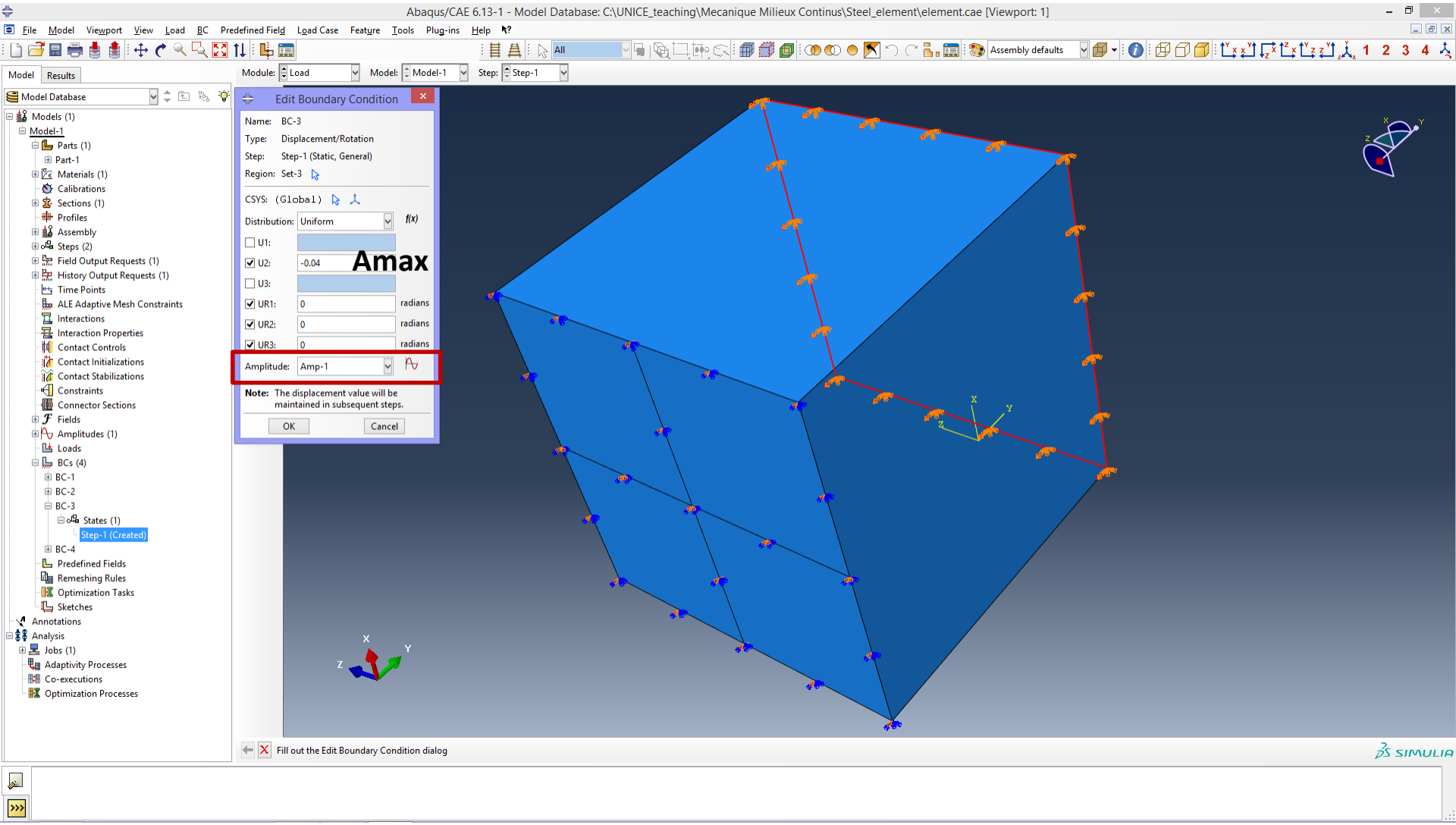
Model - BCs

9. Conditions aux limites : liaisons



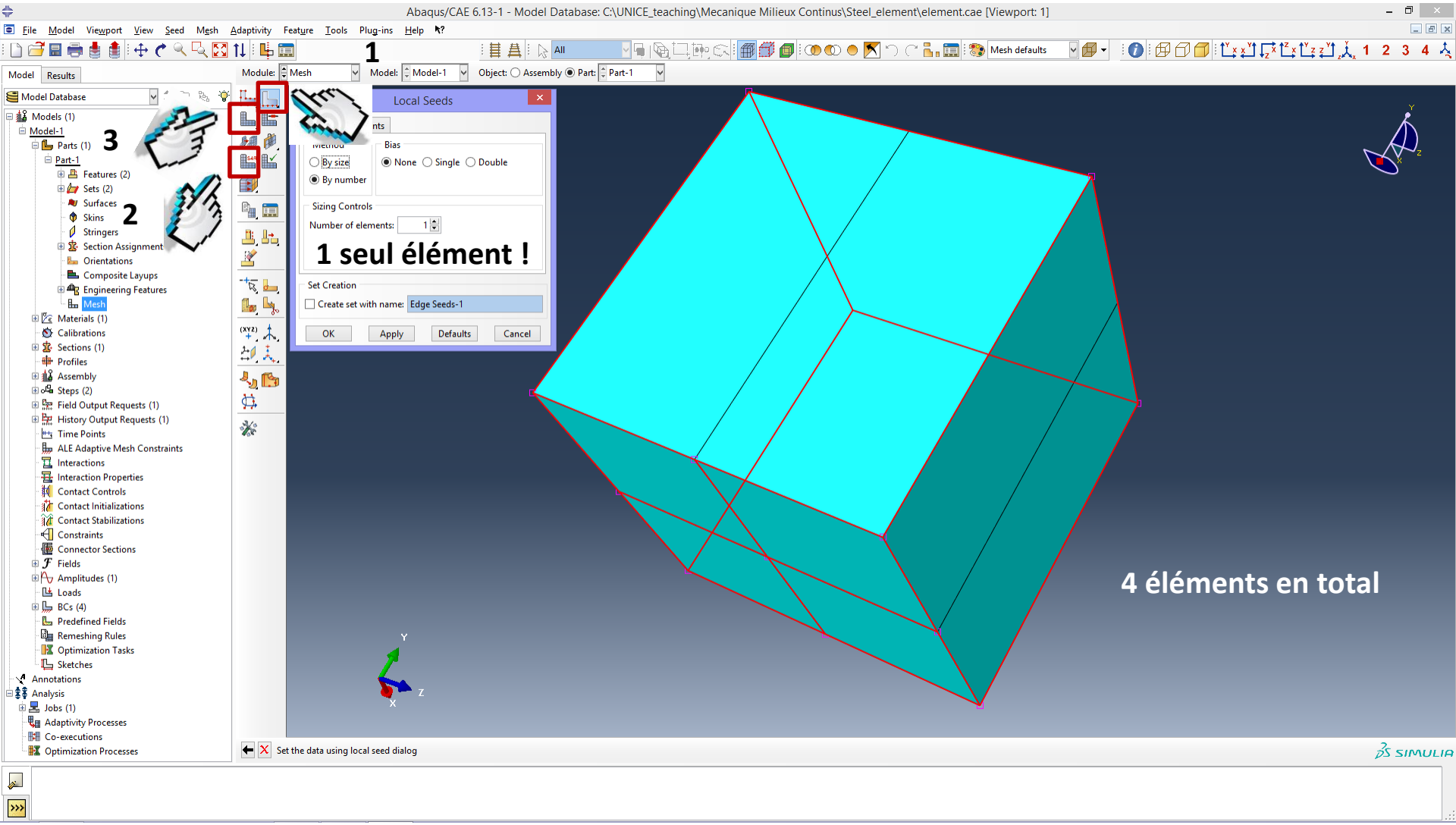
Model - BCs

10. Conditions aux limites : déplacement imposé



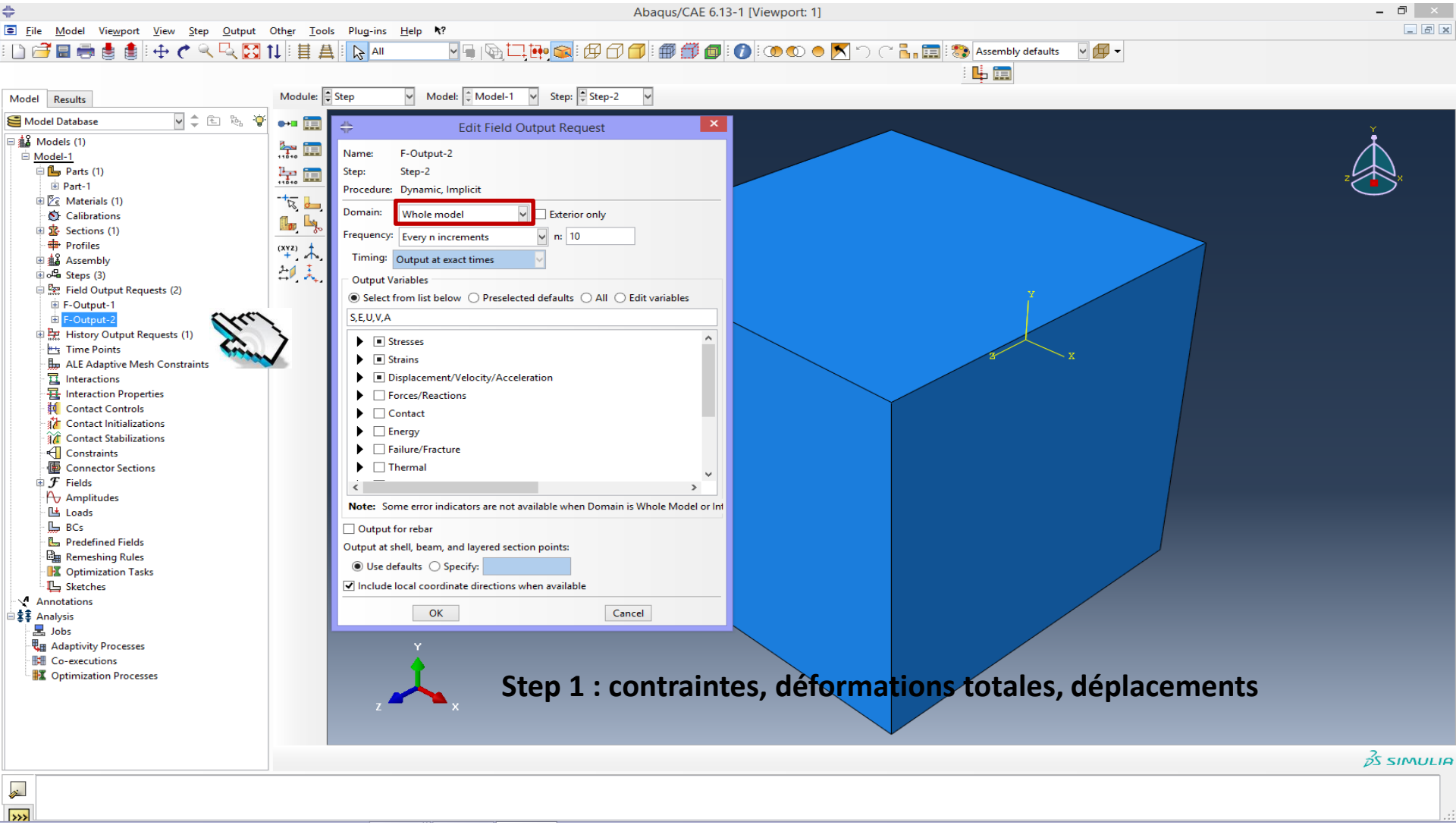
Model - Parts

11. Maillage : nombre d'éléments, type d'élément



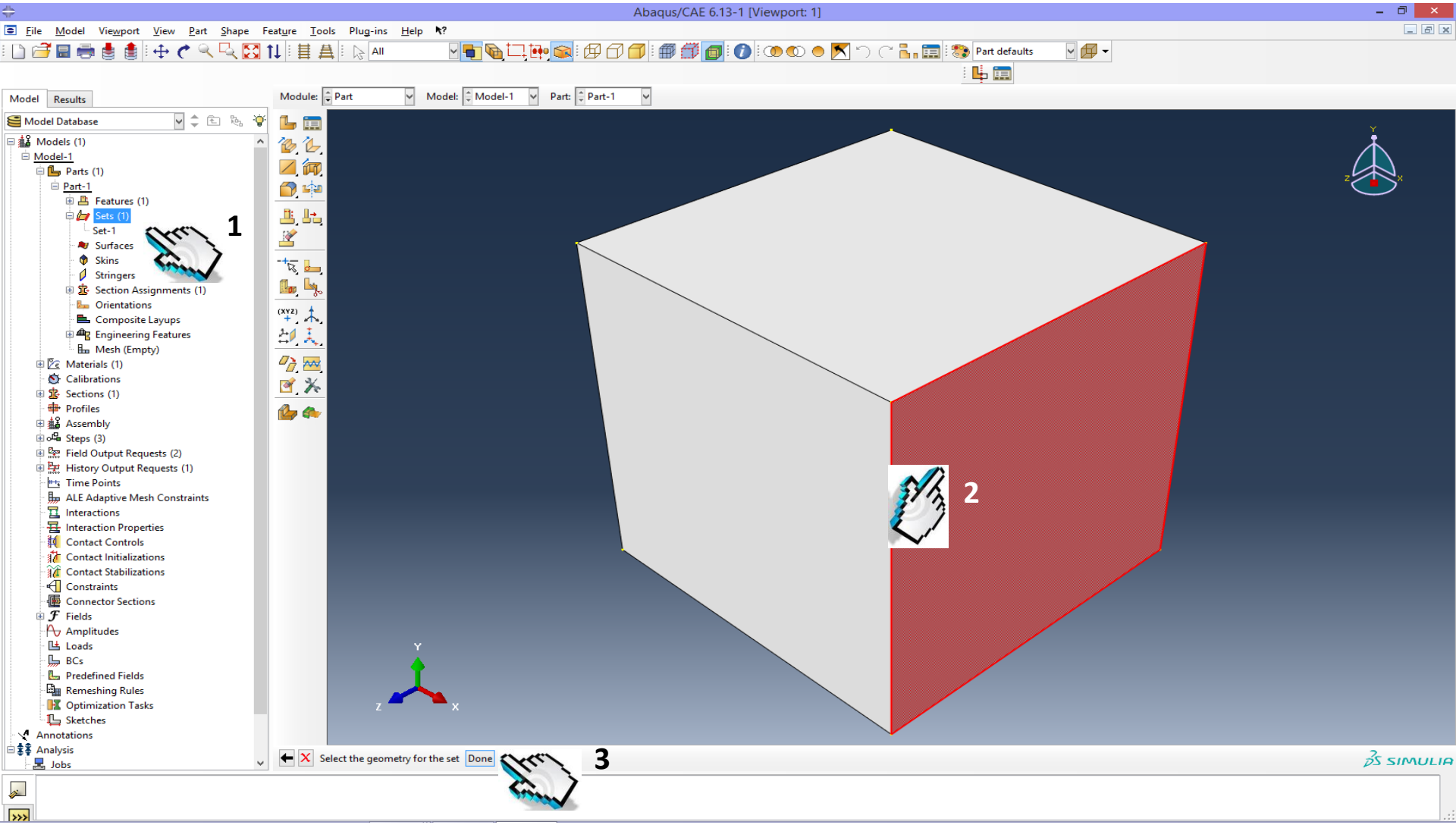
Model - Field Output Requests

