

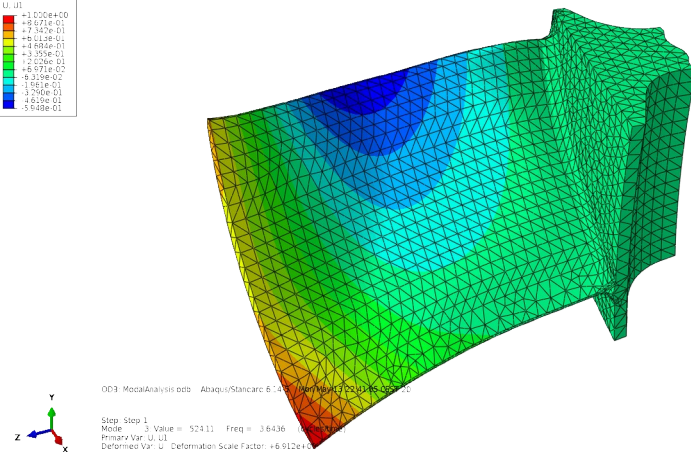
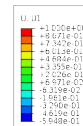
# Tutoriel Abaqus: Analyse statique

*Éléments finis volumiques*

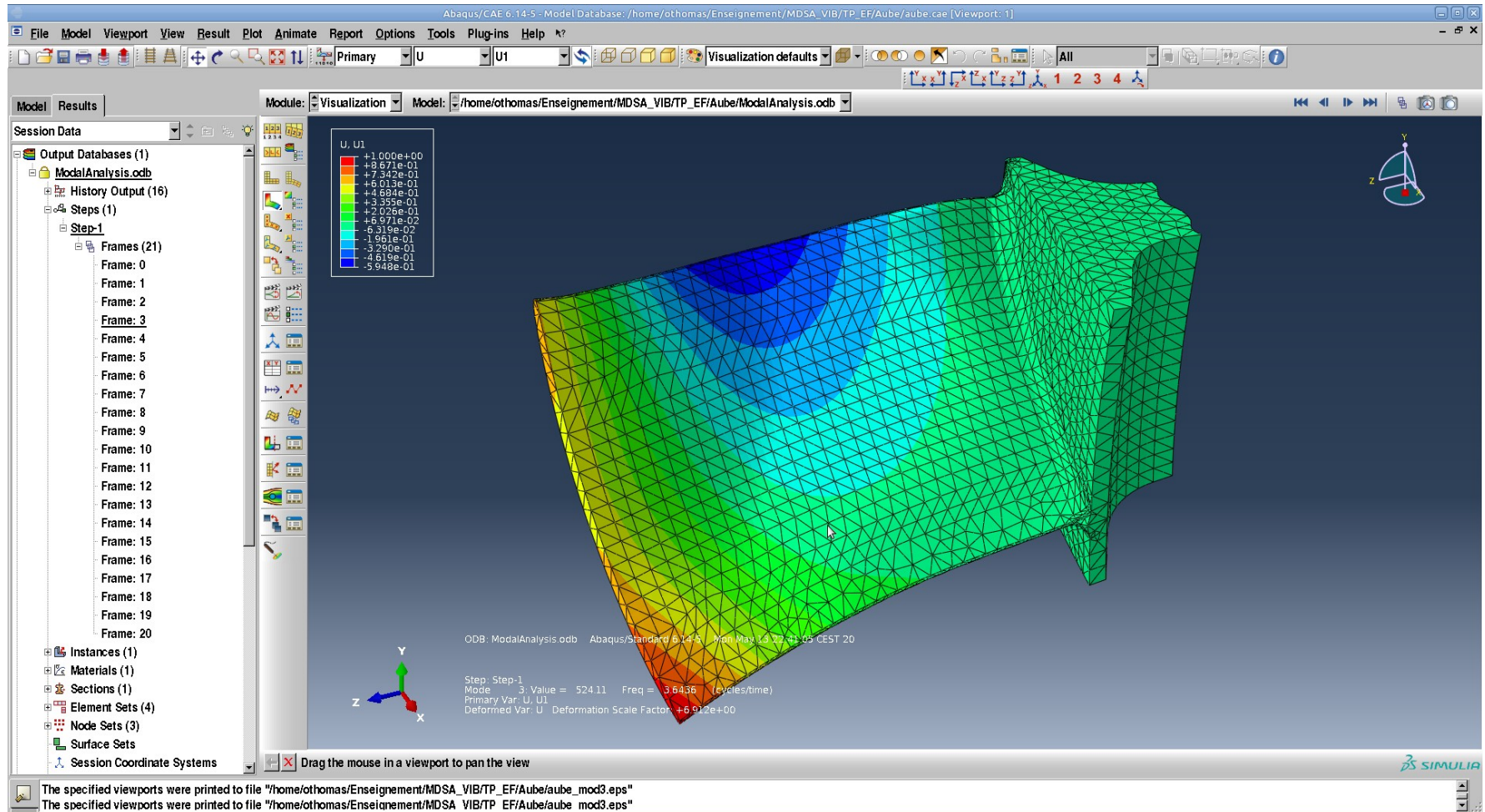
olivier.thomas@ensam.eu

 **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.**

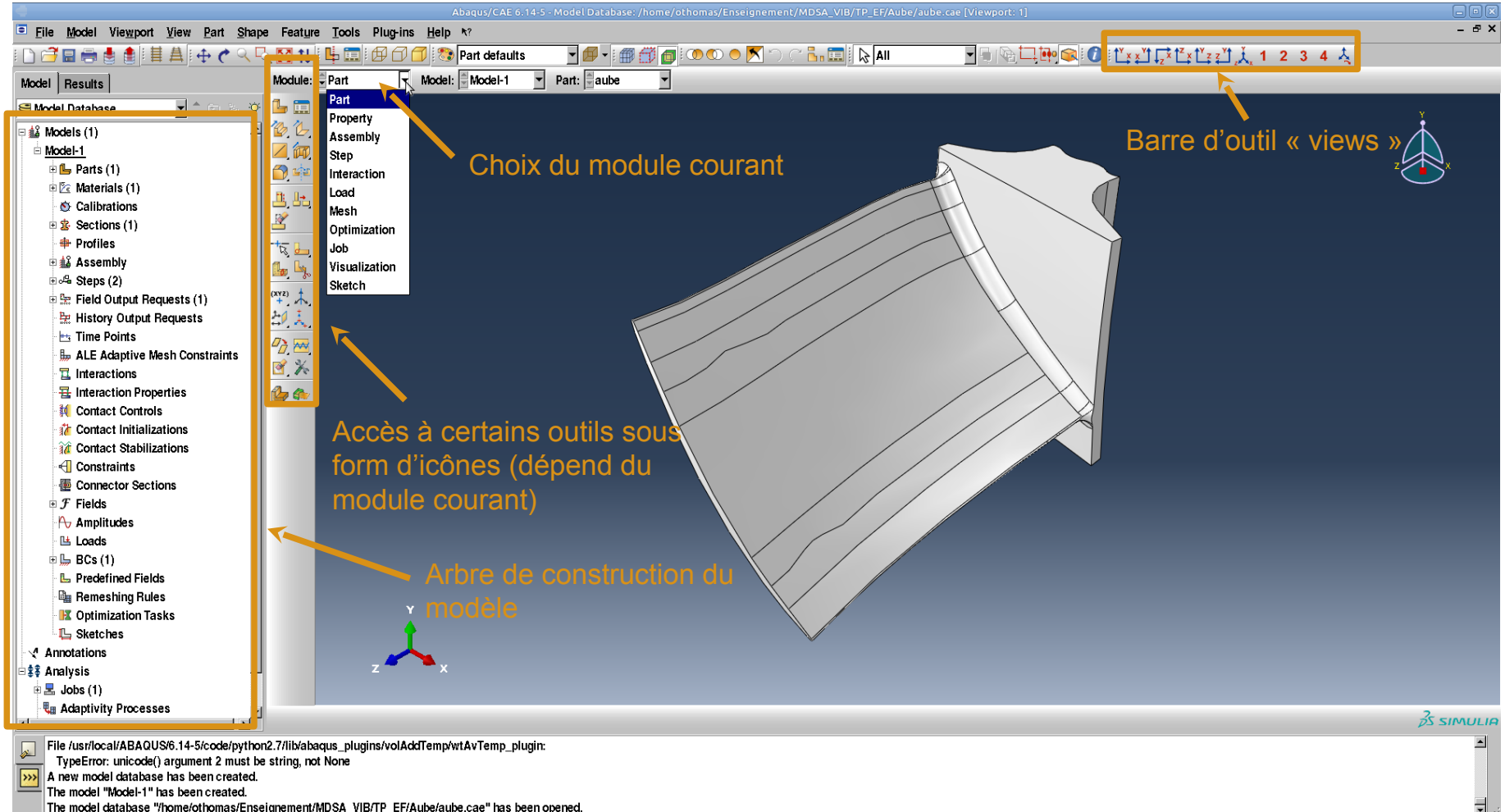
# Unités

- 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	$\mu\text{m}$
Temps	s	s	$\mu\text{s}$
Masse	kg	Mg (tonne)	$\mu\text{g}$
Fréquence	Hz	Hz	MHz
Force	N	N	mN
Pression	Pa	MPa	GPa
Masse volumique	$\text{kg}/\text{m}^3$	$\text{Mg}/\text{mm}^3 = 10^{12} \text{ kg}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\mu\text{m}^3 = 10^9 \text{ kg}/\text{m}^3$
(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

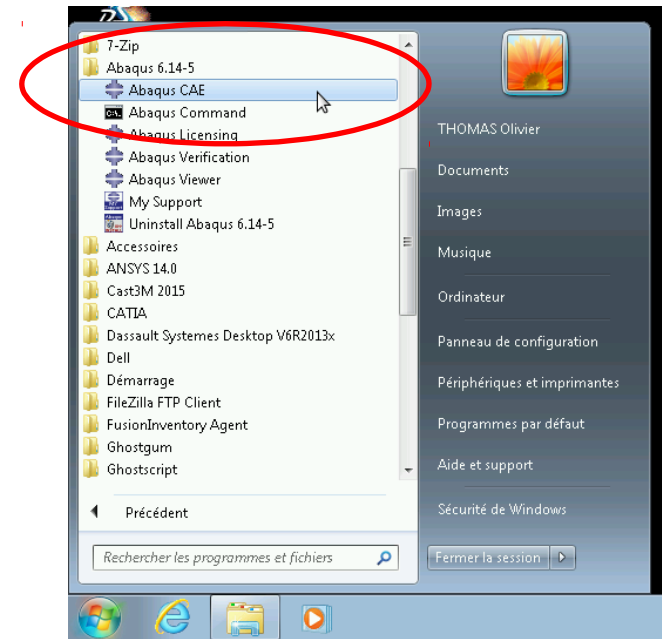
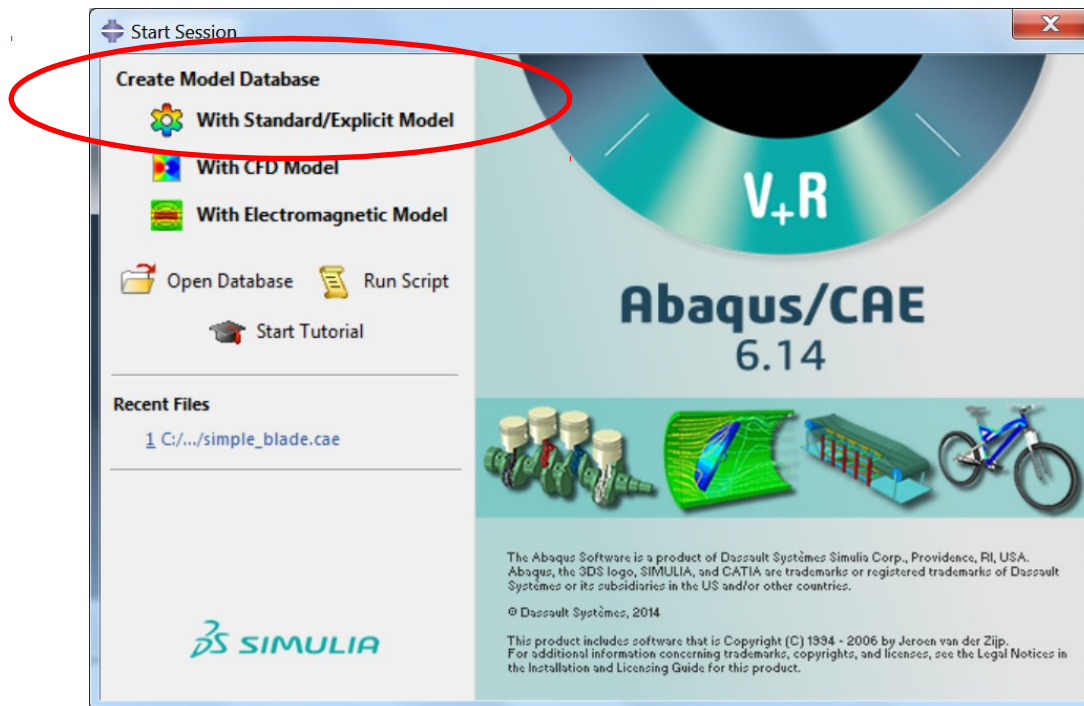
- Il faut penser au conditionnement numérique : il faut que les valeurs numériques des variables (déplacement, pressions, forces...) soient de l'ordre de l'unité ou de ses puissances voisines ( $10^{-3} \rightarrow 10^3$ )
- Le système 1 est souvent le plus approprié pour la mécanique général où les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

# L'interface graphique



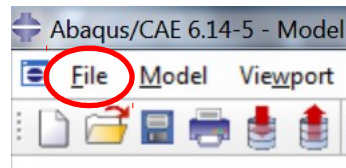
# Nouvelle étude Abaqus

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

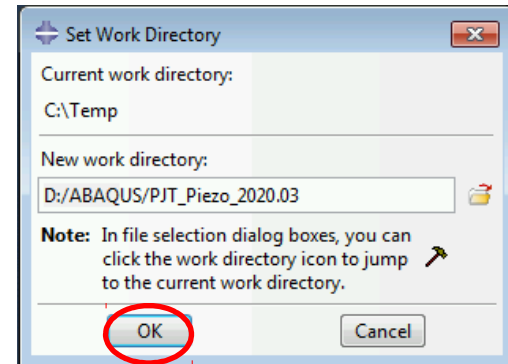


# Définition du dossier de travail

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



« File/Set Work Directory »



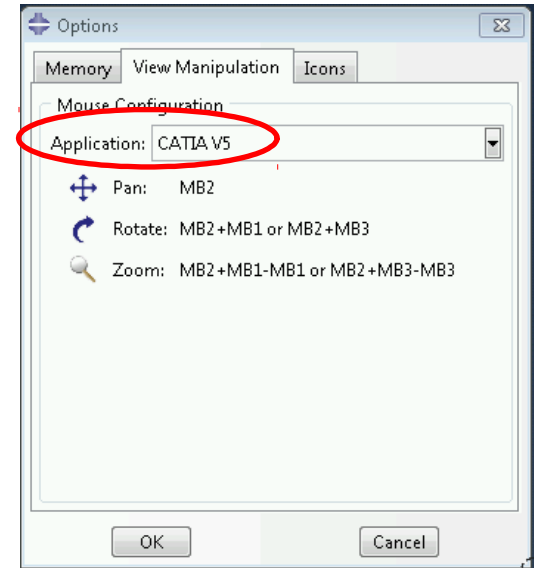
- **Important** car beaucoup de fichiers sont créés :
  - .cae : fichier binaire qui contient le modèle
  - .odb : fichier binaire de résultat
  - .dat : fichier texte contenant les caractéristiques et résultats de calcul
  - .inp : fichier texte contenant le modèle (noeuds, maillage...)



