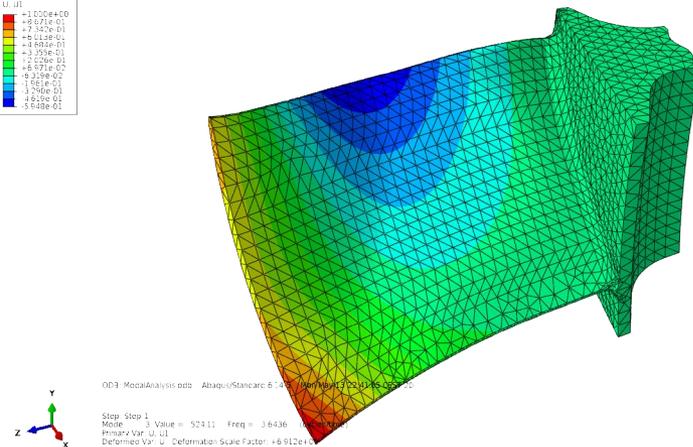
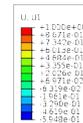


Tutoriel Abaqus: Analyse statique

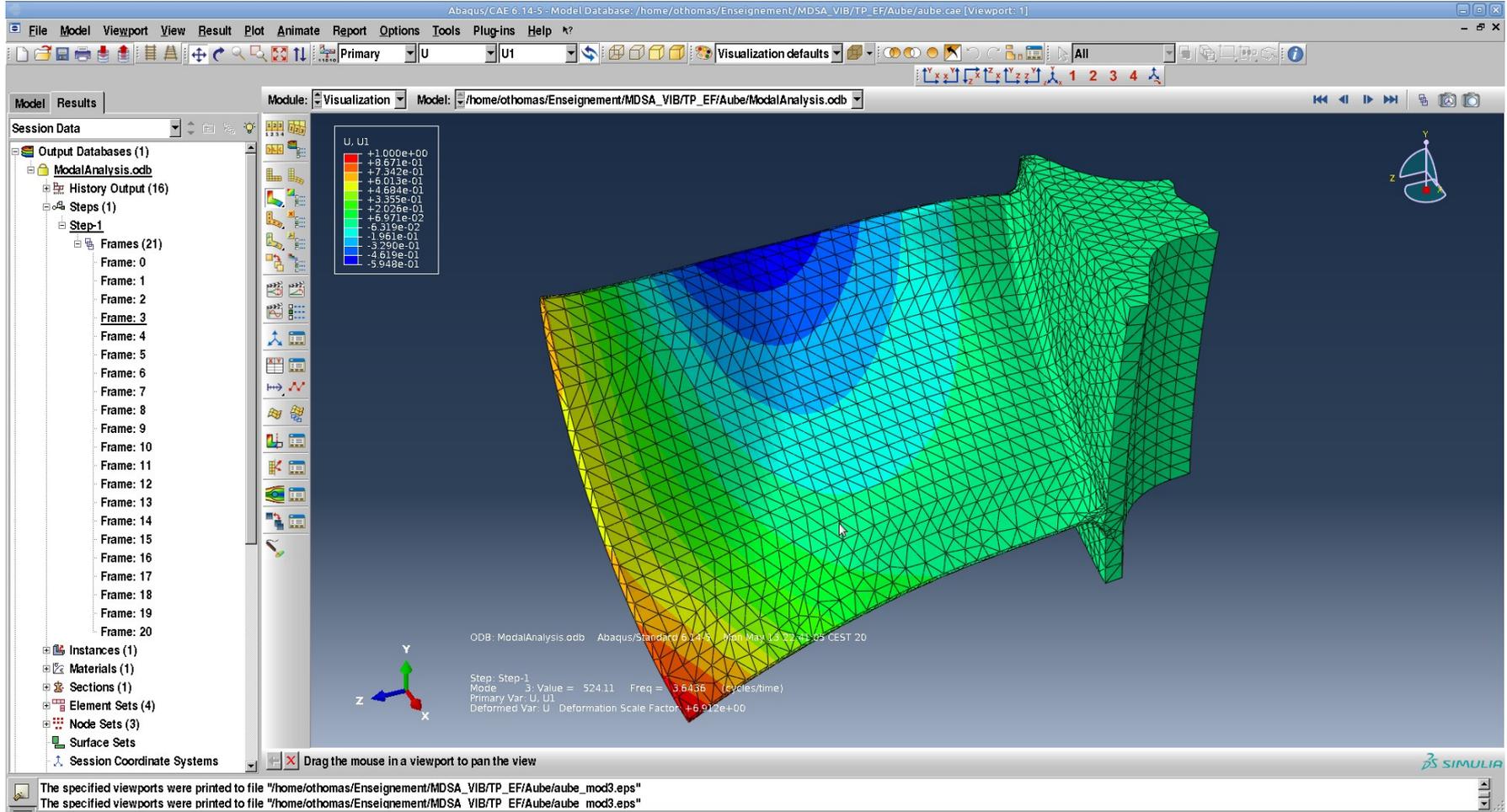
Éléments finis volumiques
olivier.thomas@ensam.eu

 SIMULIA
ABAQUS

 Arts Sciences et
Technologies
et Métiers



Abaqus : généralités



Abaqus

- Abaqus est une suite logiciel de calcul numérique de structures mécaniques basés sur la méthode des éléments finis.
- Il est capable de traiter des problèmes de mécanique :
 - standards : statique linéaire, modes propres vibratoires, modes propres de flambage, dynamique transitoire et fréquentielle ;
 - avancés : statique non linéaire (géométrique, contact, plasticité) ; dynamique transitoire en non linéaire ;
 - couplés : couplage piézoélectrique, couplage thermique. . .
- Dans ce tutoriel : **analyse statique.**

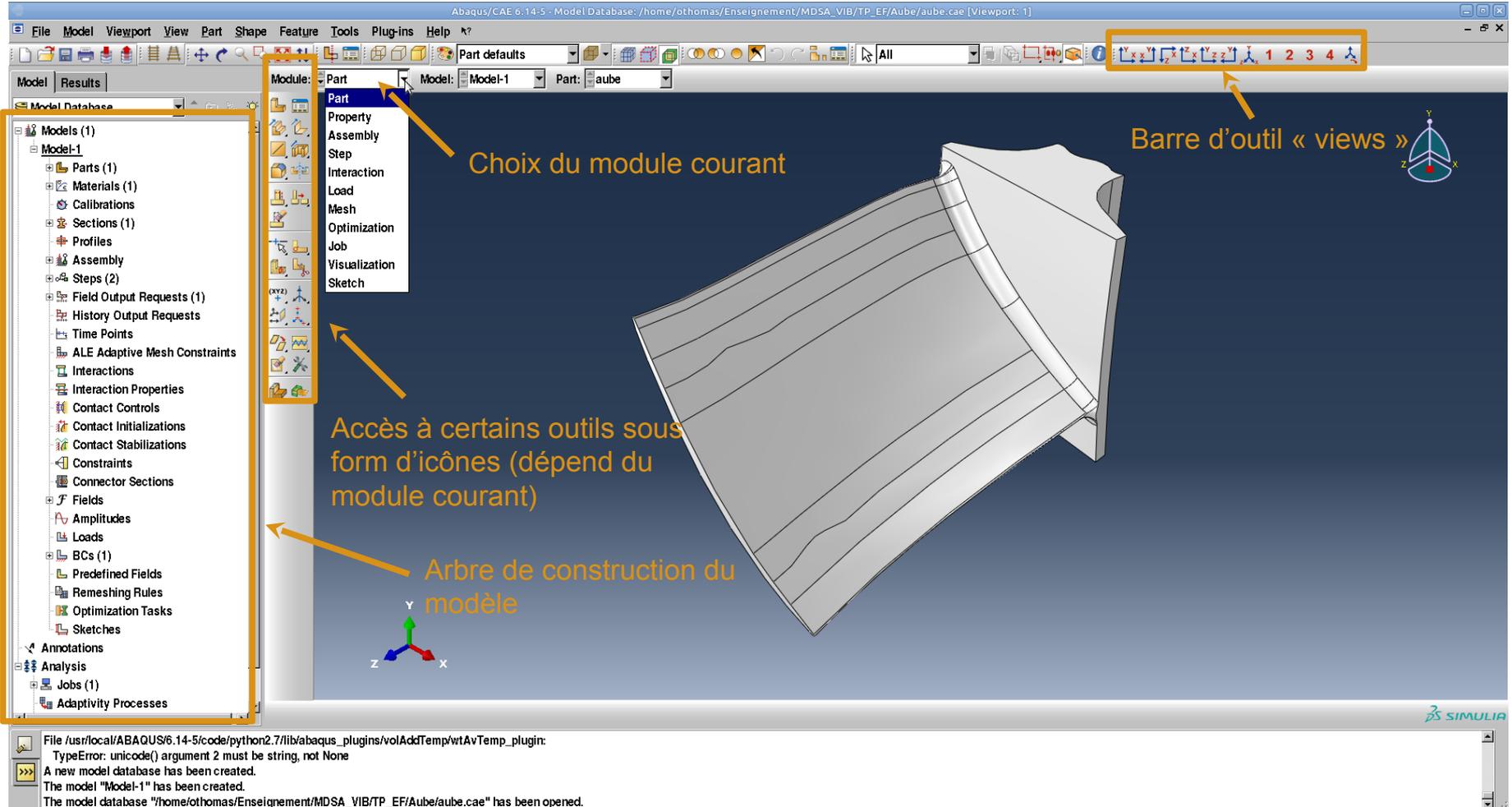
Unités

- Abaqus est un logiciel qui manipule des chiffres **sans unité** : c'est à l'utilisateur de choisir un **système d'unités cohérent**.

	Système international	Système 1	Système 2
Longueur	m	mm	μm
Temps	s	s	μs
Masse	kg	Mg (tonne)	μg
Fréquence	Hz	Hz	MHz
Force	N	N	mN
Pression	Pa	MPa	GPa
Masse volumique	kg/m^3	$\text{Mg}/\text{mm}^3 = 10^{12} \text{ kg}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\mu\text{m}^3 = 10^9 \text{ kg}/\text{m}^3$
(Acier)	$7800 \text{ kg}/\text{m}^3$	$7800 \cdot 10^{-12} \text{ Mg}/\text{mm}^3$	$7800 \cdot 10^{-9} \mu\text{g}/\mu\text{m}^3$
	$210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$	$210 \cdot 10^3 \text{ MPa}$	210 GPa

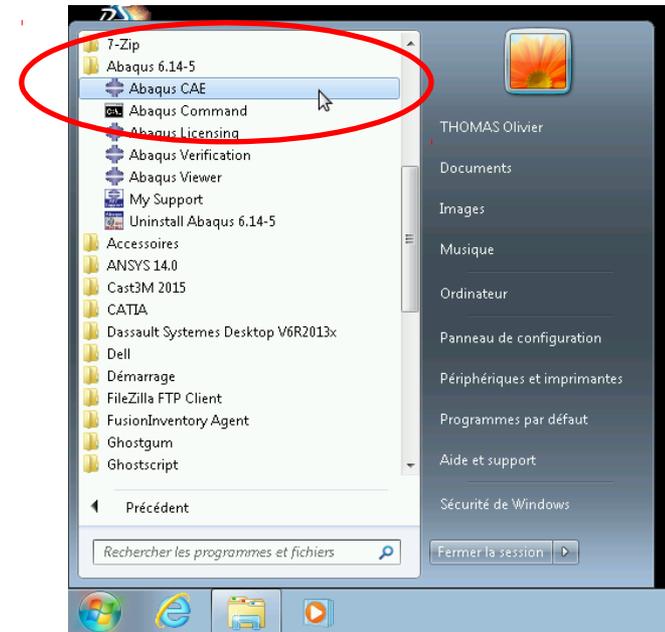
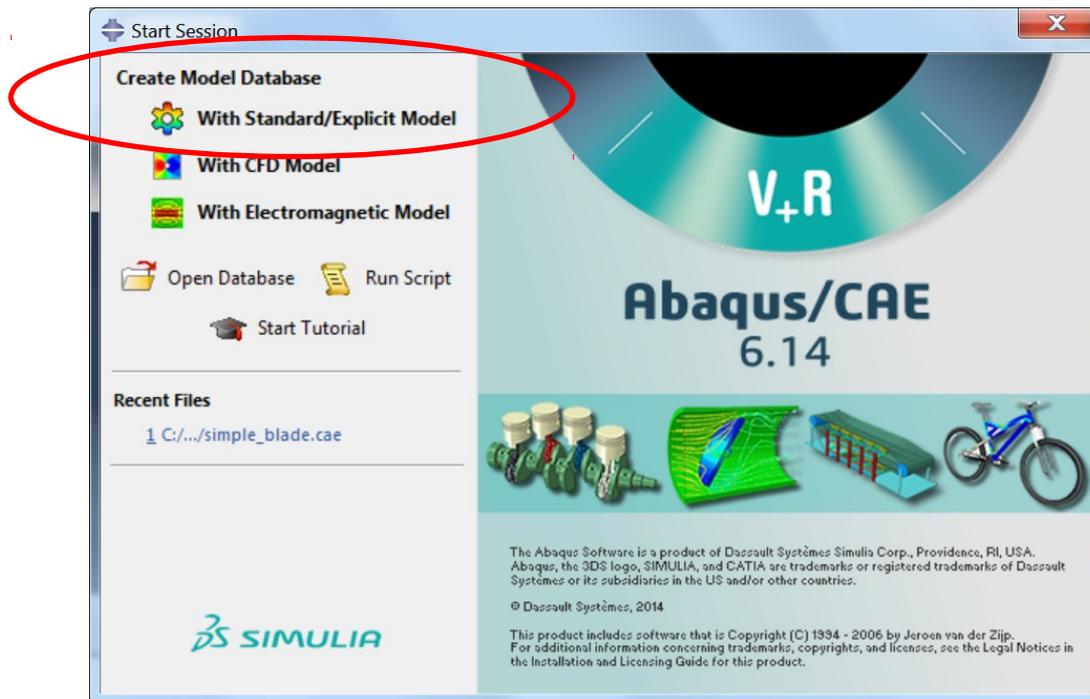
- Il faut penser au conditionnement numérique : il faut que les valeurs numériques des variables (déplacement, pressions, forces...) soient de l'ordre de l'unité ou de ses puissances voisines ($10^{-3} \rightarrow 10^3$)
- Le système 1 est souvent le plus approprié pour la mécanique général où les dimensions sont naturellement en mm. Le système 2 est approprié pour les microsystèmes.

L'interface graphique



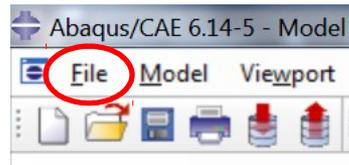
Nouvelle étude Abaqus

- Démarrer Abaqus CAE
- Create model database :« with Standart/Explicit model »

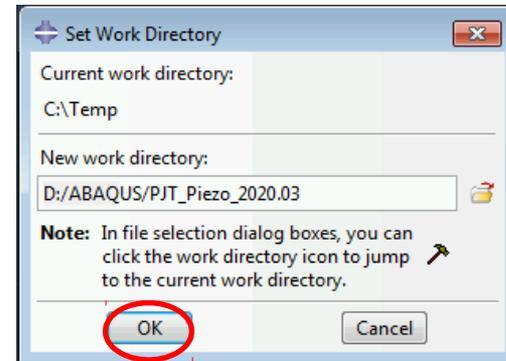


Définition du dossier de travail

- Définir le dossier de travail qui contiendra tout les fichiers liés au calcul Abaqus



« File/Set Work Directory »

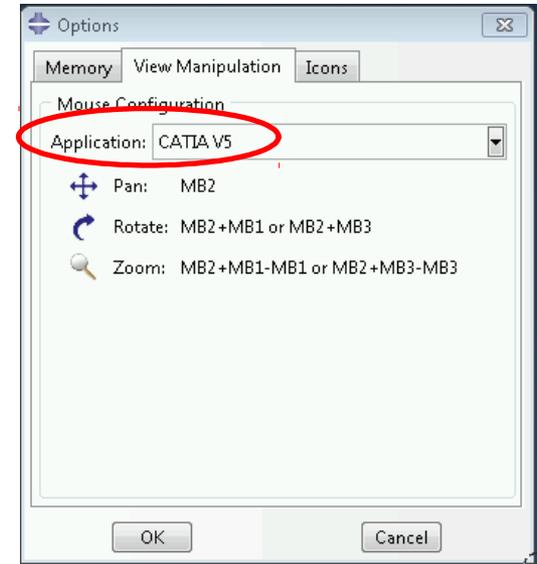


- **Important** car beaucoup de fichiers sont créés :
 - .cae : fichier binaire qui contient le modèle
 - .odb : fichier binaire de résultat
 - .dat : fichier texte contenant les caractéristiques et résultats de calcul
 - .inp : fichier texte contenant le modèle (noeuds, maillage...)

