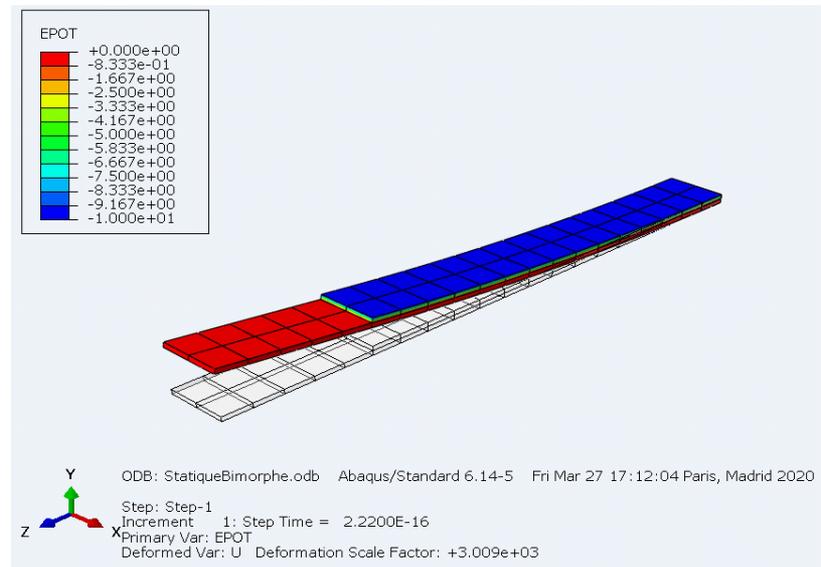


# Tutoriel Abaqus: Analyse d'un bimorphe piézoélectrique

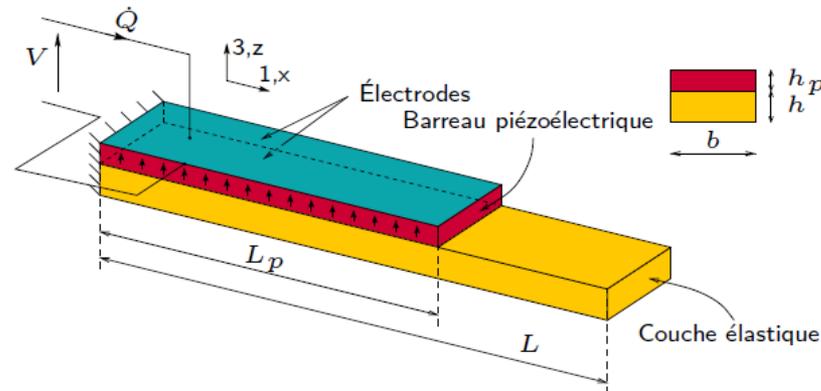
*Éléments finis volumiques*  
olivier.thomas@ensam.eu

SIMULIA  
ABAQUS

Arts Sciences et  
Technologies  
et Métiers



# Problème à l'étude

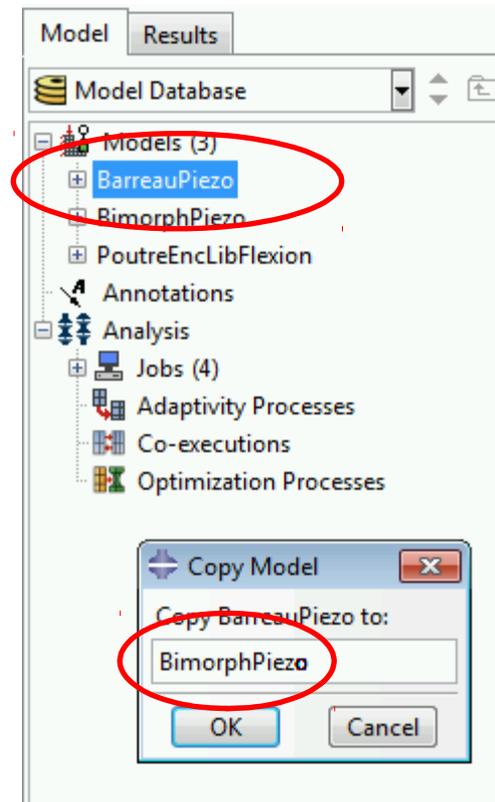


Dimensions	Longueurs	$L_p = 200 \text{ mm}, L = 260 \text{ mm}$
	Largeur de section	$b = 20 \text{ cm}$
	Épaisseurs de section	$h_p = 2 \text{ mm}, h = 4 \text{ mm}$
Matériau élastique (acier)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$Y = 210 \text{ GPa}$
Matériau piezo (PIC151)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$Y = 1/s_{11}^E = 66.7 \text{ GPa}$
	Coefficient de Poisson	$\nu = 0.3$
	Coefficients piézoélectriques	$d_{31} = -210 \text{ pC/N}$
		$d_{33} = 500 \text{ pC/N}$
	$d_{15} = 600 \text{ pC/N}$	
	Permittivité	$\epsilon_{33}^\sigma = 2400\epsilon_0 = 21.25 \text{ nF/m}$

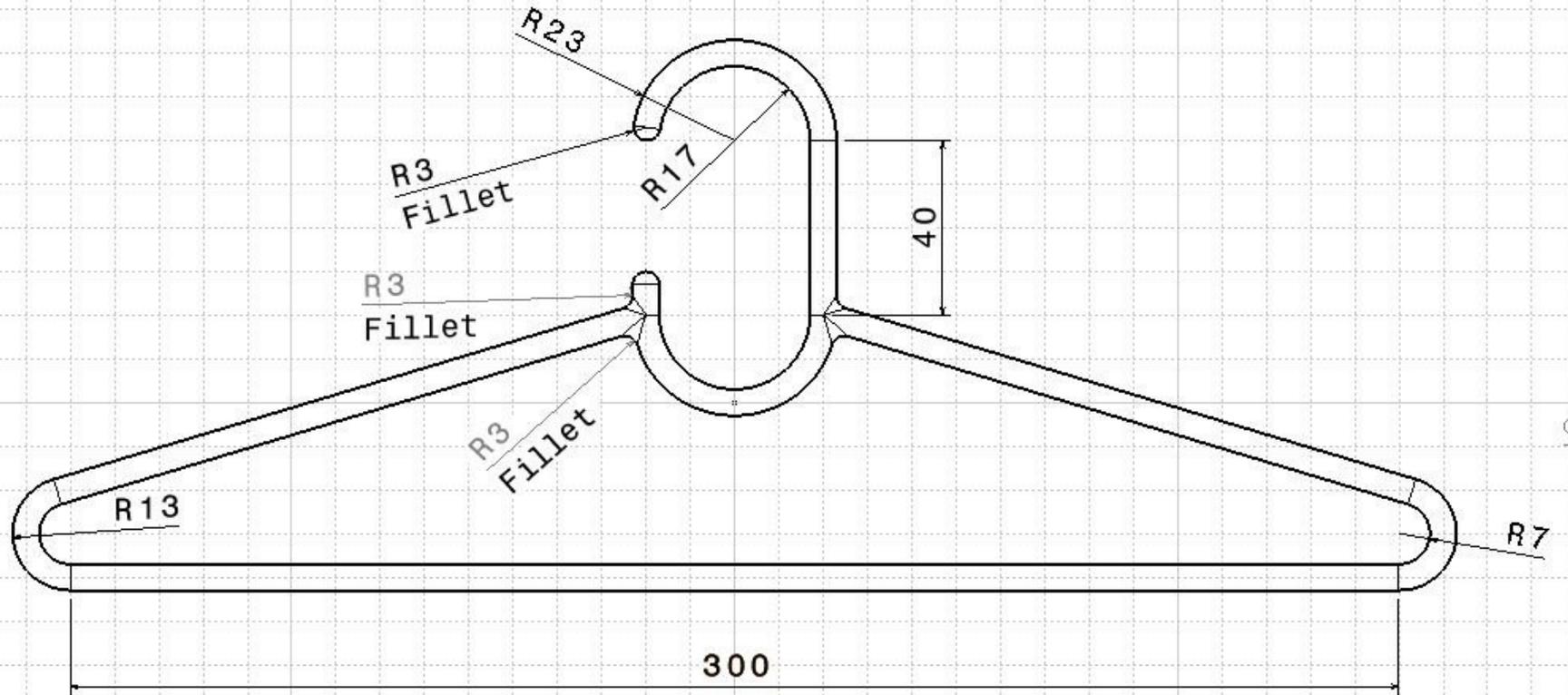
On se propose de calculer la réponse statique d'un bimorphe (poutre à deux couches élastique + piézoélectrique) soumise à une différence de potentiel entre ses électrodes.

# Modélisation dans Abaqus

- Récupérer le modèle de poutre élastique + barreau piézoélectrique du tutoriel 02
- Copier / coller le modèle « BarreauPiezo » (avec un clic droit de souris et « copy model ») et le nommer « BimorphPiezo »
- Cliquer deux fois sur « BimorphPiezo » dans l'arbre pour être sur d'activer ce nouveau modèle.