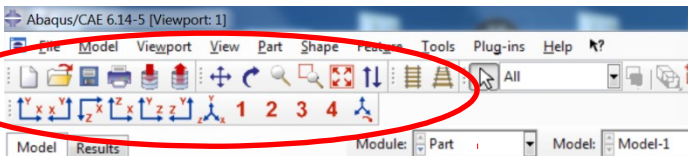
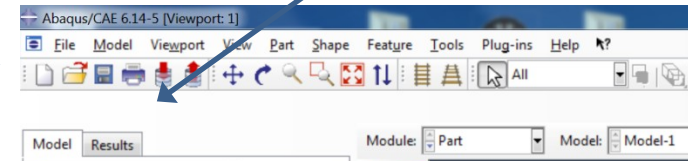
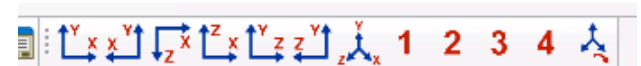
# Quelques préférences

- manipulation à la souris :

« Tools/Options »



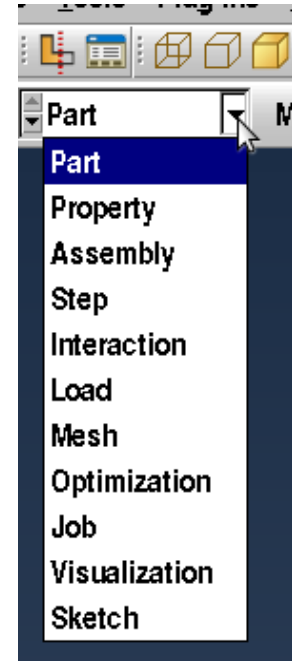
- Taille des caractères :
  - Viewport → Viewport Annotation Options...
  - File → Save Display Options...
- Barre de vues
  - View → Toolbars → views





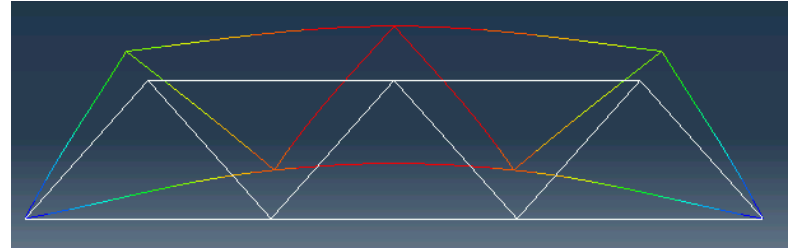
# Étapes de construction d'un calcul

- 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**)

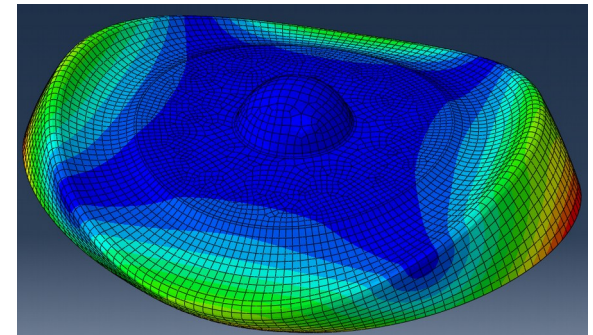


# Type de modèles géométriques

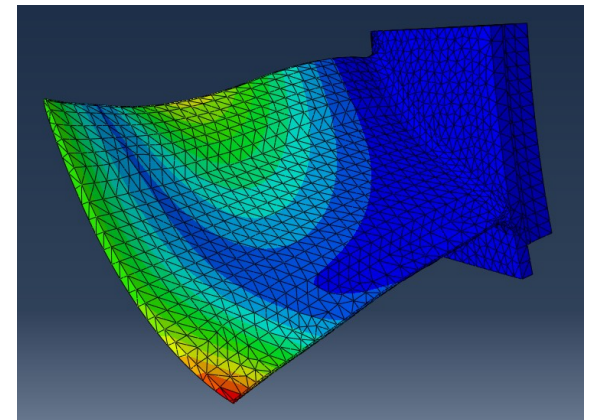
- Modèles filaires (1D)



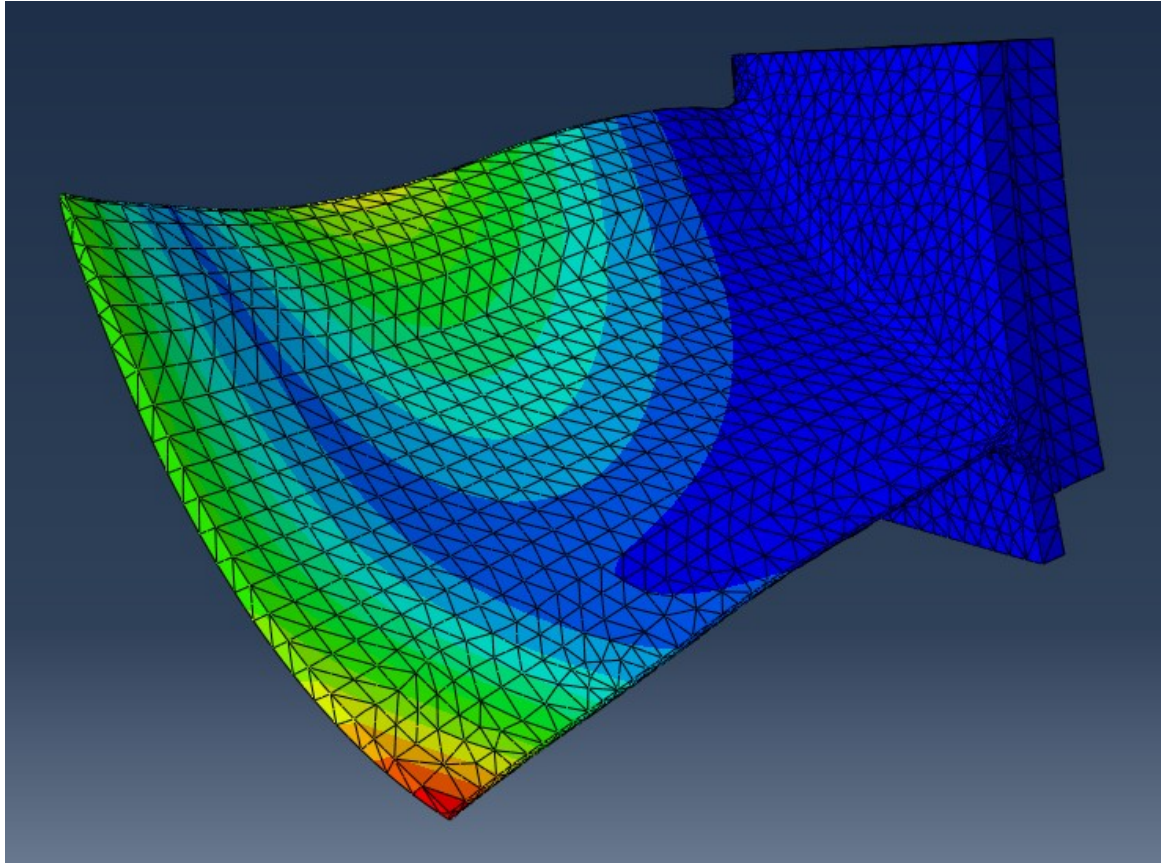
- Modèles surfaciques (2D)
  - modèles de coques
  - modèles en contraintes planes



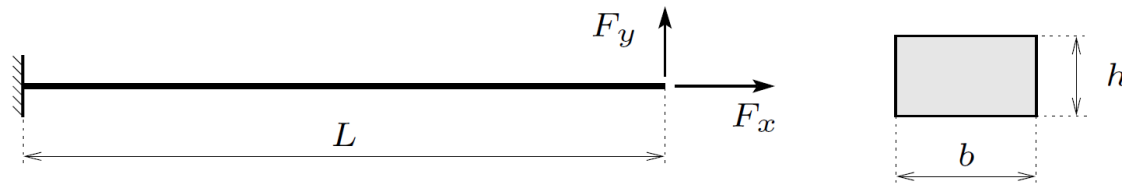
- Modèles volumiques (3D)
- → le présent document



# Modèle volumique (3D)



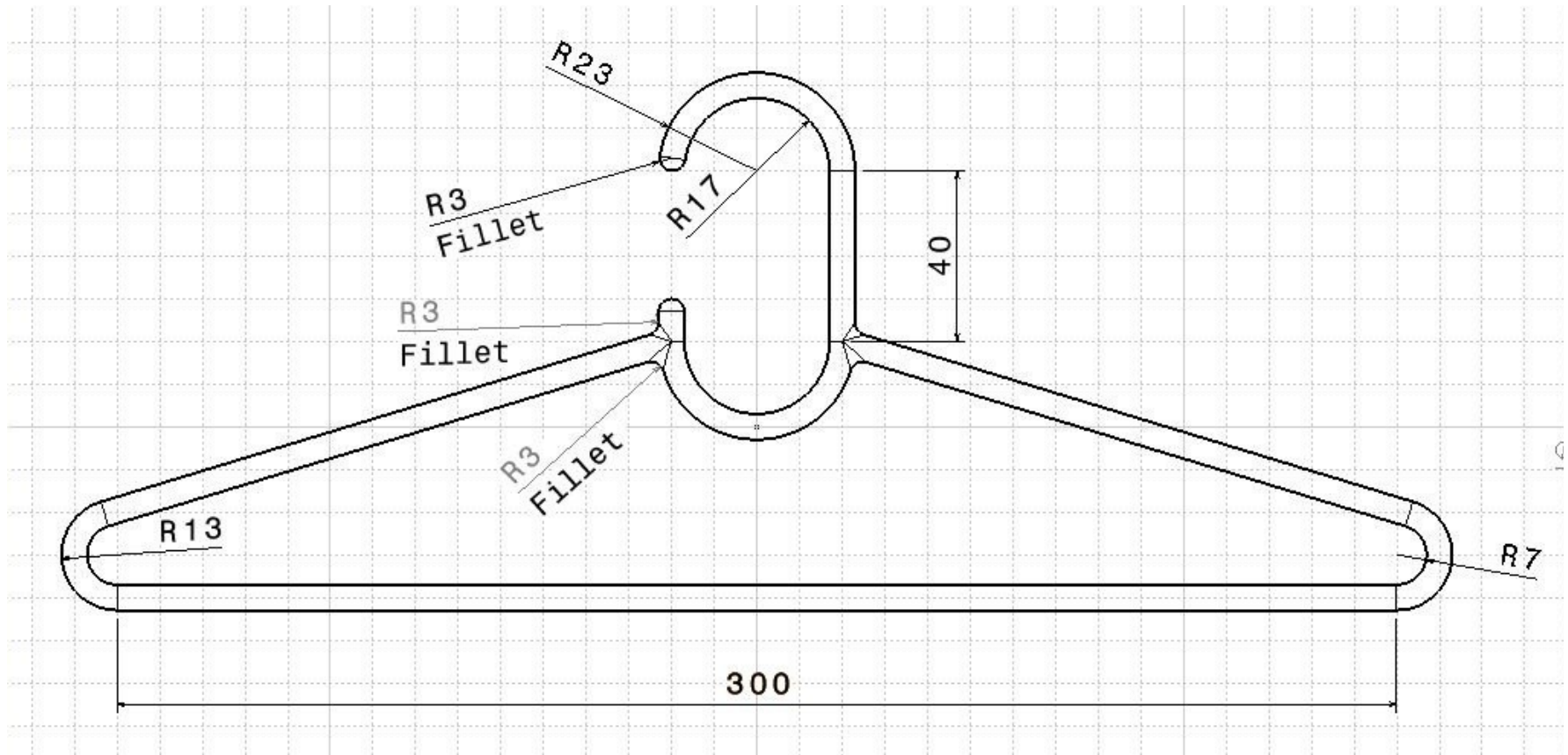
# Problème à l'étude



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	$\nu = 0.3$

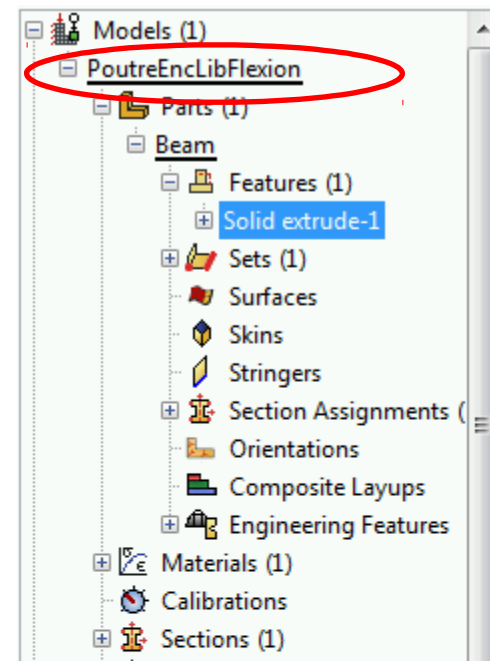
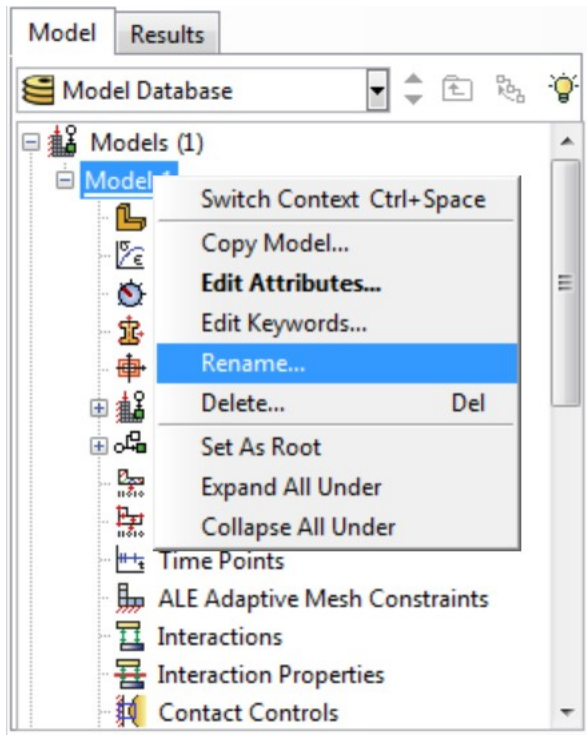
On se propose de calculer la réponse statique d'une poutre à section rectangulaire en conditions aux limites encastree / libre. Pour fixer les idées, on utilise les dimensions et les caractéristiques matérielles précisées ci-dessus

# Géométrie (module Part)



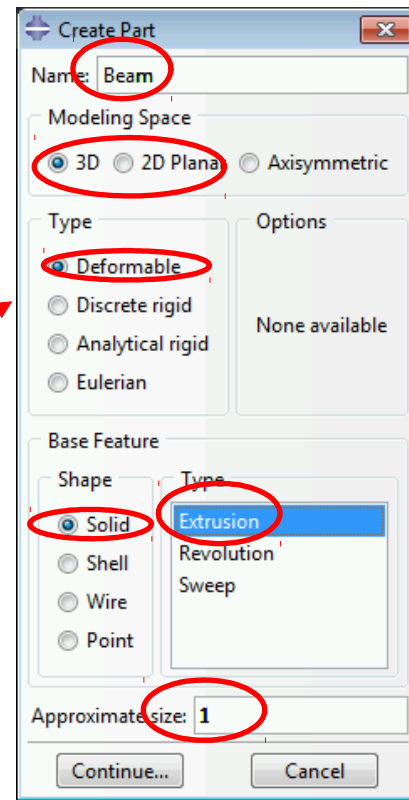
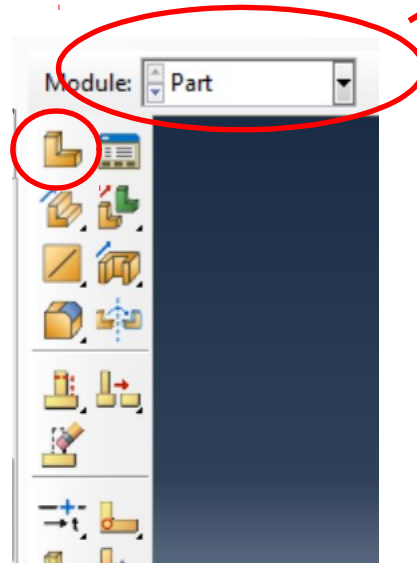
# Renommer le modèle