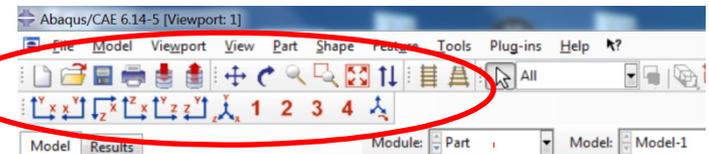
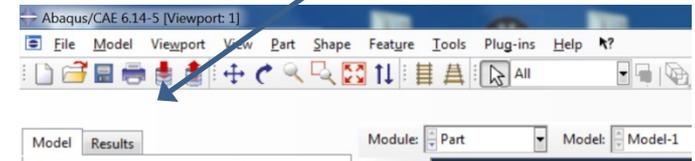
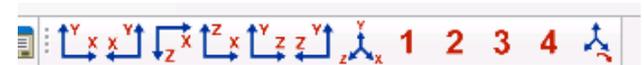
Quelques préférences

- manipulation à la souris :

« Tools/Options »



- Taille des caractères :
 - Viewport → Viewport Annotation Options...
 - File → Save Display Options...
- Barre de vues
 - View → Toolbars → views



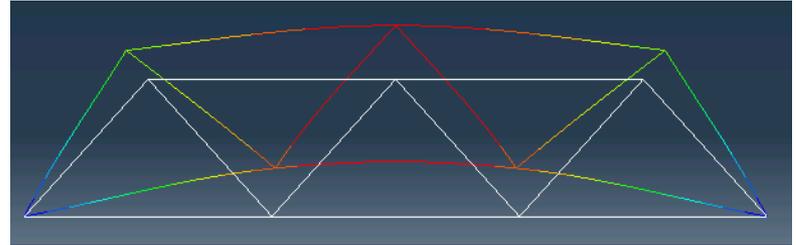
Étapes de construction d'un calcul

- Géométrie (**Part**)
- Matériaux, profil, orientation (**Property**)
- Assemblage des instances de pièces (**Assembly**)
- Définition des étapes du calcul (**Step**)
- Conditions aux limites et Chargements (**Load**)
- Maillage (**Mesh**)
- Résolution (**Job**)
- Visualisation des résultats (**Visualisation**)

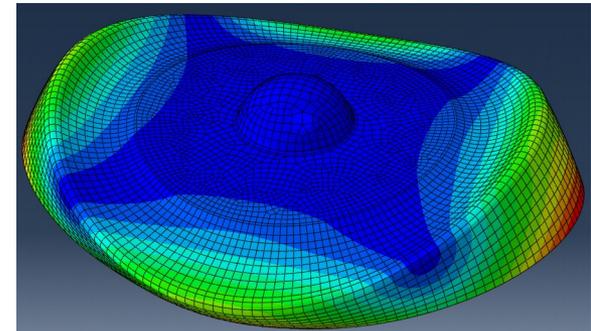


Type de modèles géométriques

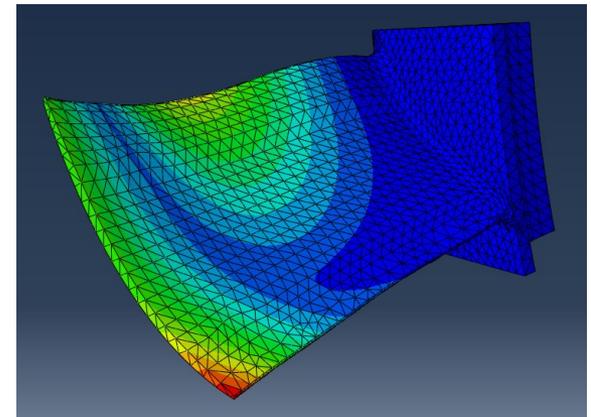
- Modèles filaires (1D)



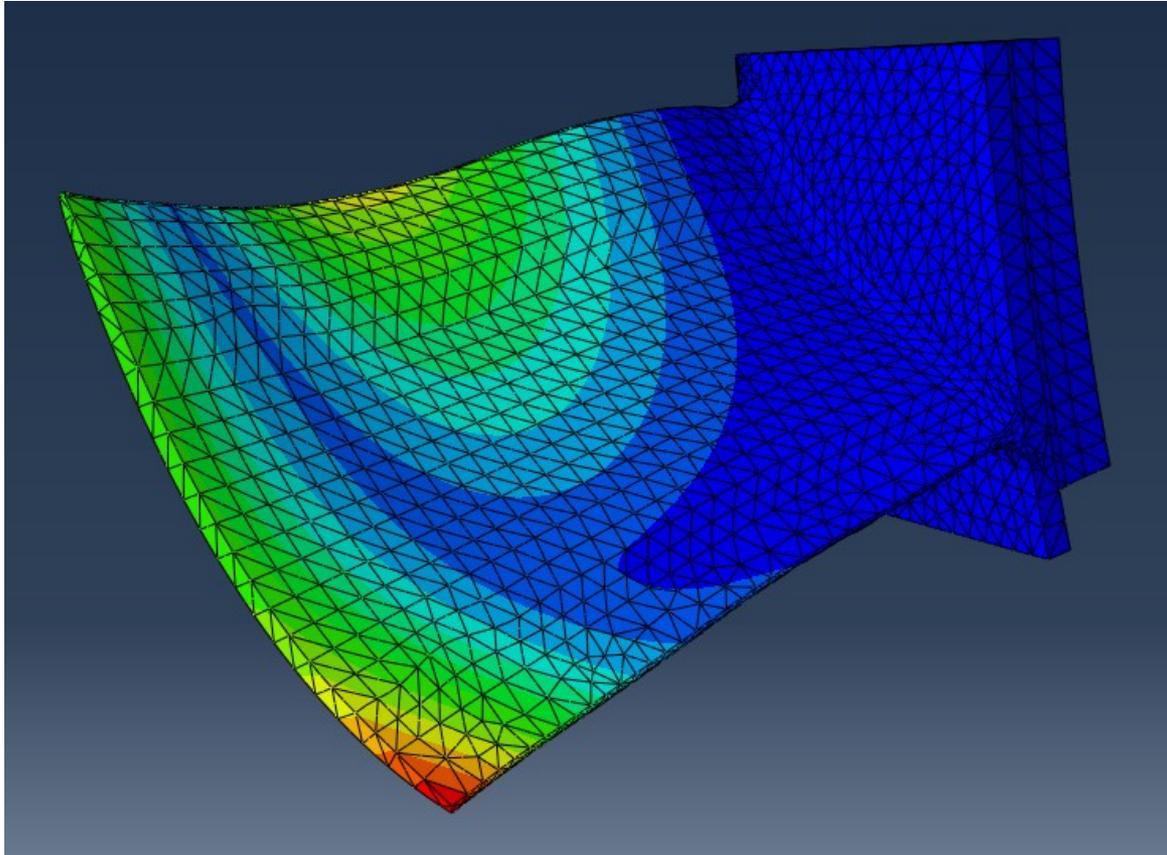
- Modèles surfaciques (2D)
 - modèles de coques
 - modèles en contraintes planes



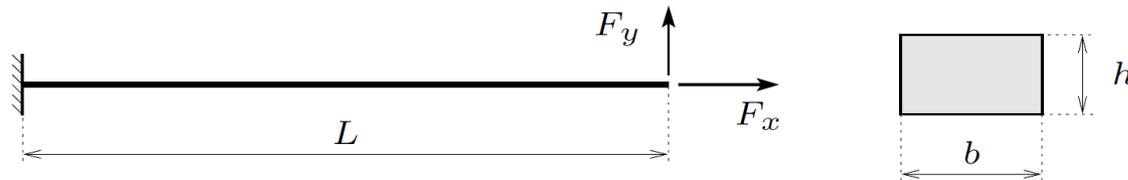
- Modèles volumiques (3D)
- → le présent document



Modèle volumique (3D)



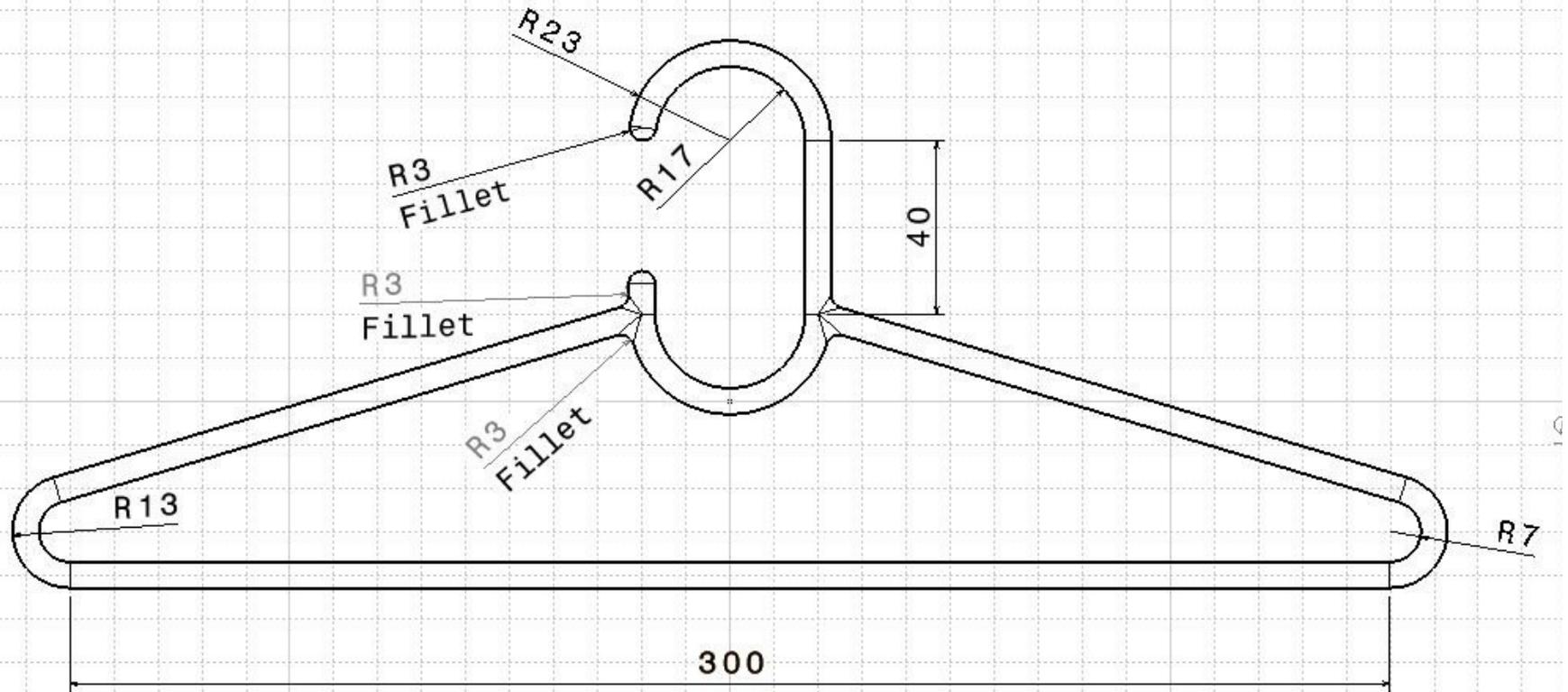
Problème à l'étude



Dimensions	Longueur	$L = 200 \text{ mm}$
	Largeur de section	$b = 20 \text{ cm}$
	Épaisseur de section	$h = 2 \text{ mm}$
Matériau (Acier)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$E = 210 \text{ GPa}$
	Coefficient de Poisson	$\nu = 0.3$

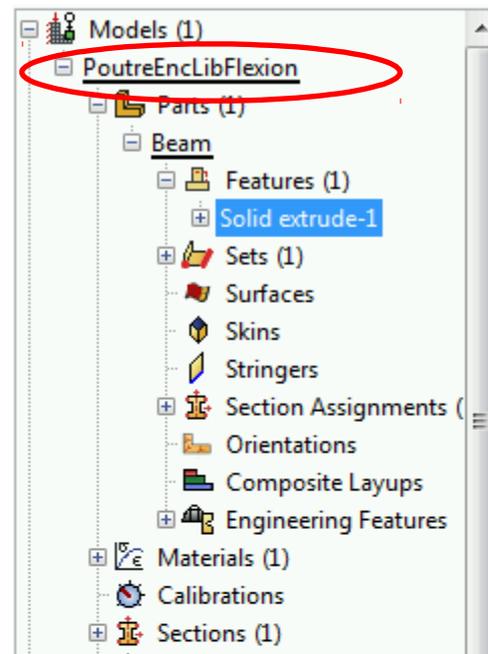
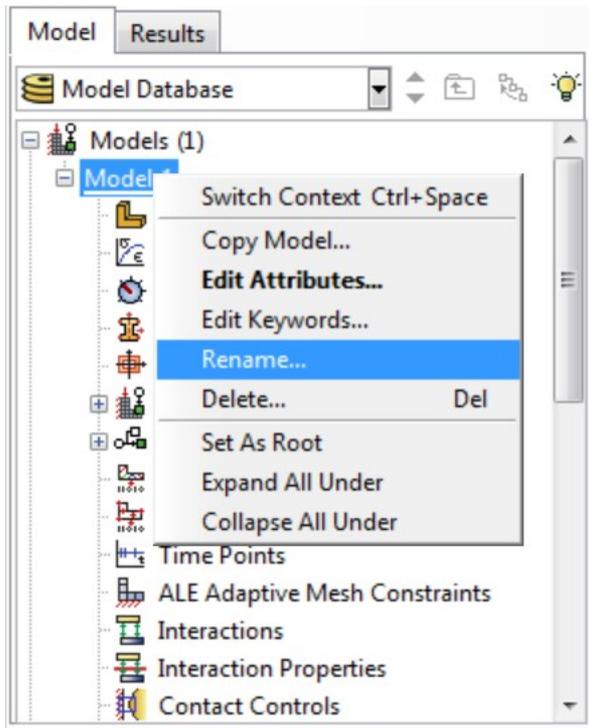
On se propose de calculer la réponse statique d'une poutre à section rectangulaire en conditions aux limites encastree / libre. Pour fixer les idées, on utilise les dimensions et les caractéristiques matérielles précisées ci-dessus

Géométrie (module Part)