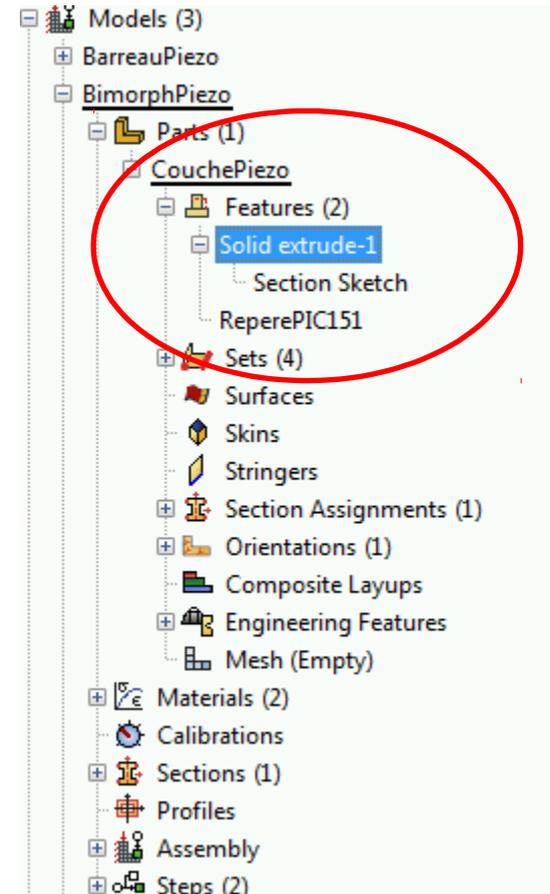


# Géométrie (module Part)



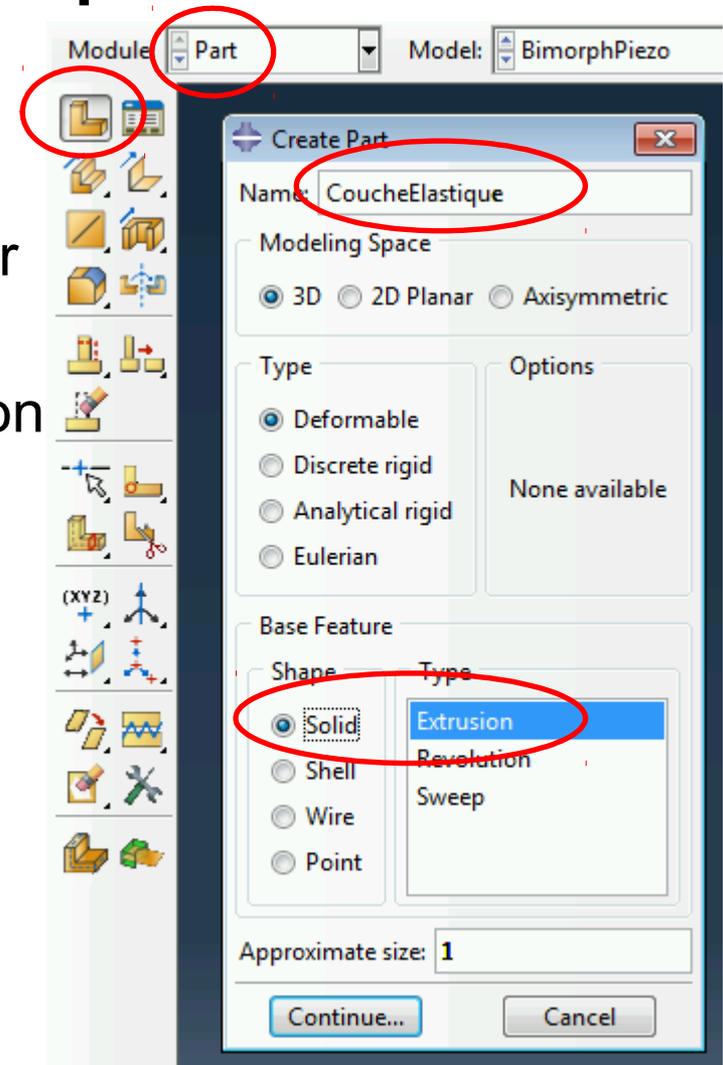
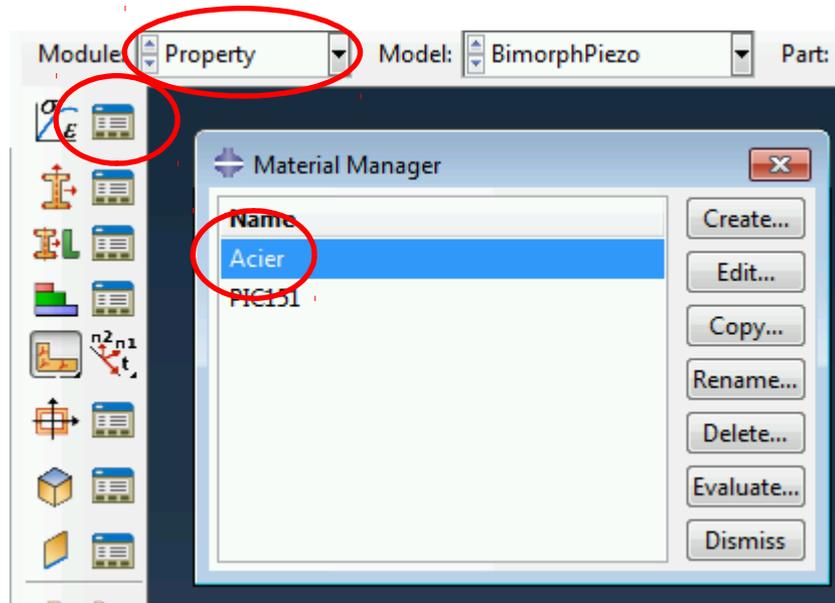
# Couche piézoélectrique

- Renommer si nécessaire la « Part » correspondant au barreau piézoélectrique en « CouchePiezo »
- Vérifier ses dimensions:
  - - déplier l'arbre pour faire apparaître « Features », « Solid extrude » et « Section sketch »
  - - vérifier les dimensions de de la section droite : cliquer deux fois sur « Section sketch »...
  - - vérifier la longueur de la poutre : cliquer 2 fois sur « Solid extrude »...



# Couche élastique

- Créer une nouvelle Part pour la couche élastique (section rectangulaire de 4x20 mm et longueur 260 mm, cf. plus haut)
- Vérifier que l'Acier est toujours là sinon le créer

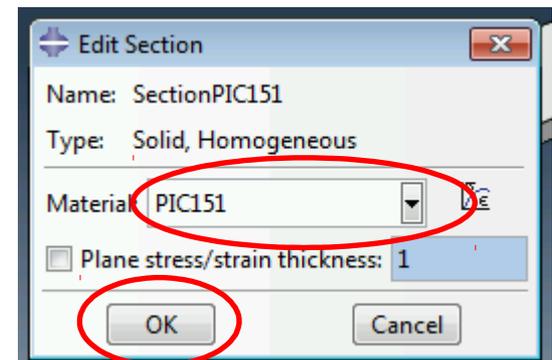
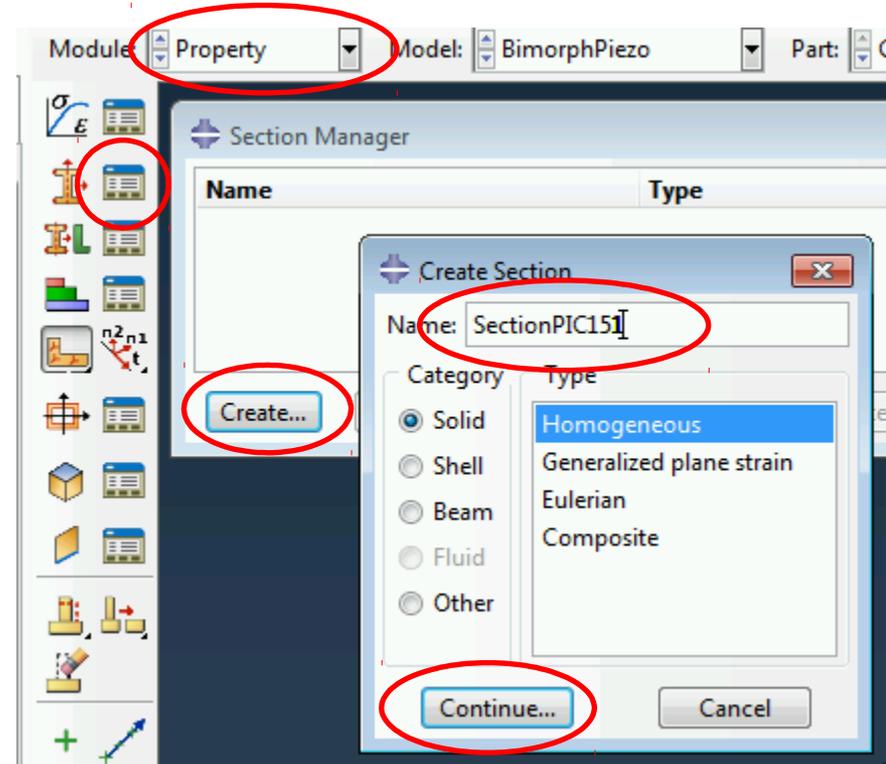
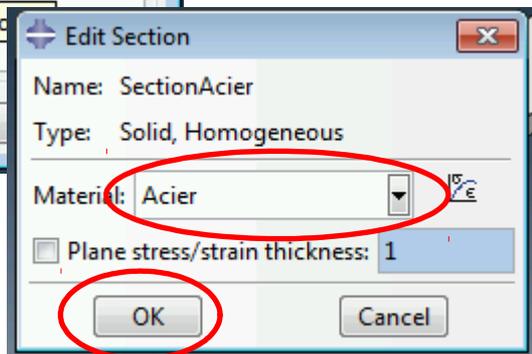
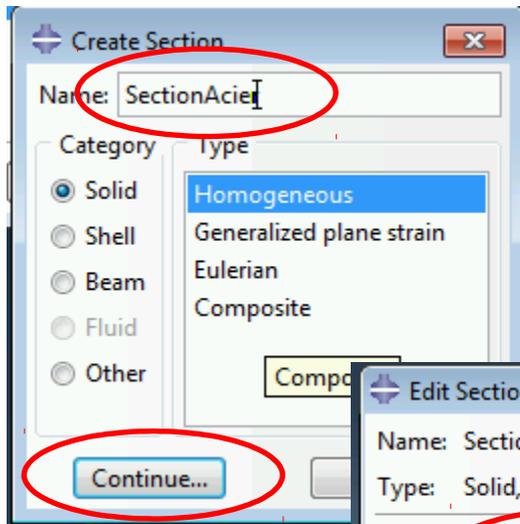


# Propriétés matériaux et sections



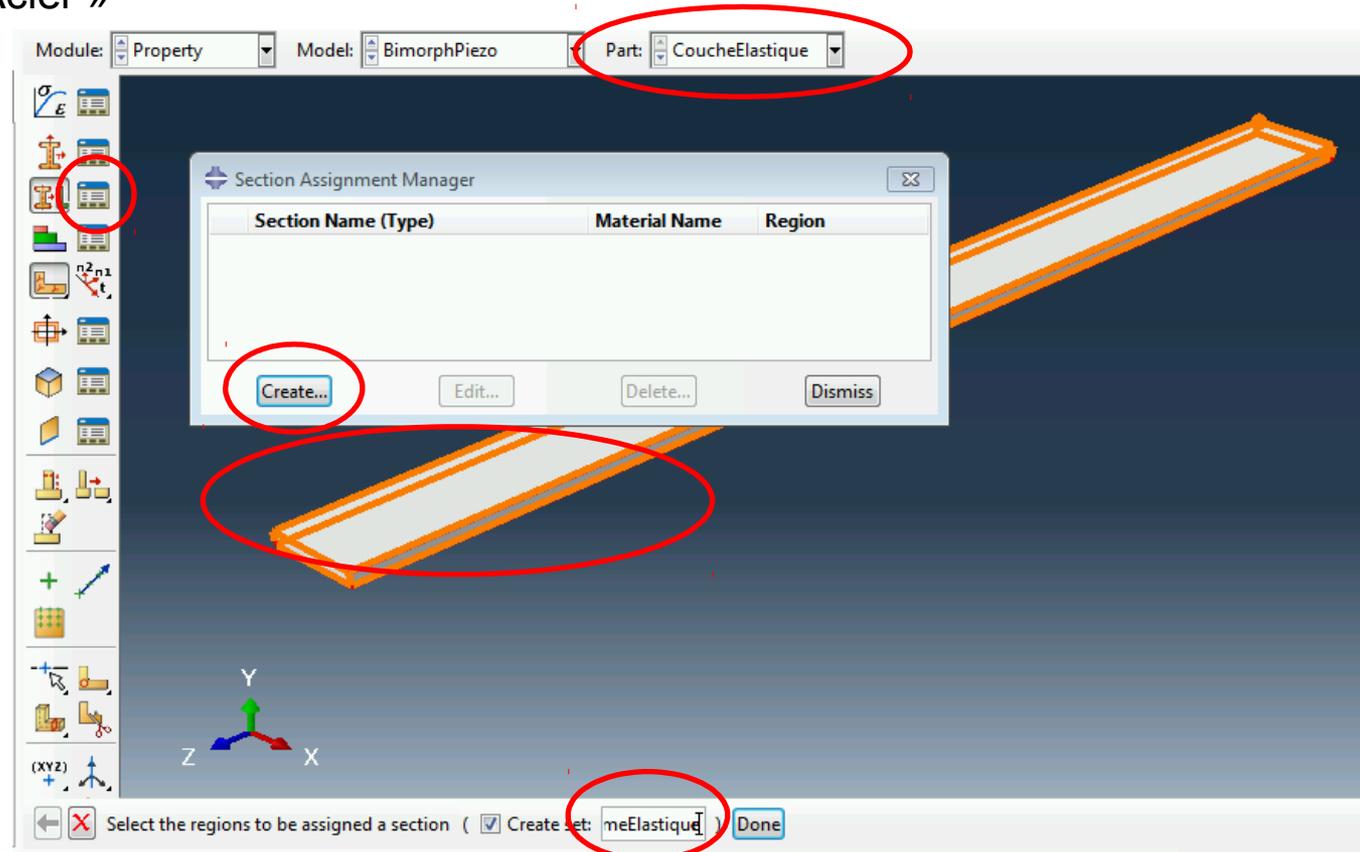
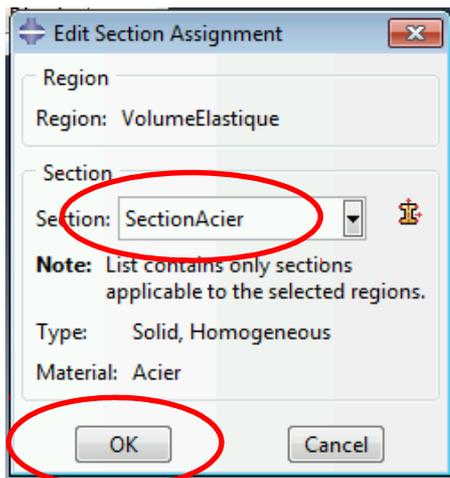
# Création des sections