- 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

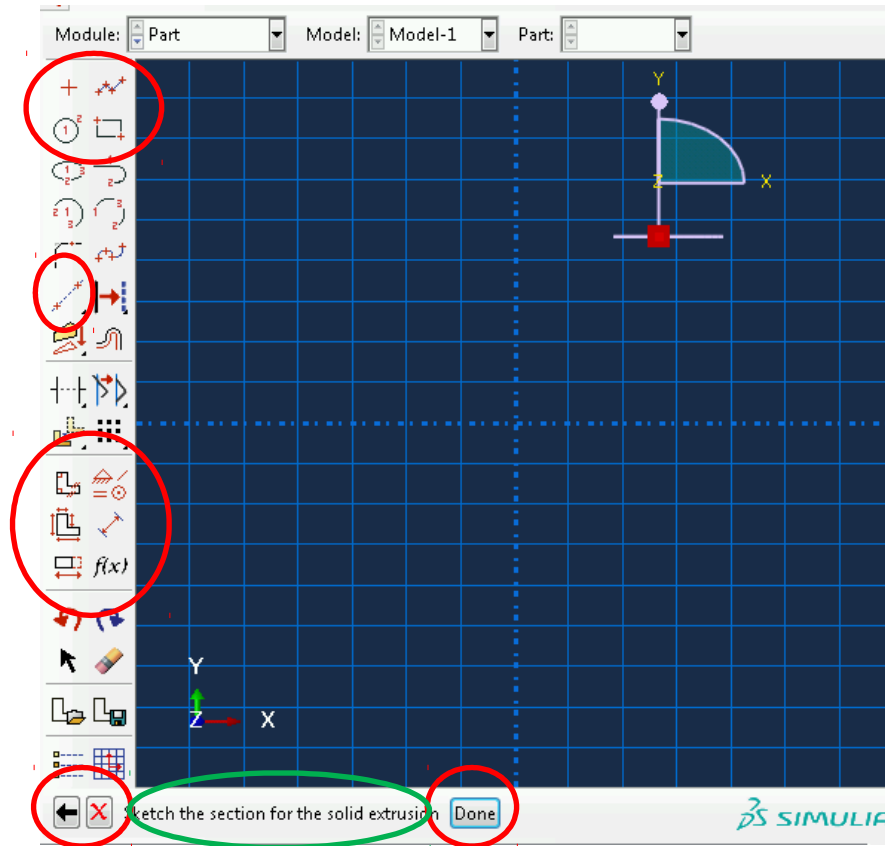


# Définition de l'esquisse

Créer les points / lignes /  
rectangles

Créer des lignes de  
construction pour les axes  
de symétrie

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



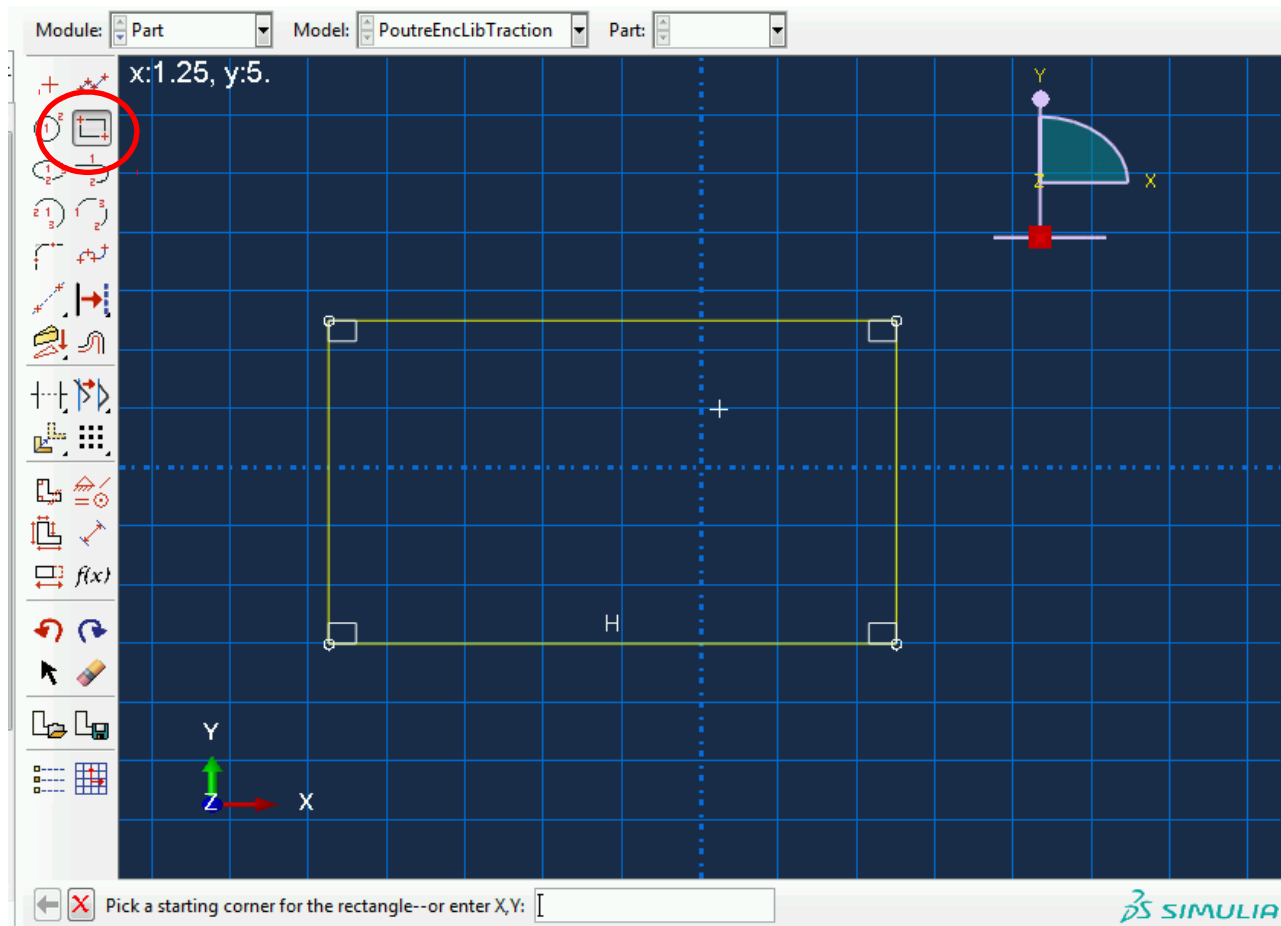
Retour /  
Annuler

valider

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

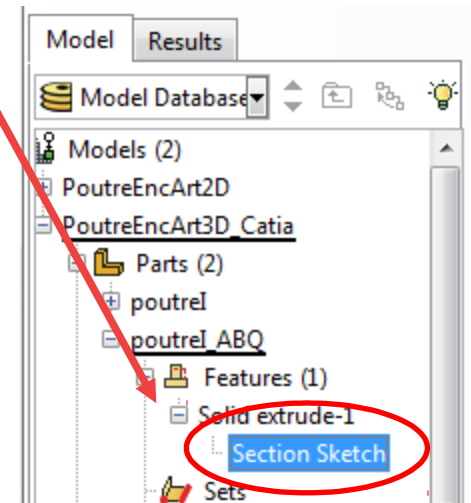
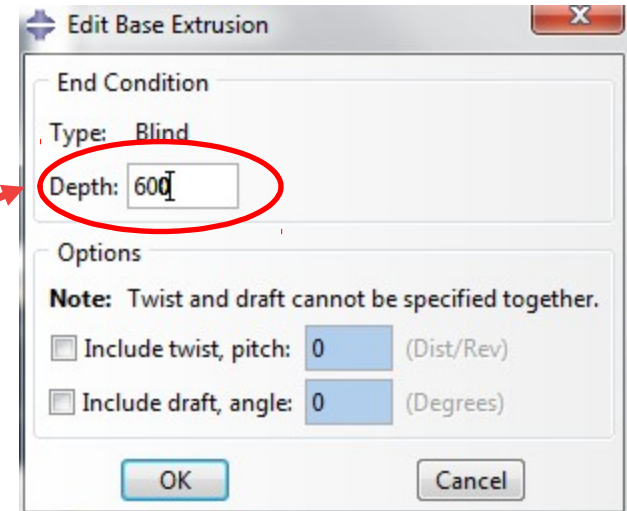
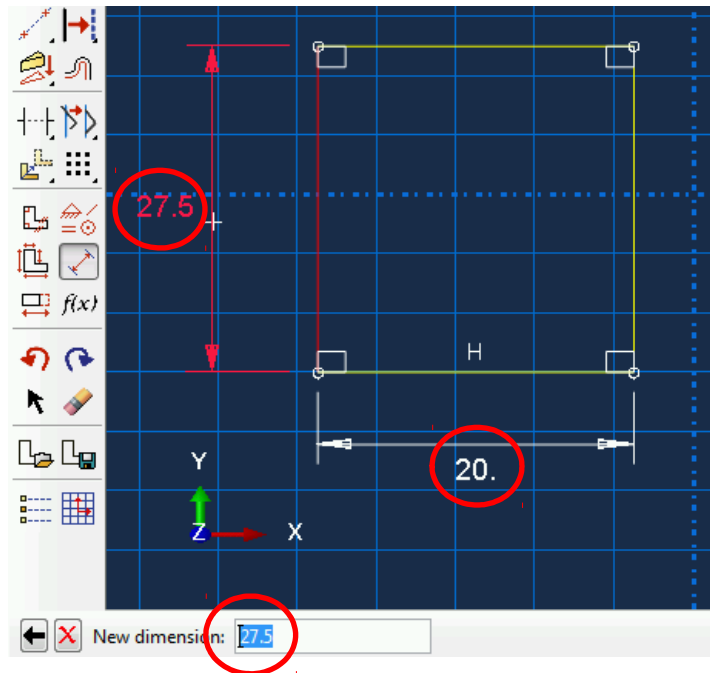
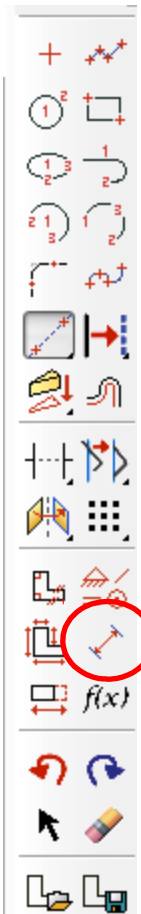
# Création de l'esquisse