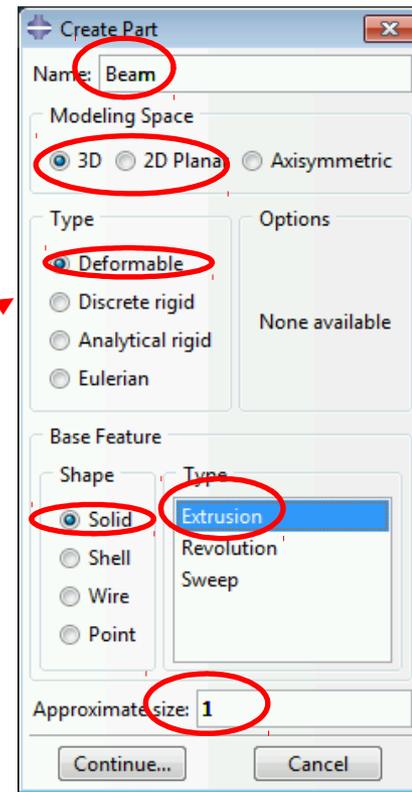
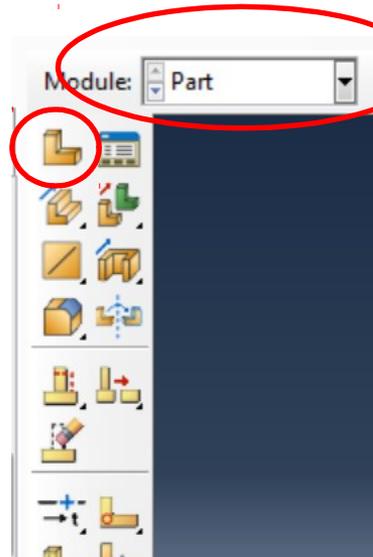
Renommer le modèle

- Renommer le modèle avec un nom explicite



Géométrie créée dans Abaqus

- Activer le module **Part**
- « create part »
- Analogue à CATIA, SolidWorks:
- 1/ création d'une esquisse
- 2/ extrusion, révolution, sweep



Espace de travail

Solide déformable

Modèle de type
« volumique » extrudé

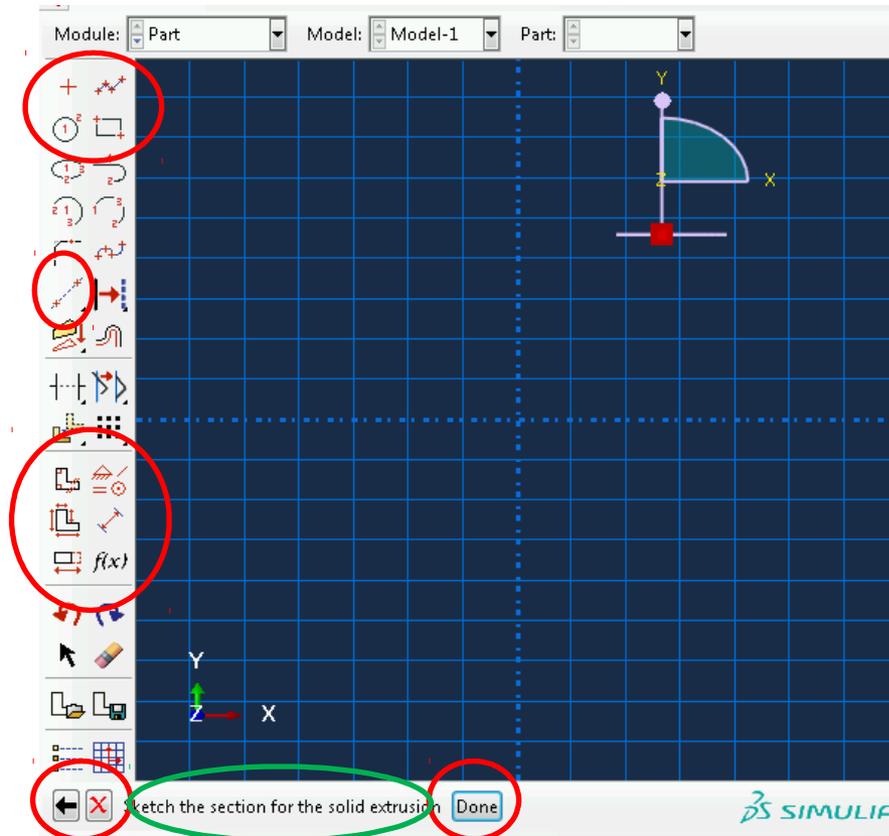
Taille caractéristique

Définition de l'esquisse

Créer les points / lignes /
rectangles

Créer des lignes de
construction pour les axes
de symétrie

Outils de contraintes
géométriques (longueurs,
angles, ...)



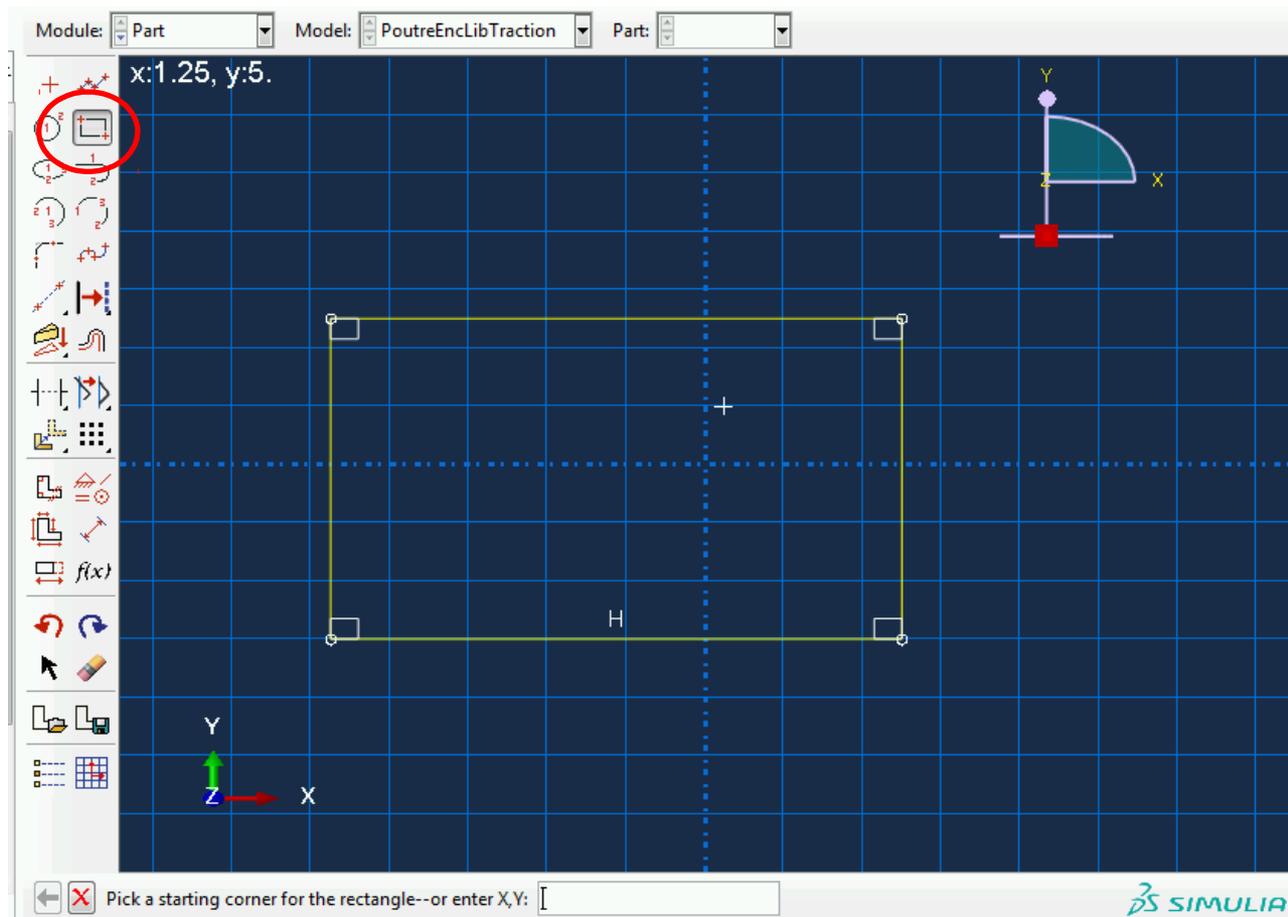
Retour /
Annuler

valider

Toujours regarder ce qui est écrit ici
(dans tout les modules)

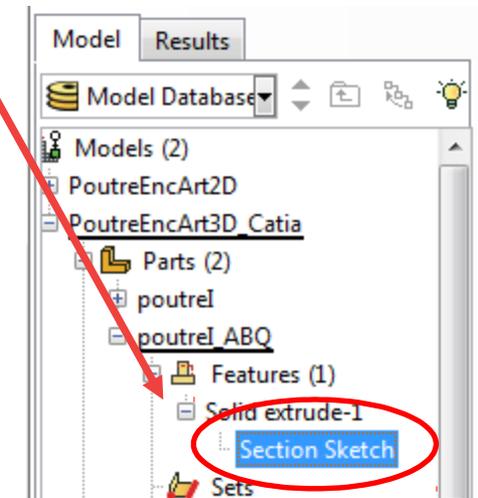
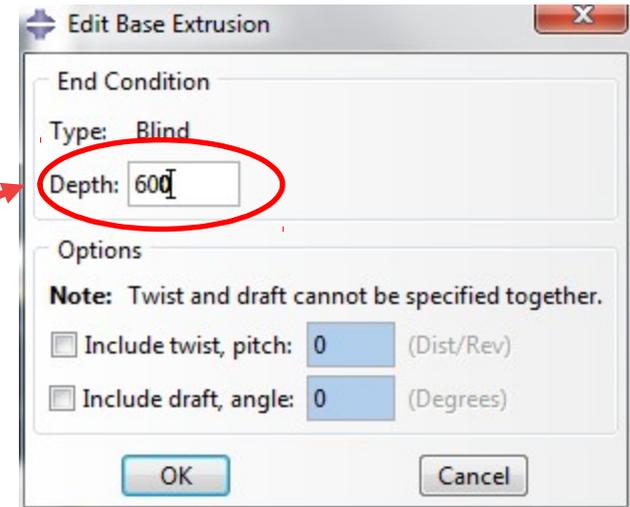
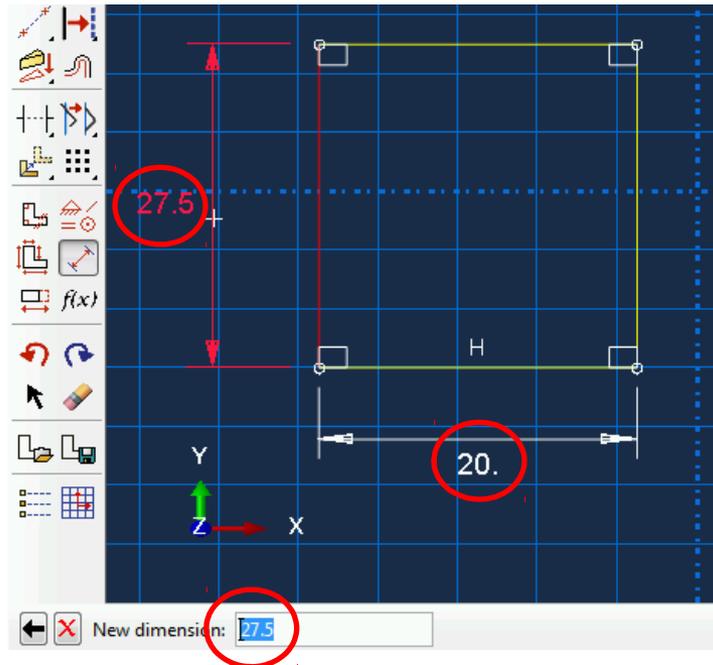
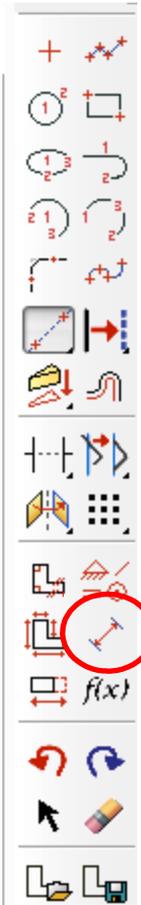
Création de l'esquisse

- Faire un rectangle pour le profil de la section droite de la poutre

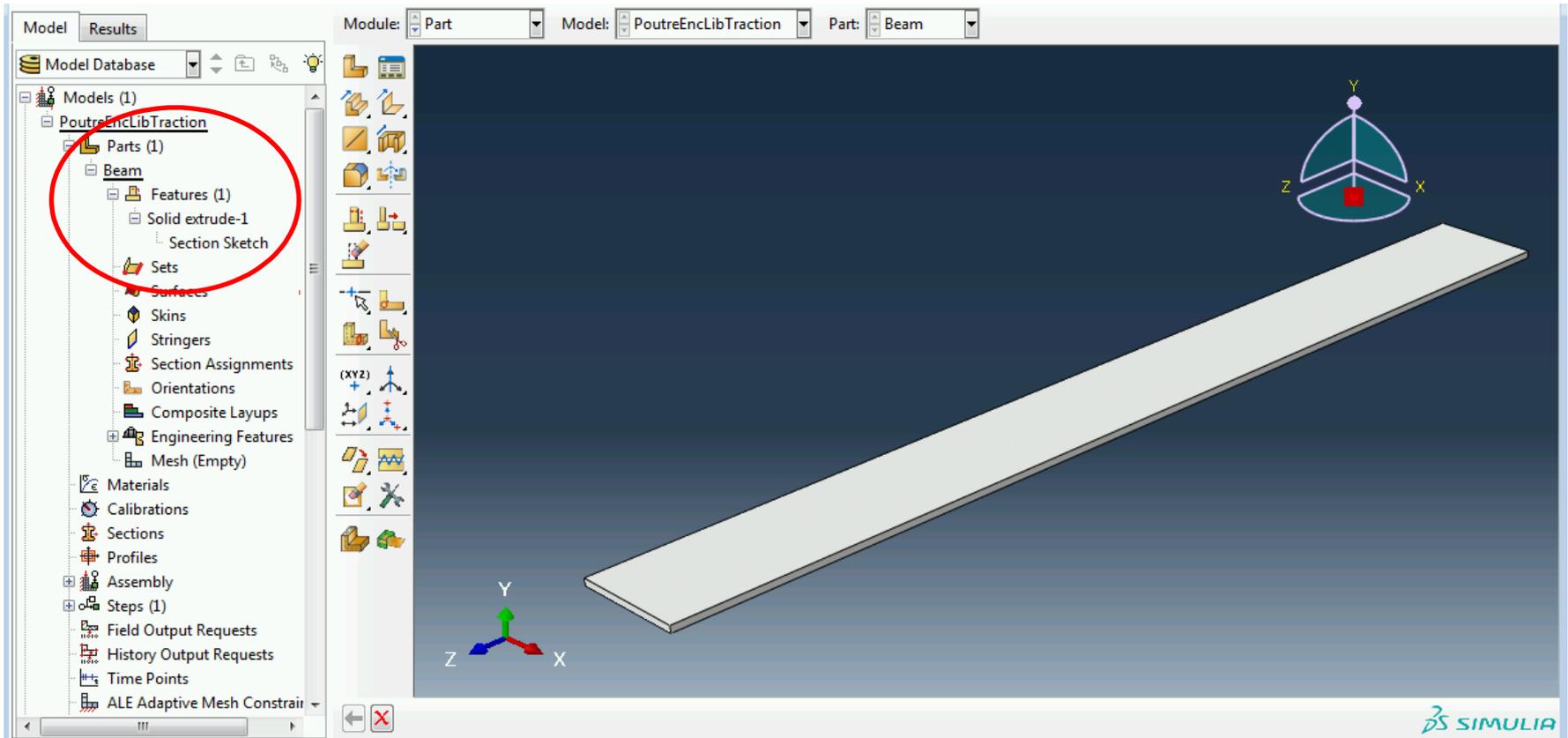


Finition de l'esquisse et extrusion

- Ajouter les dimensions (en m)
- Edit the section sketch « done »
- Spécifier la longueur de l'extrusion
- L'esquisse (« sketch ») apparaît dans l'arbre de construction