- Créer une section « SectionPIC151 » avec le matériau « PIC151 »
- Faire de même pour l'acier



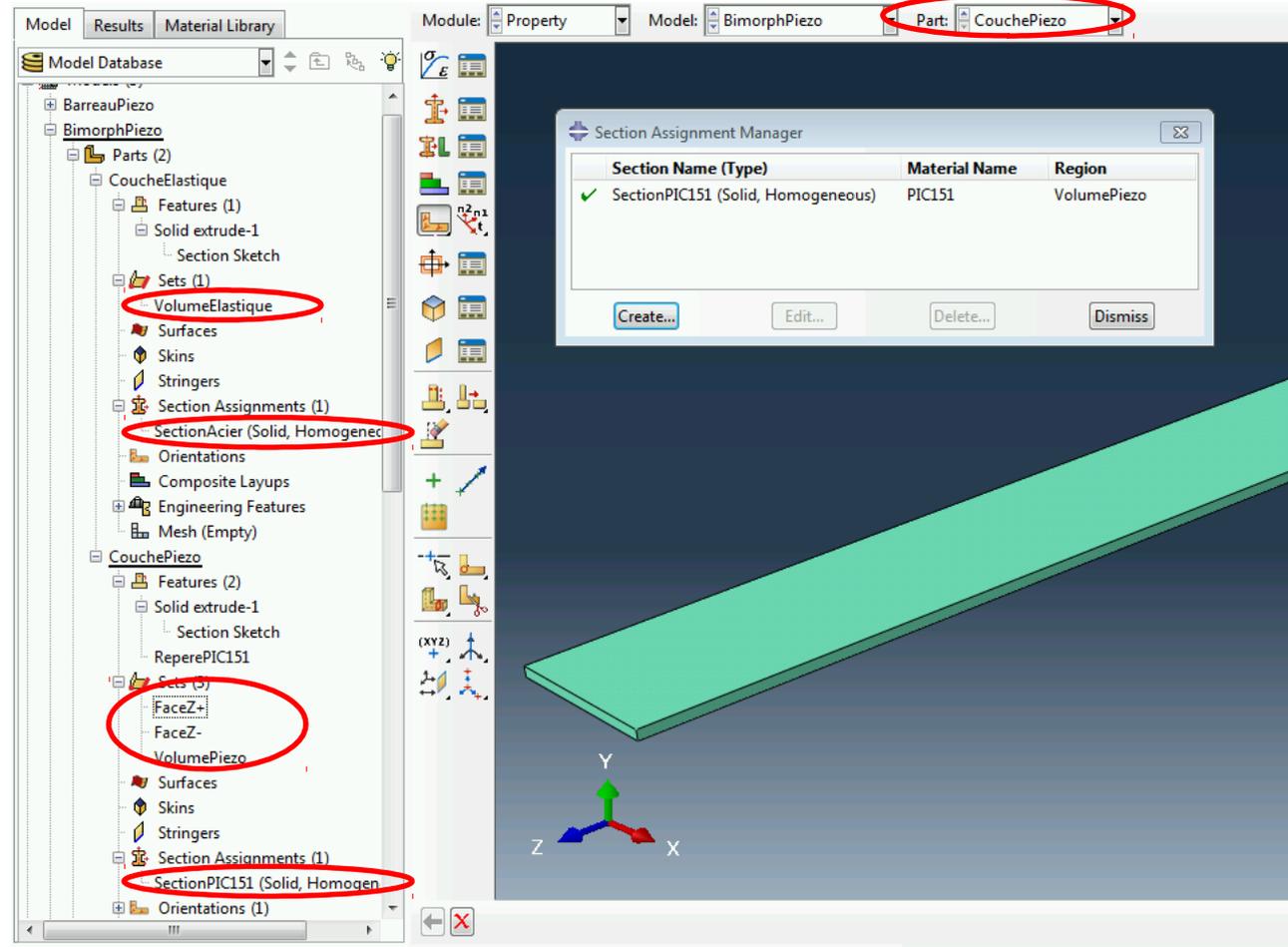
# Affectation des sections

- Sélectionner la part « CoucheElastique » dans le menu du haut
- Cliquer sur section assignment
- Créer un set « VolumeElastique » correspondant au volume de la couche
- Choisir « SectionAcier »

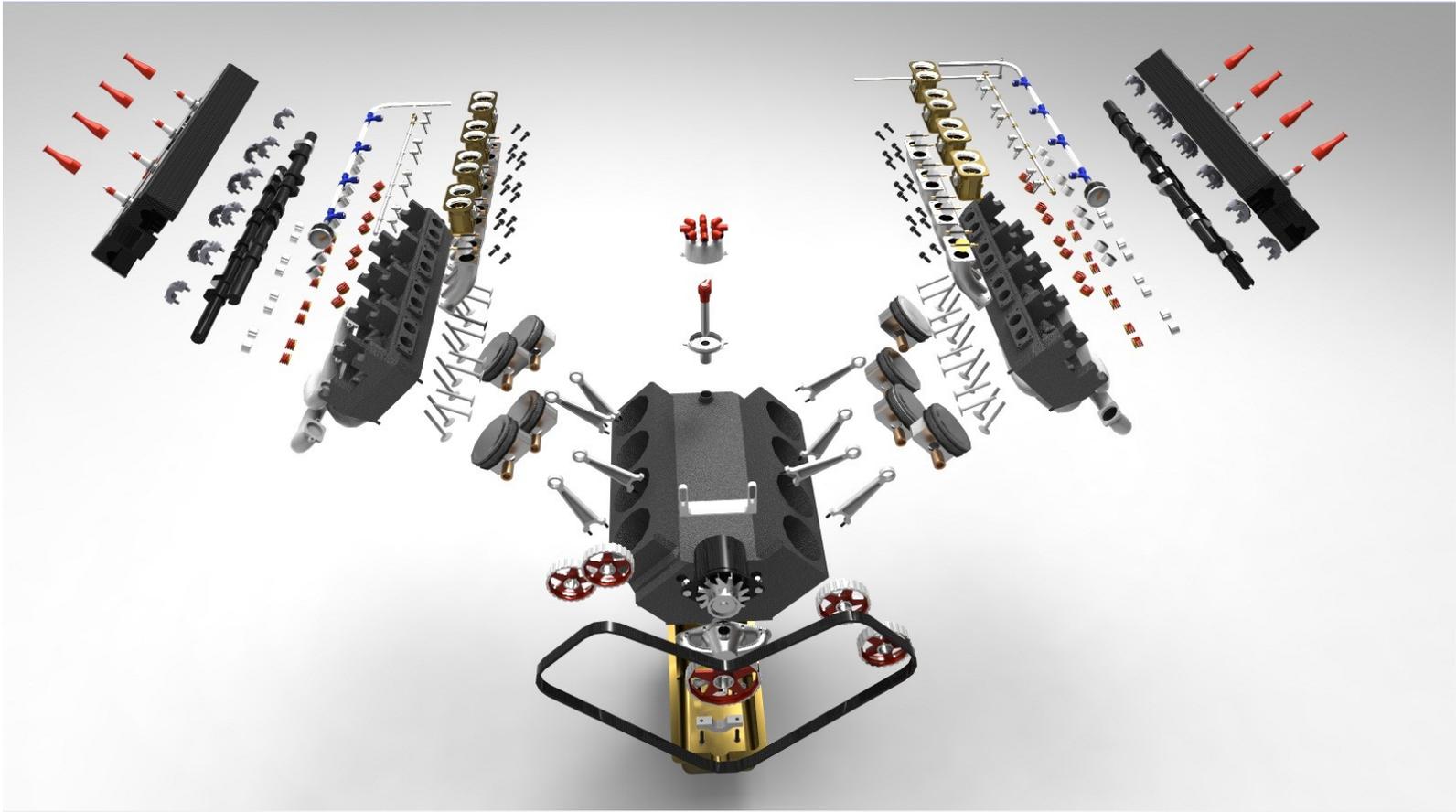


# Affectation des sections (2)

- Procéder de manière identique pour la Part « CouchePiezo ». On créera le set « VolumePiezo»
- On peut vérifier dans l'arbre que tout est ordonné et créé. Si la section est affecté, la pièce devient verte
- Créer aussi les faces supérieur et inférieur de la couche piézoélectrique (FaceZ+ et FaceZ-) qui serviront à imposer les potentiels pou le calcul.
- Il est inutile de créer le repère matériau maintenant. Ce sera fait dans l'assemblage.



# Instance et Assemblage

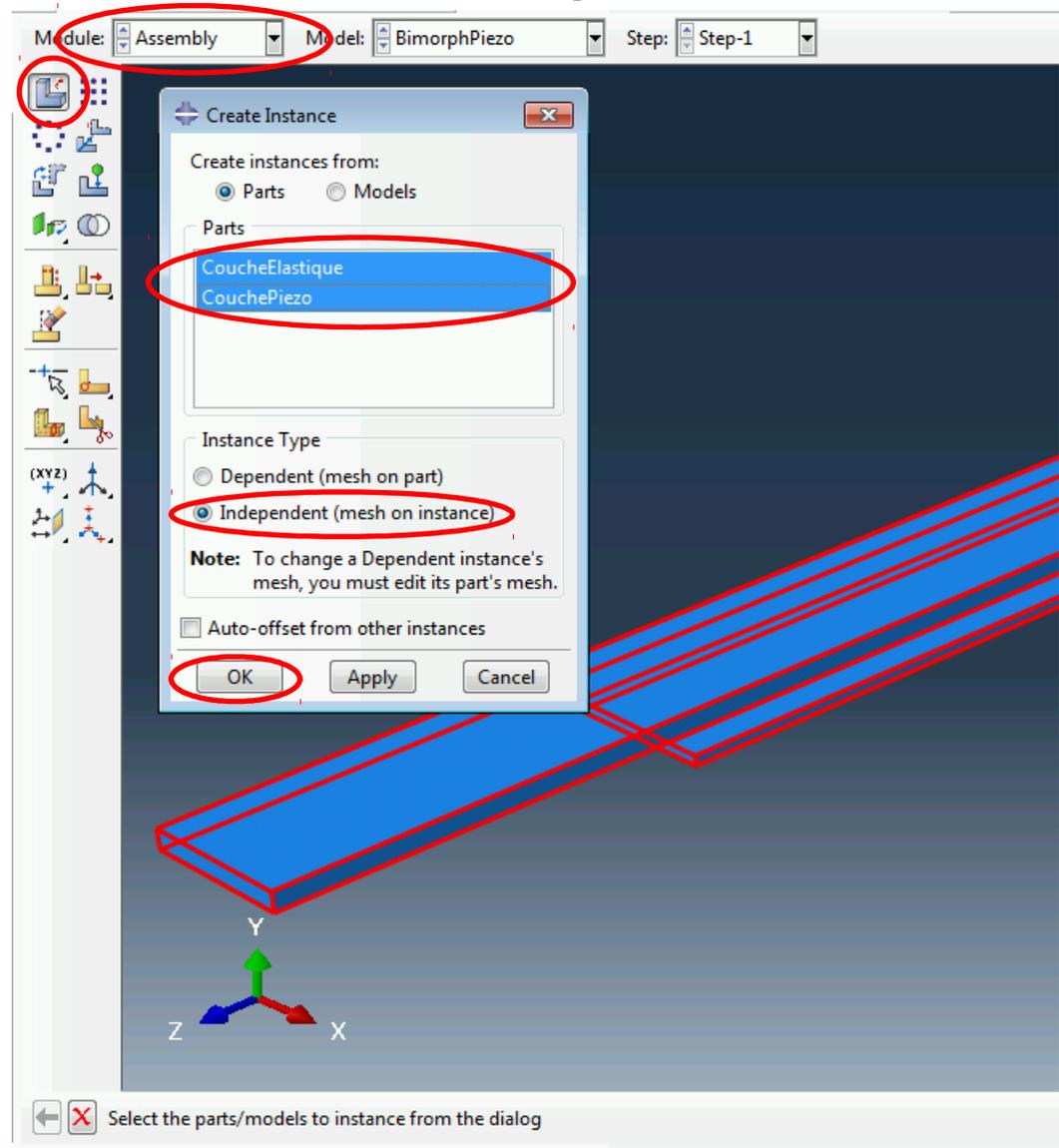


# Créer l'assemblage

- Nous allons créer l'assemblage, composé de la couche élastique et la couche piézoélectrique
- Il faut pour cela, dans le module « Assembly », importer une instance de chacune des deux Parts.
- Ensuite, il faut fusionner les géométries. Cela se fait par la commande « Instance → Merge / cut », qui crée une nouvelle Part, fusion des deux Parts, et son instance dans l'assemblage.