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

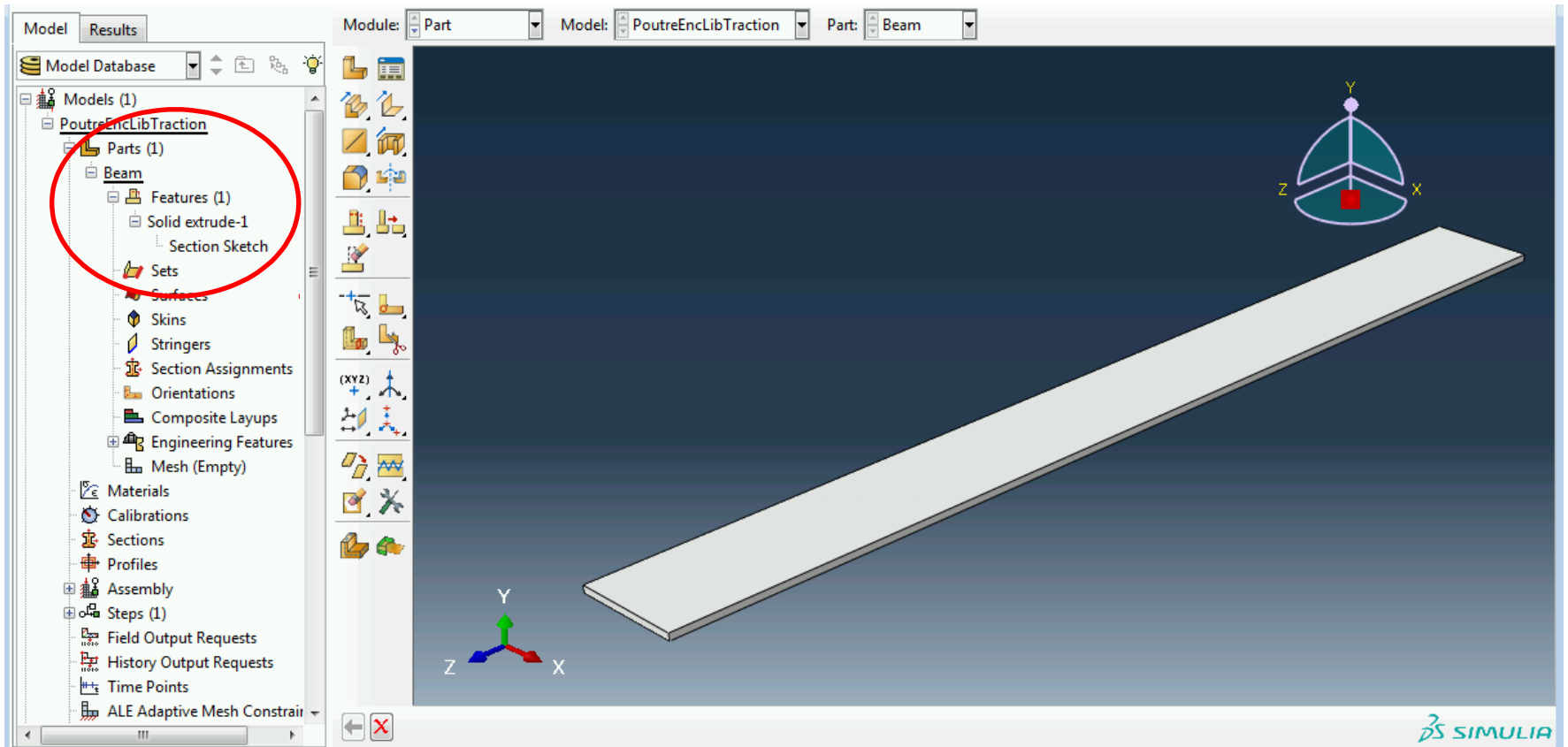


# Finition de l'esquisse et extrusion

- 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

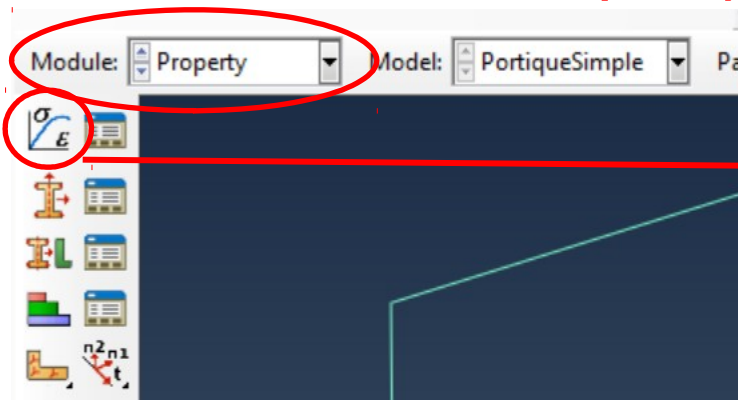


# Propriétés matériaux et sections

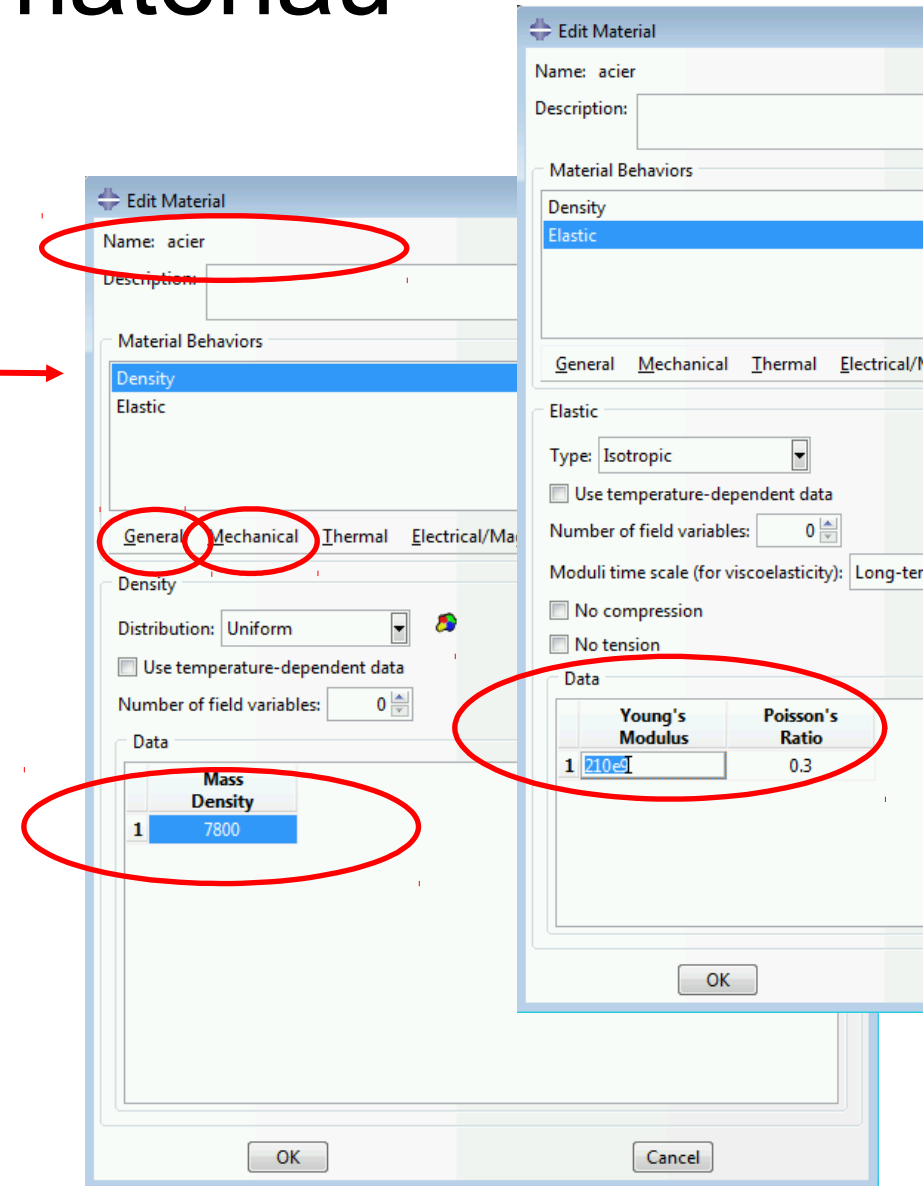


# Définir le matériau

Activer le module **Property**

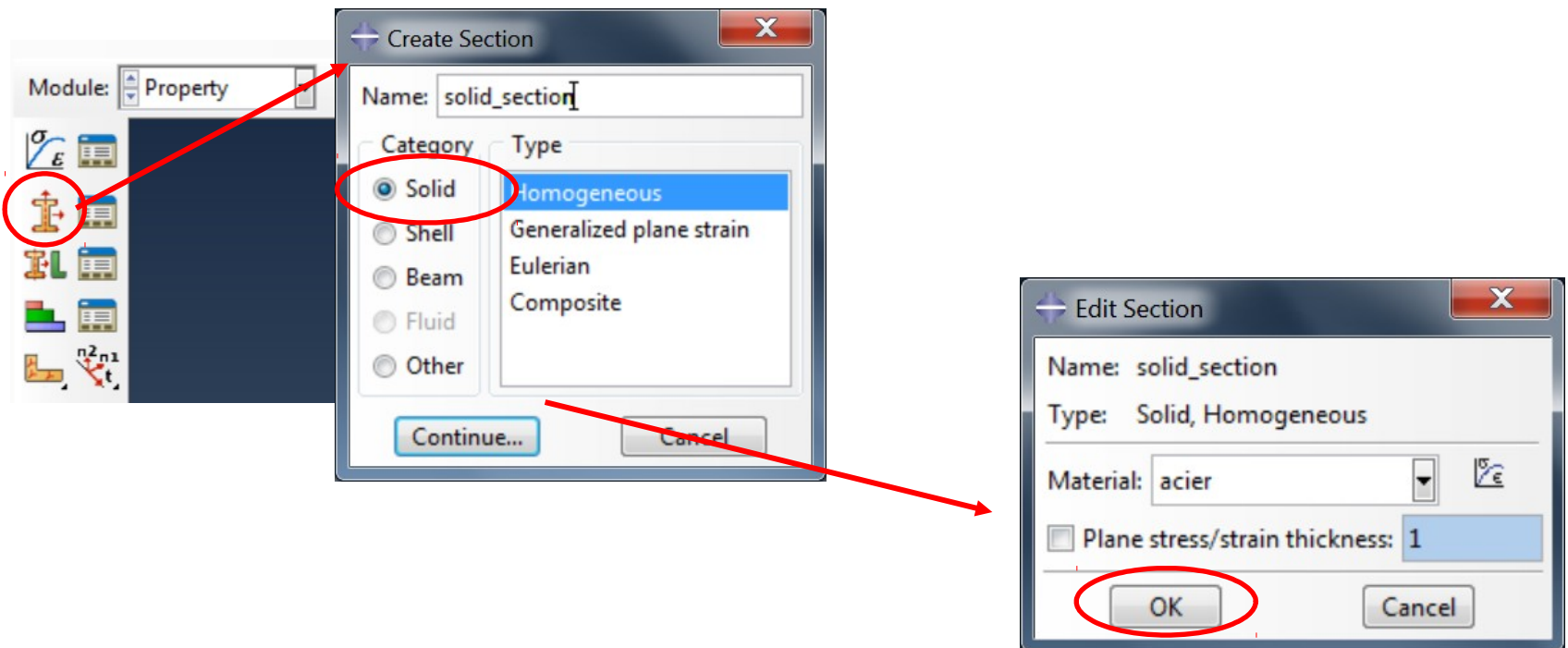


- General -> Density
  - masse volumique
- Mechanical -> Elastic
  - Module Young
  - Coeff. Poisson
- **Attention aux unités !**



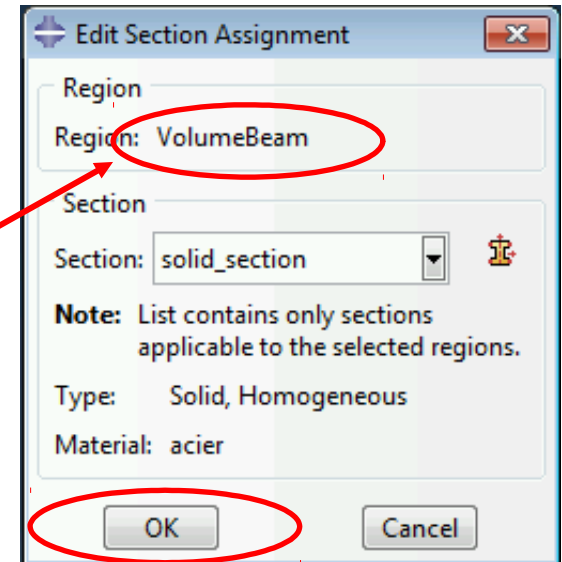
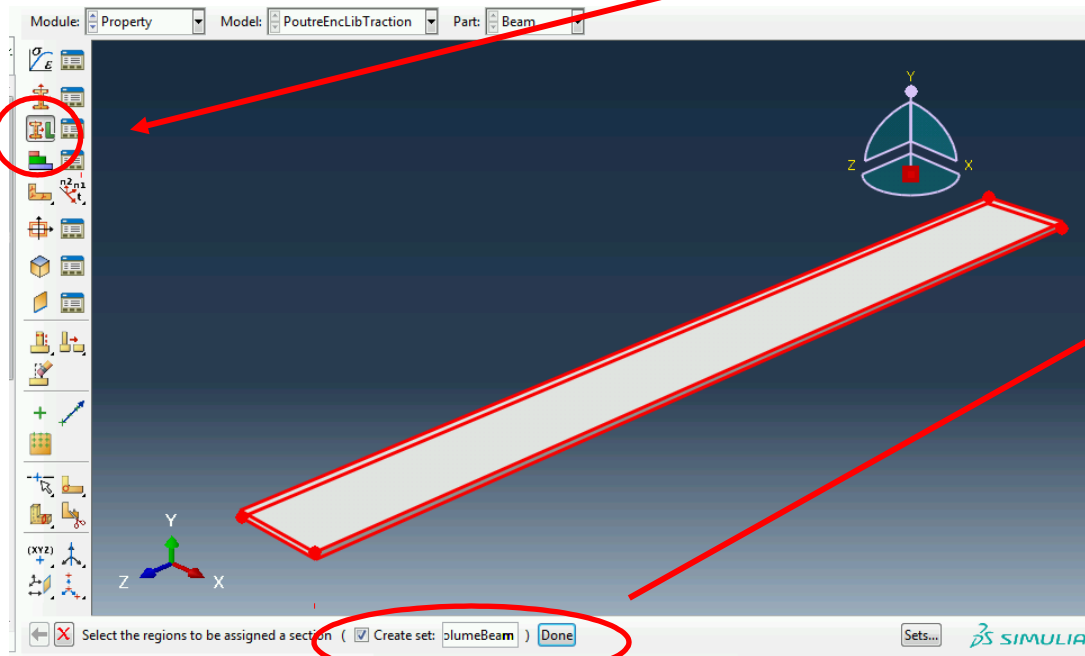
# Créer la section

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

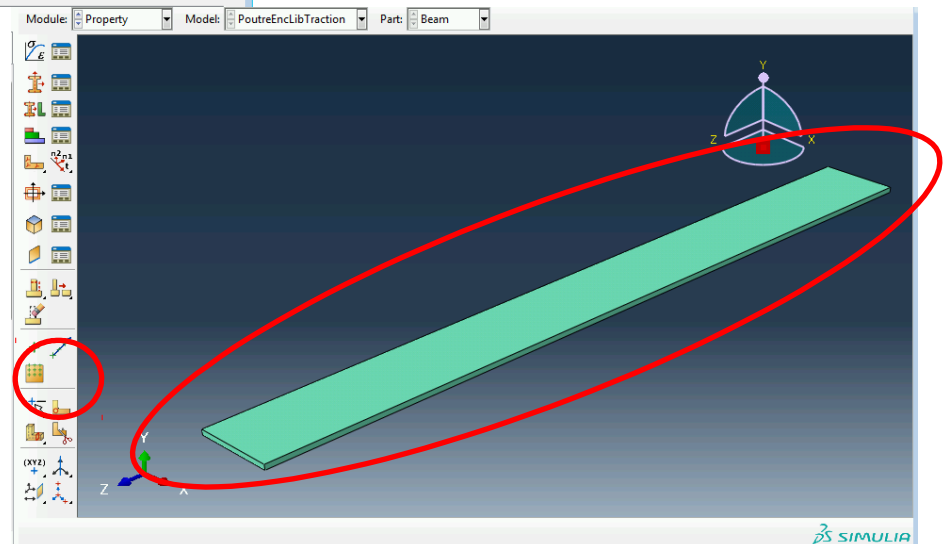




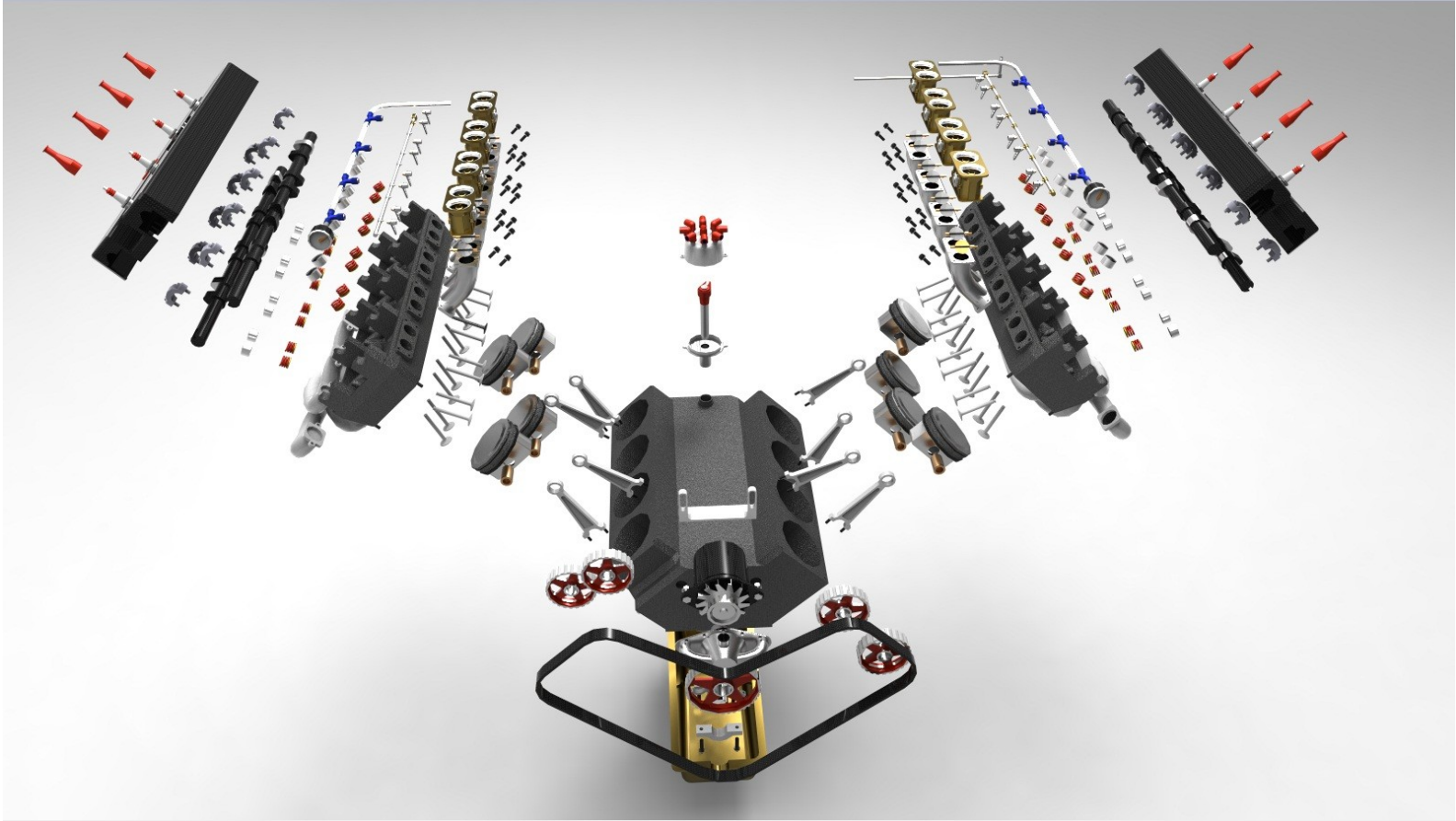
# Assigner la section à la pièce



- 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

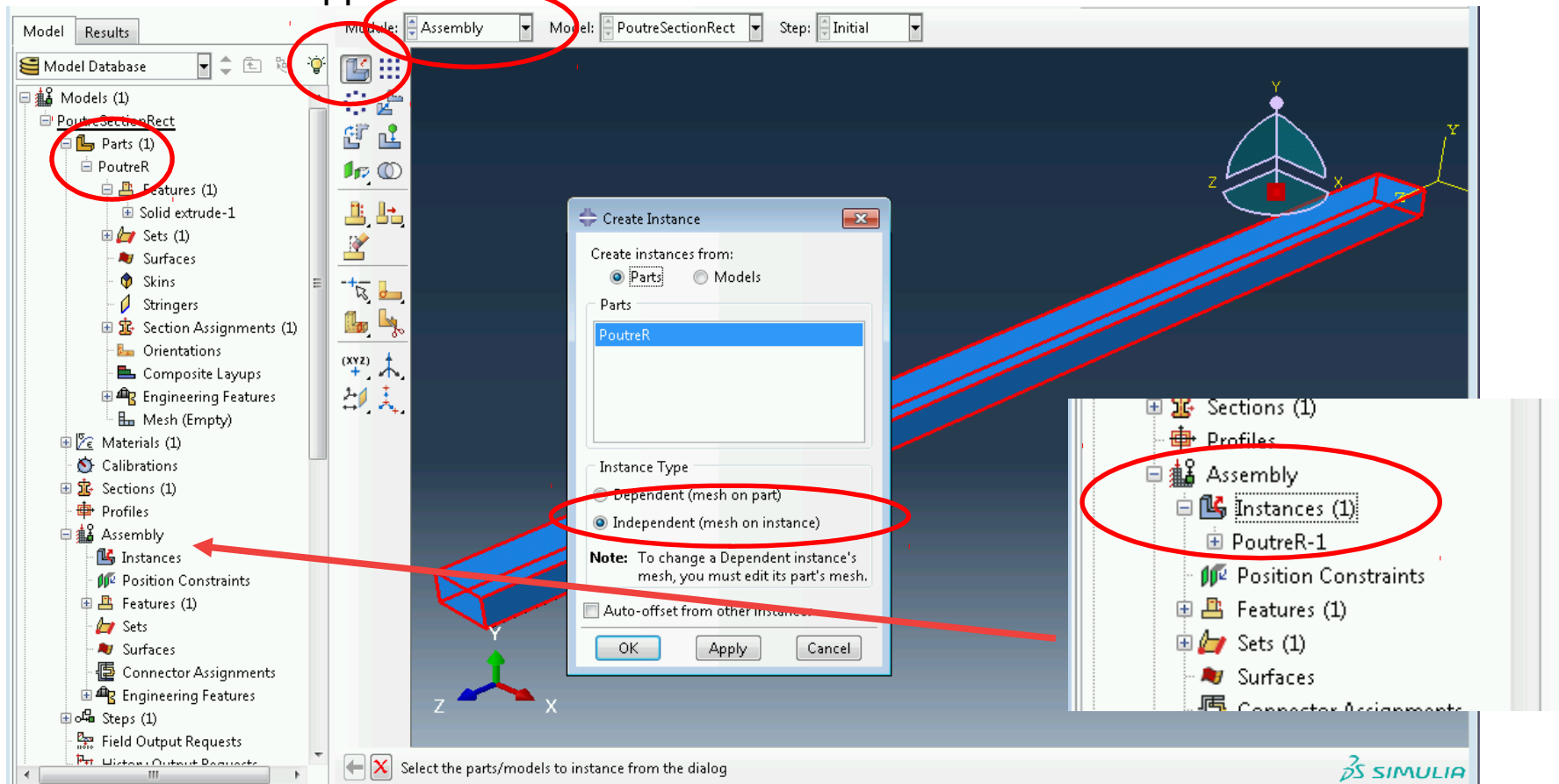


# Créer l'assemblage

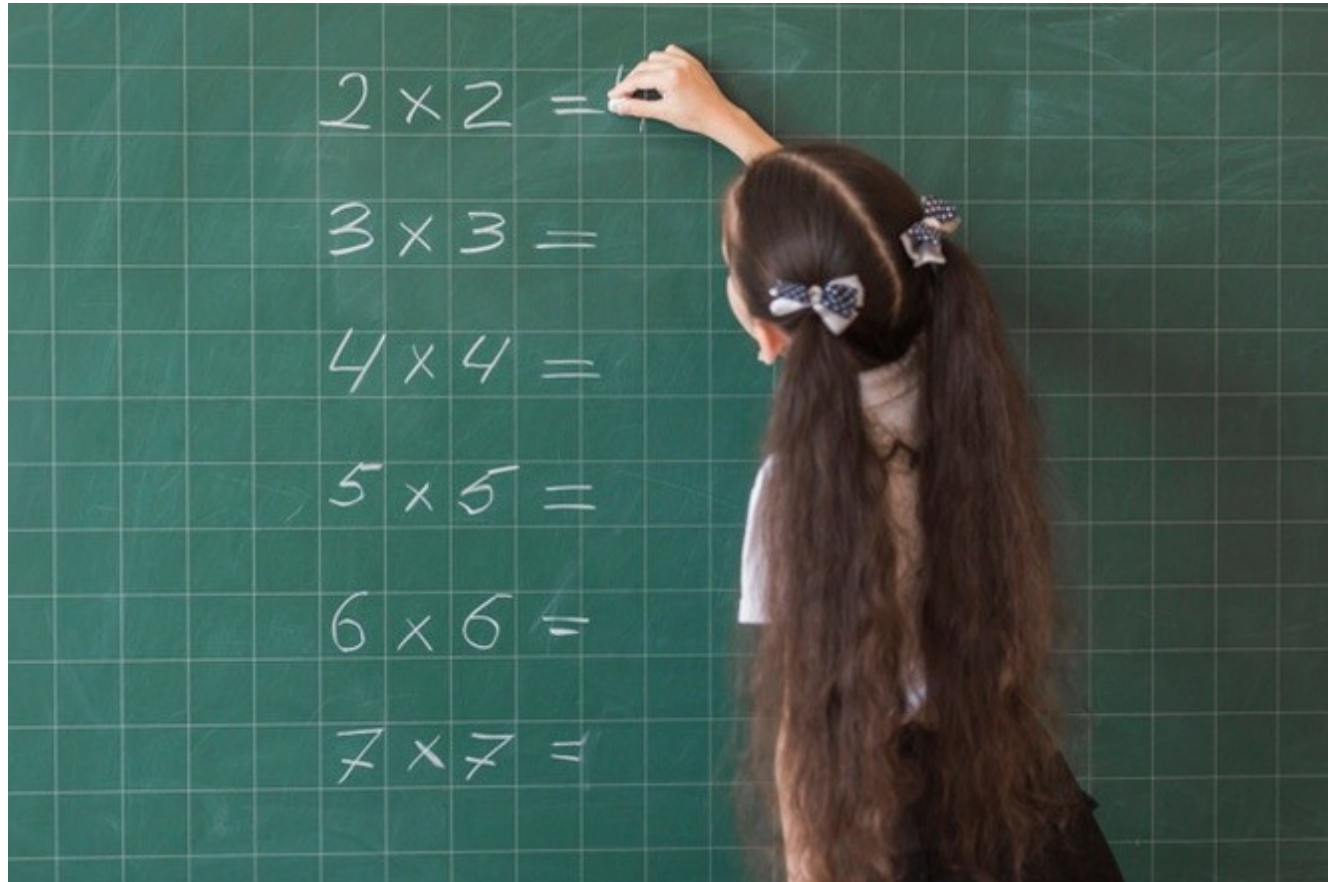
- Pour créer le modèle géométrique, il faut assembler plusieurs composants (défini par des « parts » auxquelles sont assignées des « sections »).
- Pour utiliser plusieurs fois le même composant, on peut insérer plusieurs « instances » d'une même « part » (notion identique dans CATIA).
- Même si le modèle 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