Géométrie de la pièce

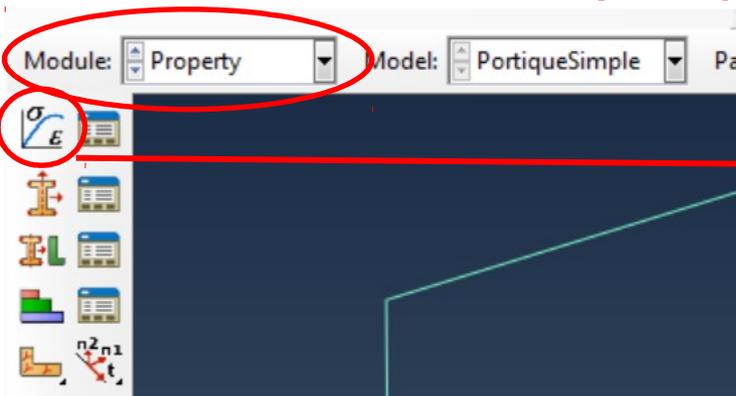


Propriétés matériaux et sections

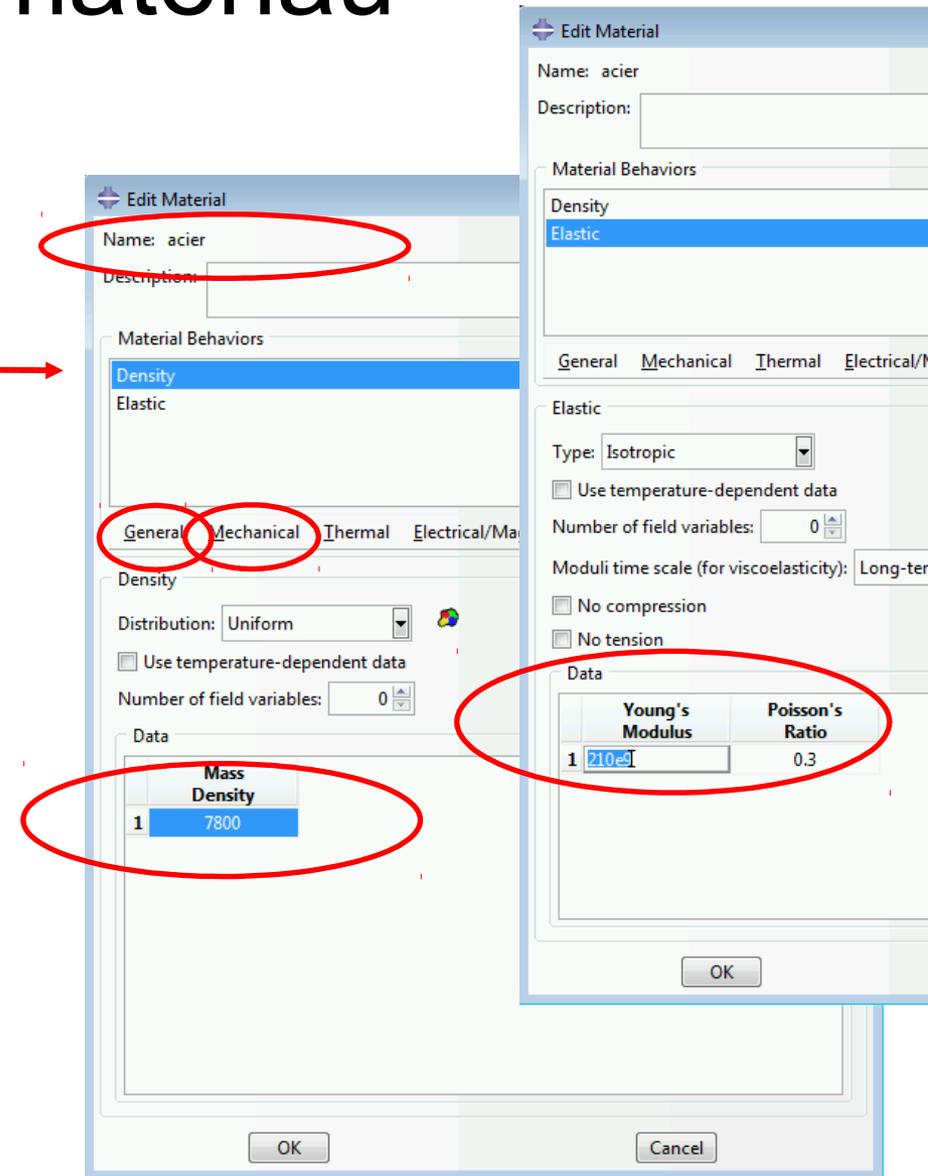


Définir le matériau

Activer le module **Property**

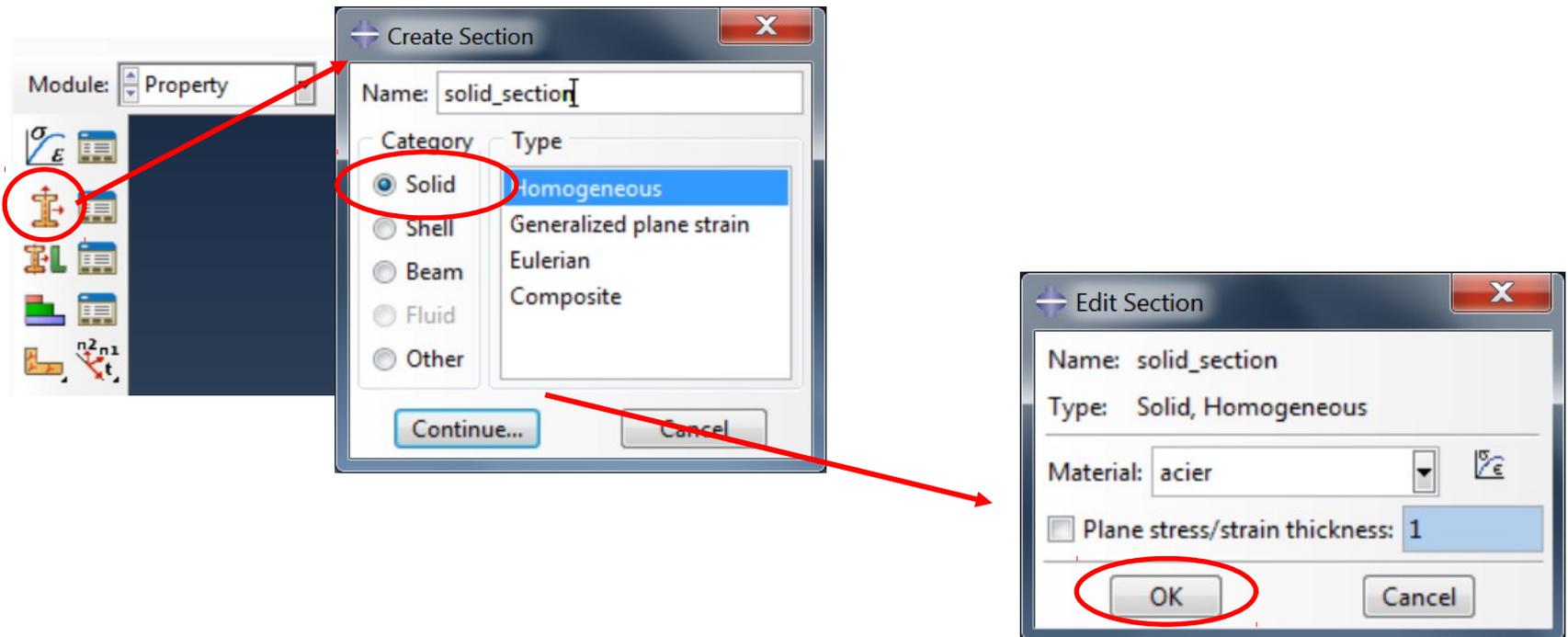


- General -> Density
 - masse volumique
- Mechanical -> Elastic
 - Module Young
 - Coeff. Poisson
- **Attention aux unités !**

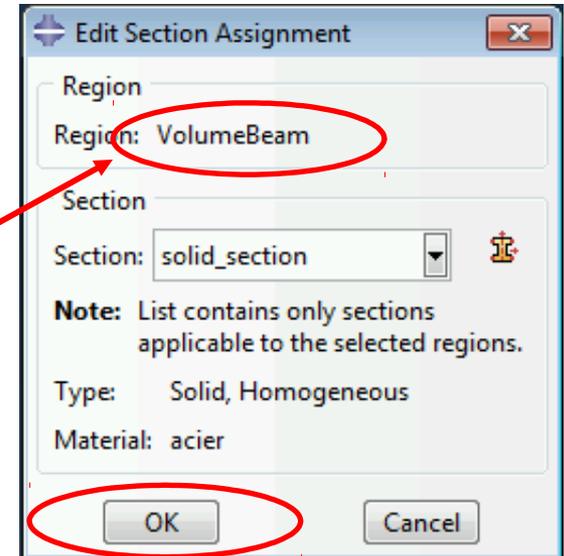
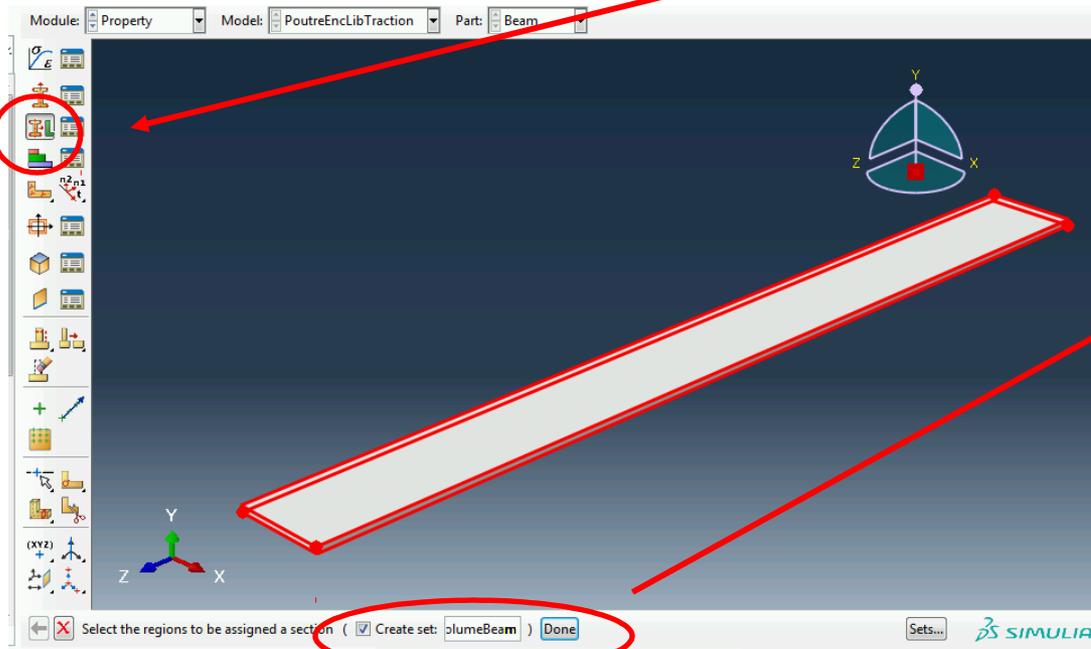


Créer la section

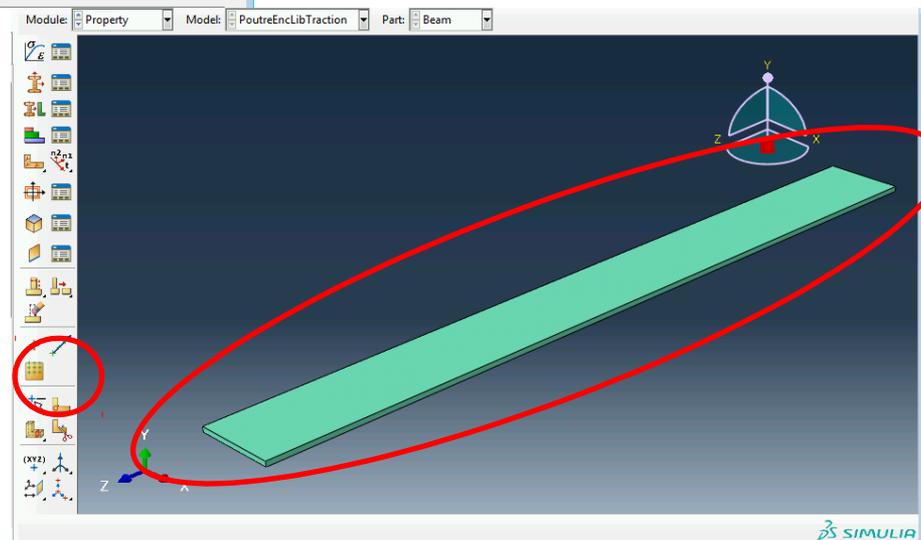
- Définir la section
- → section « solid » car modèle volumique



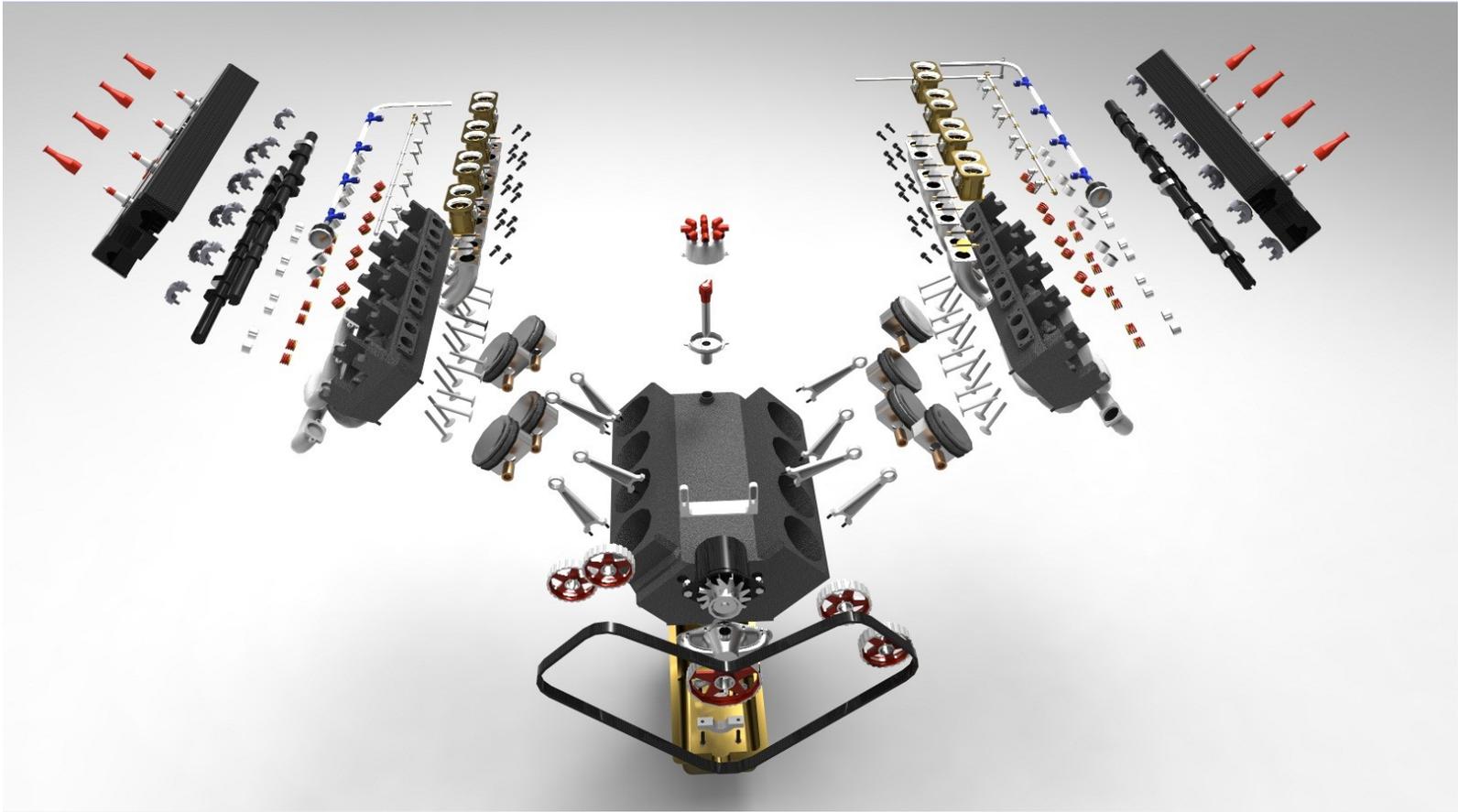
Assigner la section à la pièce



- Créer un « set » (entité géométrique) correspondant au volume de la pièce (en sélectionnant la pièce avec la souris)
- Couleur verte quand tout est OK