12. Résultats demandés : contraintes, déformations totales, déplacements, réactions



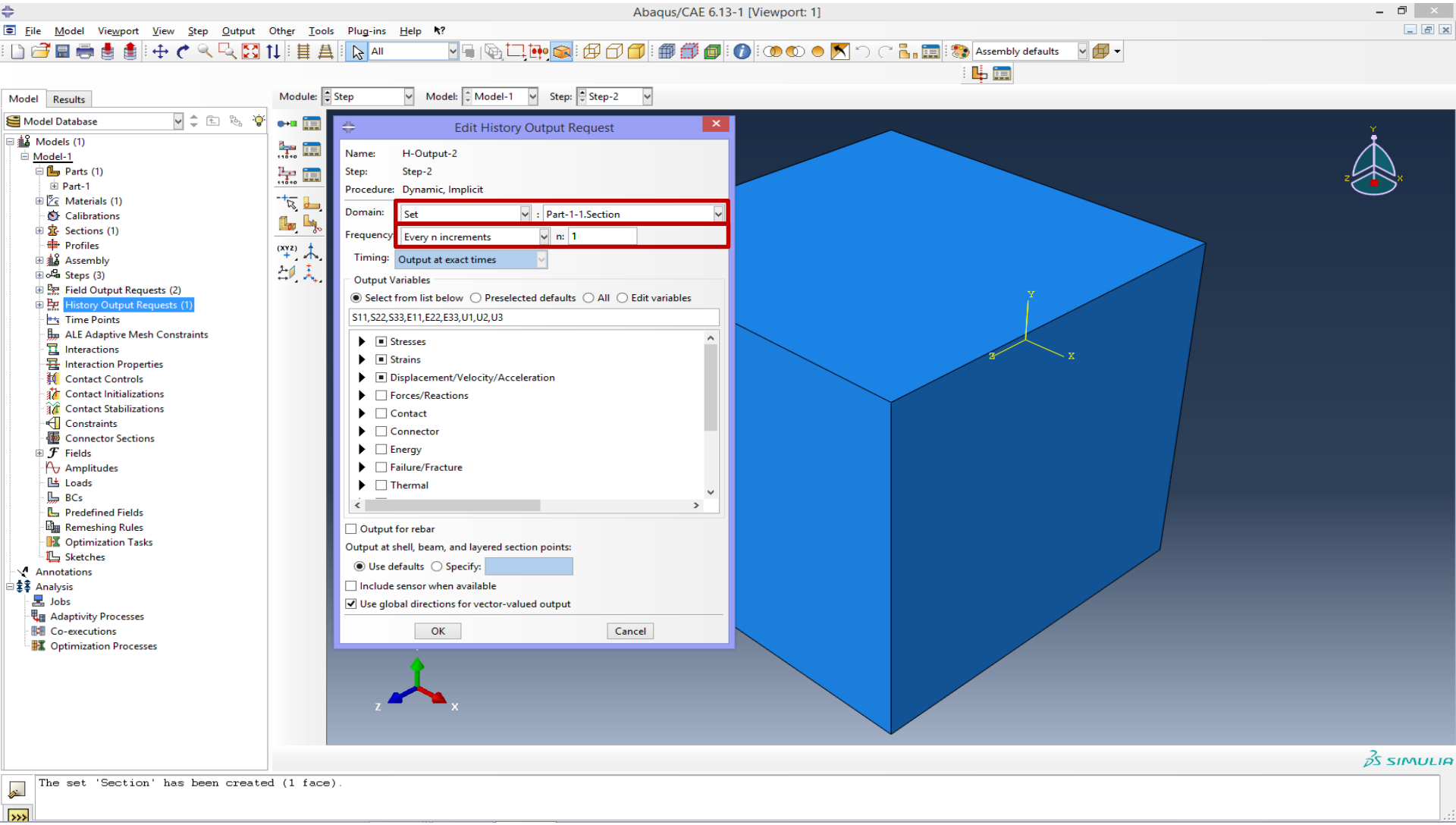
Model - Parts

13. Point où enregistrer les résultats : point, bord, surface



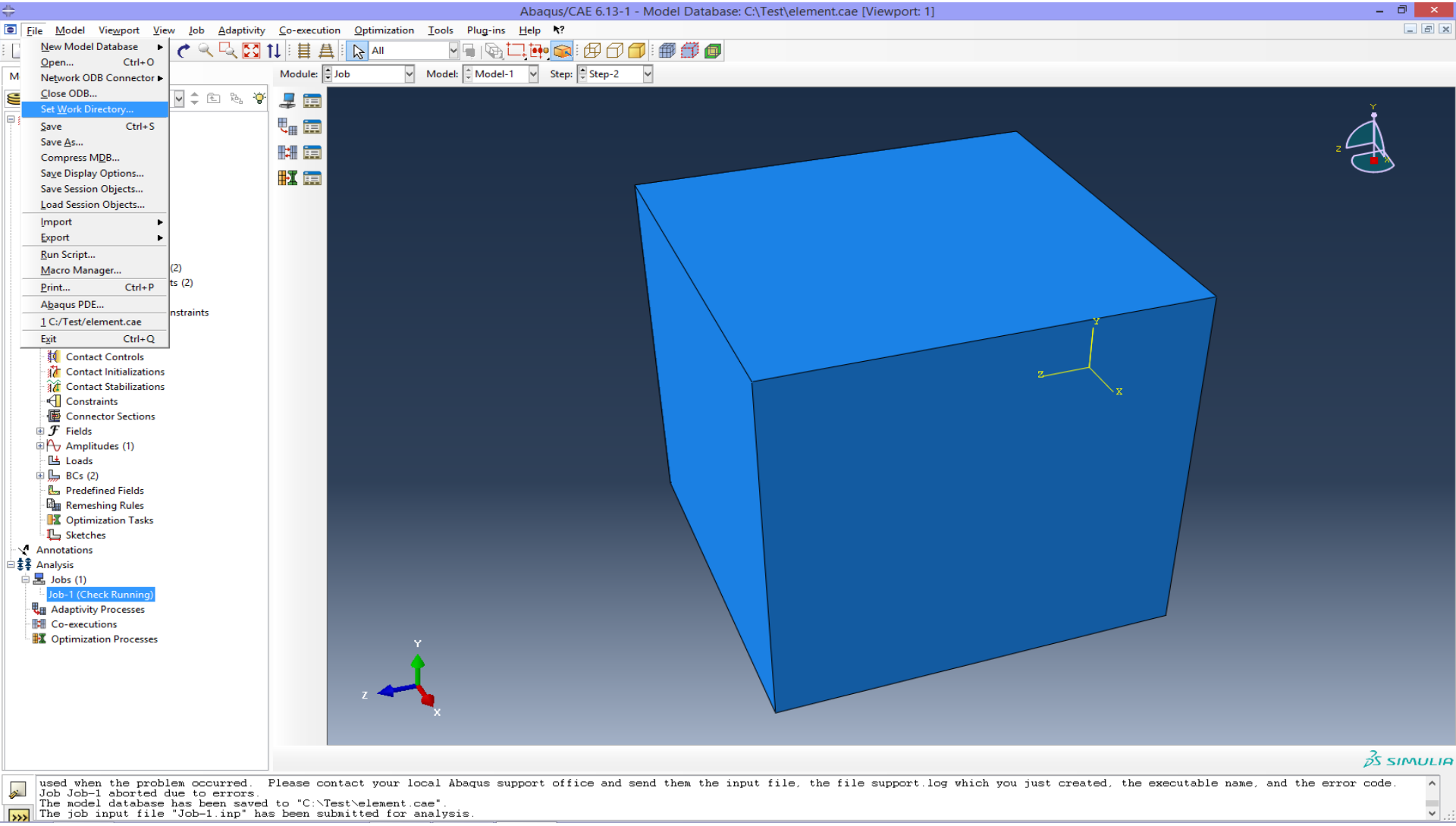
Model - History Output Requests

14. Résultats dans le temps : contrainte, déformation ≡ déplacement



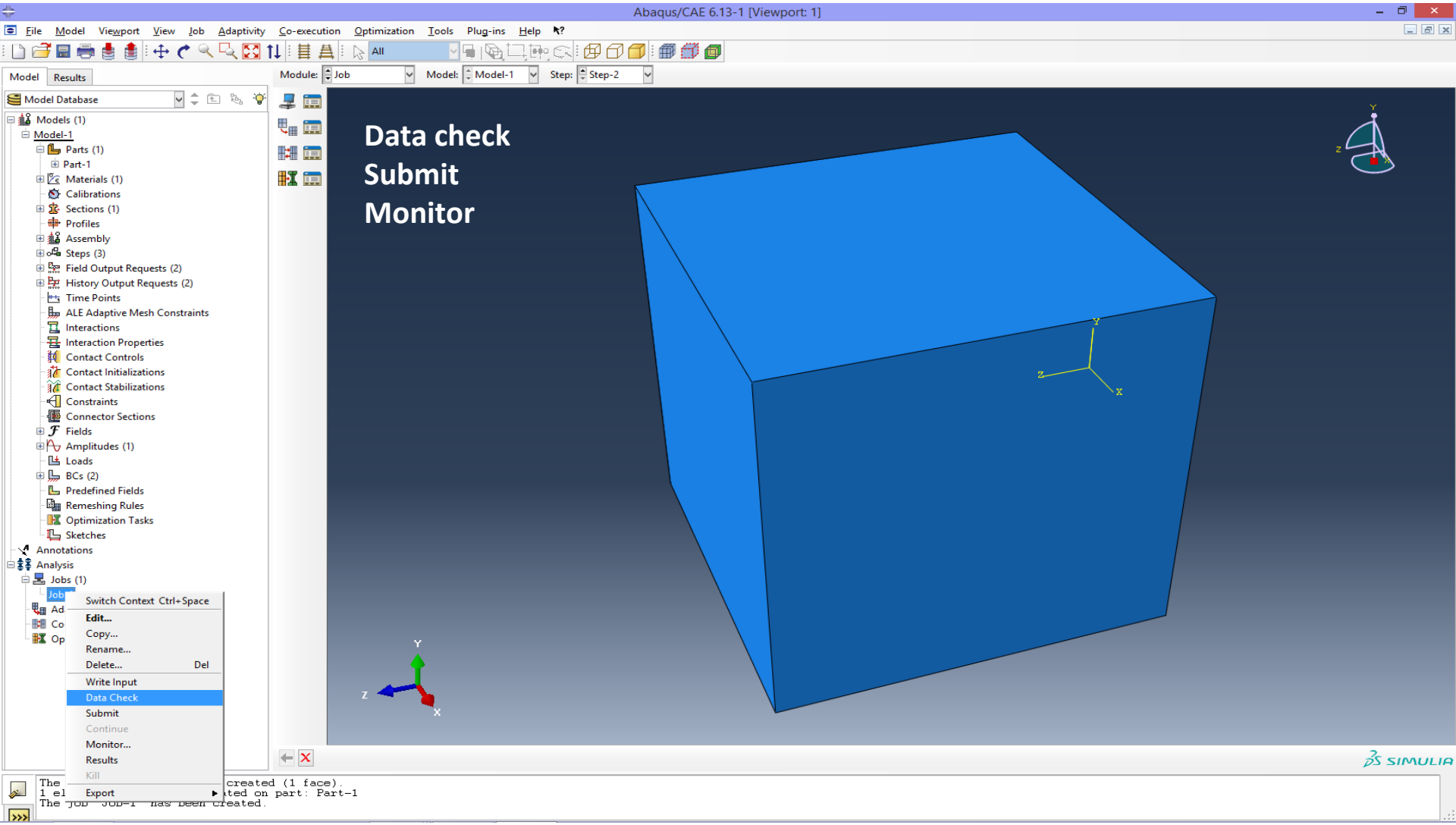
File - Save