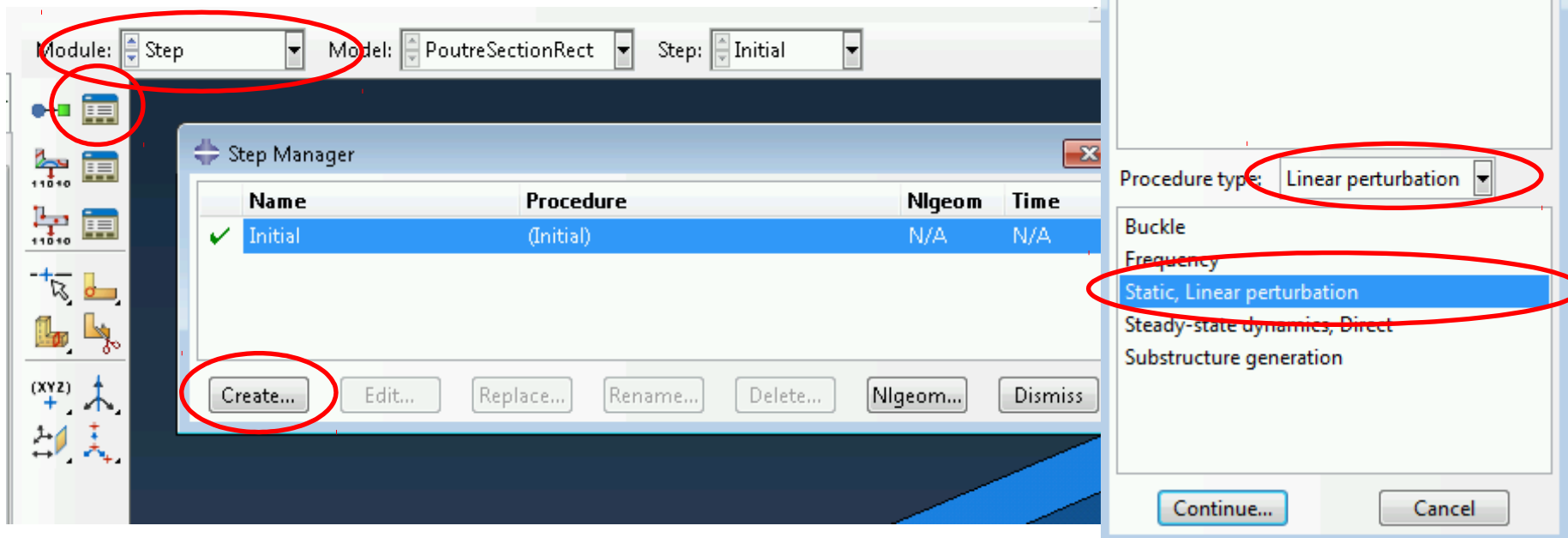


# Définition du type de calcul

- 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)



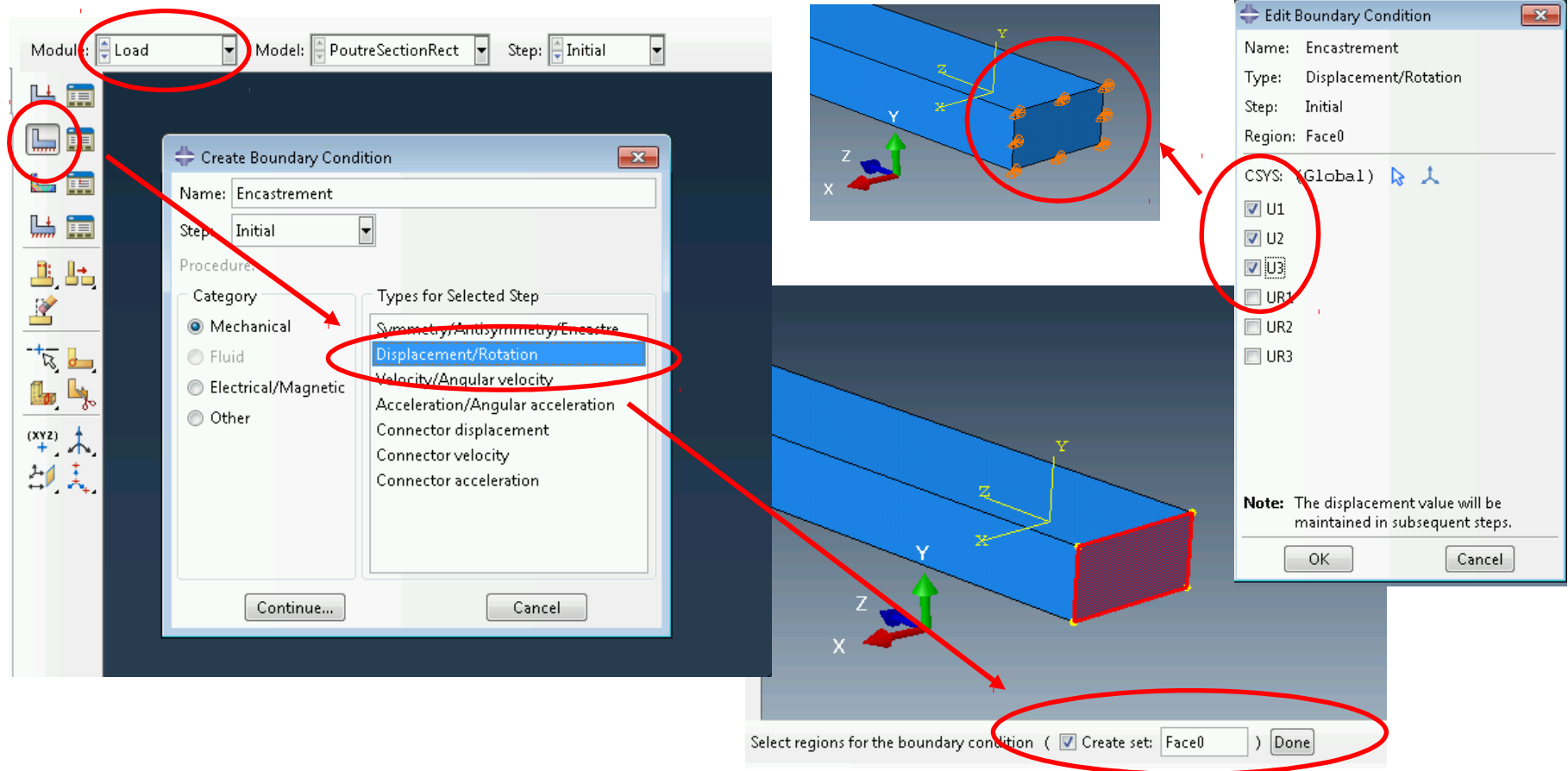


# Chargement et conditions aux limites



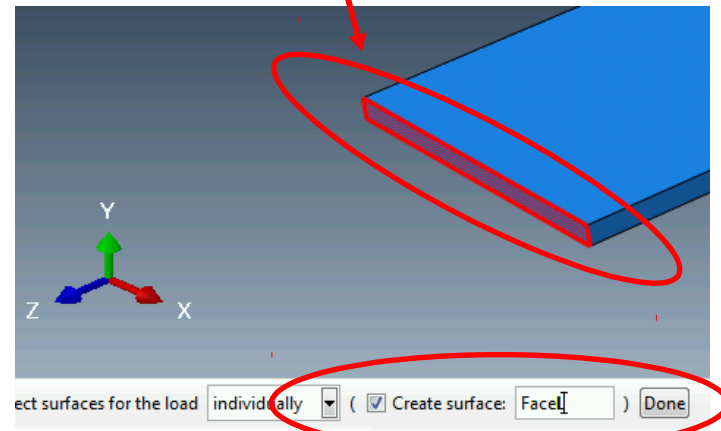
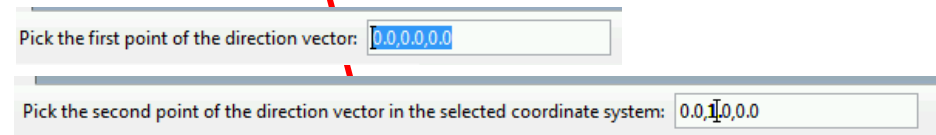
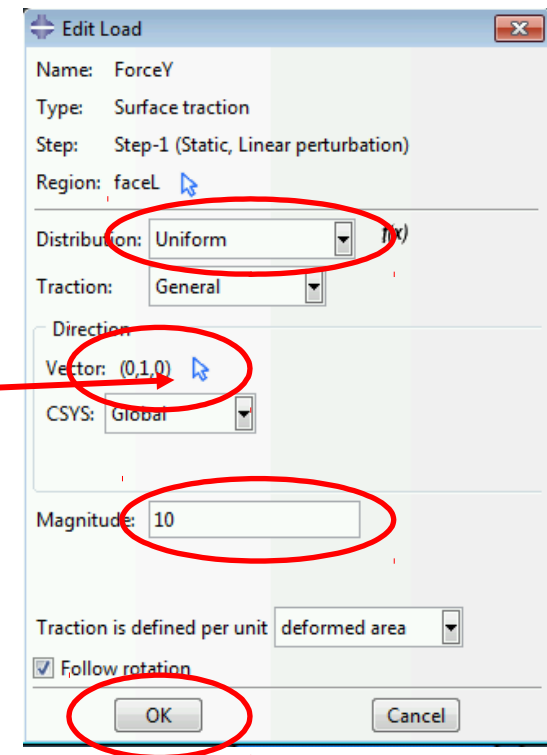
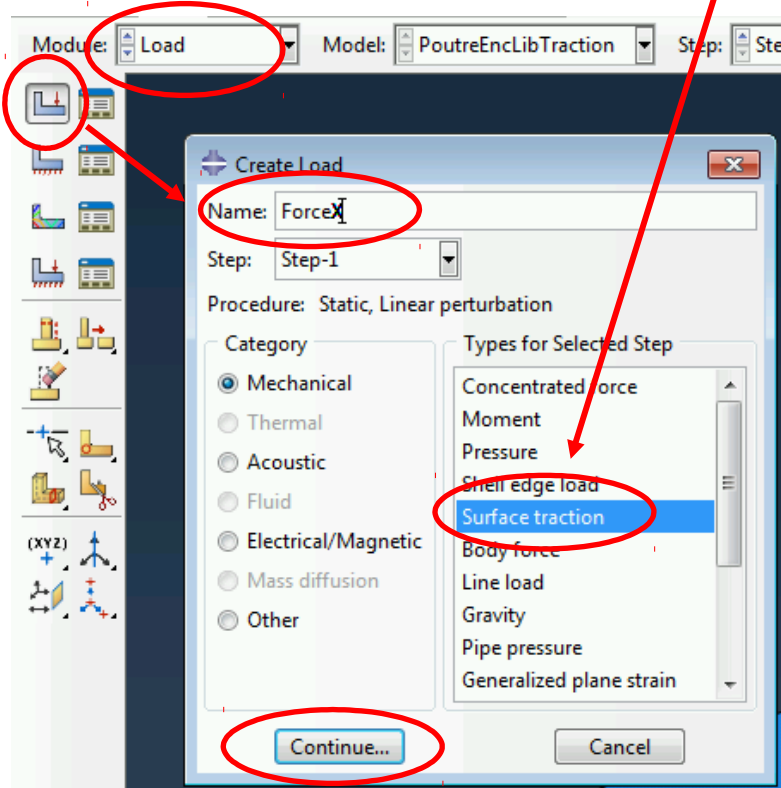
# Conditions aux limites