Instance et Assemblage

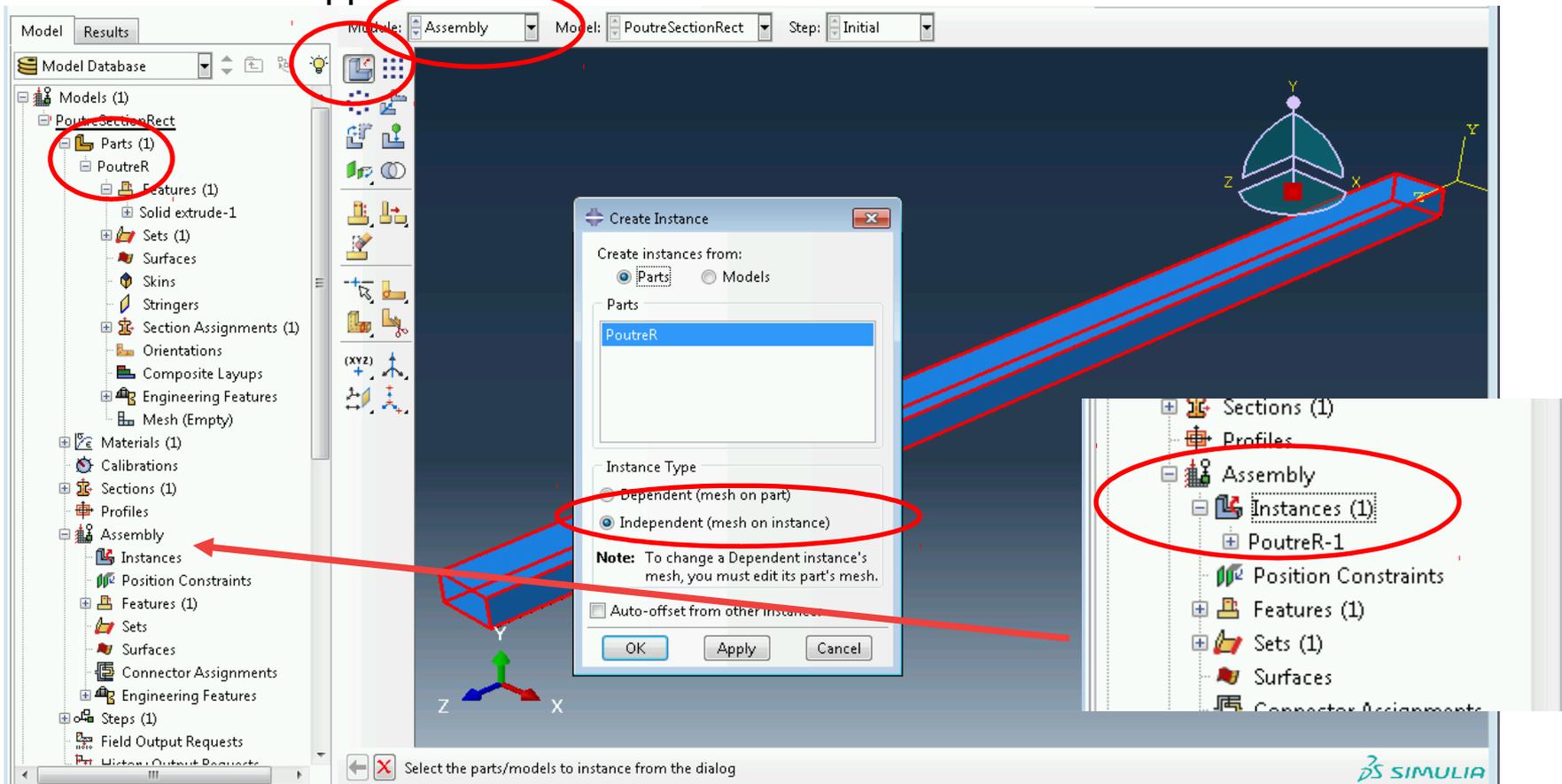


Créer l'assemblage

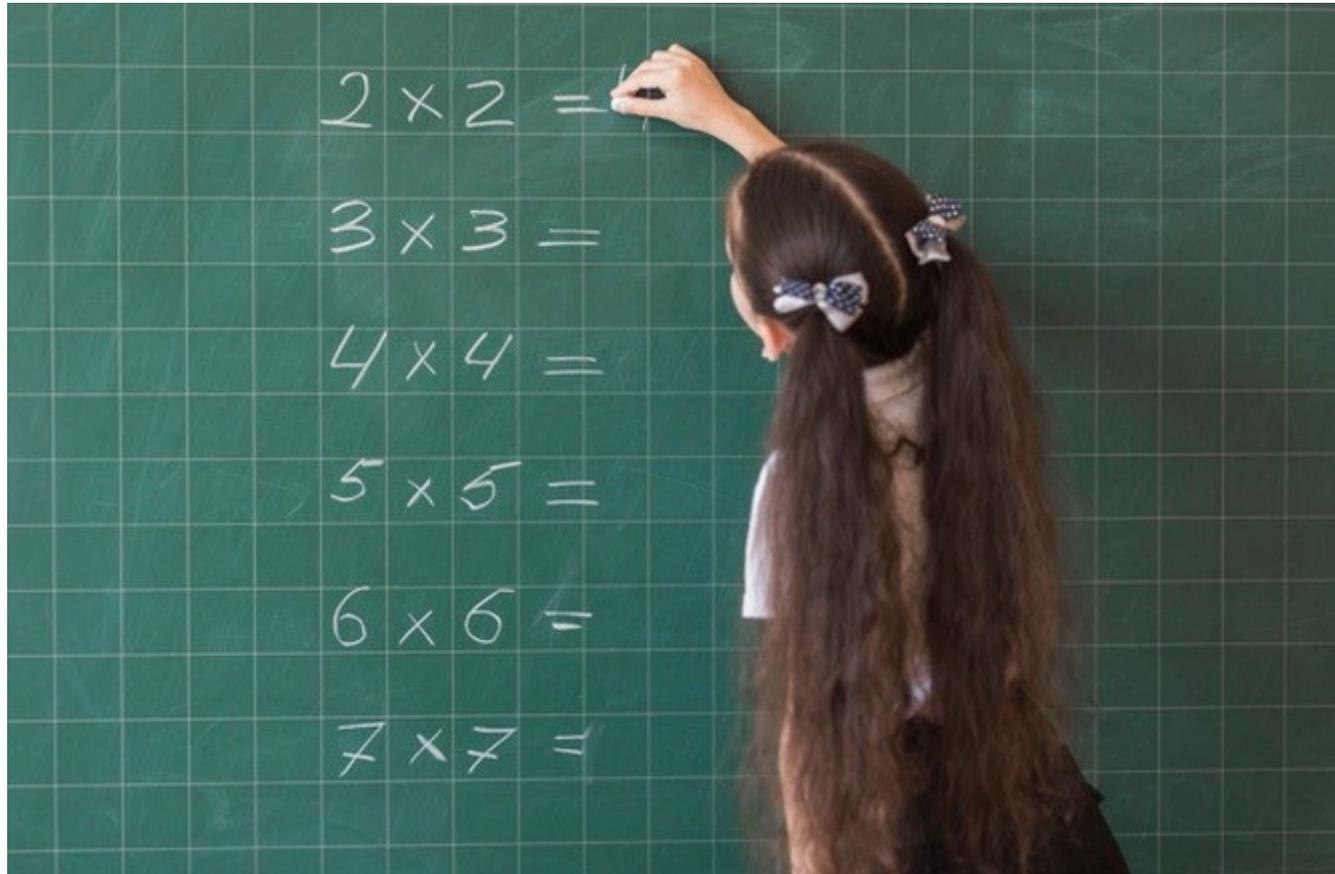
- Pour créer le modèle géométrique, il faut assembler plusieurs composants (défini par des « parts » auxquelles sont assignées des « sections »).
- Pour utiliser plusieurs fois le même composant, on peut insérer plusieurs « instances » d'une même « part » (notion identique dans CATIA).
- Même si le modèle ne comporte qu'un composant, on doit tout de même l'instancier.
- Ceci se fait dans le module **Assembly**

Créer l'assemblage

- Activer le module **Assembly**
- Créer une instance du portique simple
- Bien choisir de mailler l'« instance » et non la « part »
- L'instance apparaît en bleu et dans l'arbre de construction



Type et étapes de calcul

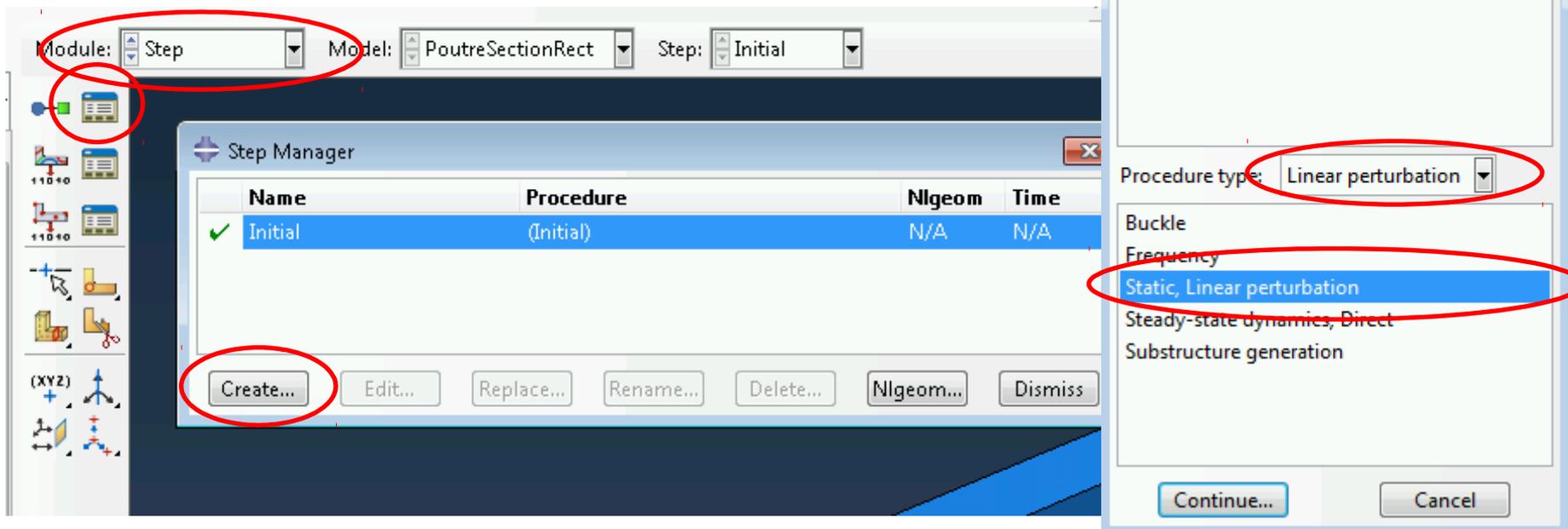


Définition du type de calcul

- Module « **Step** »
- Step 0 : Initialisation (toujours présent)
 - Tout ce qui est défini dans le step-0 se propage dans les autres step (ex: Conditions aux limites (CL), chargement, ...)
- Step 1: Analyse 1 (ex: analyse modale)
 - On peut définir ici des CL ou des chargements en plus qui ne seront effectif que dans ce step-1
- Step 2: Analyse 2
- ...

Définition du type de calcul

- Activer le module **Step**
- Créer un nouveau « step » :
- - Linear perturbation (= analyse linéaire)
- - Static (= analyse statique)



Chargement et conditions aux limites



Conditions aux limites

- Activer le module **Load**
- Définition des conditions aux limites

The image displays a software interface for defining boundary conditions on a 3D model of a beam. The main window shows the 'Create Boundary Condition' dialog box with the following details:

- Module:** Load (circled in red)
- Model:** PoutreSectionRect
- Step:** Initial
- Name:** Encastrement
- Step:** Initial
- Category:** Mechanical (selected)
- Types for Selected Step:** Displacement/Rotation (circled in red)

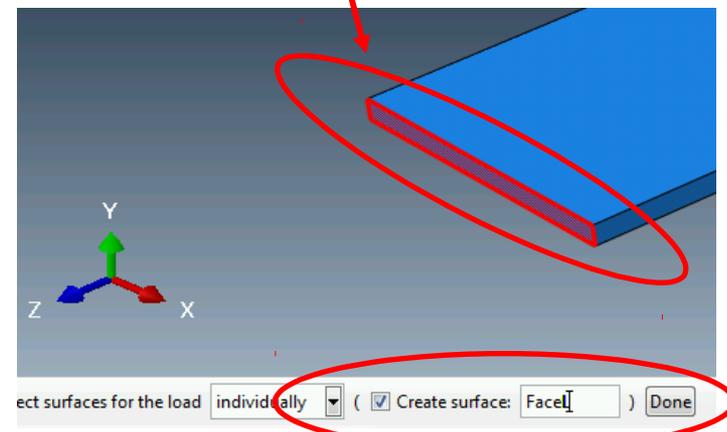
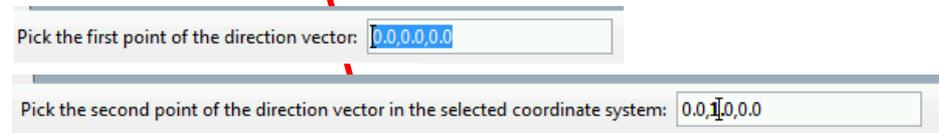
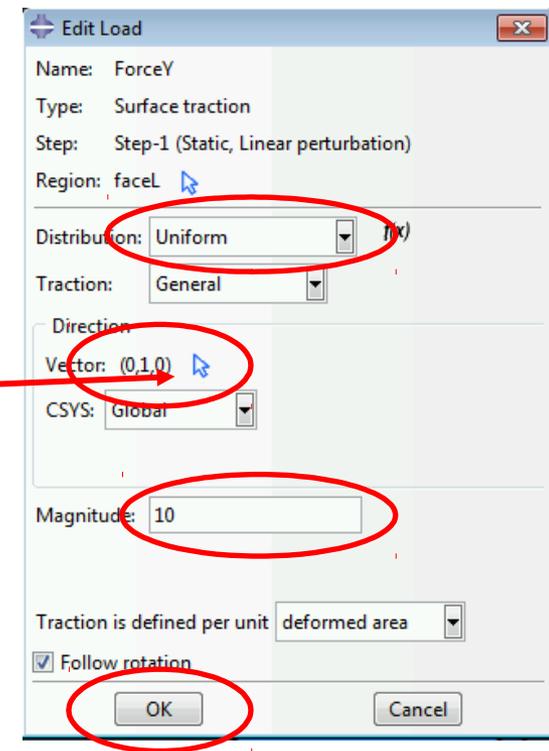
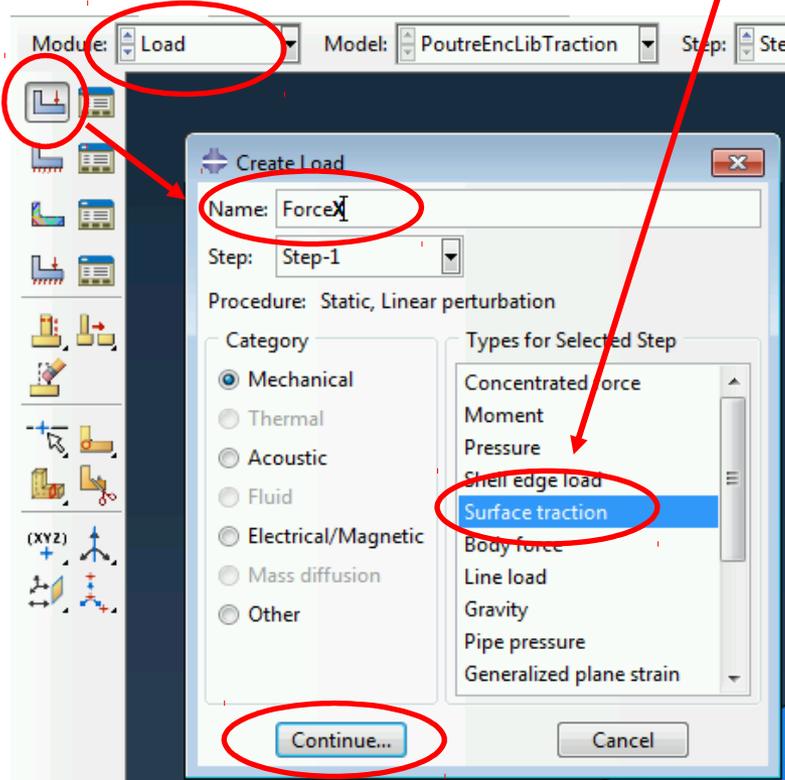
The 'Edit Boundary Condition' dialog box is also visible, showing:

- Name:** Encastrement
- Type:** Displacement/Rotation
- Step:** Initial
- Region:** Face0
- CSYS:** (Global)
- U1, U2, U3:** Checked (circled in red)
- UR1, UR2, UR3:** Unchecked
- Note:** The displacement value will be maintained in subsequent steps.