15. Sélection du dossier et sauvegarde

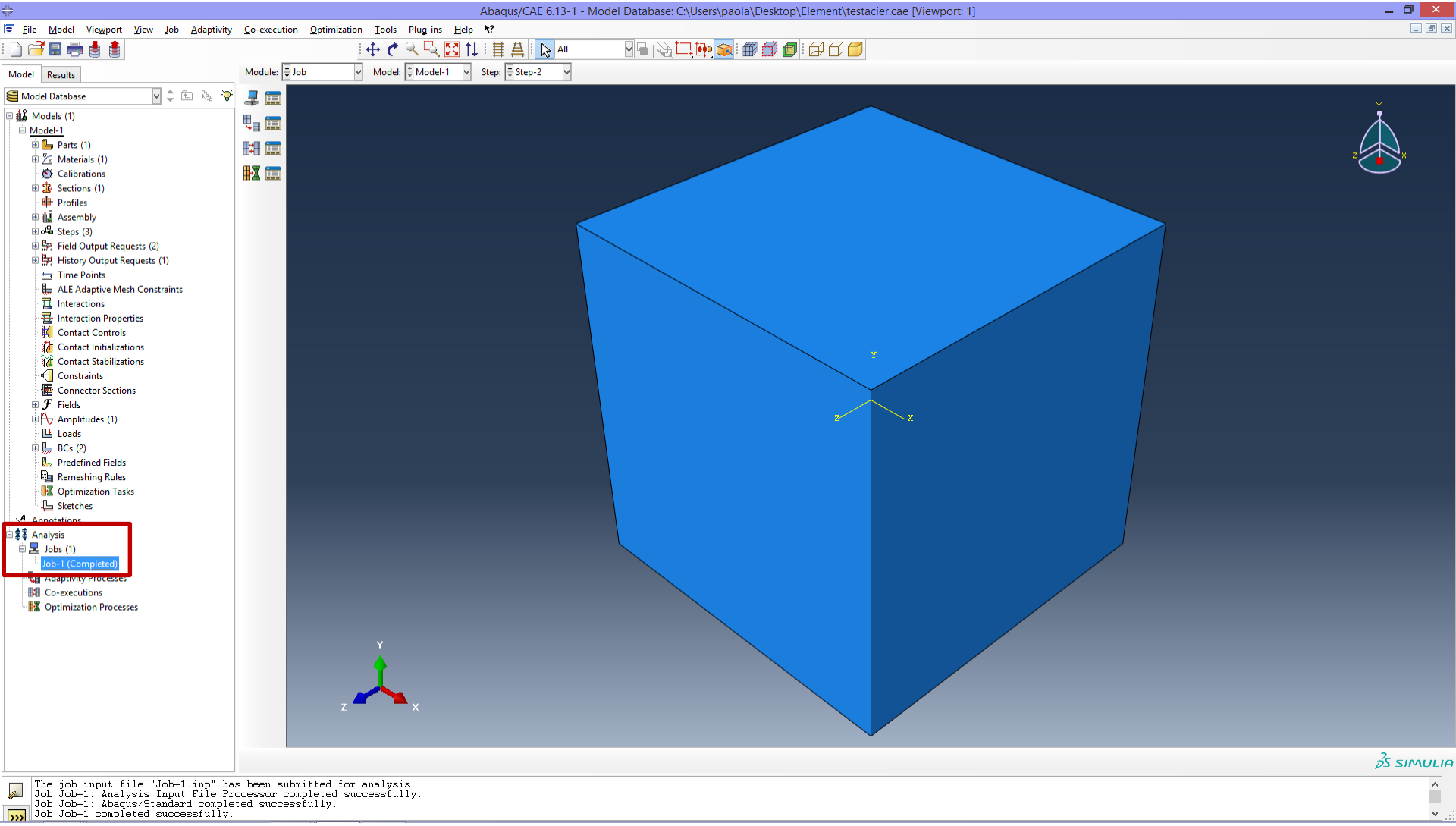


Model - Analysis

16. Création du projet, vérification des données et calcul

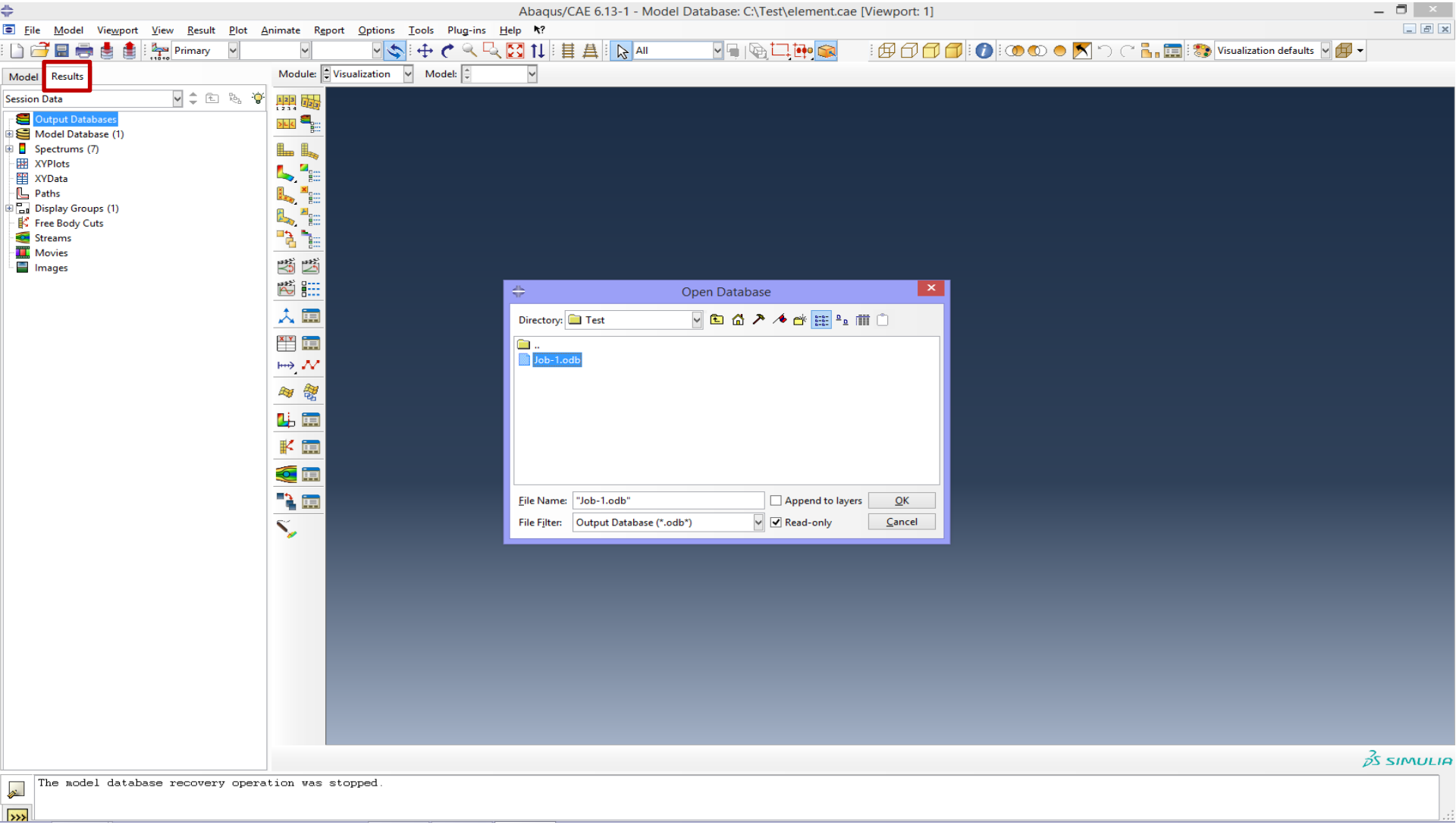


Calcul complet



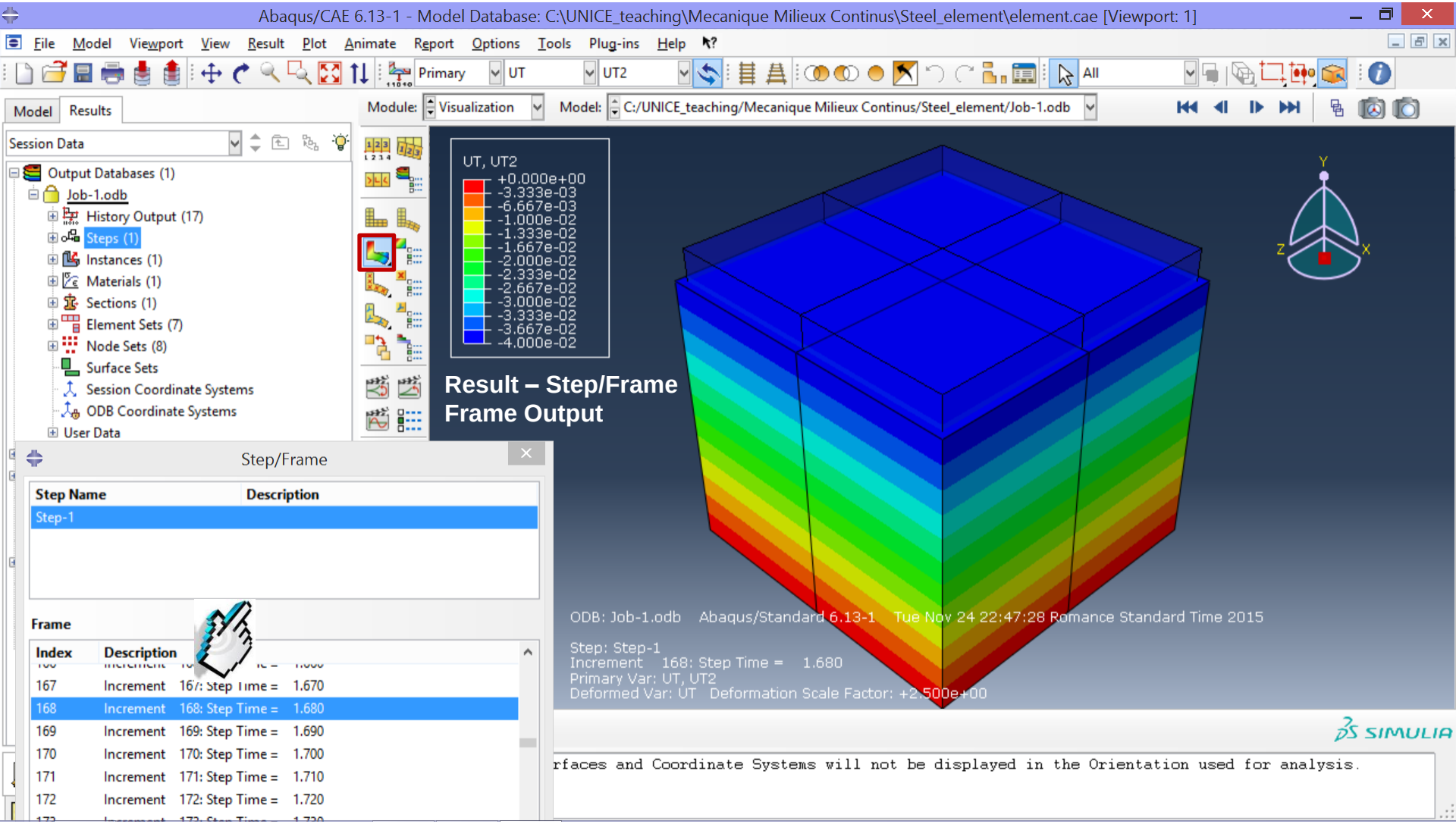
Results

1. Fichier de résultats : *.odb



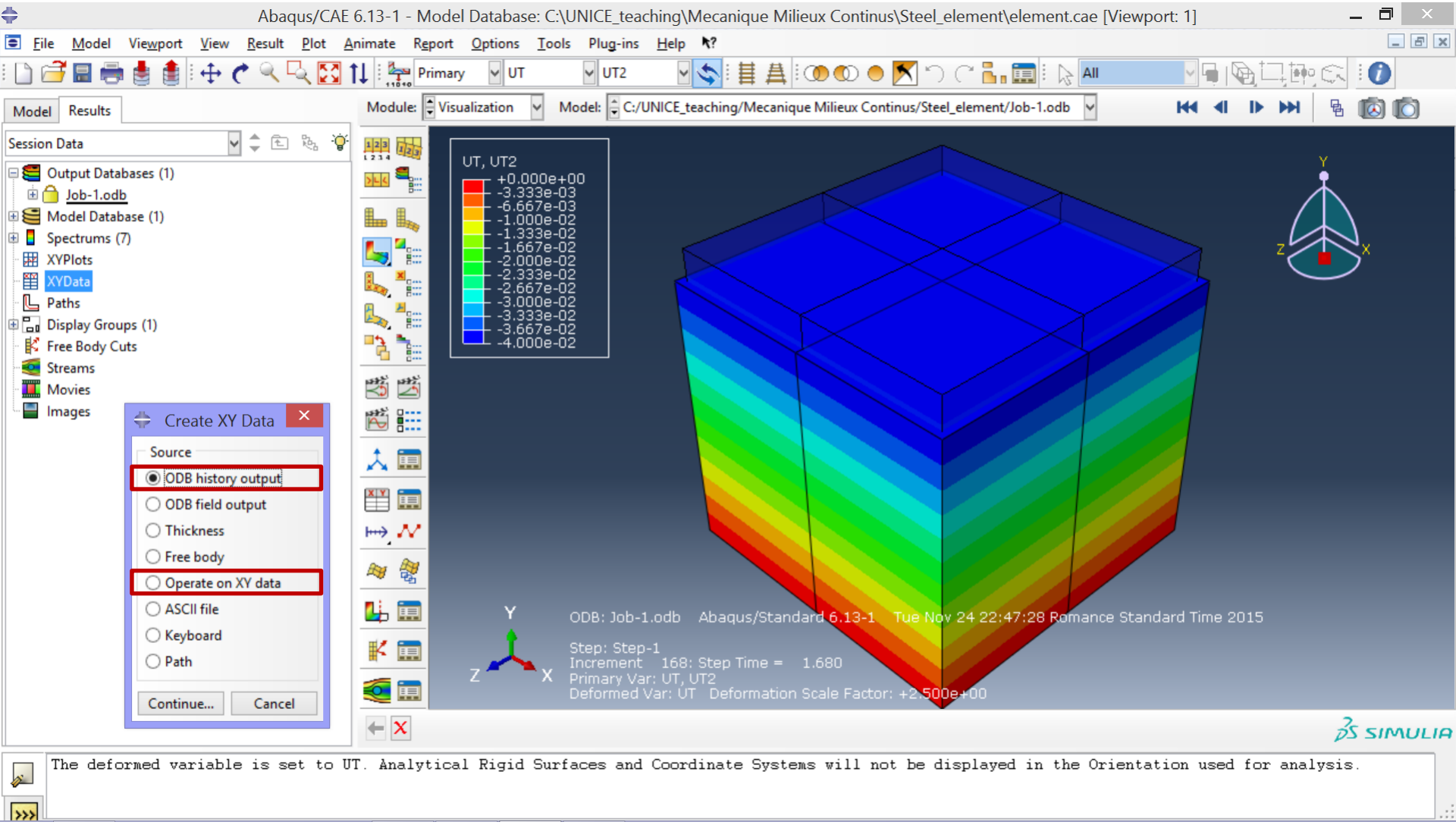
Results

2. Déformée et cartographie : déformation, contrainte