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

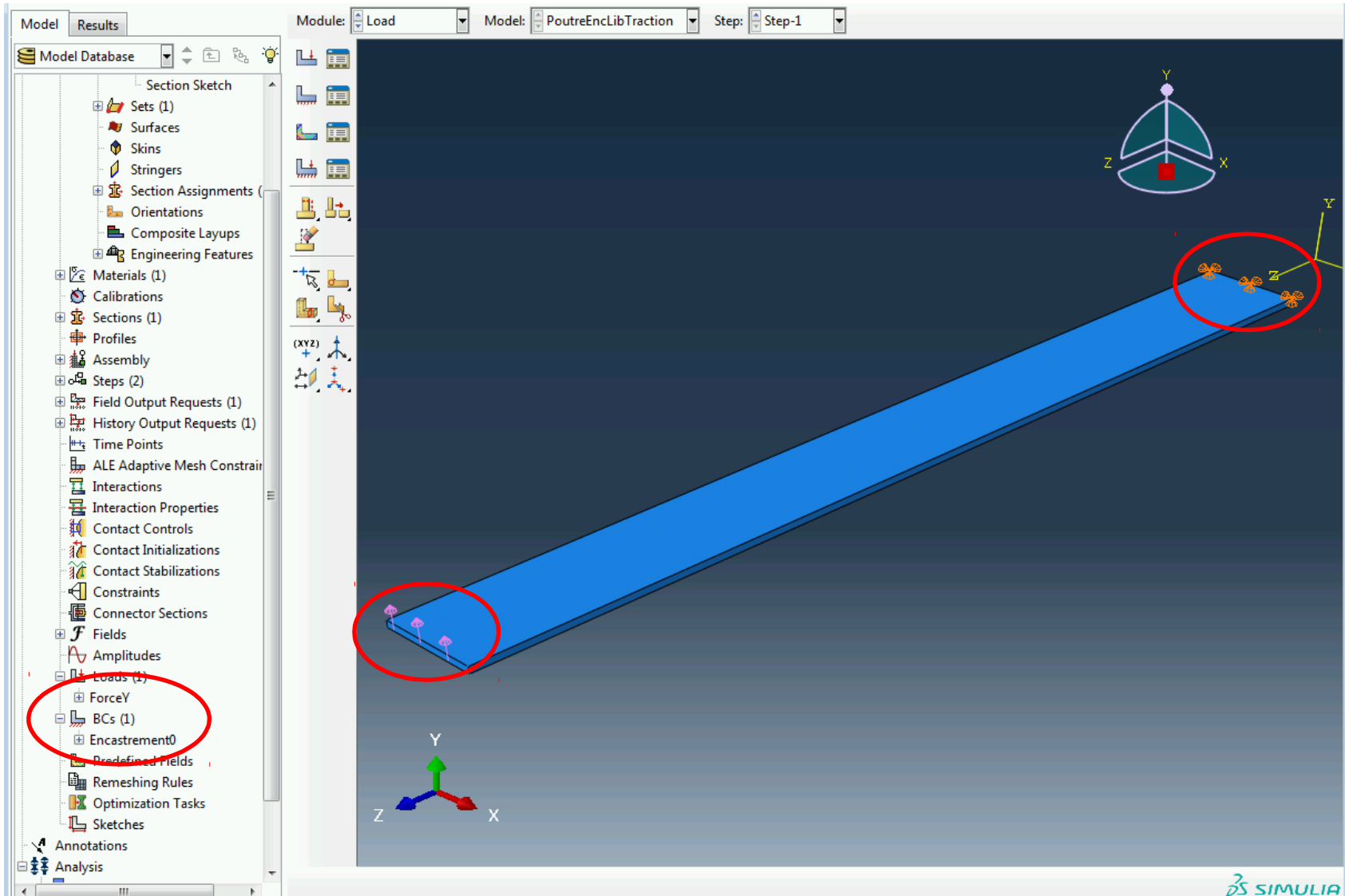


# Chargement

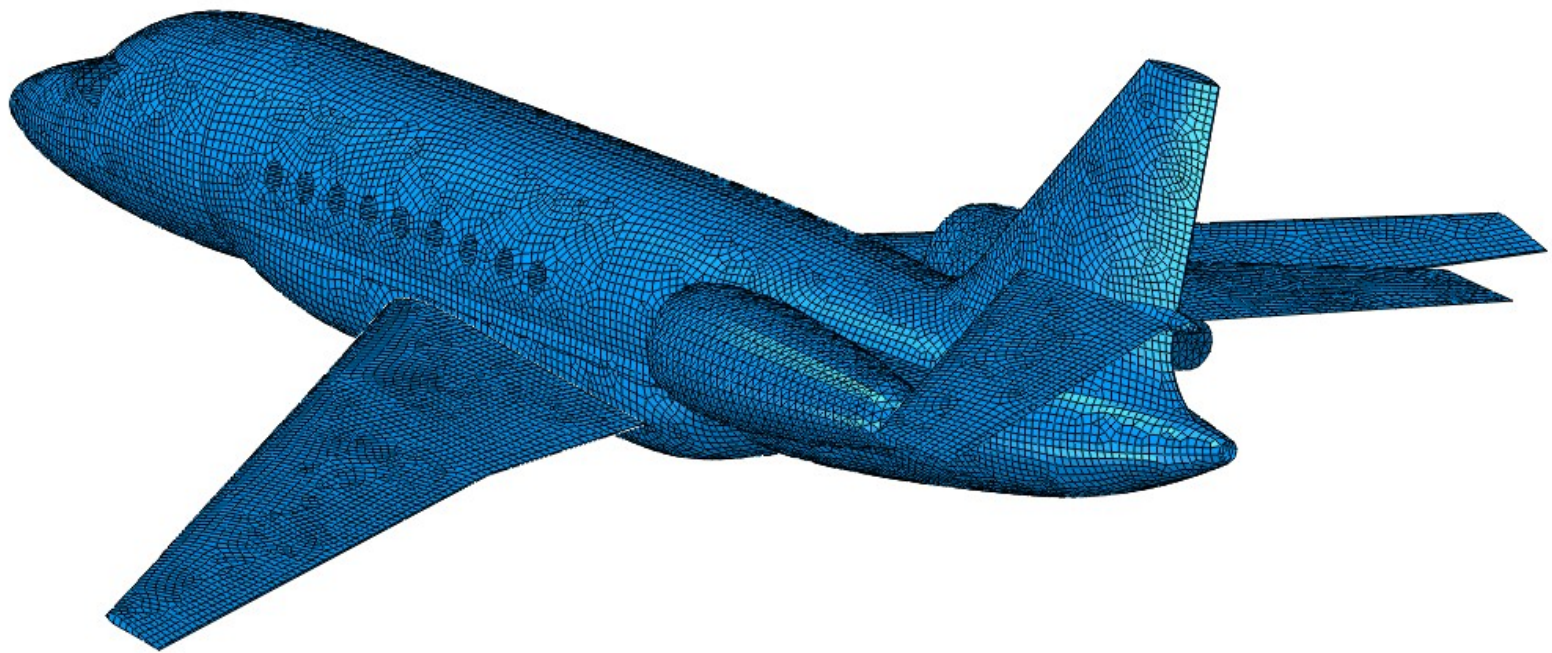
- « Surface traction » = force surfacique
- Définition de FaceL : section où est appliqué le chargement
- Définition du vecteur donnant la direction du chargement
- Définition de l'amplitude de la force surfacique uniforme



# Chargement et conditions aux limites



# Maillage

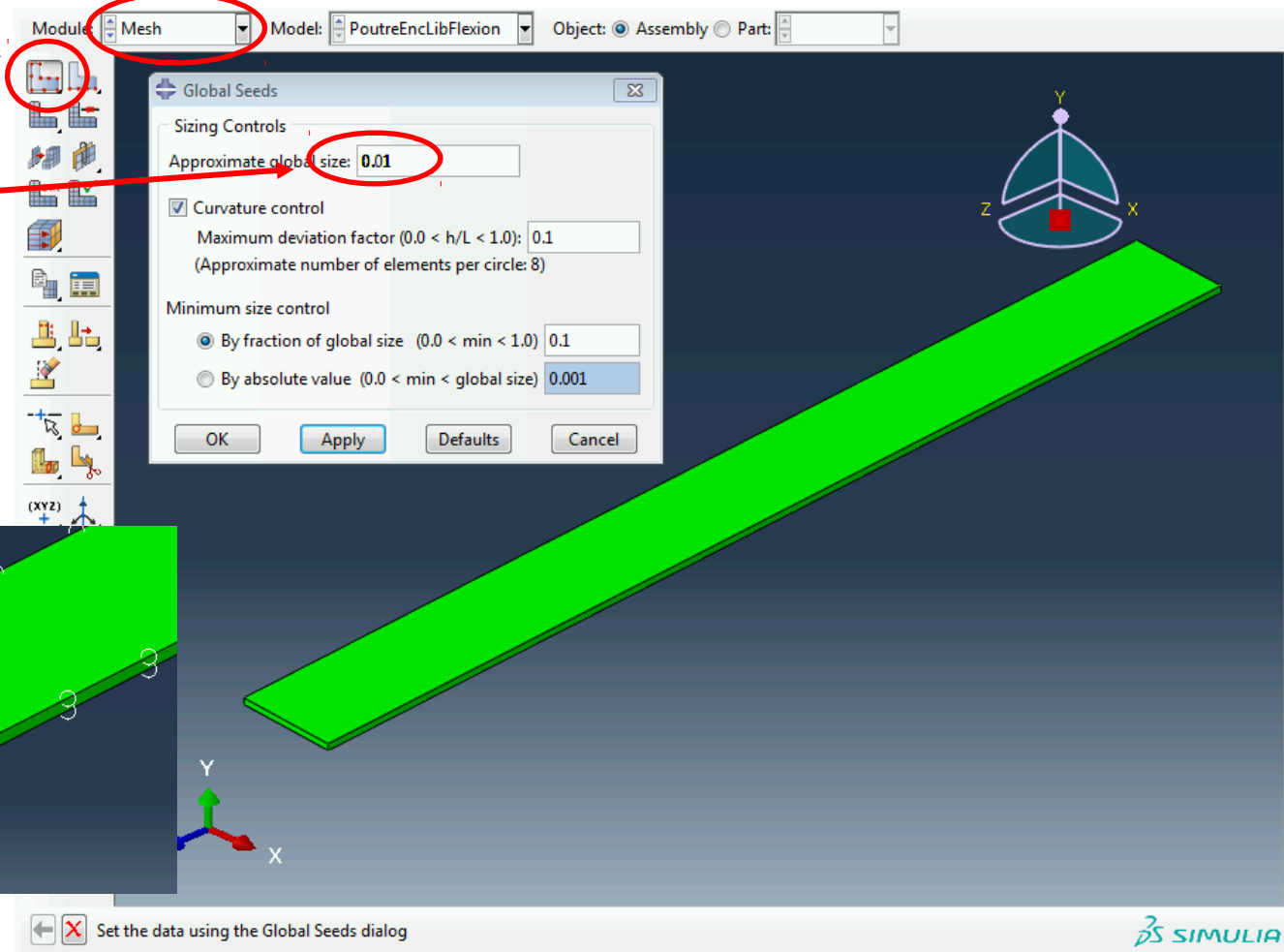


# Définir le maillage

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

- Imposer une taille moyenne pour les éléments finis (ici  $0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm}$ )

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



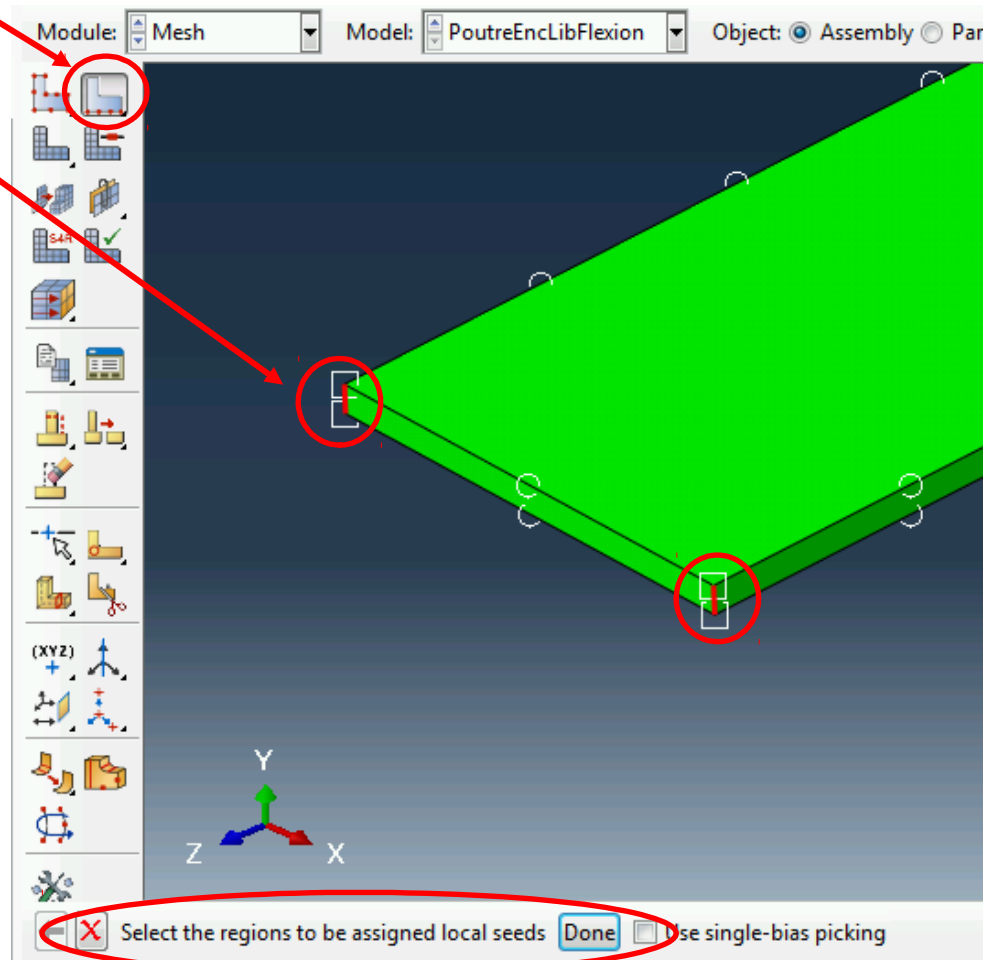
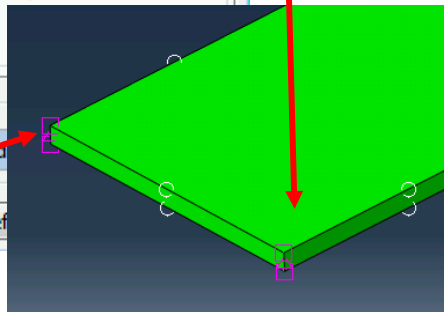
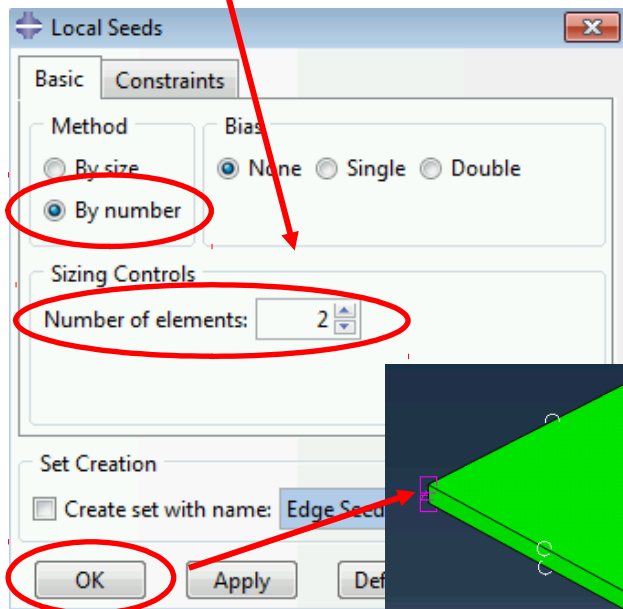
# Définir le maillage

- 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

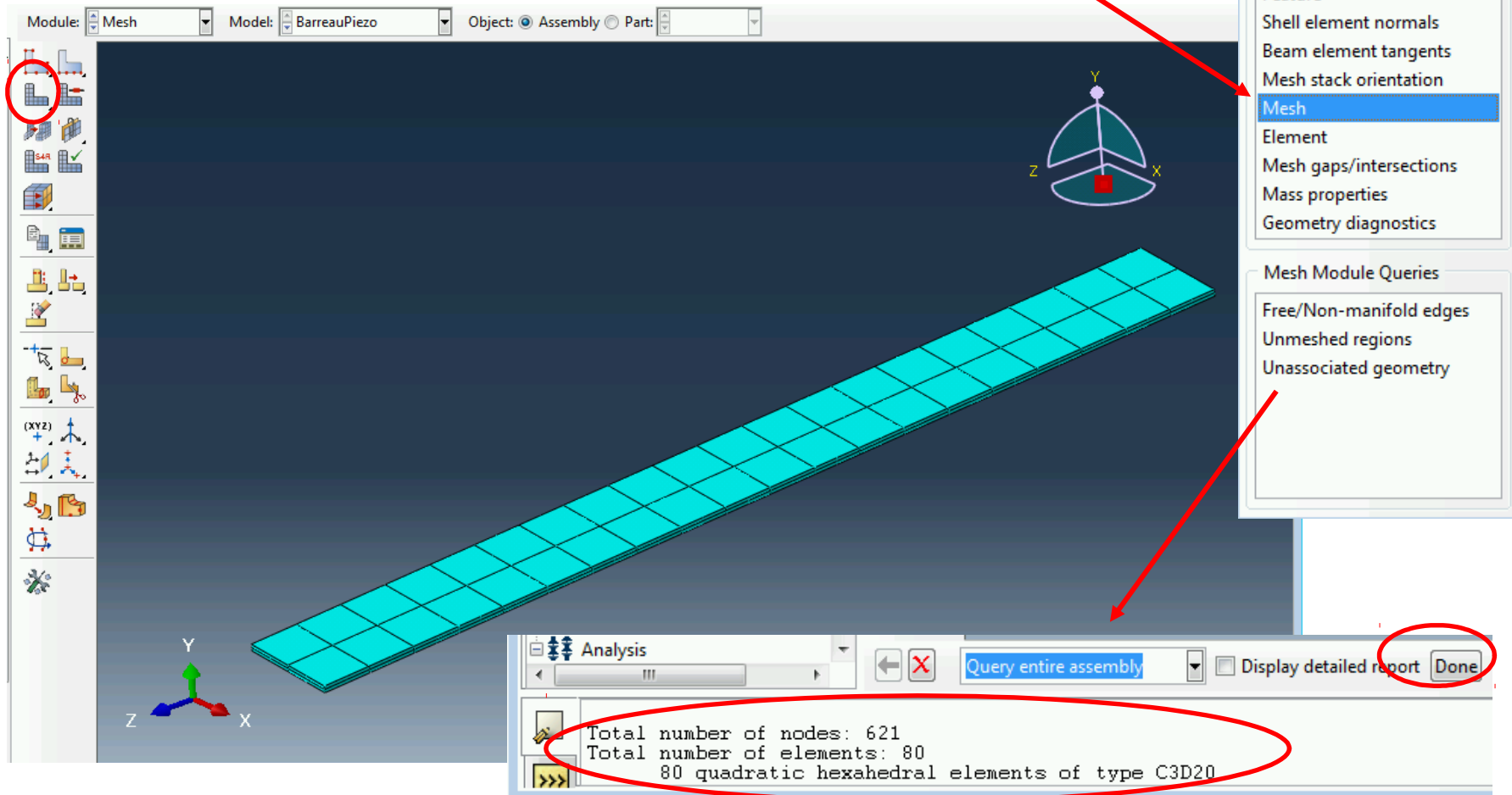
- cela crée des graines visualisées en violet





