

Tutoriel Abaqus:

Calcul de modes propres de vibration

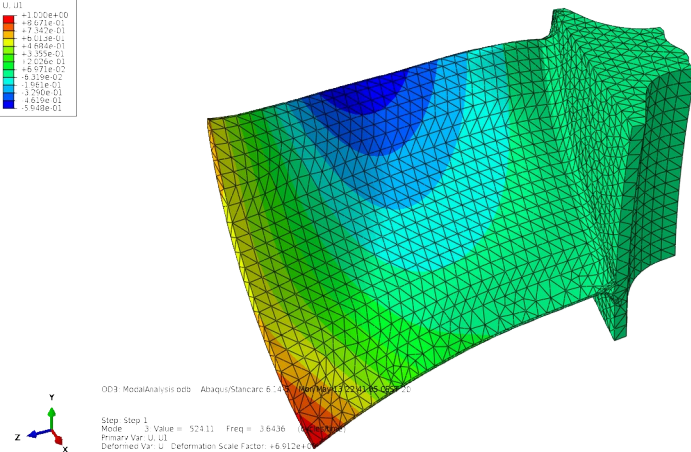
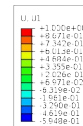
Éléments finis volumiques

olivier.thomas@ensam.eu

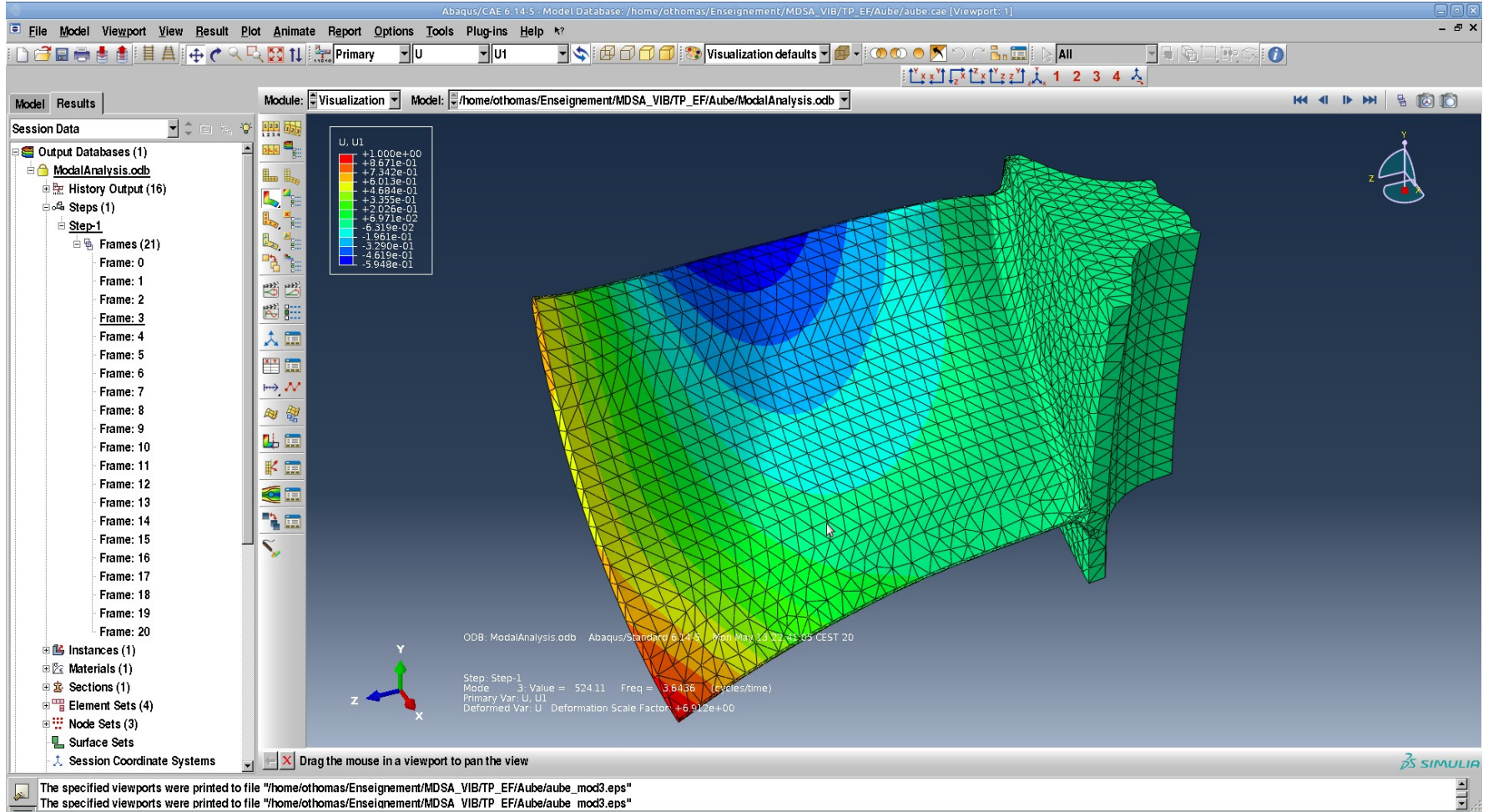
aurelien.grolet@ensam.eu

 SIMULIA
ABAQUS

 ARTS
ET MÉTIERS
ParisTech
Lille



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 : **calcul de modes propres vibratoires.**