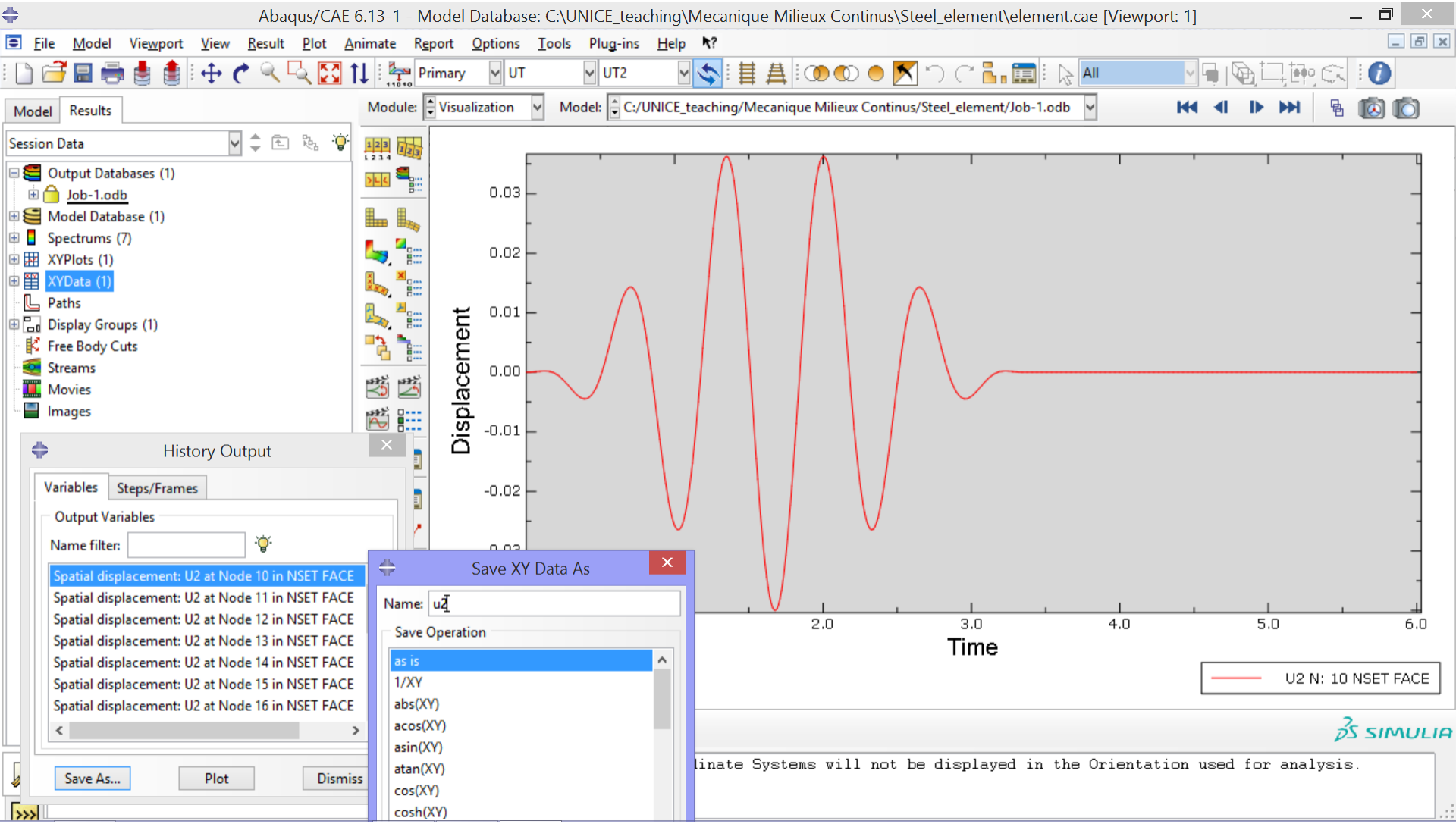
Results - XY Data

3. Courbes : déformation-temps, contrainte-déformation



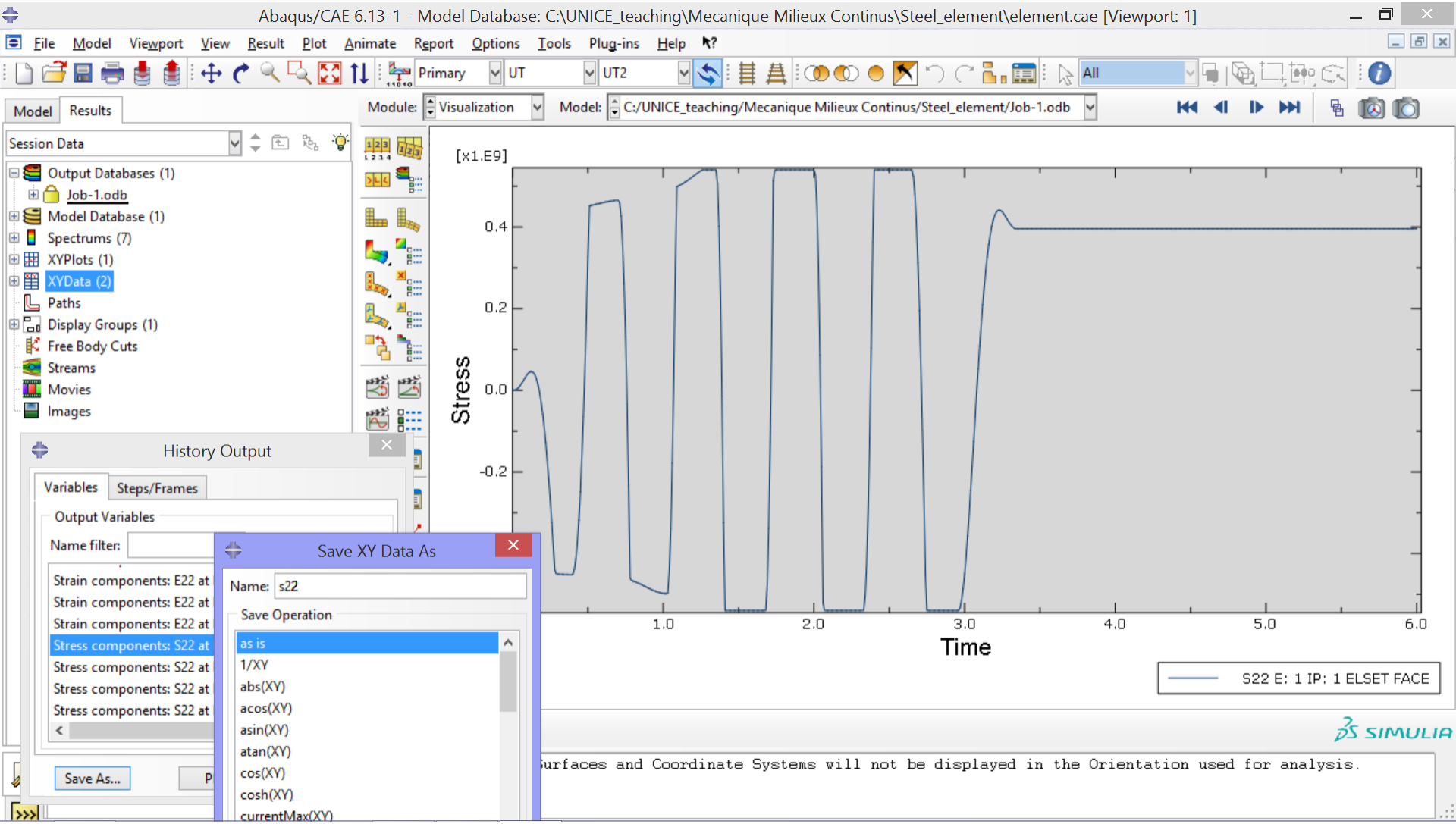
Results - XY Data

3. Courbes : déformation imposée



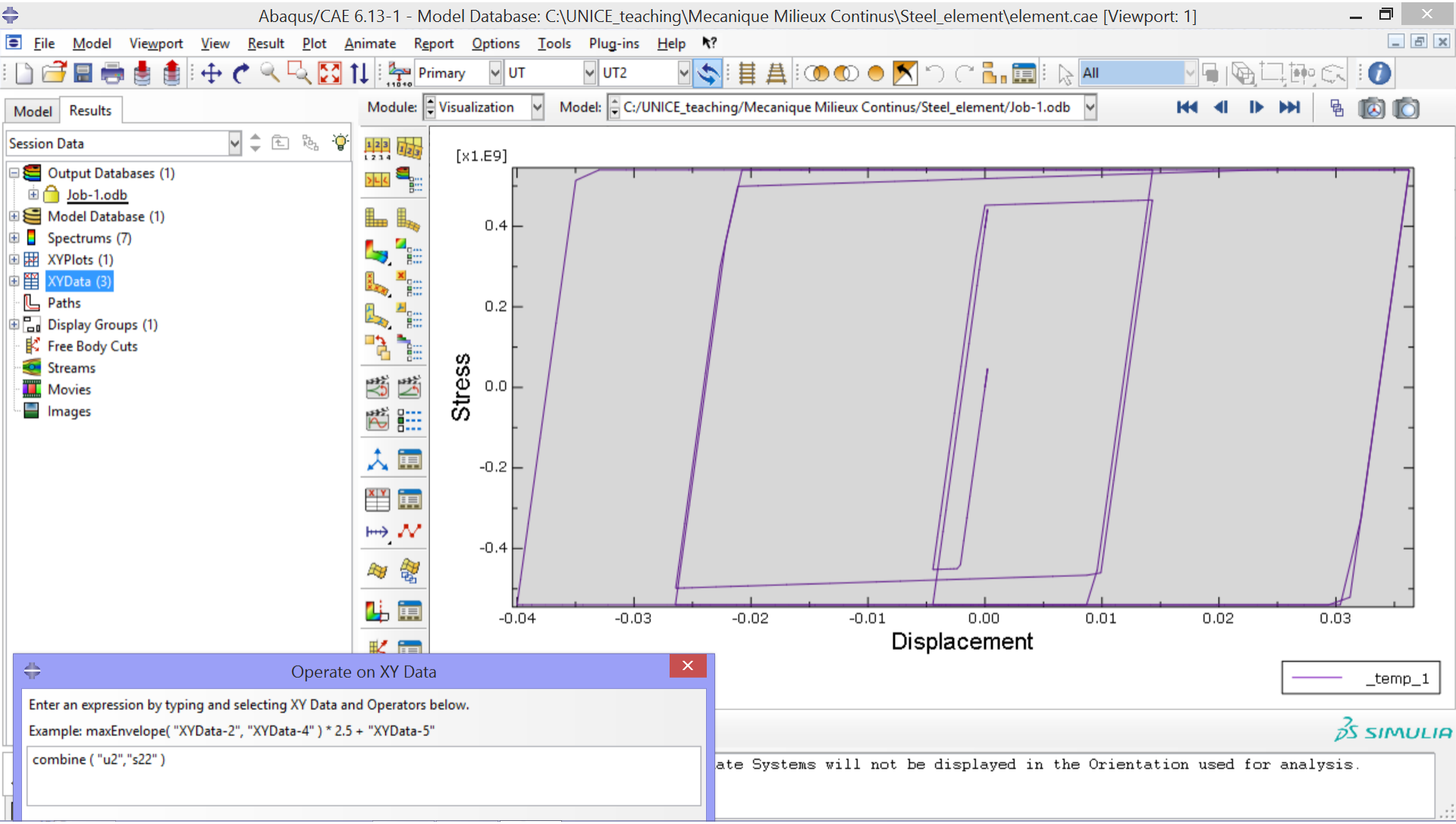
Results - XY Data

3. Courbes : contrainte dans le temps



Results - XY Data

3. Courbes : contrainte-déformation



Fichiers dans le dossier de calcul