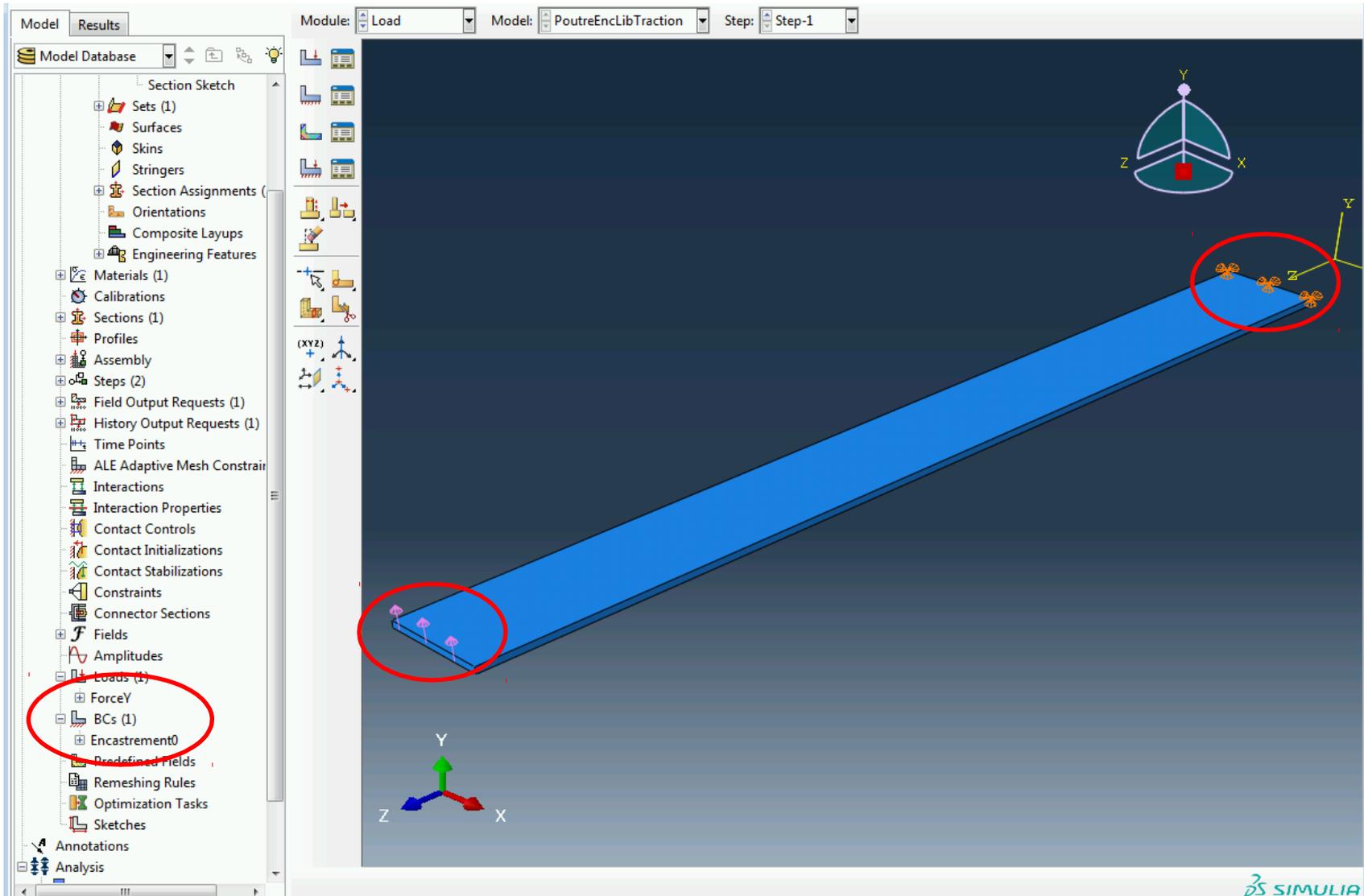
The 3D model shows a blue beam with a coordinate system (X, Y, Z). Red circles highlight the beam's end face and the 'Create set' button in the bottom status bar, which is set to 'Face0'.

Chargement

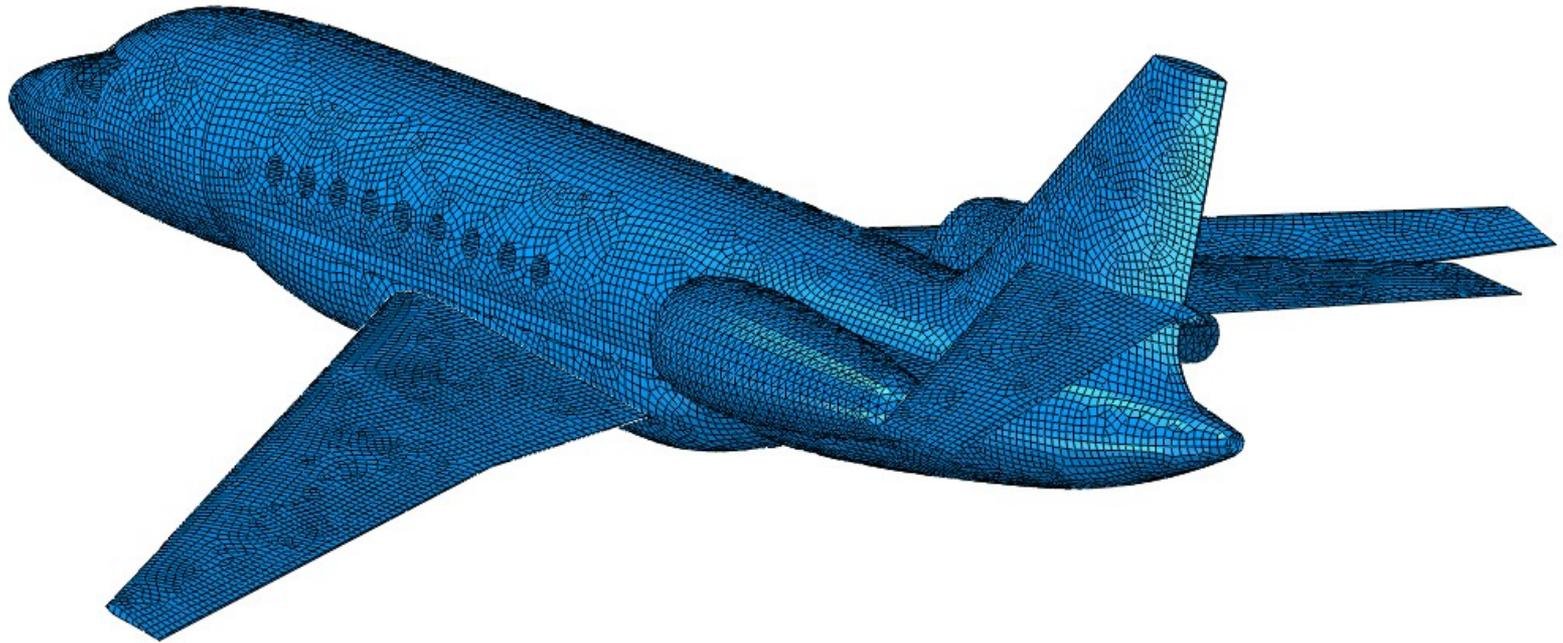
- « Surface traction » = force surfacique
- Définition de FaceL : section où est appliqué le chargement
- Définition du vecteur donnant la direction du chargement
- Définition de l'amplitude de la force surfacique uniforme



Chargement et conditions aux limites



Maillage



Définir le maillage

- Activer le module « **Mesh** »
- Pour contrôler le maillage, on crée des « graines » : → Seed Part Instance

- Imposer une taille moyenne pour les éléments fins (ici 0.01 m = 10 mm)

- cela crée des « graines » sur la structure, sur lesquelles les nœuds du maillage vont être créés. Elles sont visualisées en blanc

Module: Mesh Model: PoutreEncLibFlexion Object: Assembly Part:

Global Seeds

Sizing Controls

Approximate global size: 0.01

Curvature control

Maximum deviation factor (0.0 < h/L < 1.0): 0.1
(Approximate number of elements per circle: 8)

Minimum size control

By fraction of global size (0.0 < min < 1.0) 0.1

By absolute value (0.0 < min < global size) 0.001

OK Apply Defaults Cancel

(XYZ)

Y X Z

Y X

Set the data using the Global Seeds dialog

SIMULIA

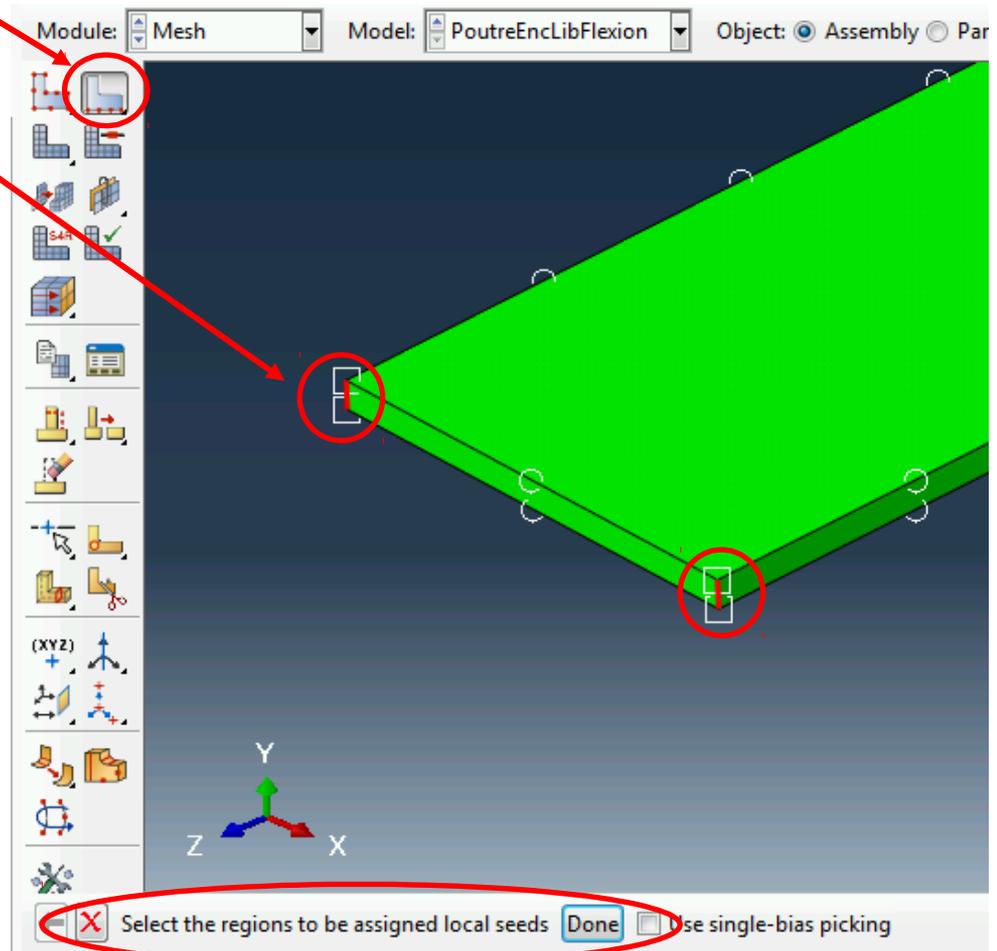
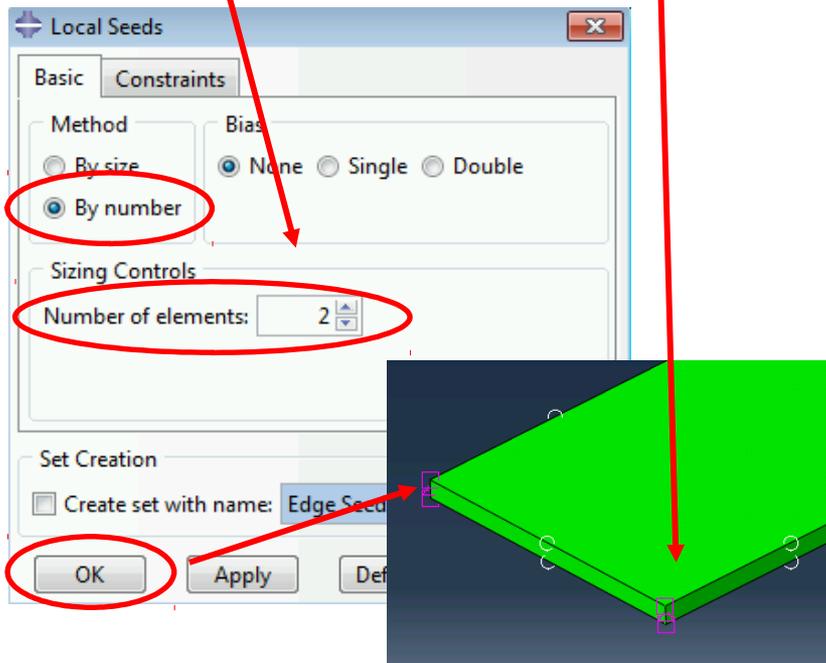
Définir le maillage

- On peut affiner le maillage à certains endroits en créant des graines locales sur certaines arêtes « seed edges »

- Sélectionner une arête, puis les autres en maintenant la touche « shift » appuyée