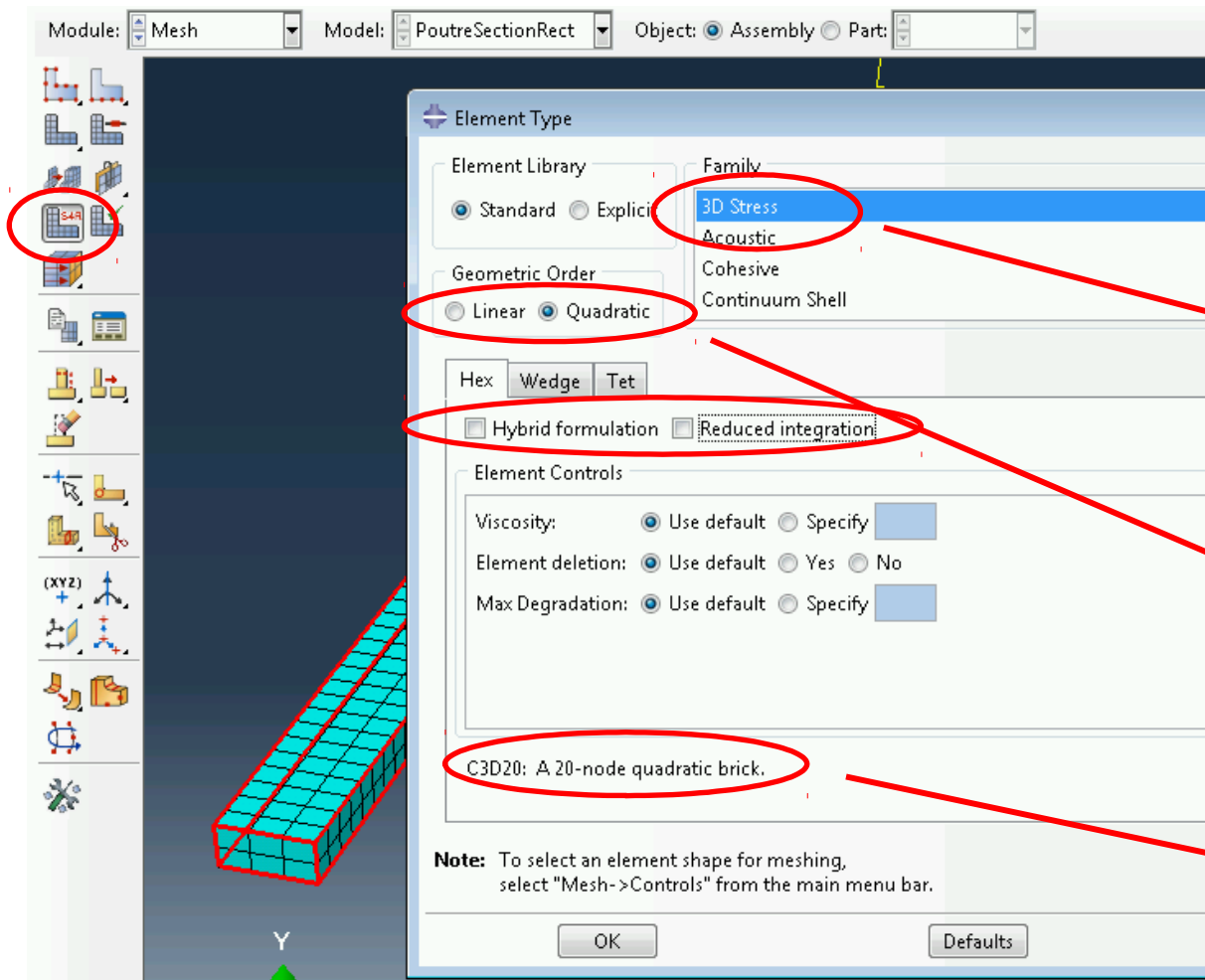
# Définir le maillage

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



# 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)

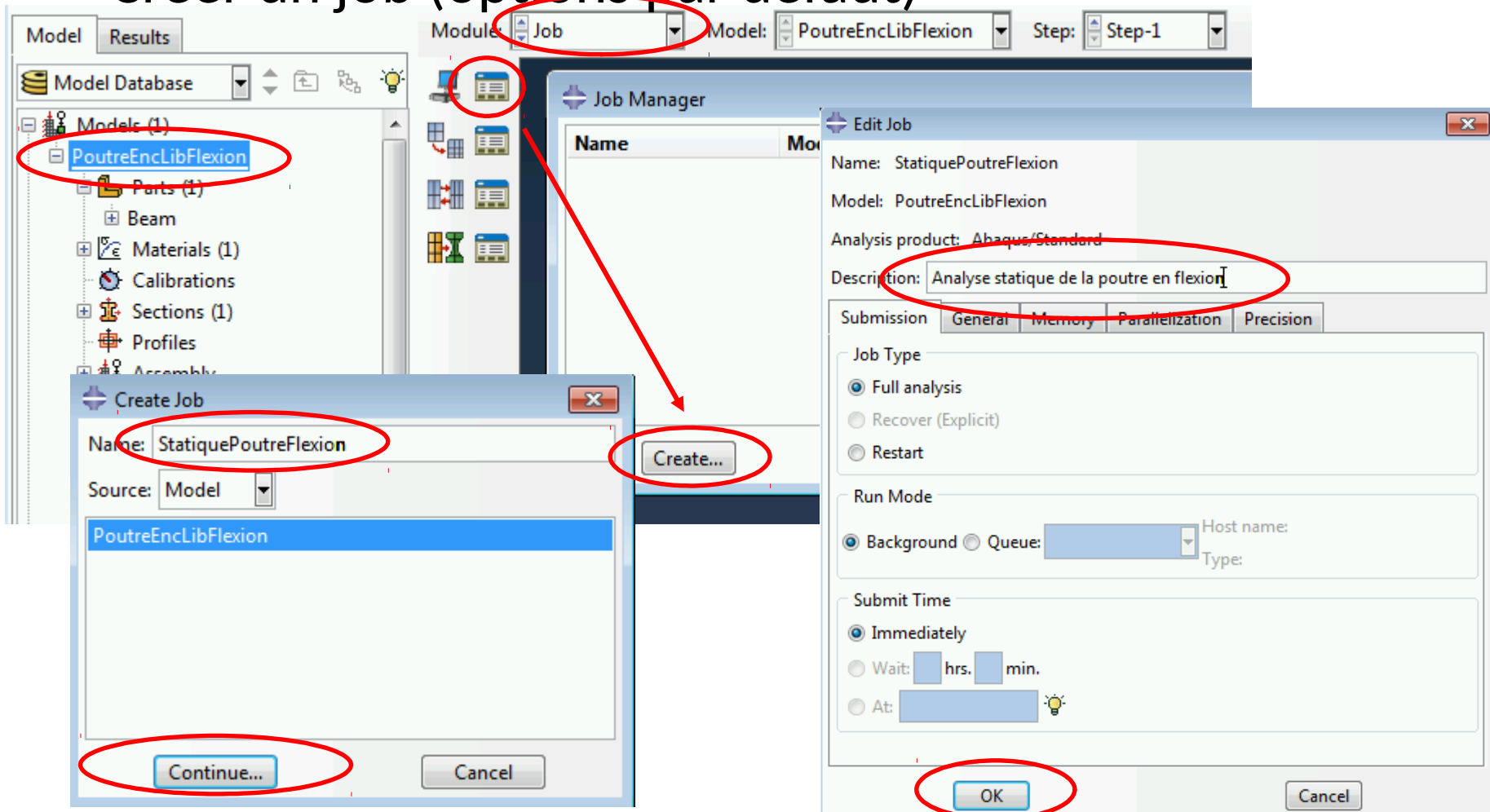
Nom de l'élément  
(voir les prop. dans l'aide)

# Définir et lancer un calcul



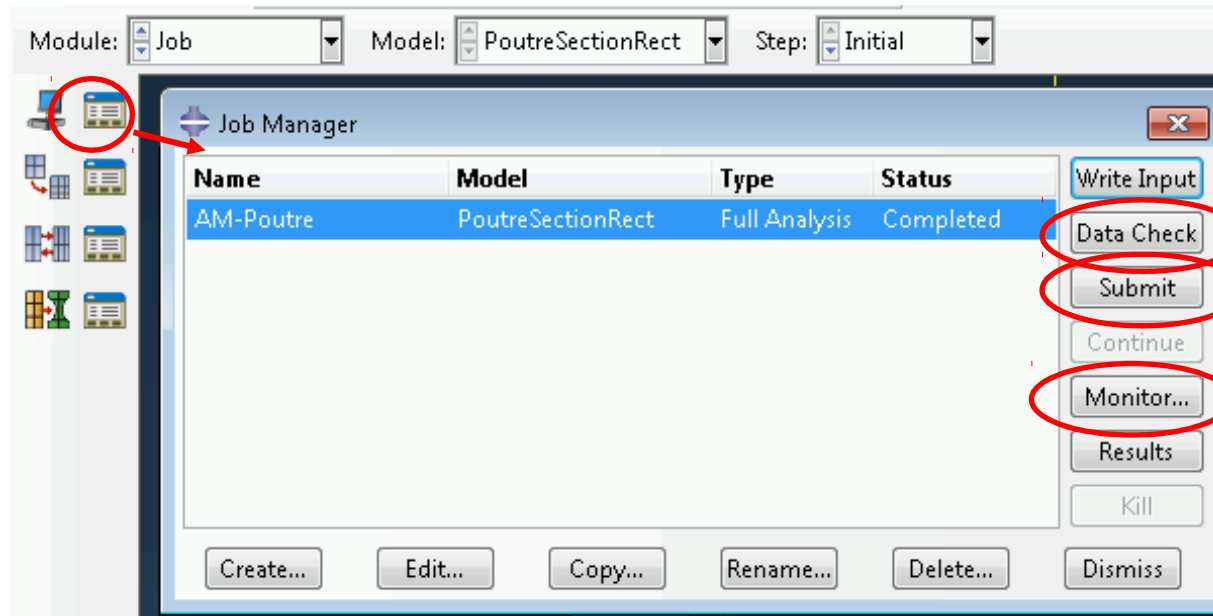
# Définir le calcul

- 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



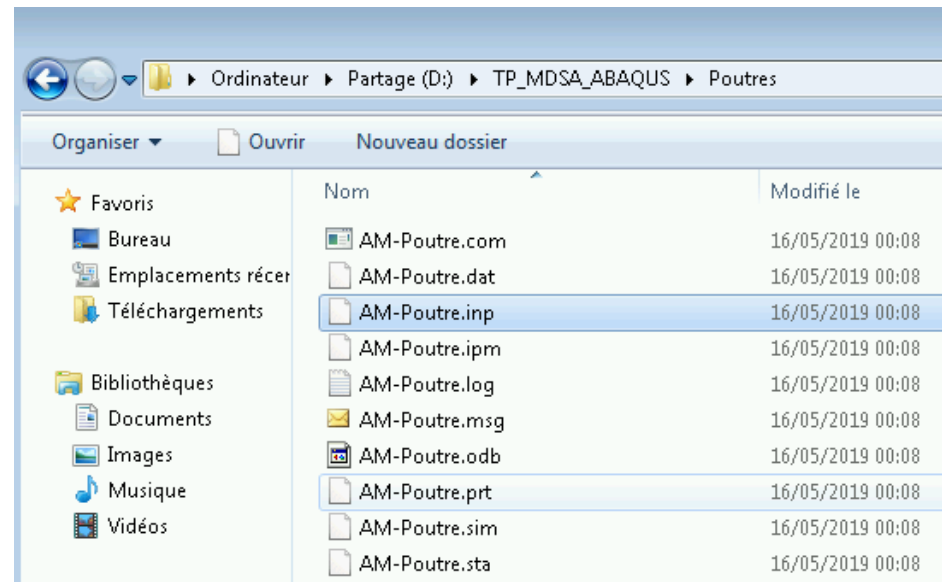
Vérifie si le jeu de données est OK

Lance le calcul

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

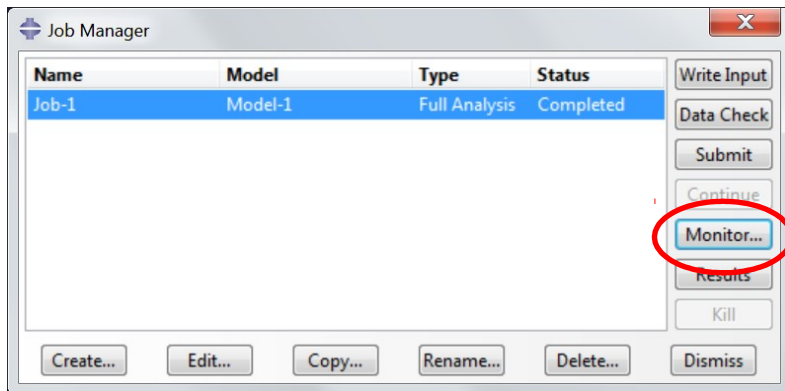
# Résultat du calcul

- 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

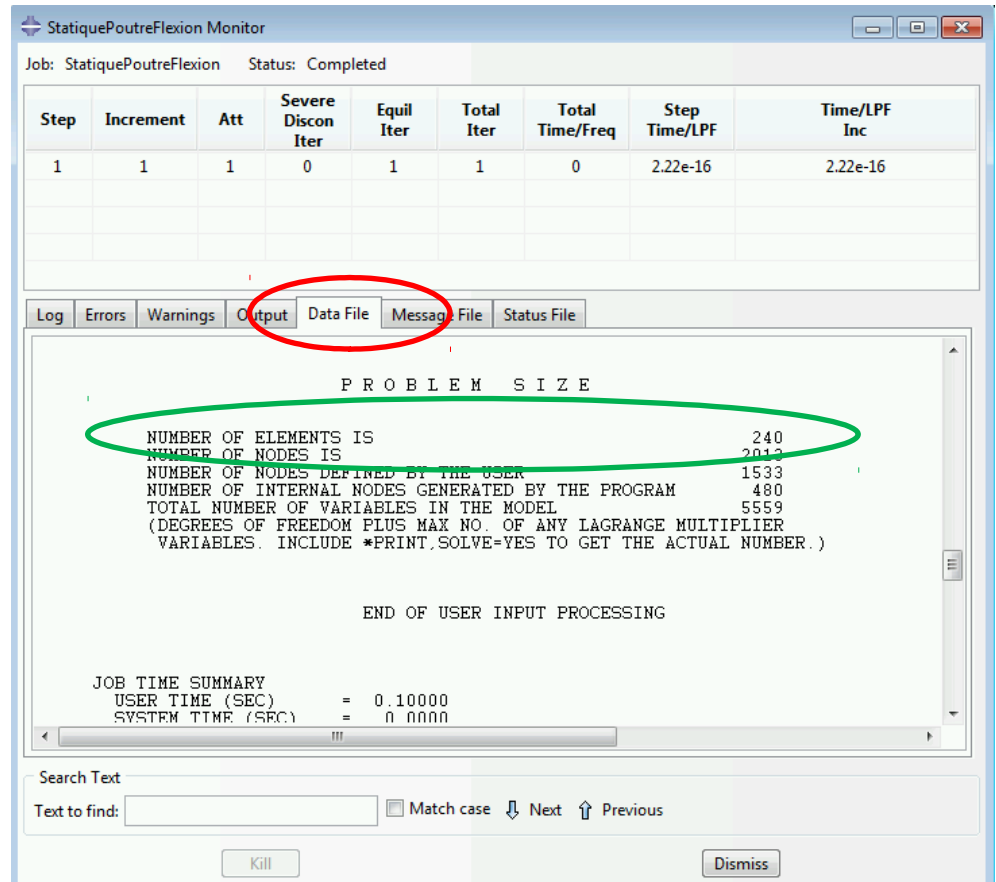


# Résultat du calcul

- Taille du modèle



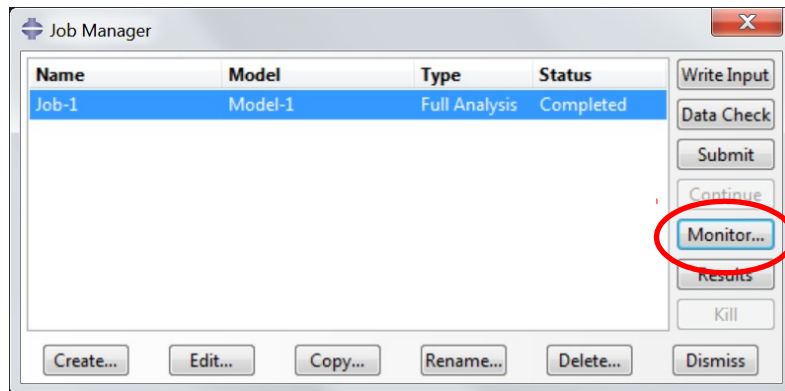
Le nombre d'éléments doit être inférieur à 100 pour les licences étudiant