Vérifier les données :

- File ***.cae**
- File ***.inp**

Résultats :

- File ***.dat** (Getting Started 7.1.2)
- File ***.odb**

Messages d'erreurs :

- File ***.log**
- File ***.msg**

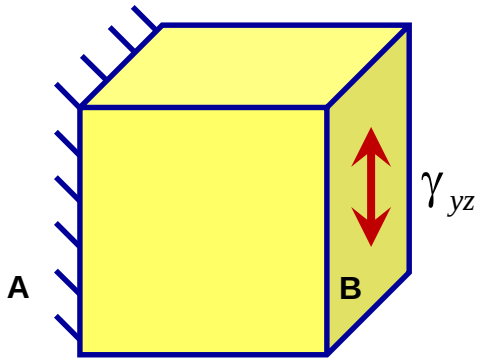
Loi de comportement 1/2

- **Données** : élément cubique unitaire pour tester les lois de comportement
  - Géométrie **3D** : 1 x 1 x 1 m
  - Matériau : acier (élastique-parfaitement plastique)

    Module de Young E = 210 10^9 N/m^2, Coefficient de Poisson ν = 0.3, Densité ρ = 8 t/m^3

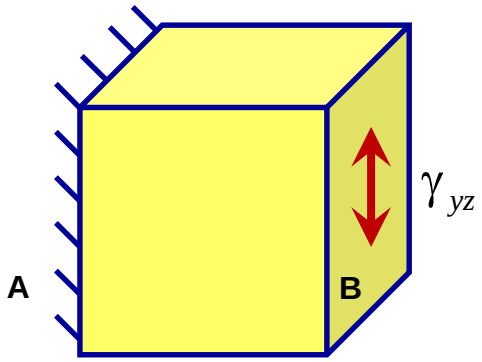
    Perte d'élasticité : ε_y = 0.002, f_y = 450 N/mm^2

    Rupture : ε_u = 0.1, f_u = 540 N/mm^2
  - Conditions aux limites : A) u_y = 0, axe de symétrie x : u_z = 0, axe de symétrie z : u_x = 0
  - Contrôle en déformation : B) $u_z \neq 0$ (compression/traction)