- imposer 2 éléments dans l'épaisseur

- cela crée des graines visualisées en violet



Définir le maillage

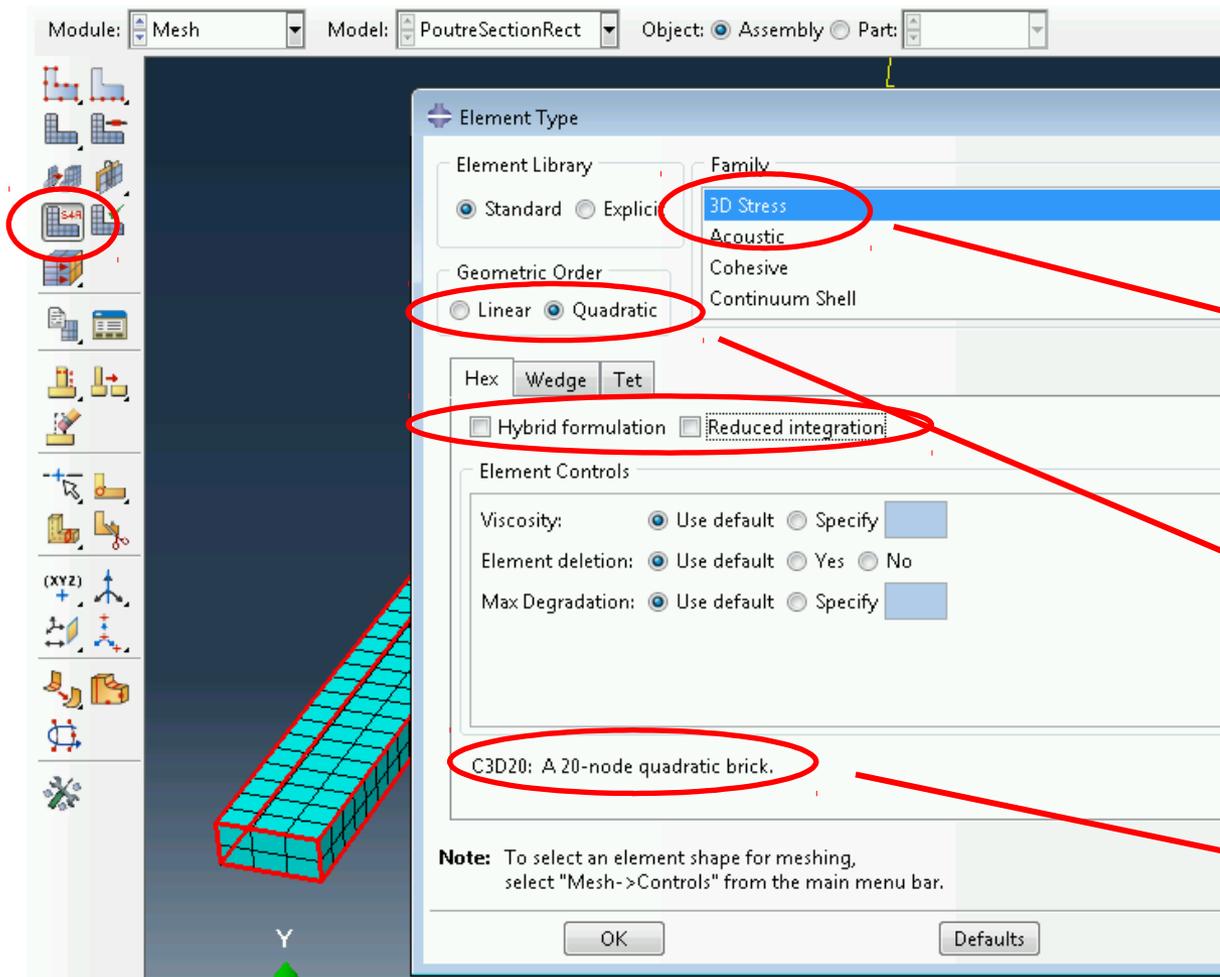
- Refaire le maillage
- Vérifier le nombre de nœuds : tools → query → mesh

The screenshot displays a CAD software interface with a 3D model of a curved, meshed part. The model is rendered in cyan and is positioned on a dark blue background. A coordinate system with X, Y, and Z axes is visible in the bottom-left corner. The top of the interface shows the 'Module' set to 'Mesh' and the 'Model' set to 'BarreauPiezo'. A toolbar on the left side contains various icons, with one icon circled in red. A 'Query' window is open on the right side, showing a list of queries. The 'Mesh' query is selected and highlighted in blue. Below the 'Query' window, a 'Done' button is circled in red. At the bottom of the interface, an 'Analysis' window displays the following information:

```
Total number of nodes: 621  
Total number of elements: 80  
80 quadratic hexahedral elements of type C3D20
```

Définir le maillage

- Choix du type d'élément et du degré des fonctions d'interpolation

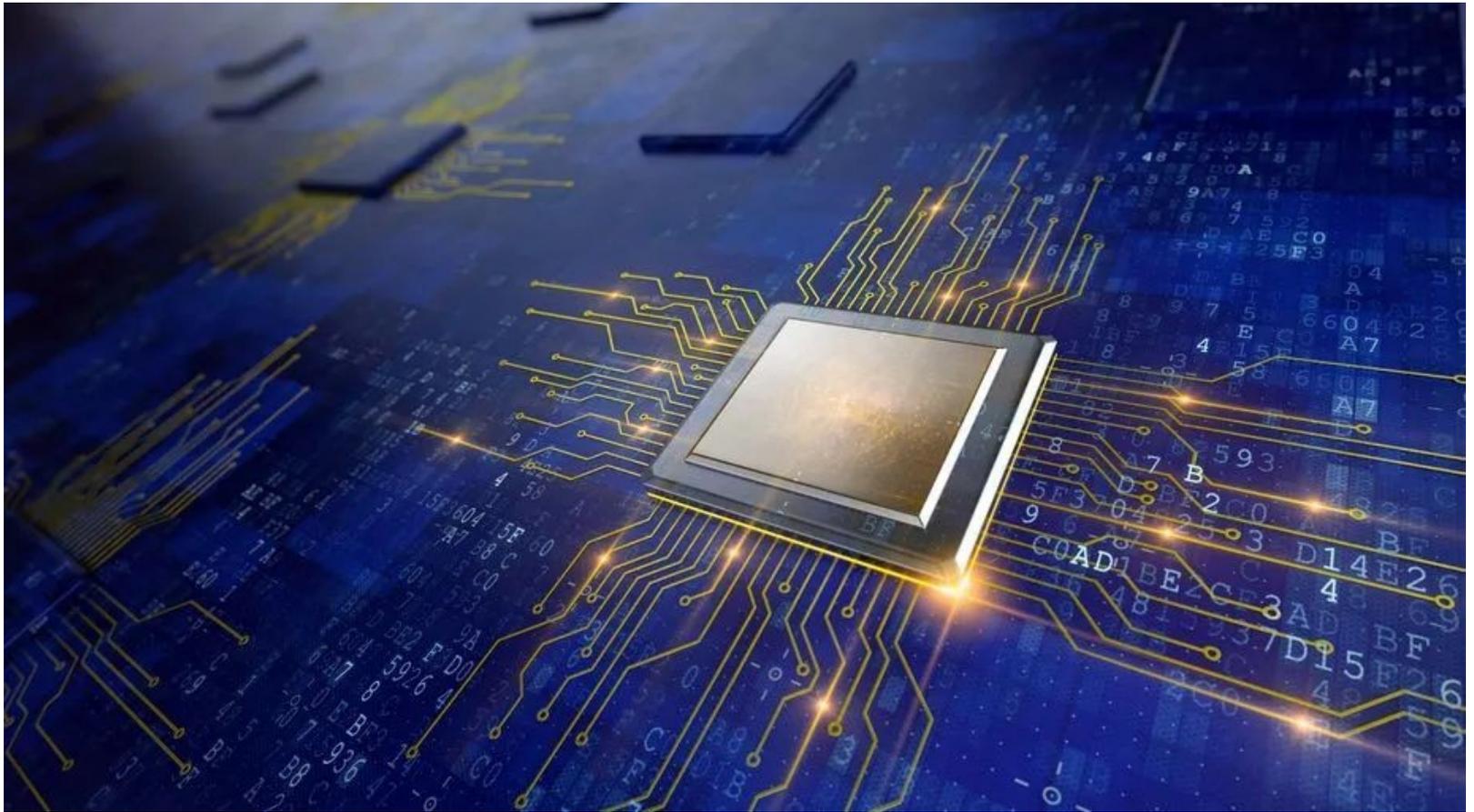


Physique des éléments finis
(3D Stress → éléments 3D
pour l'élasticité)

Degré d'interpolation
(fonctions de formes linéaires
Ou quadratiques)

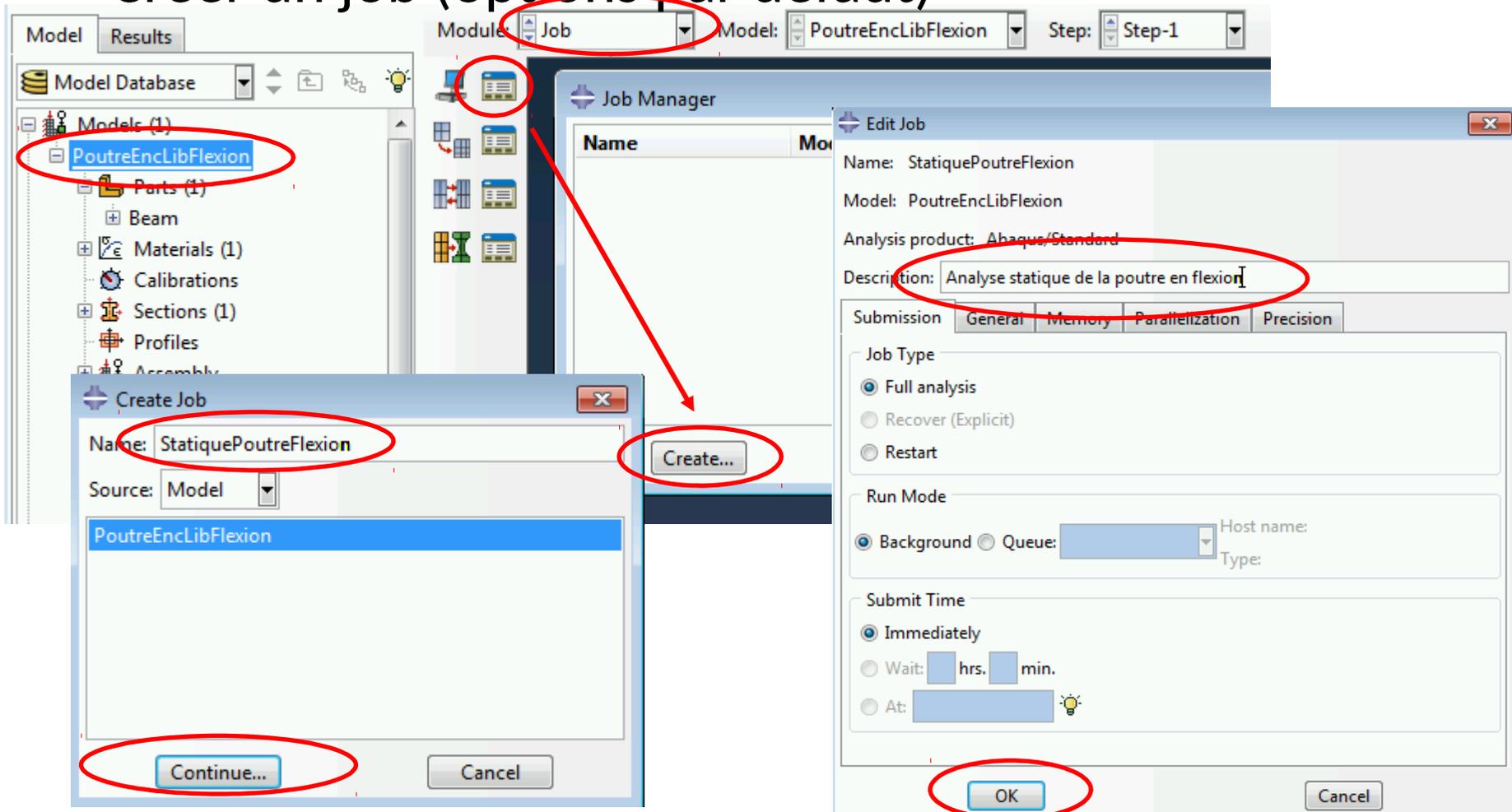
Nom de l'élément
(voir les prop. dans l'aide)

Définir et lancer un calcul



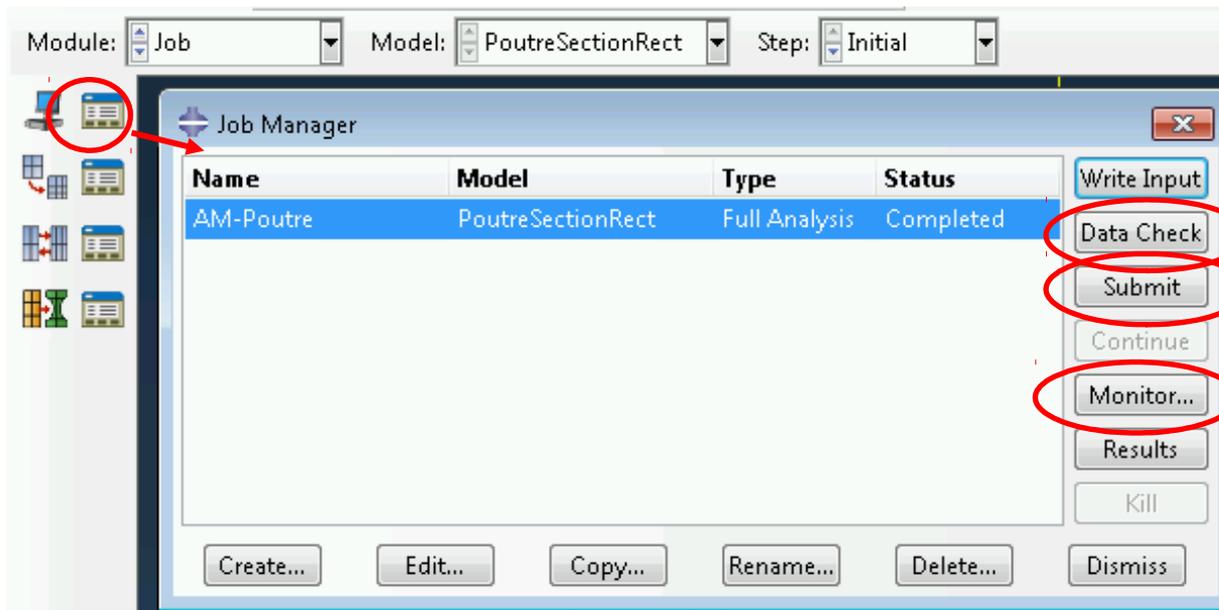
Définir le calcul

- Activer le module « **Job** »
- Créer un job (options par défaut)



Lancer le calcul

- Ouvrir le « job manager »
- Lancer le calcul
- Le calcul se fait en deux temps :
 - - une étape d'analyse (vérification)
 - - le calcul proprement dit



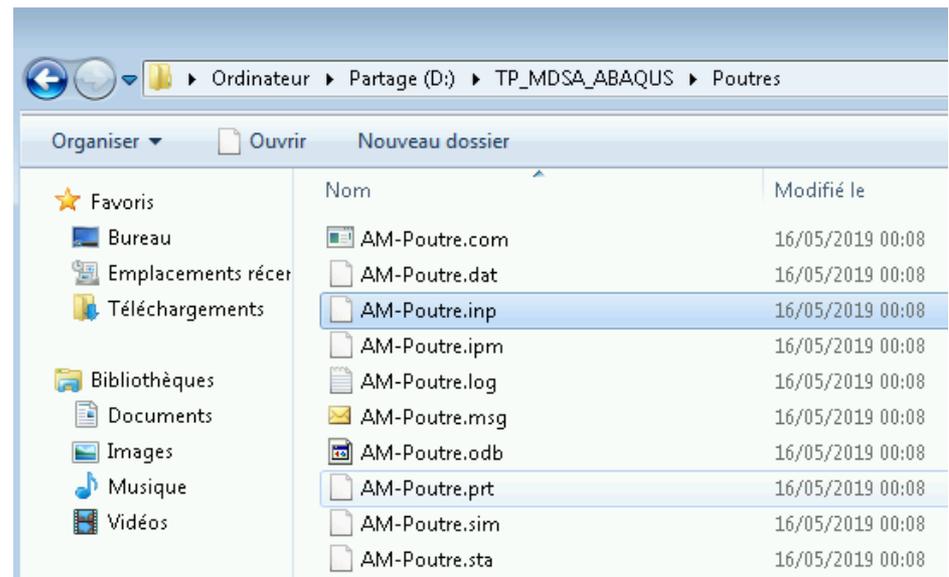
Vérifie si le jeu de données est OK

Lance le calcul

Utile pour surveiller le déroulement du calcul
Et pour trouver les différentes informations (nombre de nœuds, temps de calcul, ...)