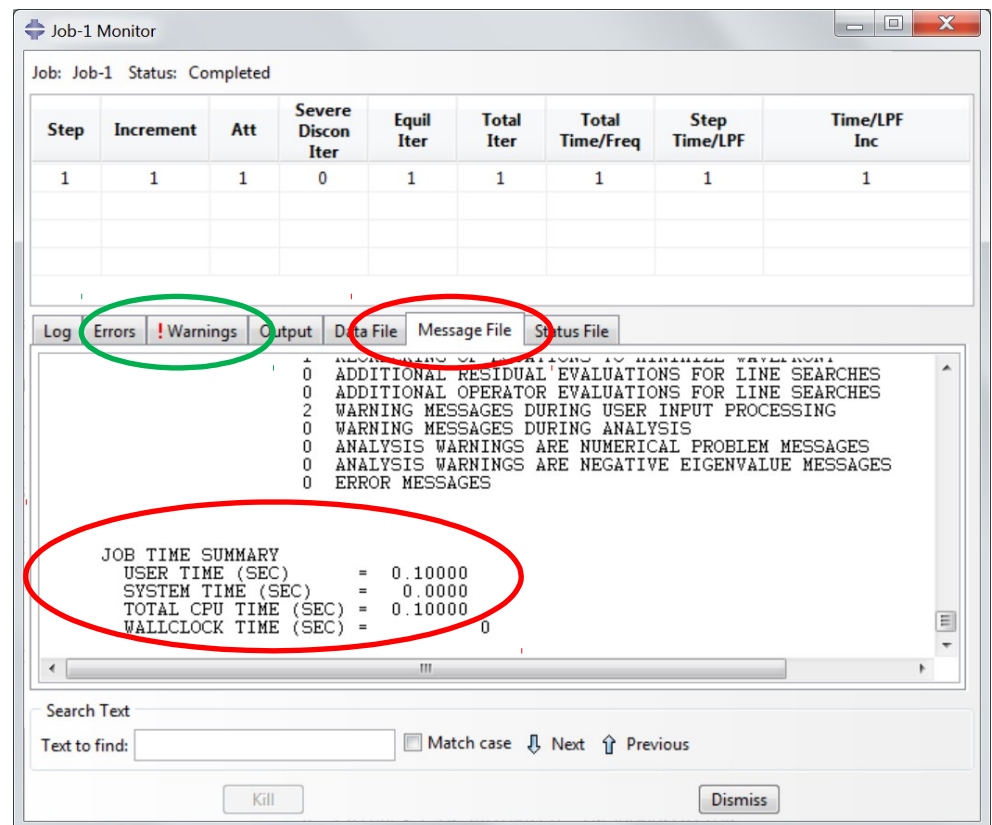


# Résultat du calcul

- Temps de calcul et information sur le modèle

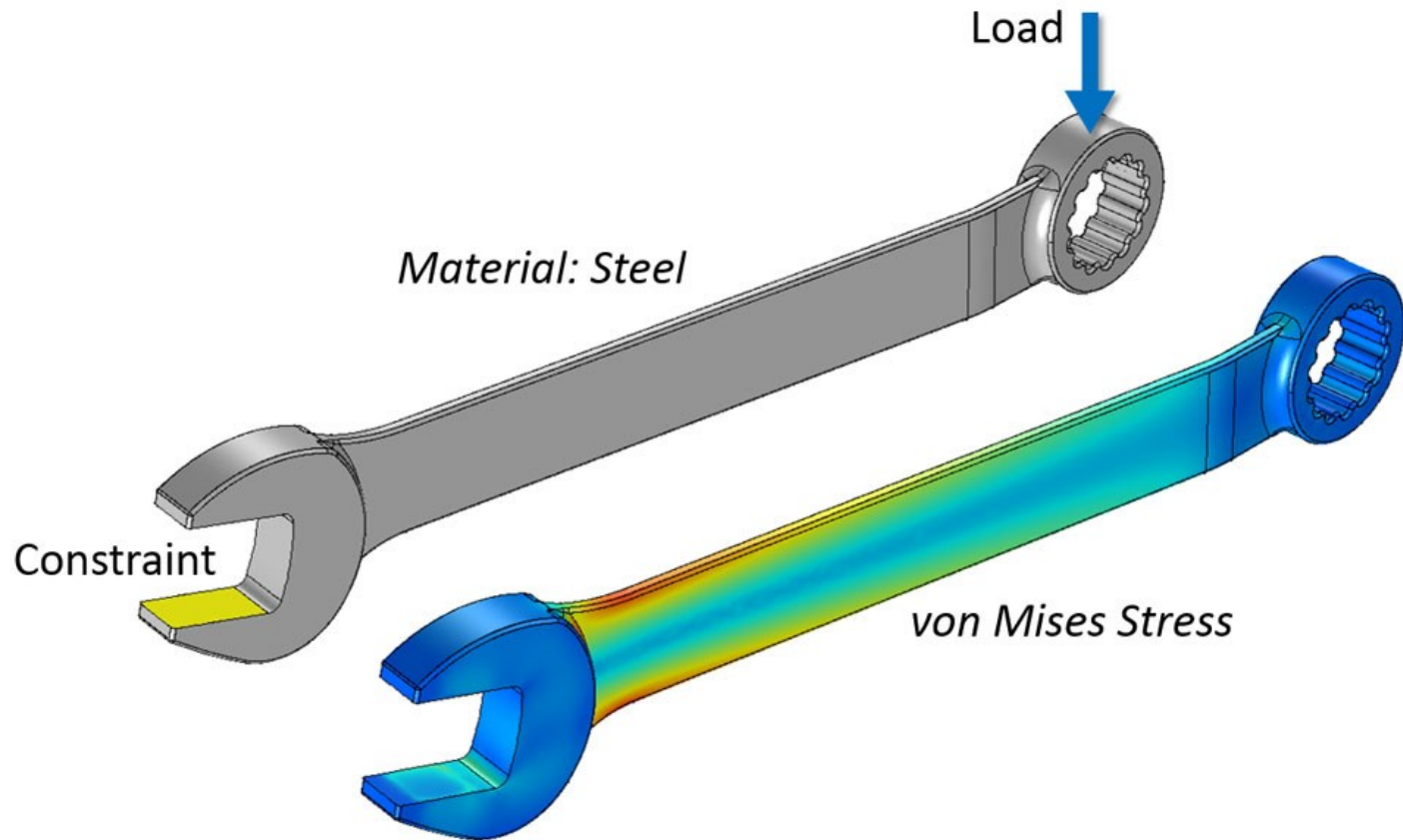


Vérifier absolument  
s'il n'y a pas de  
« warnings » ou  
d' « errors »



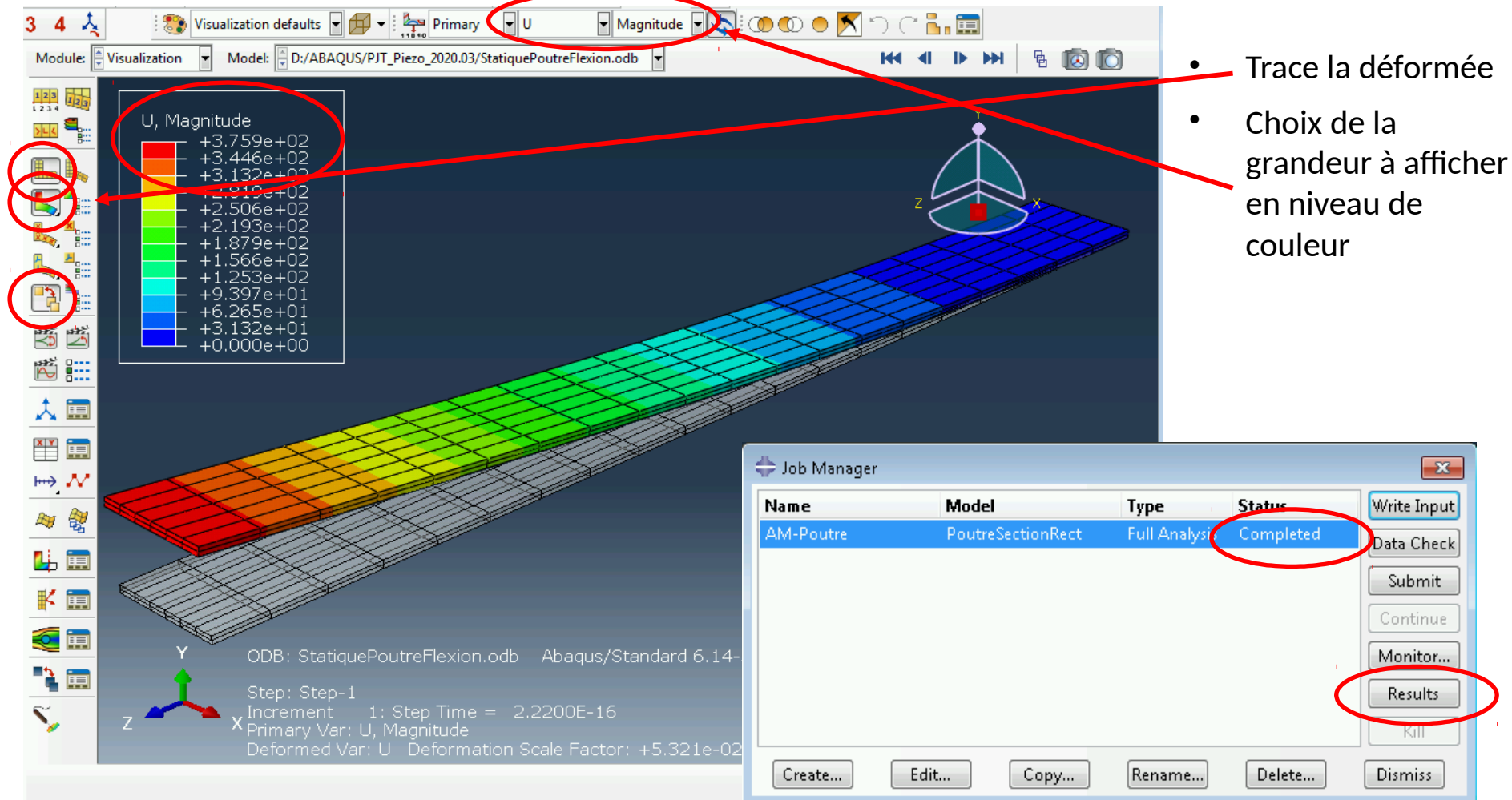


# Visualisation des résultats



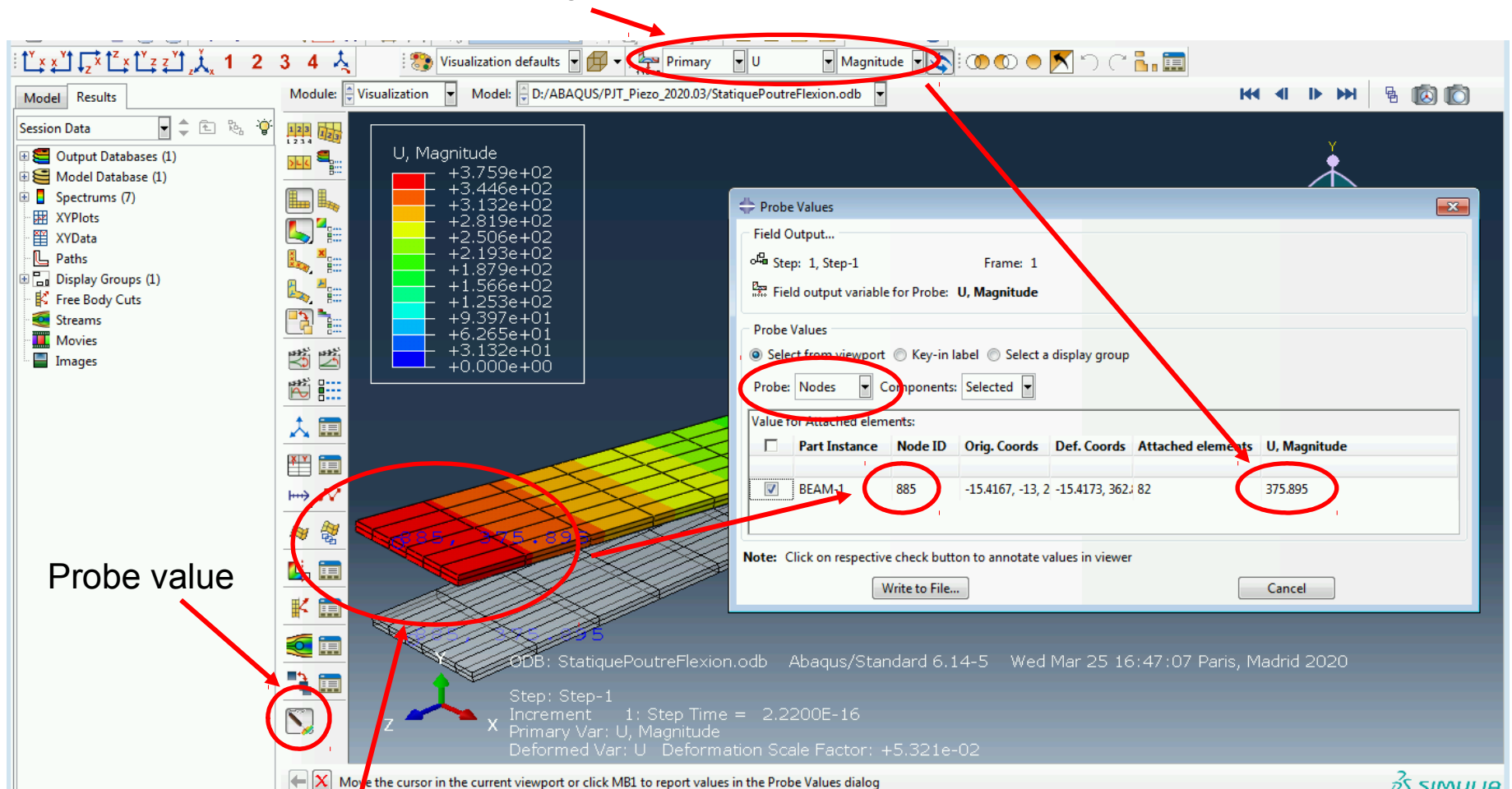
# Visualisation des résultats

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



# Valeur en un point

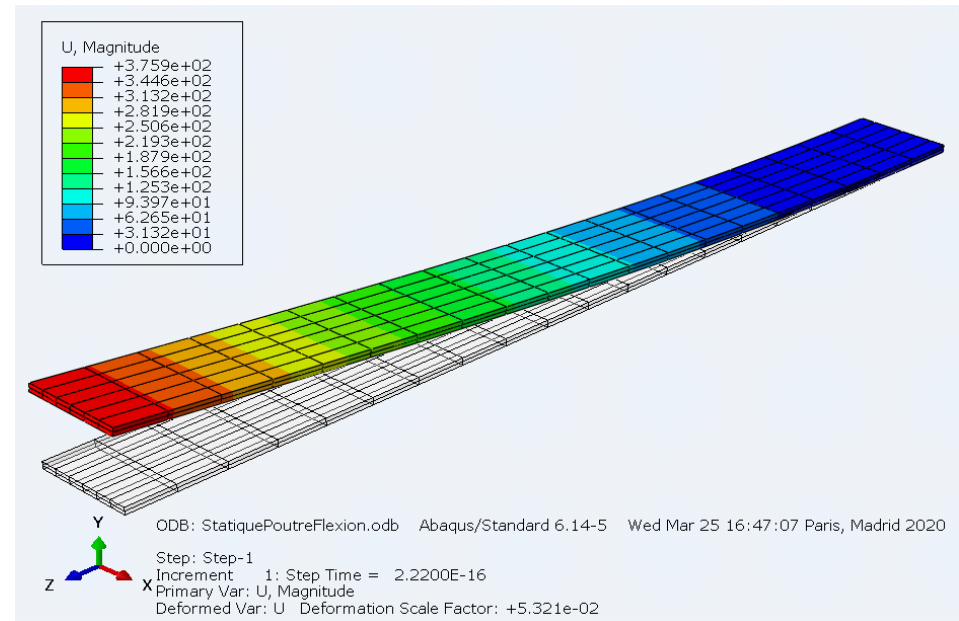
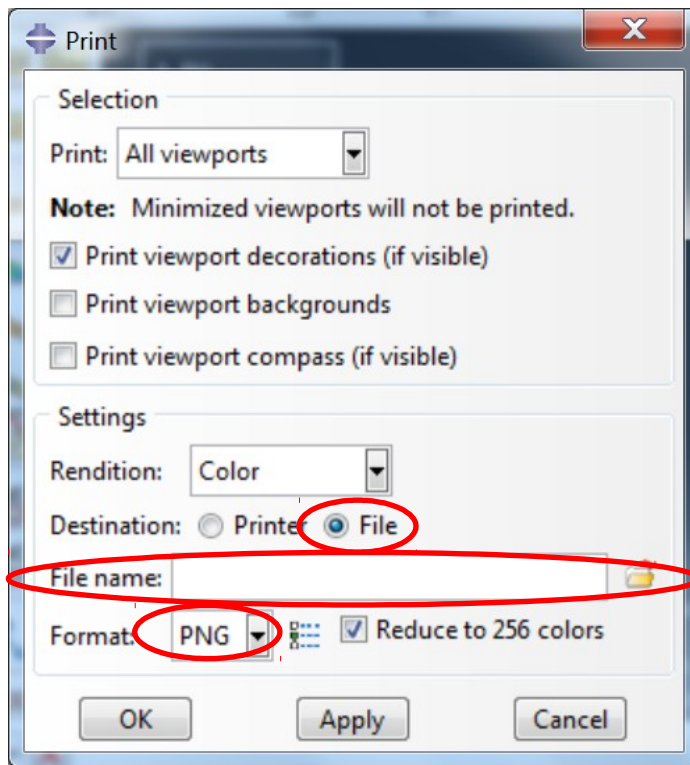
- Sélectionner la grandeur à afficher



- Sélectionner des nœuds / éléments

# Enregistrement des figures

- Menu: File / print



Exemple de rendu (contenu du fichier .png)

Eviter les impressions d'écran directes