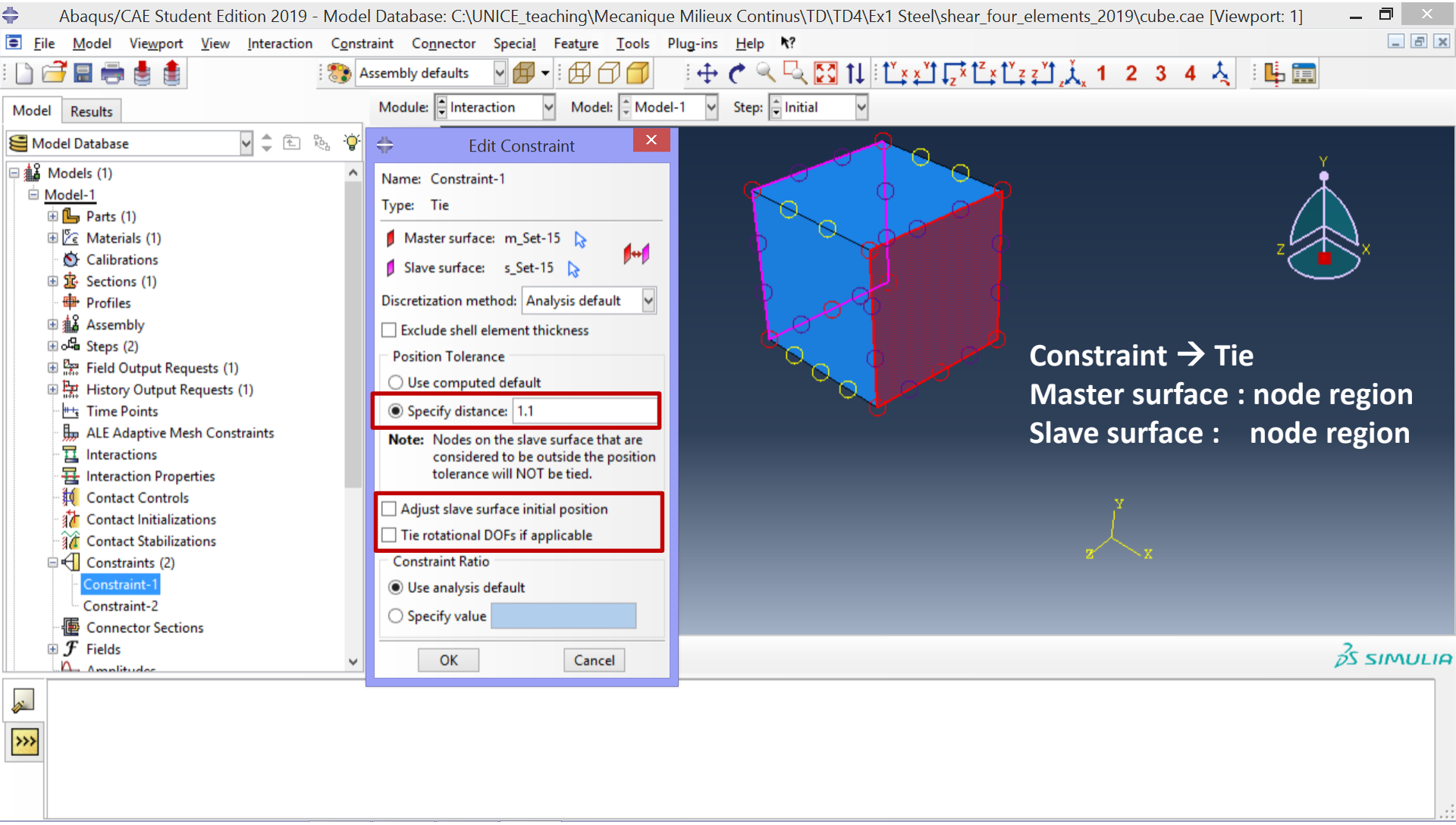
Loi de comportement 2/2

- **Données** : élément cubique unitaire pour tester les lois de comportement
  - Condition périodique en direction x : $u_{xA} = u_{xB} \rightarrow du_x = 0 \rightarrow \varepsilon_x = 0$
  - Condition périodique en direction z : $u_{zA} = u_{zB} \rightarrow du_z = 0 \rightarrow \varepsilon_z = 0$