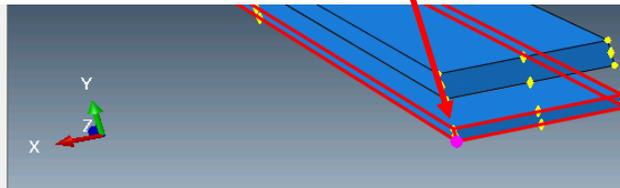
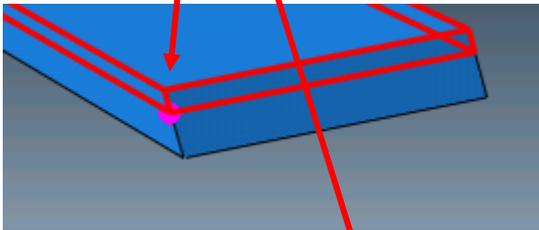
# Créer l'assemblage

- Créer une instance de chacune des Parts  
« CoucheElastique »  
et « CouchePiezo »
- Cocher si nécessaire la case  
« Independent  
(mesh on instance) »

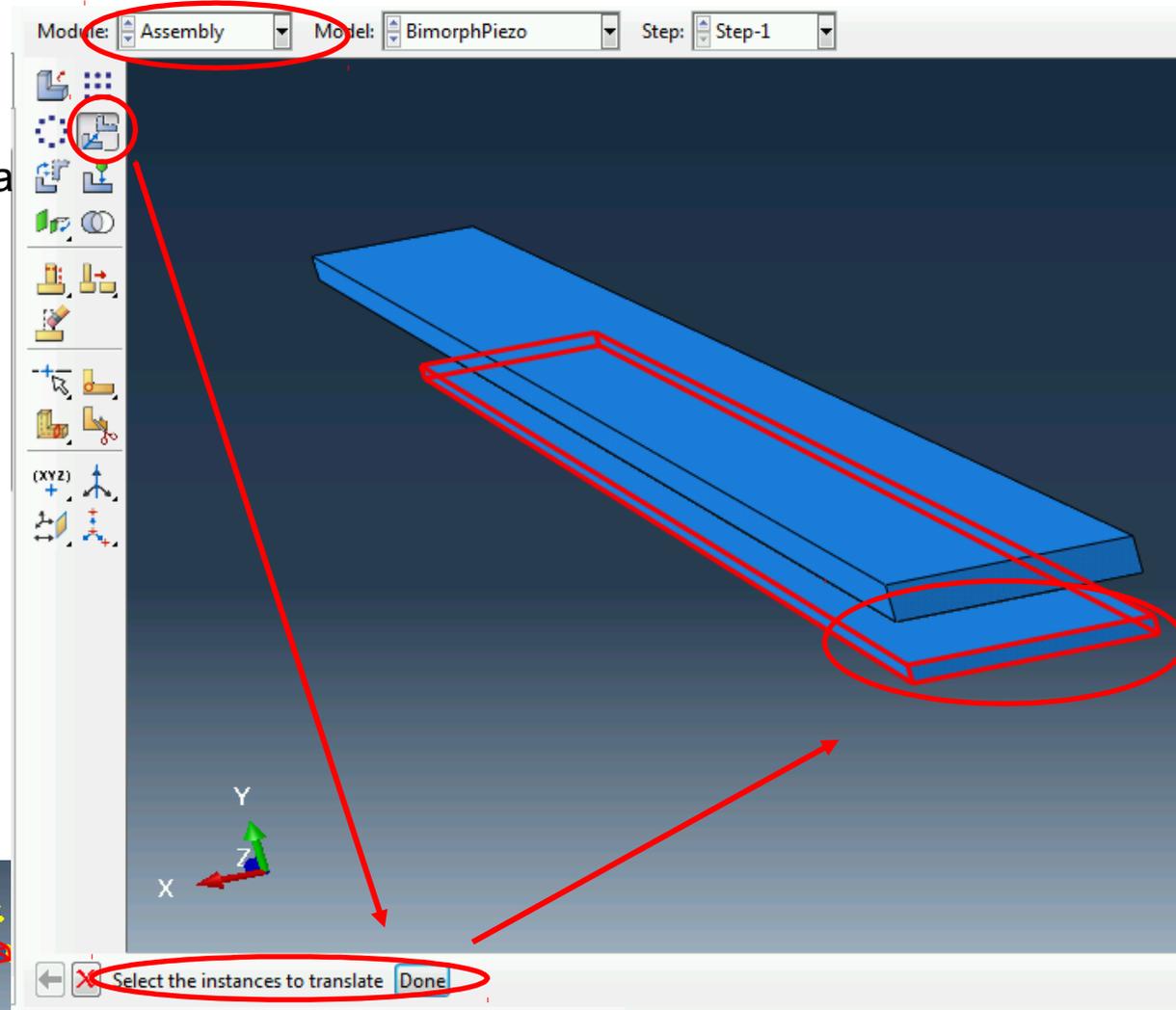


# Positionner les instances

- Translater l'instance « CouchePiezo-1 » pour la placer au bon endroit sur l'instance « CoucheElastique-1 »
- Donner :
  - - l'origine et
  - - l'extrémité du vecteur de la translation

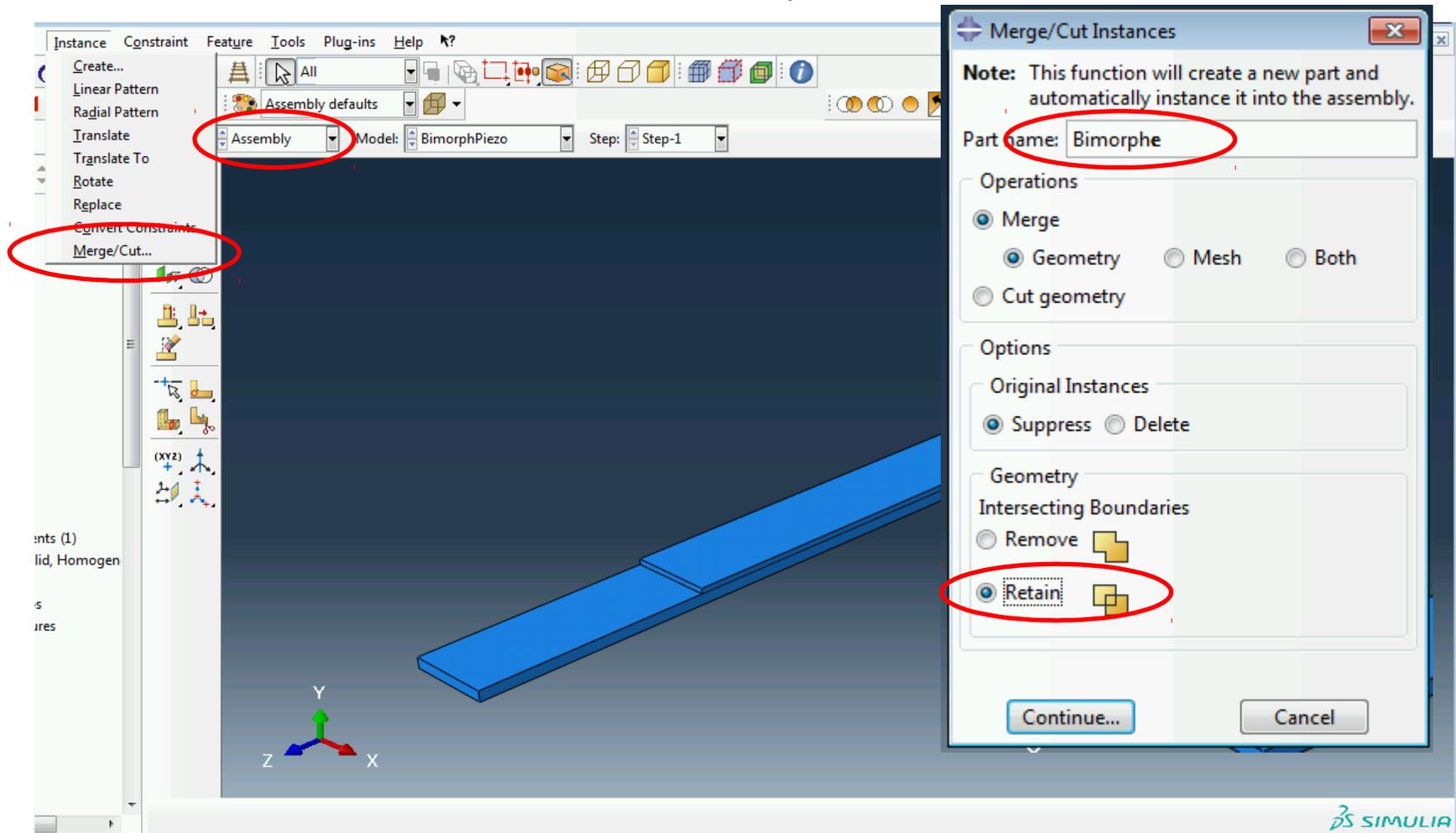


Select an end point for the translation vector--or enter X,Y,Z: 0,0,0,0,0



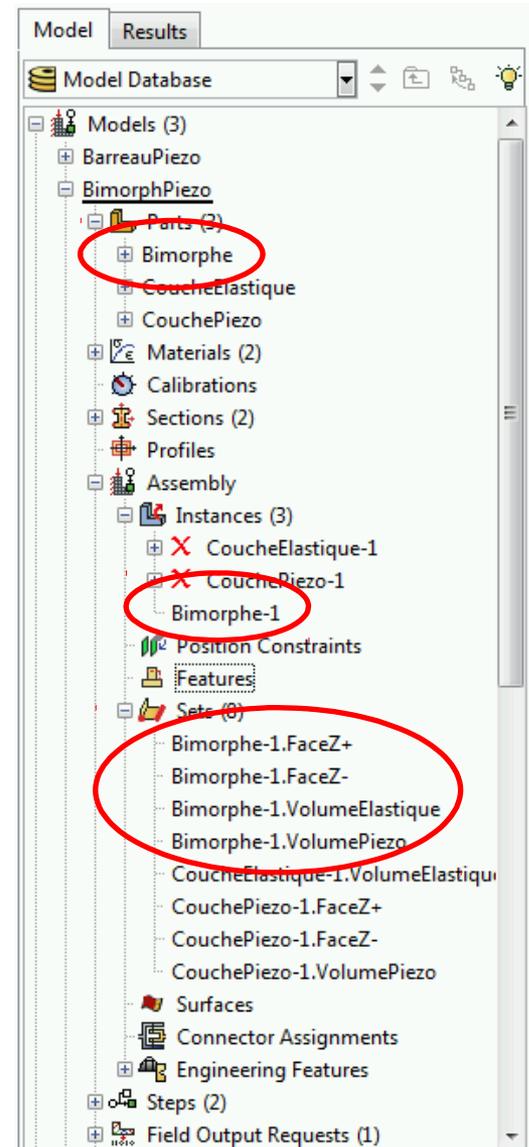
# Fusionner les instances

- Instance → Merge/cut. Sélectionner les deux instances
- Création d'une nouvelle Part à nommer « Bimorphe »