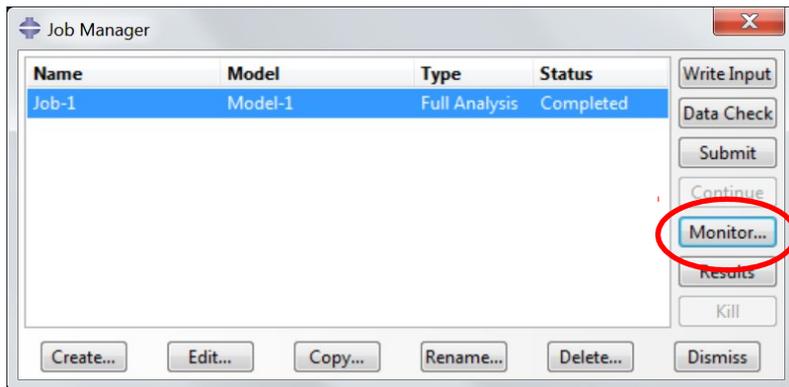
Résultat du calcul

- Pour chaque « job » plusieurs fichiers sont créés :
- → Fichier INPUT « .inp » : contient la définition des nœuds, des éléments, du matériaux, des calculs, ... (format texte)
- → Fichier OutputDataBase « .odb » : contient les résultats d'un calcul (peut être recouvert directement depuis le module visualisation, format binaire)
- → Fichier Data « .dat » : fichier texte contenant les caractéristiques et résultats de calcul



Résultat du calcul

- Taille du modèle



Le nombre d'éléments doit être inférieur à 100 pour les licences étudiant

The StatiquePoutreFlexion Monitor window shows the following table:

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF	Time/LPF Inc
1	1	1	0	1	1	0	2.22e-16	2.22e-16

Buttons at the bottom include: Log, Errors, Warnings, **Data File** (circled in red), Message File, and Status File.

The main text area displays the following output:

```
PROBLEM SIZE
NUMBER OF ELEMENTS IS                240
NUMBER OF NODES IS                   2013
NUMBER OF NODES DEFINED BY THE USER  1533
NUMBER OF INTERNAL NODES GENERATED BY THE PROGRAM  480
TOTAL NUMBER OF VARIABLES IN THE MODEL  5559
(DEGREES OF FREEDOM PLUS MAX NO. OF ANY LAGRANGE MULTIPLIER
VARIABLES. INCLUDE *PRINT,SOLVE=YES TO GET THE ACTUAL NUMBER.)

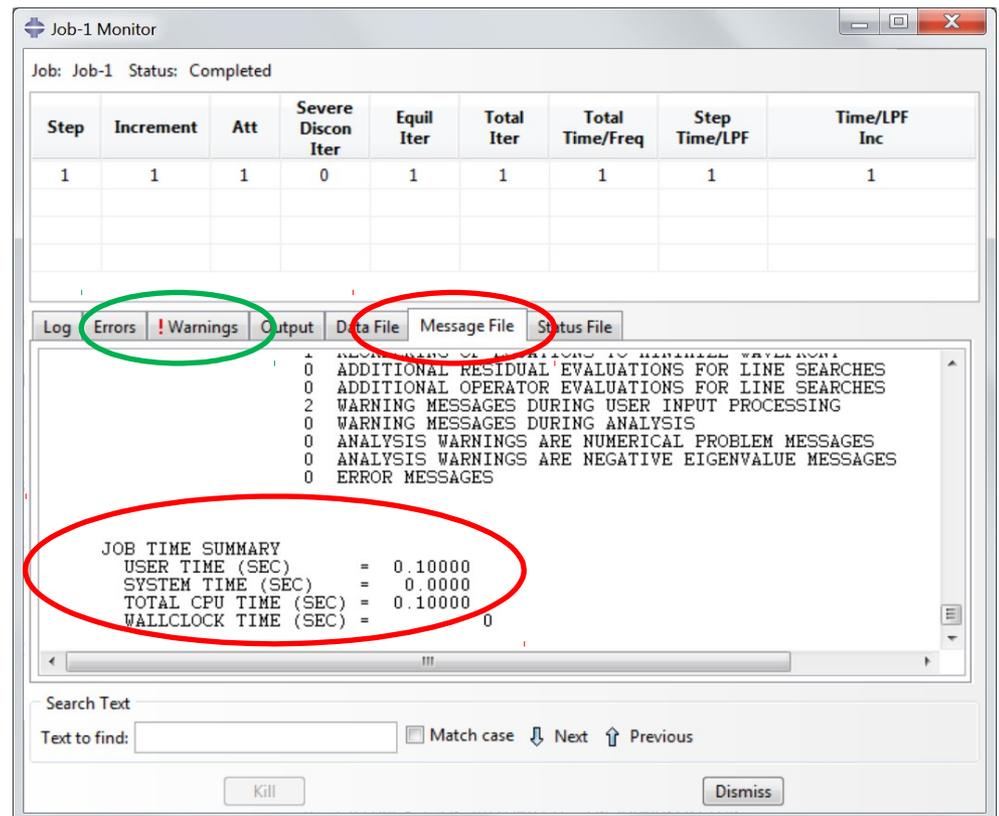
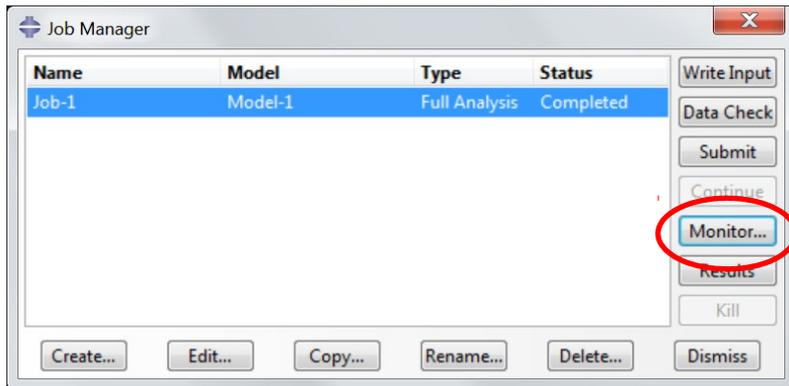
END OF USER INPUT PROCESSING

JOB TIME SUMMARY
USER TIME (SEC)      = 0.10000
SYSTEM TIME (SEC)   = 0.00000
```

Buttons at the bottom include: Kill and Dismiss.

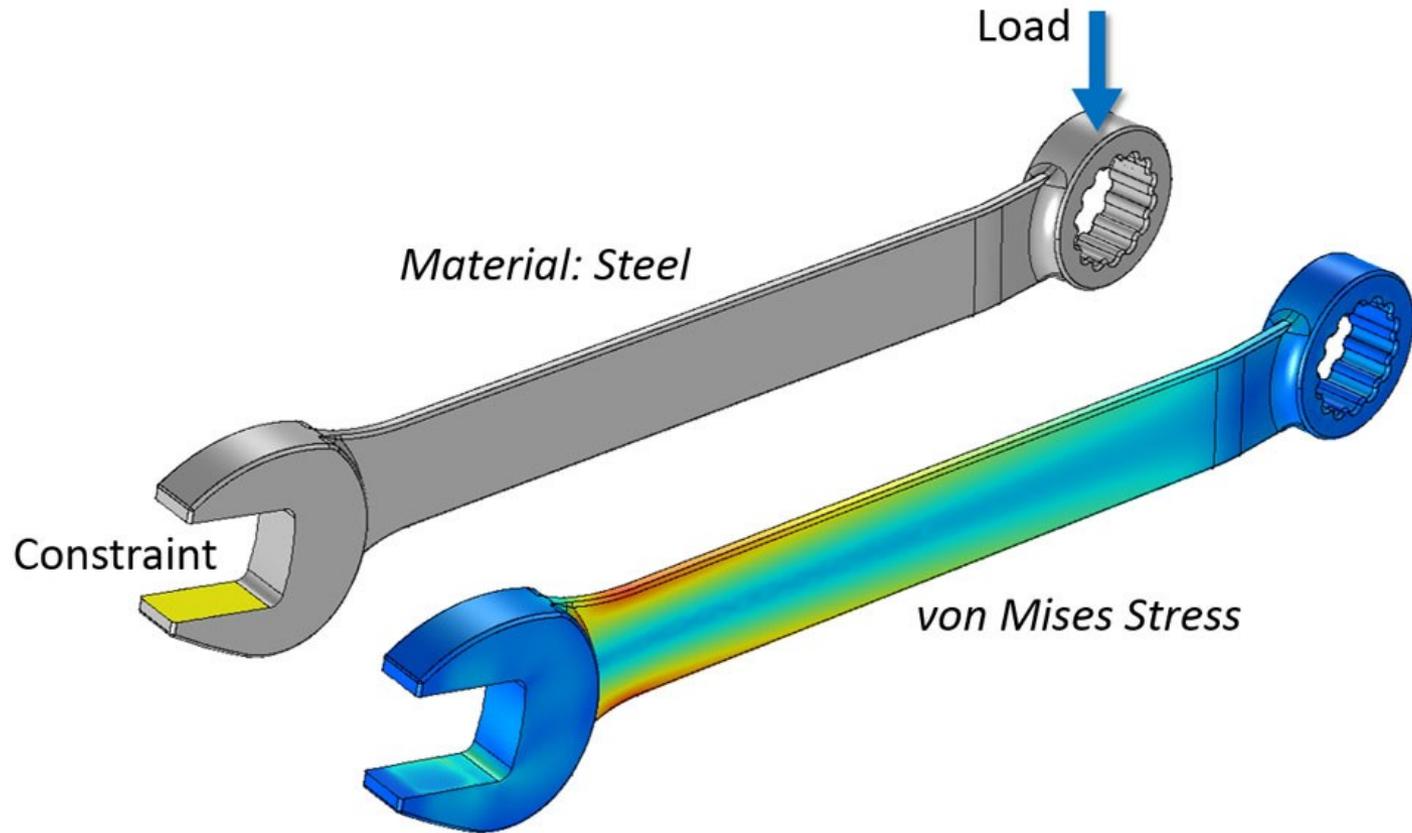
Résultat du calcul

- Temps de calcul et information sur le modèle



Vérifier absolument
s'il n'y a pas de
« warnings » ou
d' « errors »

Visualisation des résultats



Visualisation des résultats

- A partir du « job manager », lancer la **visualisation** en cliquant sur « results »

U, Magnitude

+	3.759e+02
+	3.446e+02
+	3.132e+02
+	2.810e+02
+	2.506e+02
+	2.193e+02
+	1.879e+02
+	1.566e+02
+	1.253e+02
+	9.397e+01
+	6.265e+01
+	3.132e+01
+	0.000e+00

Job Manager

Name	Model	Type	Status
AM-Poutre	PoutreSectionRect	Full Analysis	Completed

Results

ODB: StatiquePoutreFlexion.odb Abaqus/Standard 6.14-
Step: Step-1
Increment 1: Step Time = 2.2200E-16
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +5.321e-02

- Trace la déformée
- Choix de la grandeur à afficher en niveau de couleur

Valeur en un point

- Sélectionner la grandeur à afficher

U, Magnitude

Part Instance	Node ID	Orig. Coords	Def. Coords	Attached elements	U, Magnitude
<input checked="" type="checkbox"/>	BEAM-1	885	-15.4167, -13, 2	-15.4173, 362, 82	375.895

Probe Values

Field Output...
Step: 1, Step-1 Frame: 1
Field output variable for Probe: U, Magnitude

Probe Values
 Select from viewport Key-in label Select a display group
Probe: Nodes Components: Selected

Note: Click on respective check button to annotate values in viewer

Write to File... Cancel

ODB: StatiquePoutreFlexion.odb Abaqus/Standard 6.14-5 Wed Mar 25 16:47:07 Paris, Madrid 2020

Step: Step-1
Increment 1: Step Time = 2.2200E-16
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +5.321e-02

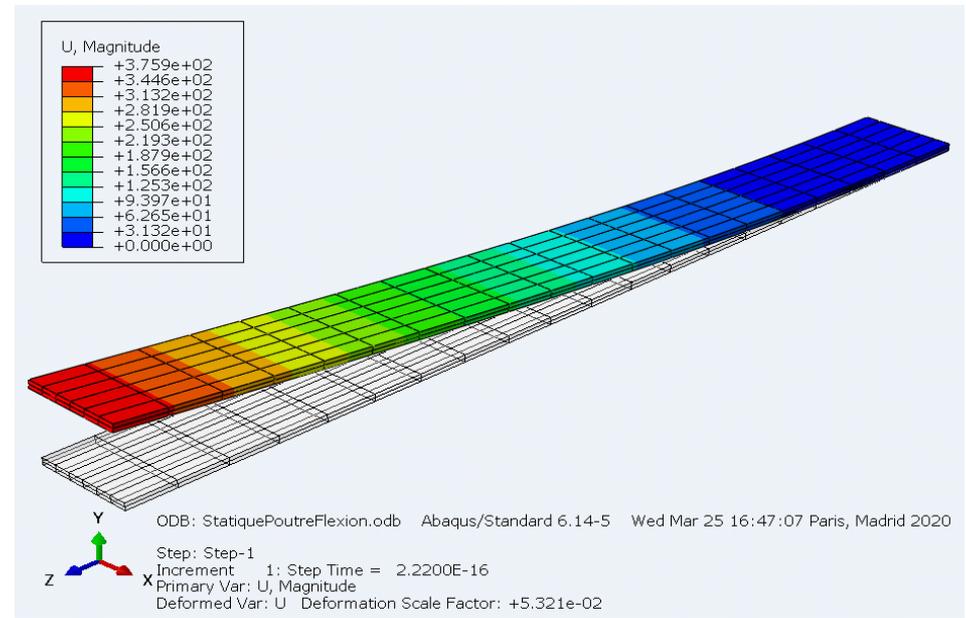
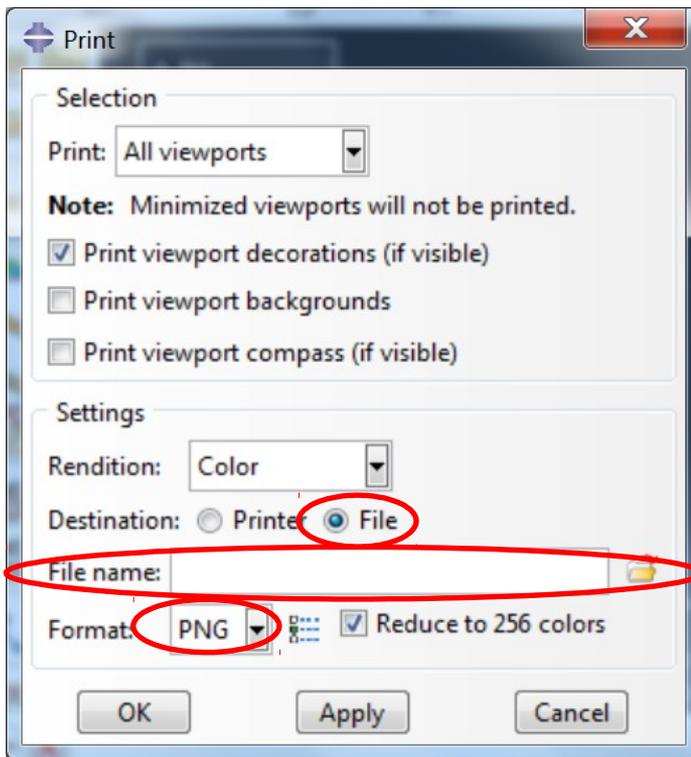
Move the cursor in the current viewport or click MB1 to report values in the Probe Values dialog

Probe value

- Sélectionner des nœuds / éléments

Enregistrement des figures

- Menu: File / print



Exemple de rendu (contenu du fichier .png)

Eviter les impressions d'écran directes