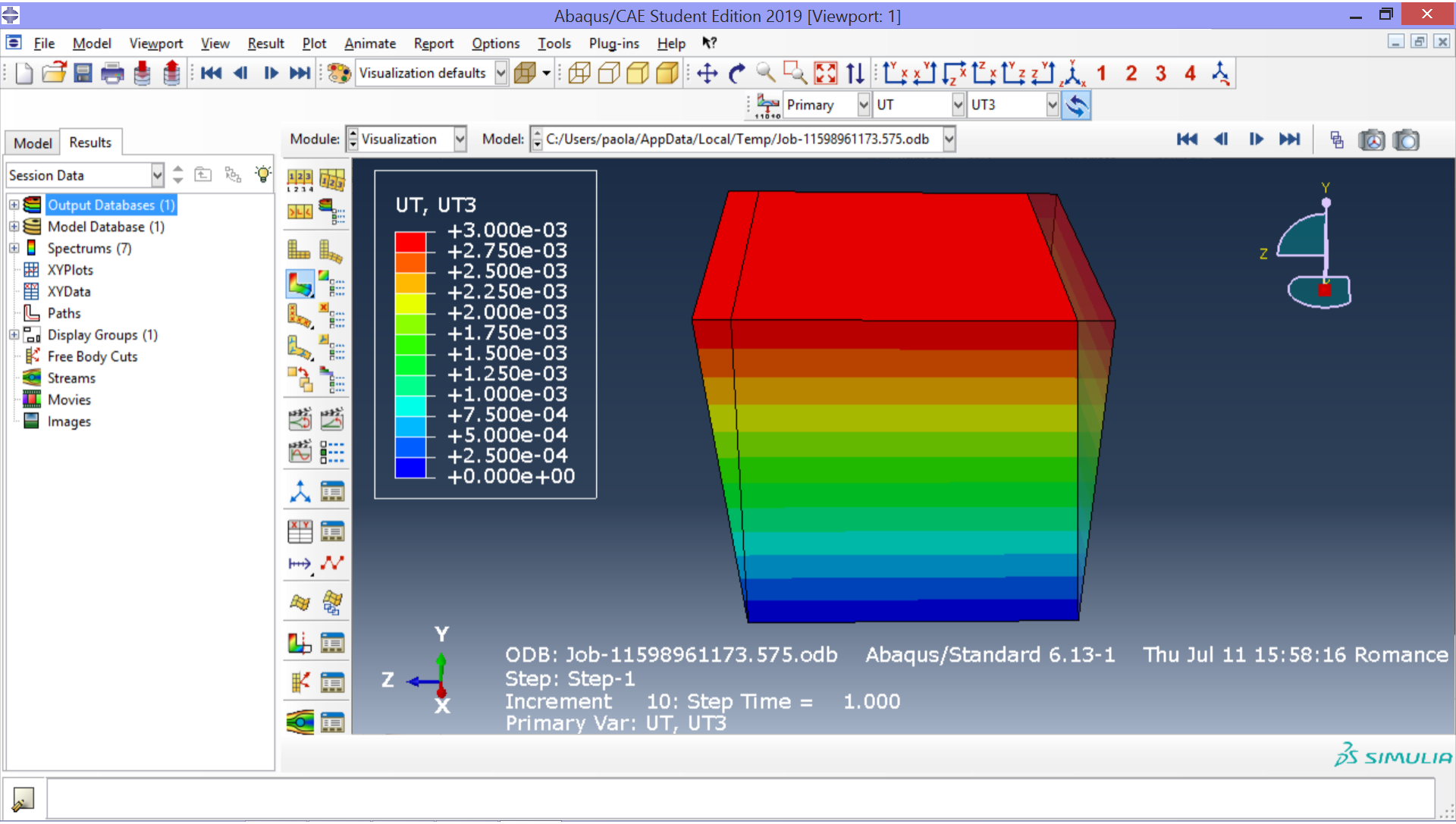
Constraints

Condition périodique : déplacement égal de deux facettes parallèles (tie)



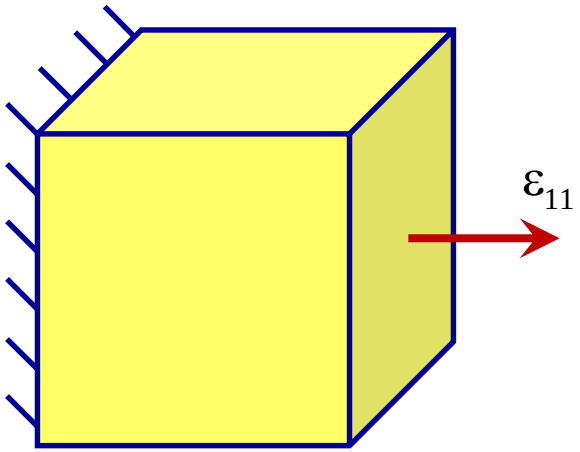
Results

Déformée et cartographie : déformation, contrainte

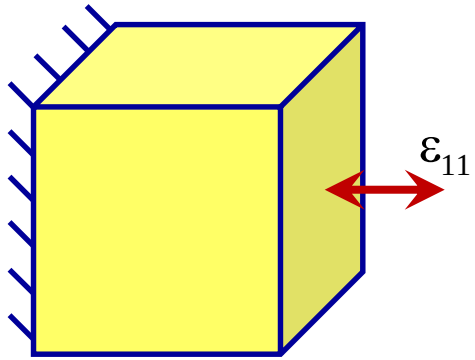


Loi de comportement 1/2

- **Données** : élément cubique unitaire pour tester les lois de comportement
  - Géométrie **3D** : 1 x 1 x 1 m
  - Matériau : 1) béton, E = 31220 N/mm^2, ν = 0.2, ρ = 2500 kg/m^3
  - Loi de comportement : élastique-plastique (concrete damage plasticity)
  - Conditions aux limites : A) $u_x = 0$, axe de symétrie y : $u_z = 0$, axe de symétrie z : $u_y = 0$
  - Contrôle en déformation : B) $u_x \neq 0$ (compression/traction)

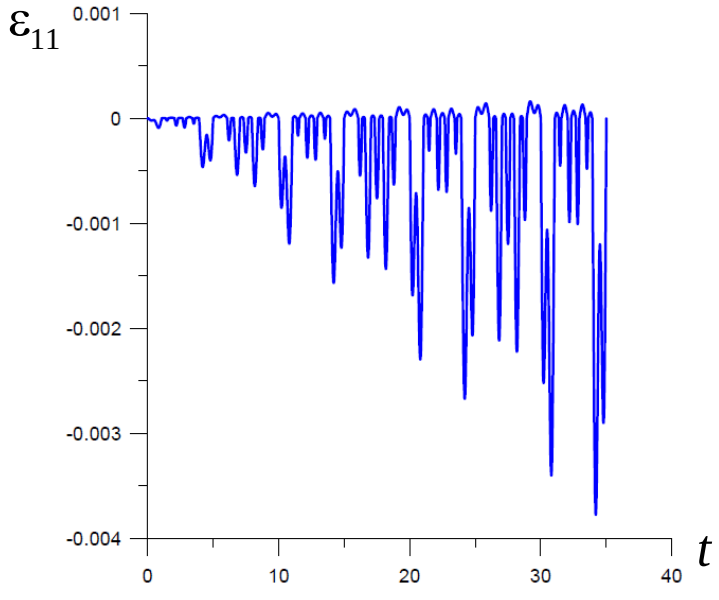


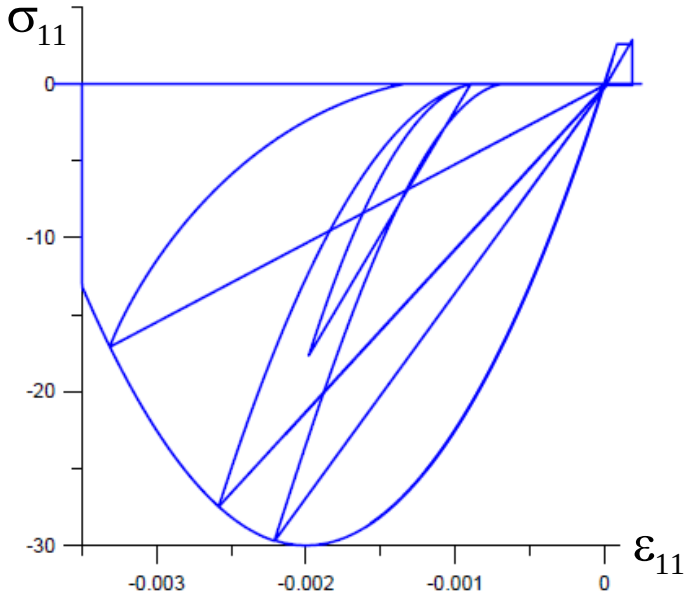
Loi de comportement 2/2



- **Résultats** :
  - Courbe déformation-contrainte :

    pour le cube unitaire déplacement ≡ contrainte





Results - XY Data

3. Courbes : contrainte-déformation