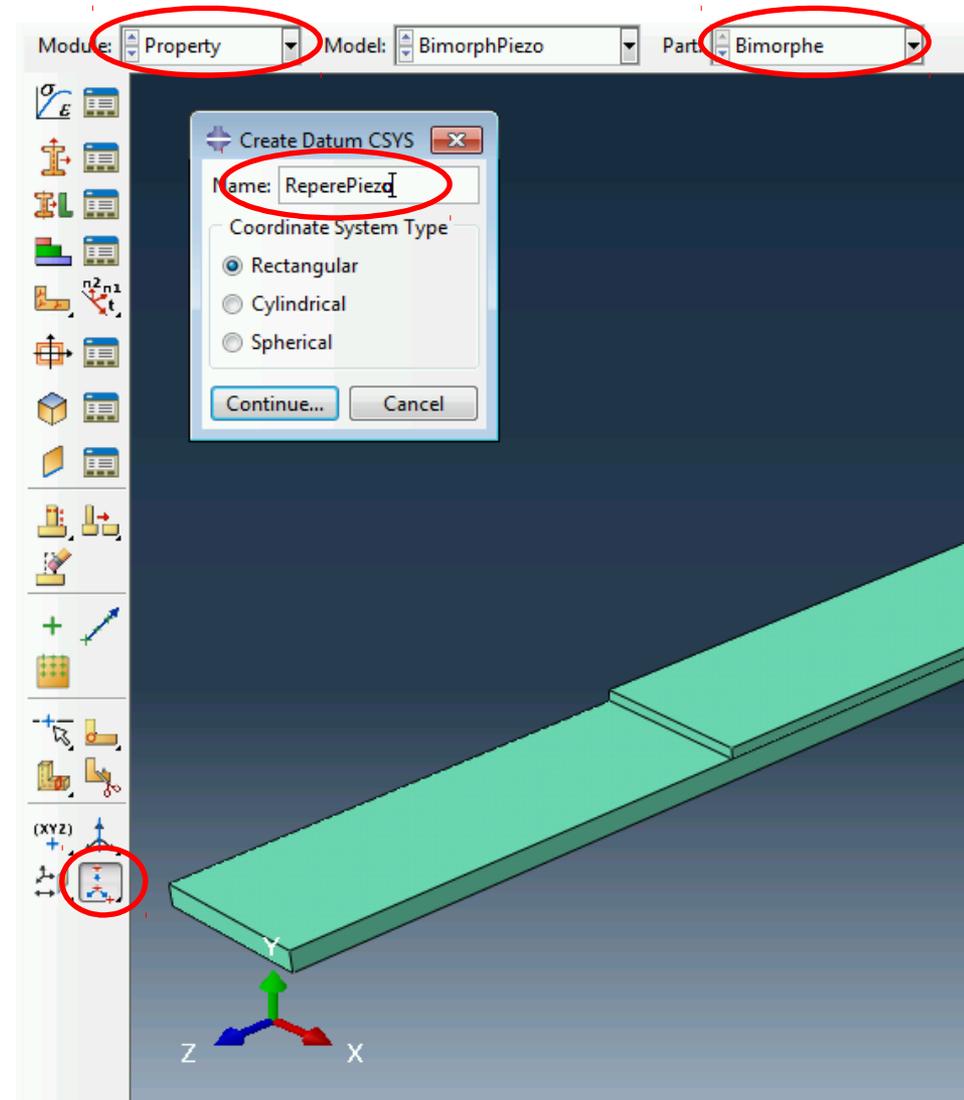
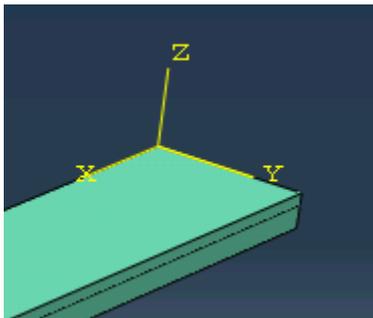
# Fusionner les instances

- Vérifier dans l'arbre la création :
- - de la nouvelle Part « Bimorphe »
- - de l'instance « Bimorphe-1 » de cette Part dans l'assemblage
- - de la suppression des instances précédentes CoucheElastique-1 et CouchePiezo-1
- - de l'héritage des sets géométriques de CouchePiezo-1 dans Bimorphe-1.



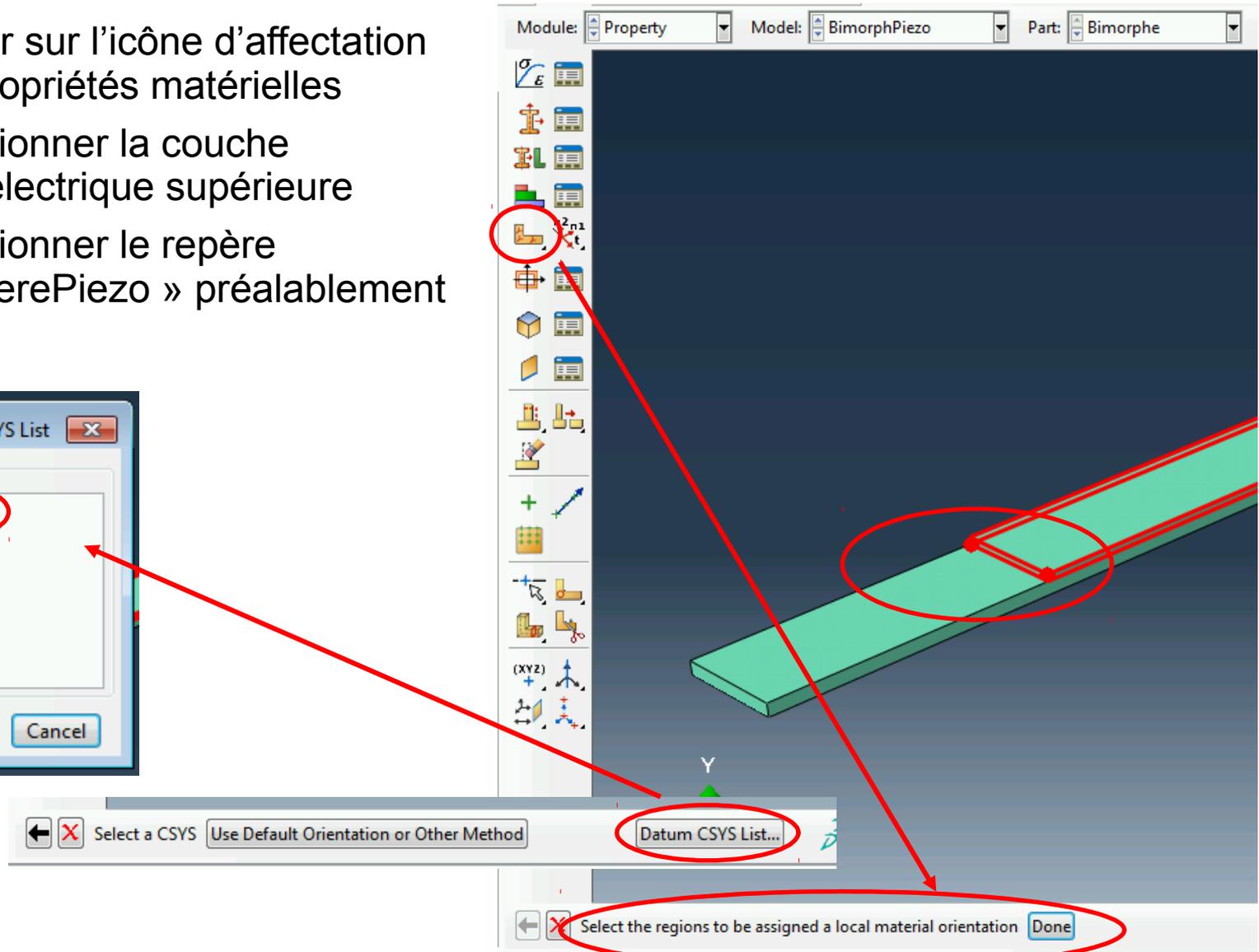
# Repère matériau

- Retourner dans le module « Property ». Choisir la Part « Bimorphe »
- Créer un repère « Datum CSYS »
- - l'axe X est celui de la poutre
- - l'axe Z est orthogonal au plan des électrodes
- **Inutile de le faire AVANT la fusion des instances pour créer la Part Bimorphe**



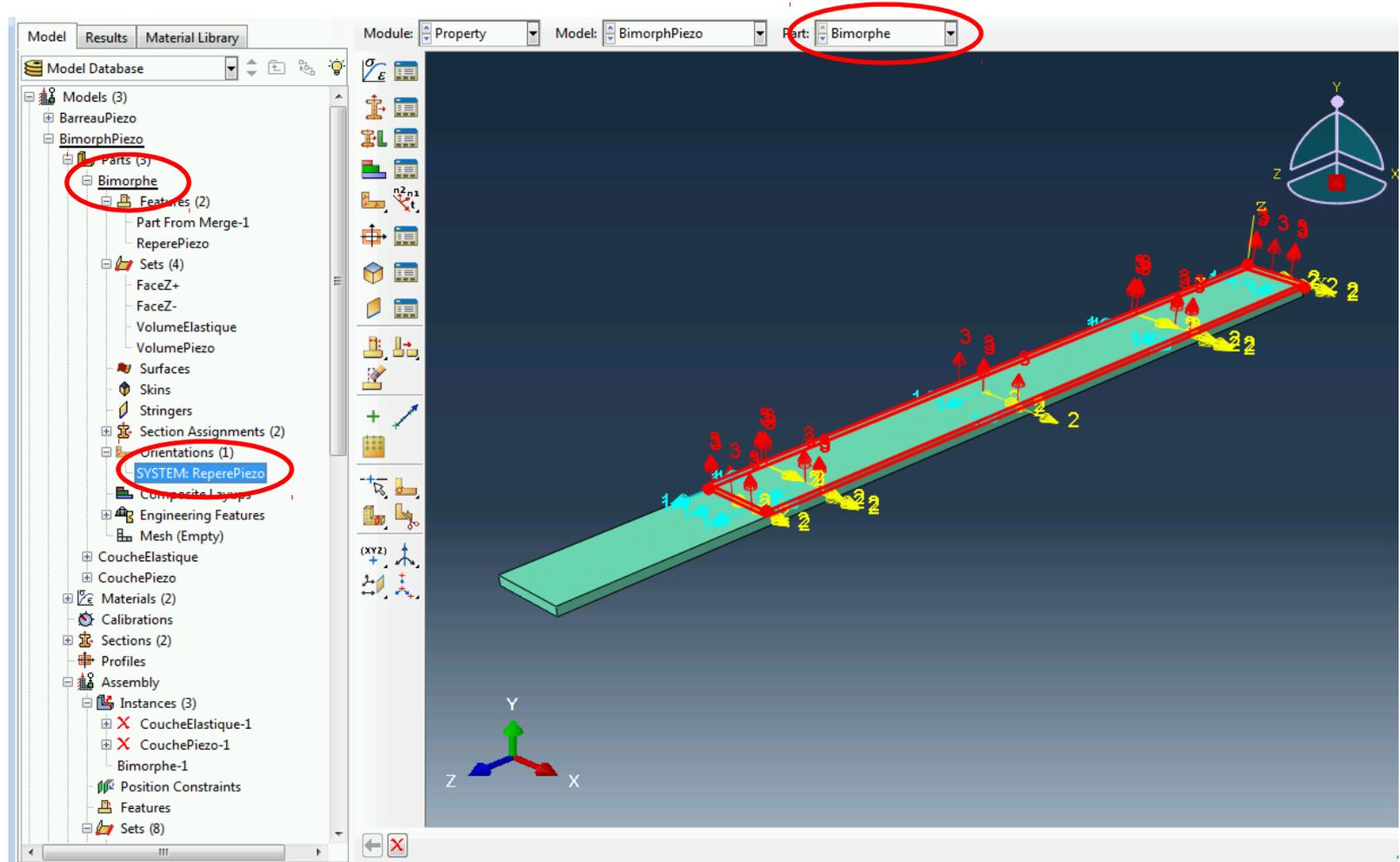
# Affecter l'orientation matérielle

- Cliquer sur l'icône d'affectation des propriétés matérielles
- Sélectionner la couche piézoélectrique supérieure
- Sélectionner le repère « ReperePiezo » préalablement défini

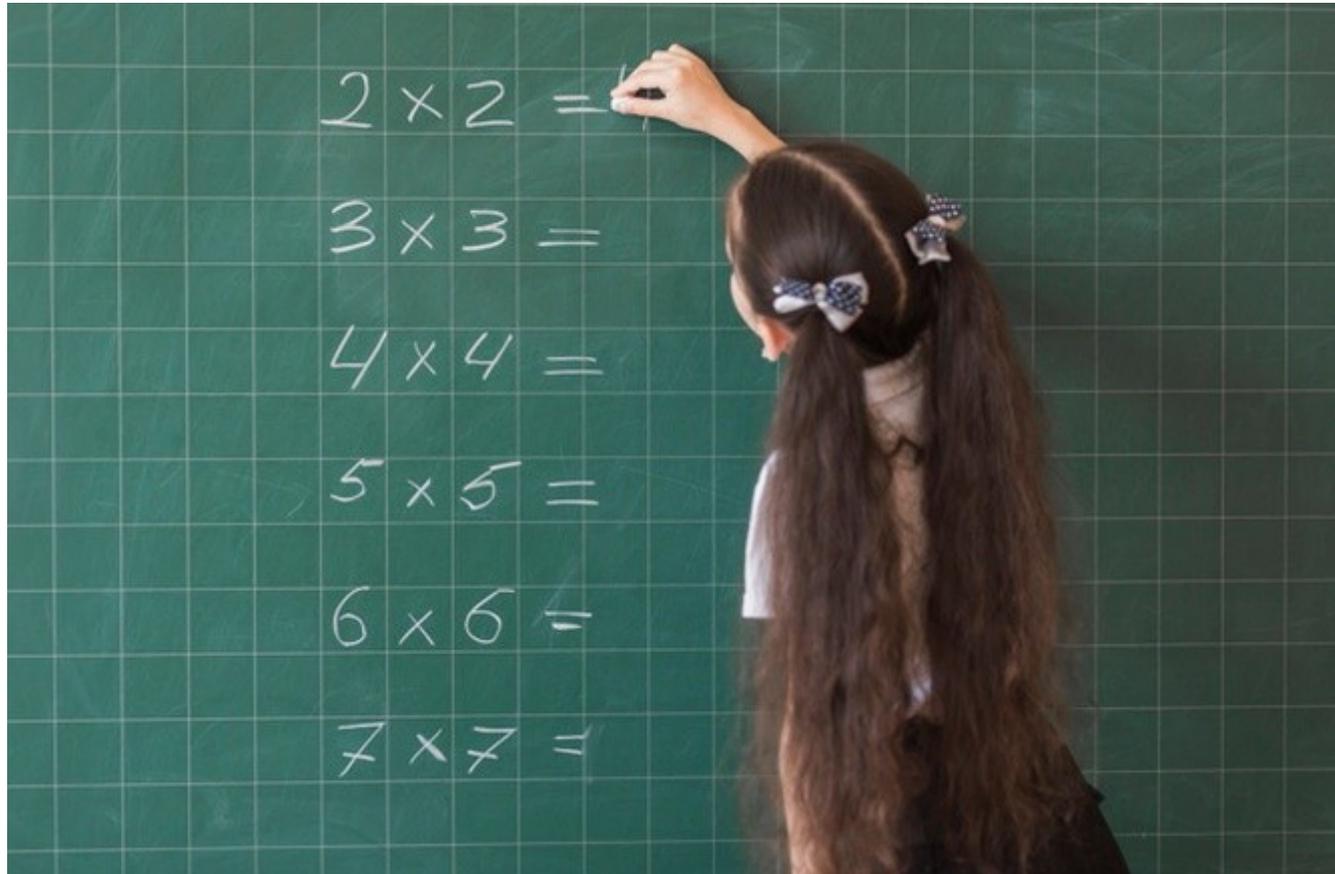


# Affecter l'orientation matérielle

- Bien vérifier dans l'arbre que dans la Part « Bimorphe » l'orientation du repère matériau est bien avec la direction 3 verticale vers le haut pour la couche piézoélectrique.

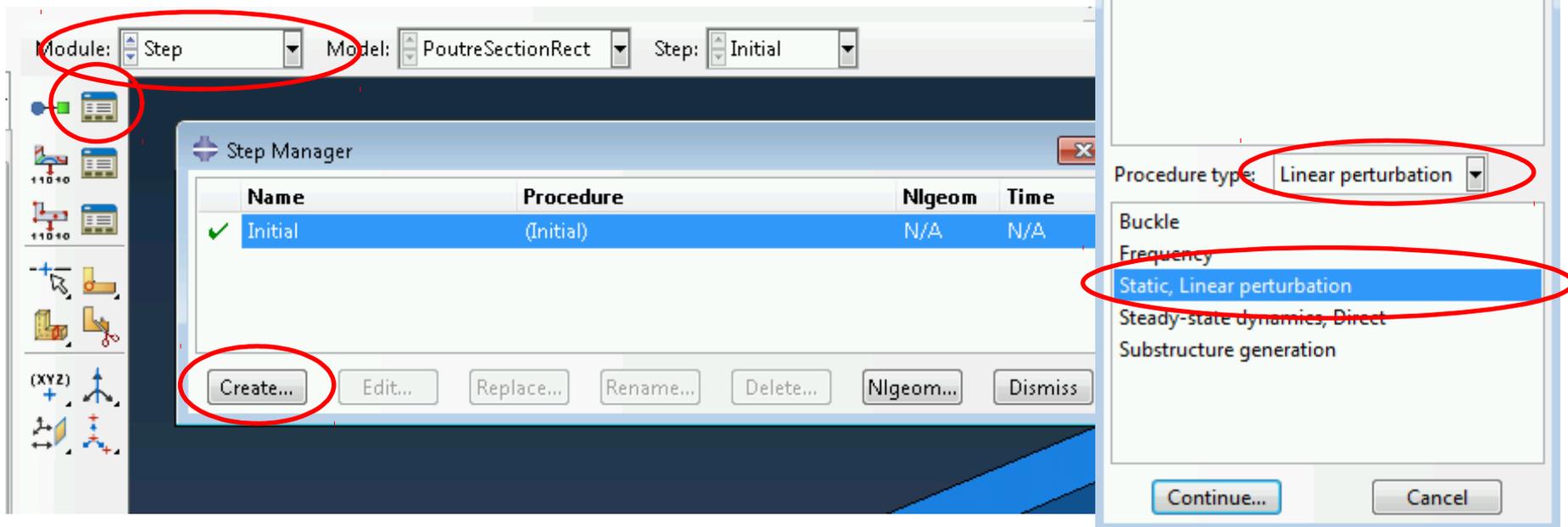


# Type et étapes de calcul



# 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



# Définir l'encastrement

The screenshot displays the software interface for defining a boundary condition. The main window is titled "Boundary Condition Manager" and shows a table with columns for "Name", "Initial", and "Step-1". The "Create..." button is highlighted with a red circle. Below the table, the "Step procedure:" section shows "Boundary condition type:" and "Boundary condition status:".

The "Edit Boundary Condition" dialog box is open, showing the following settings:

- Name: BC-1
- Type: Displacement/Rotation
- Step: Step-1 (Static, Linear perturbation)
- Region: Face0
- CSYS: (Global)
- Distribution: Uniform  $f(x)$
- U1: 0
- U2: 0
- U3: 0
- UR1: radians
- UR2: radians
- UR3: radians

The "Note" at the bottom of the dialog states: "The displacement value will be maintained in subsequent steps." The "OK" and "Cancel" buttons are visible at the bottom of the dialog.

The background shows a 3D model of a blue beam with a red rectangular region highlighted, indicating the selected face for the boundary condition. The coordinate system (X, Y, Z) is visible in the bottom left corner.

# Définir les potentiels

- Utiliser les sets FaceZ+ et FaceZ- préalablement définis

The screenshot displays the software interface for defining boundary conditions. The main window shows the **Boundary Condition Manager** with the following table:

Name	Initial	Step-1
Encastrement		Created
PotZ+		Created
PotZ-		Created

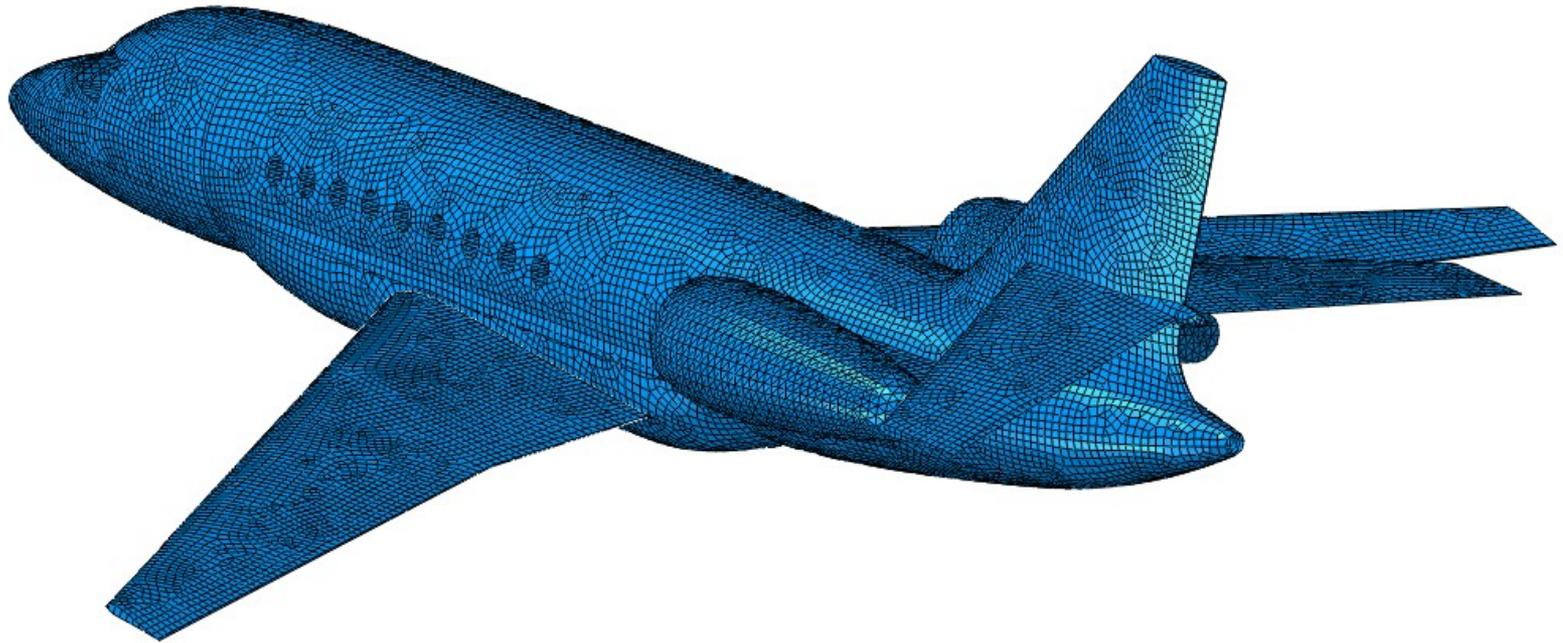
Below the table, the **Step procedure** is *Static, Linear perturbation*, the **Boundary condition type** is *Electric potential*, and the **Boundary condition status** is *Created in this step*. The **Create...** button is highlighted.

Two **Edit Boundary Condition** dialog boxes are shown:

- PotZ+ dialog:** Name: PotZ+, Type: Electric potential, Step: Step-1 (Static, Linear perturbation), Region: Bimorphe-1.FaceZ+, Distribution: Uniform, Magnitude: 10.
- PotZ- dialog:** Name: PotZ-, Type: Electric potential, Step: Step-1 (Static, Linear perturbation), Region: Bimorphe-1.FaceZ-, Distribution: Uniform, Magnitude: 0.

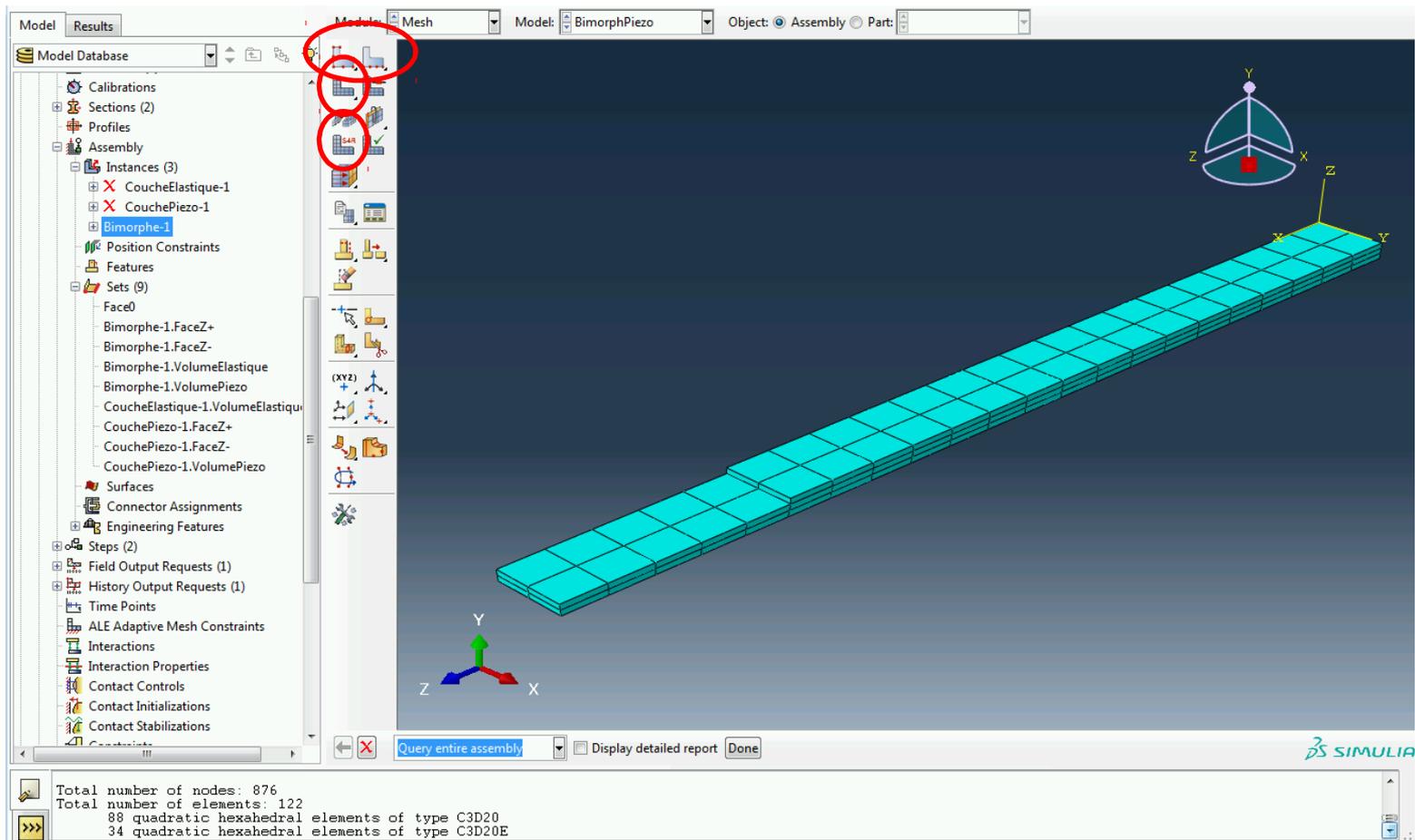
The background shows a 3D model of a blue plate with a coordinate system (X, Y, Z) and a red square on the top surface. A small 2D diagram of the plate's cross-section is also visible in the top right corner.

# Maillage



# Définir le maillage

- Faire le maillage. Affecter des éléments « 3D stress » (C3D20) à la partie élastique et des éléments « Piezoelectric» (C3D20E) à la partie piezo quadratiques.
- Vérifier le nombre de nœuds : tools → query → mesh

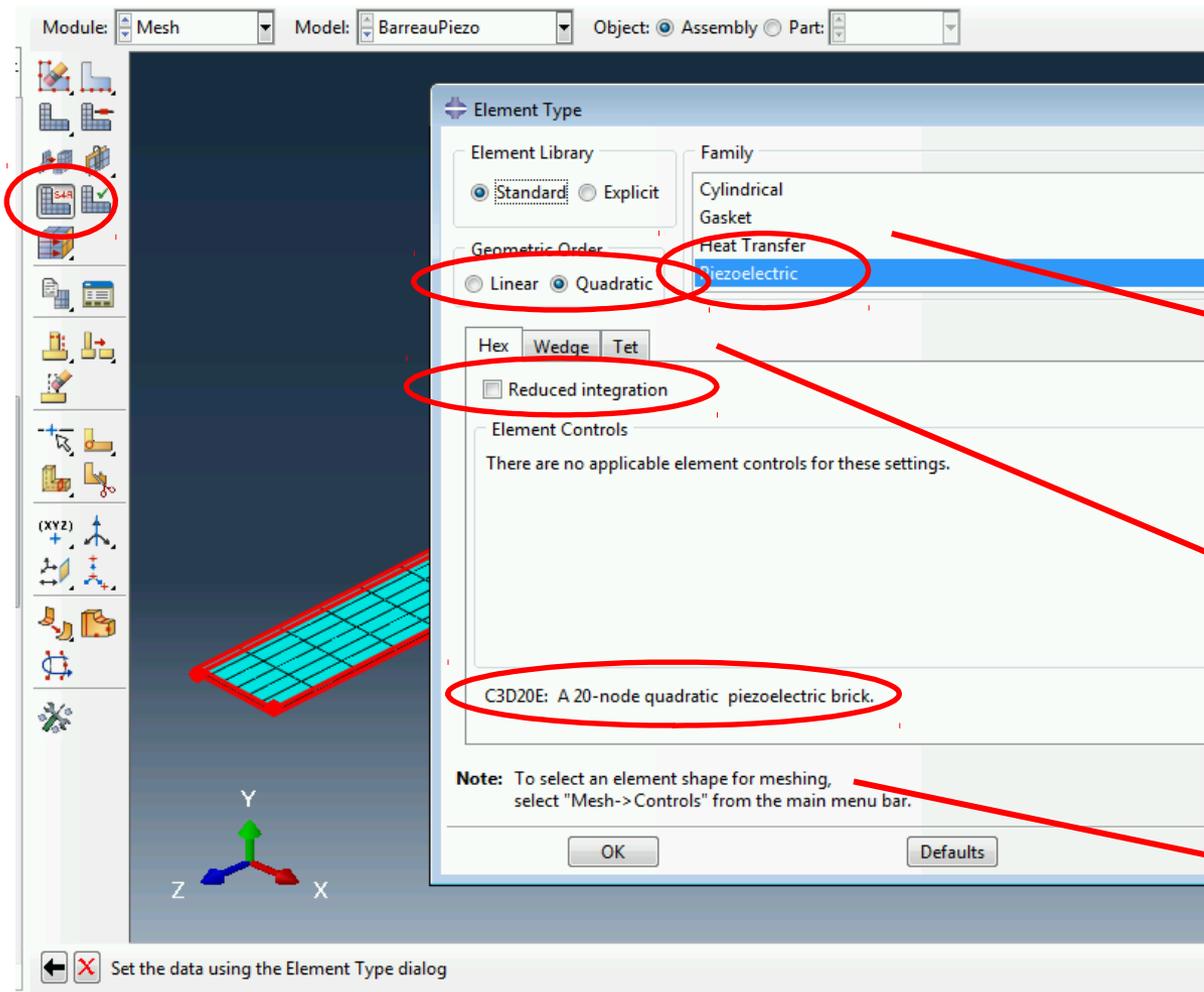


The screenshot displays the Abaqus software interface for a finite element analysis. The main window shows a 3D model of a bimorph piezo actuator, which is a long, thin, rectangular structure composed of multiple layers. The model is rendered in a light blue color and is positioned on a dark blue background. A 3D coordinate system (X, Y, Z) is visible in the top right corner of the main window. The left-hand side of the interface shows the Model Database, which lists various components of the model, including Calibrations, Sections (2), Profiles, Assembly, Instances (3), Position Constraints, Features, Sets (9), Surfaces, Connector Assignments, Engineering Features, Steps (2), Field Output Requests (1), History Output Requests (1), Time Points, ALE Adaptive Mesh Constraints, Interactions, Interaction Properties, Contact Controls, Contact Initializations, and Contact Stabilizations. The Mesh toolbar is visible in the top right corner of the main window, and the 'Query Mesh' icon is highlighted with a red circle. The status bar at the bottom of the interface displays the following information:

```
Total number of nodes: 876
Total number of elements: 122
88 quadratic hexahedral elements of type C3D20
34 quadratic hexahedral elements of type C3D20E
```

# Définir le maillage

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

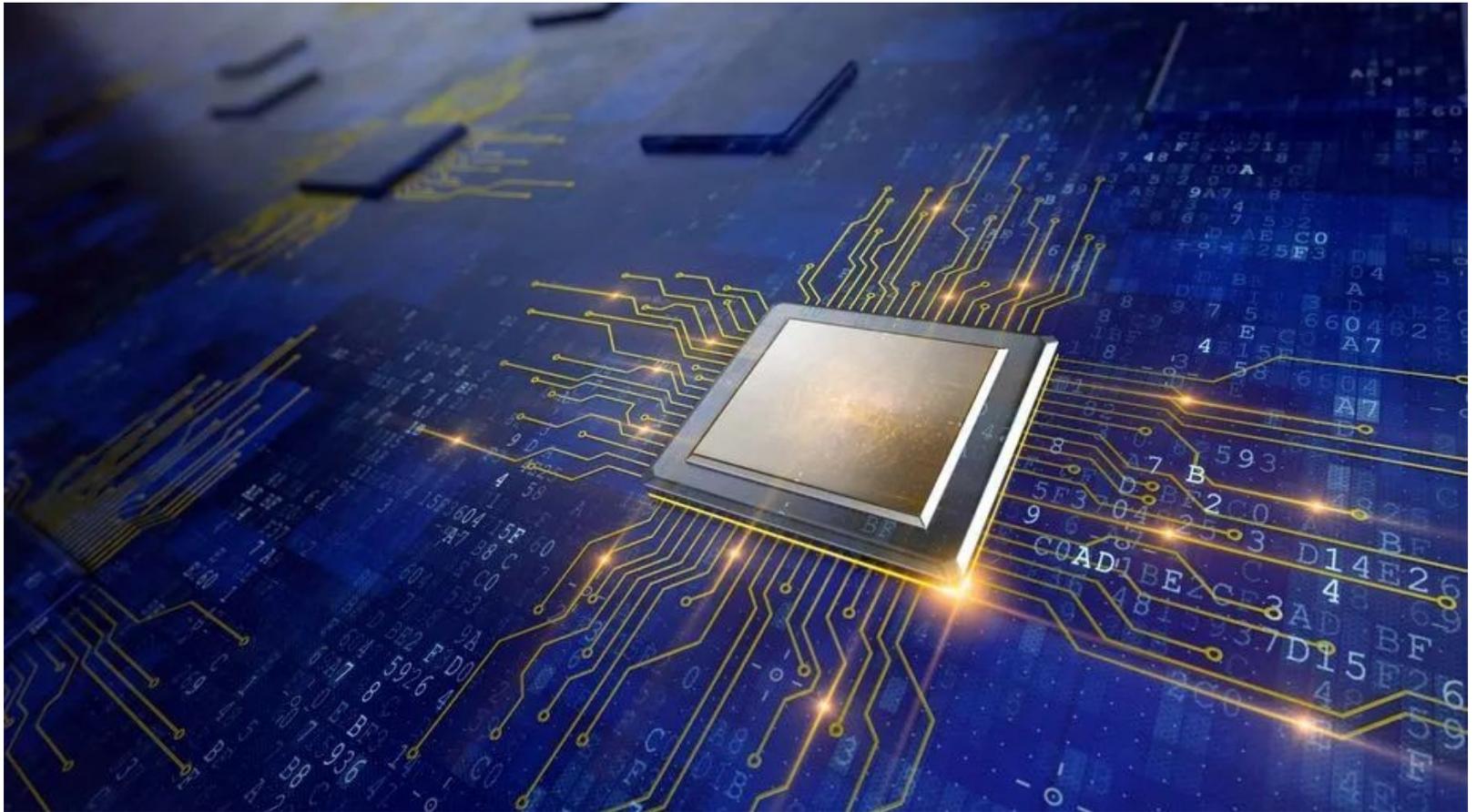


Physique des éléments finis  
(Piezoelectric)

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

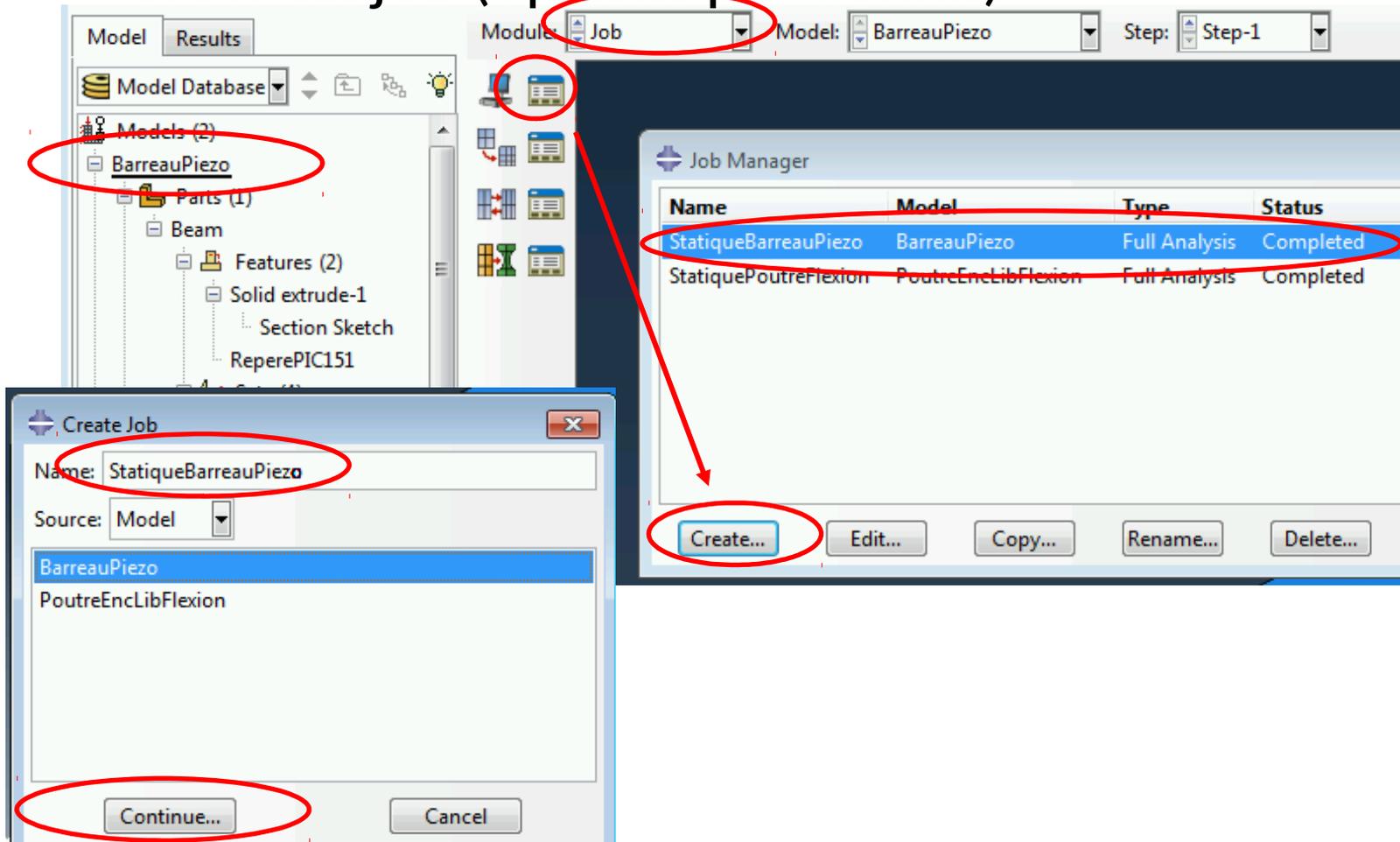
Nom de l'élément  
(voir les prop. dans l'aide)

# Définir et lancer un calcul



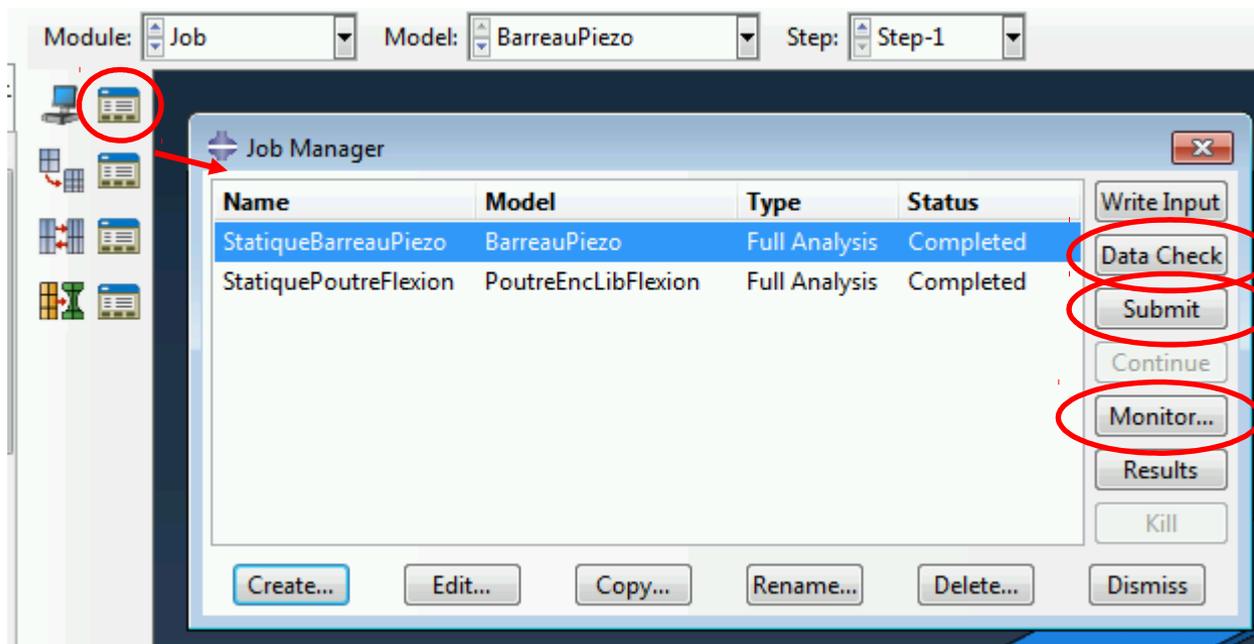
# Définir le calcul

- 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

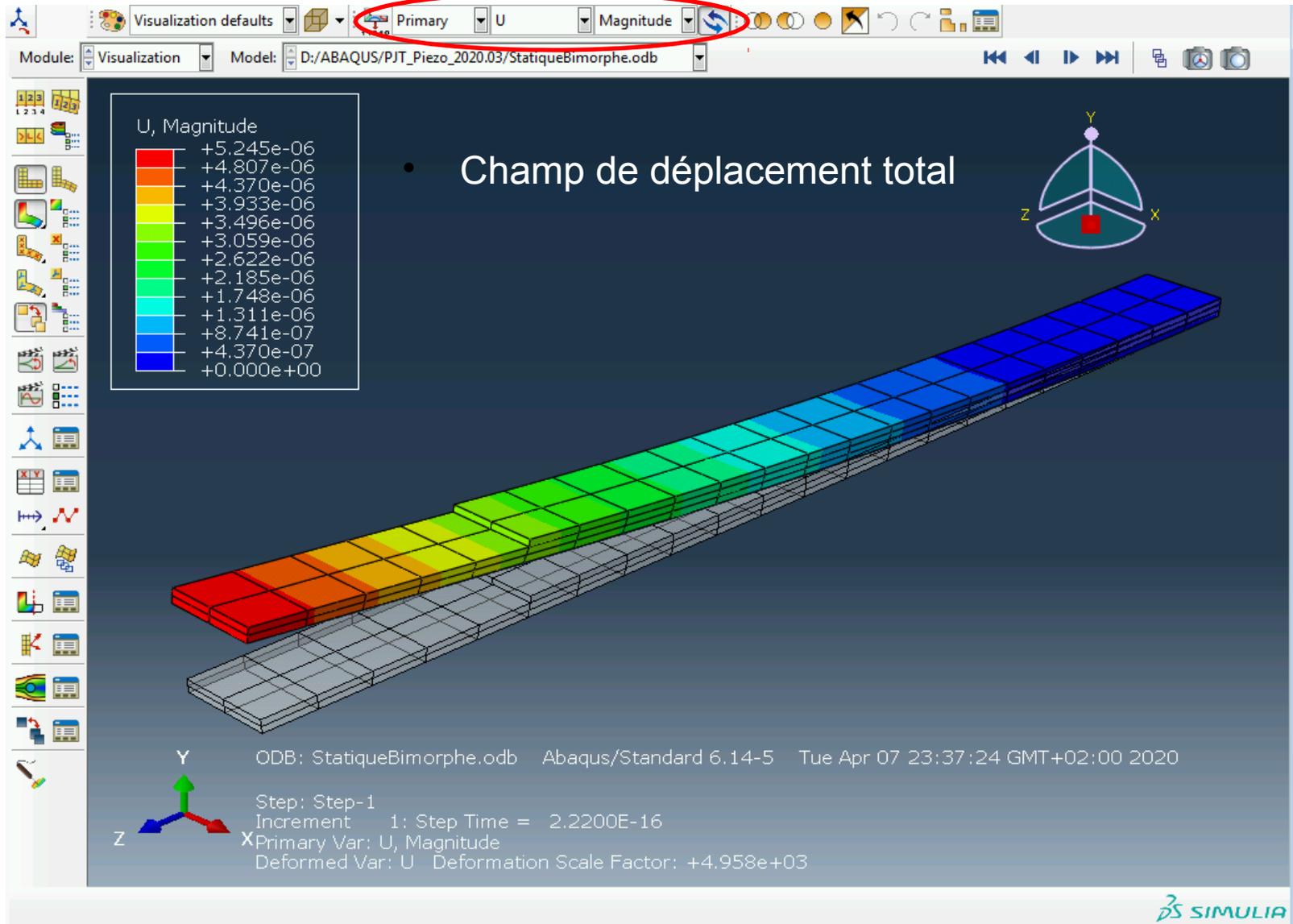


Vérifie si le jeu de données est OK

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



# Résultat du calcul