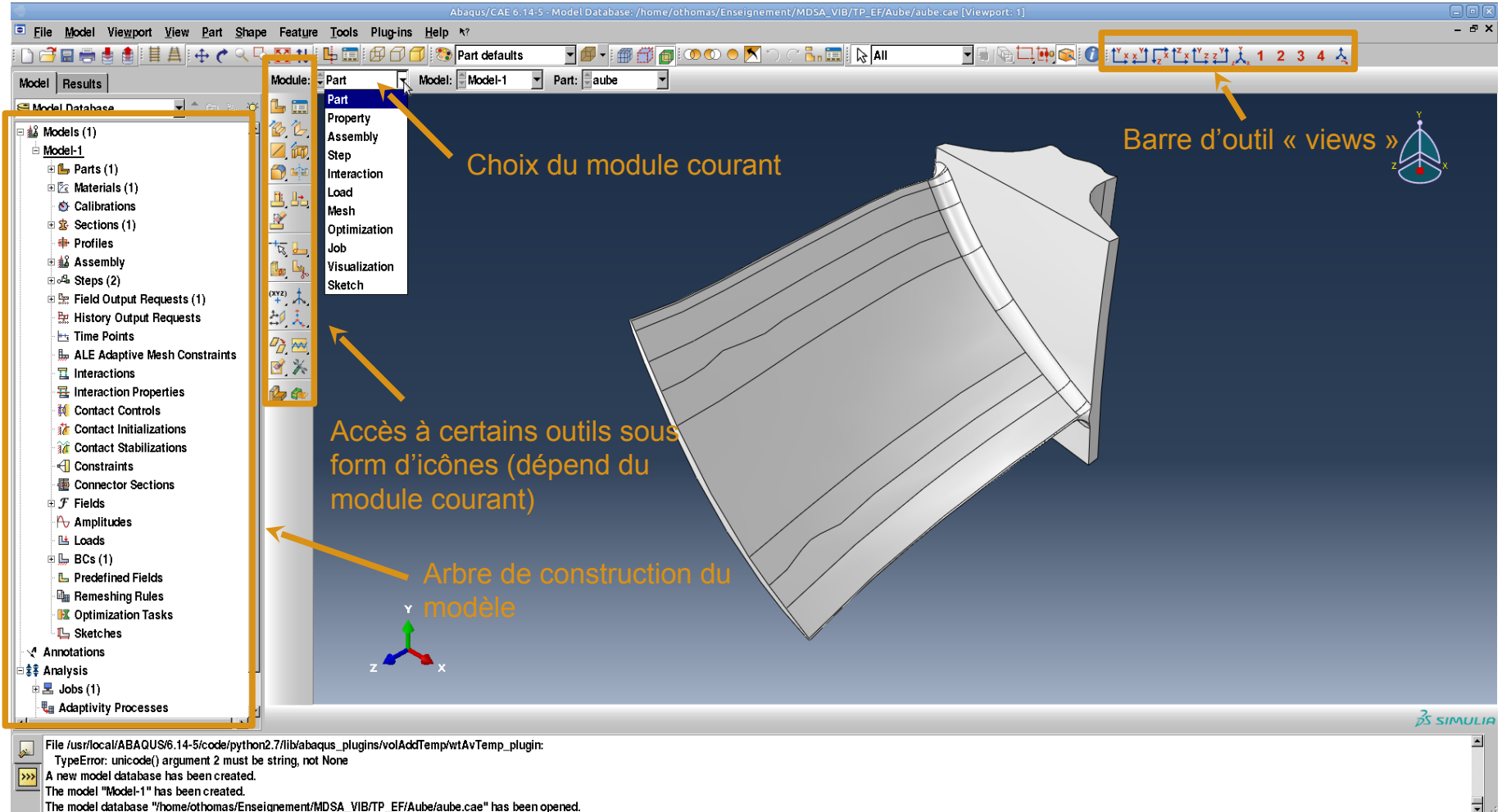
Unités

- 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

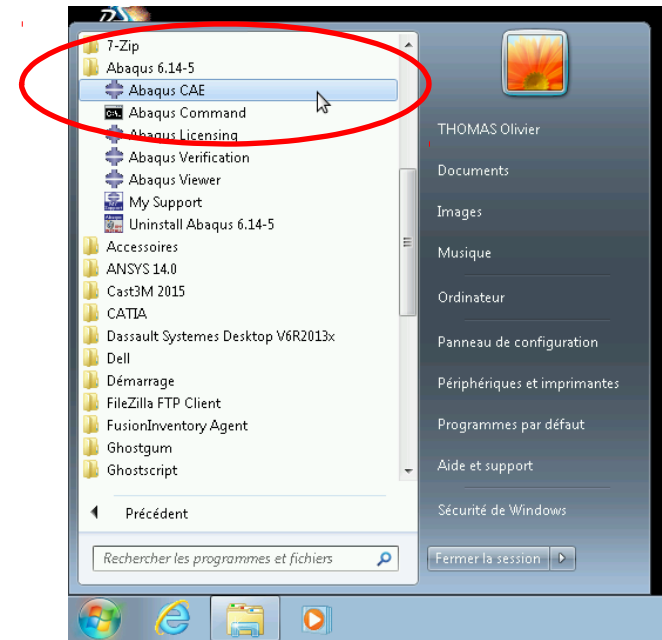
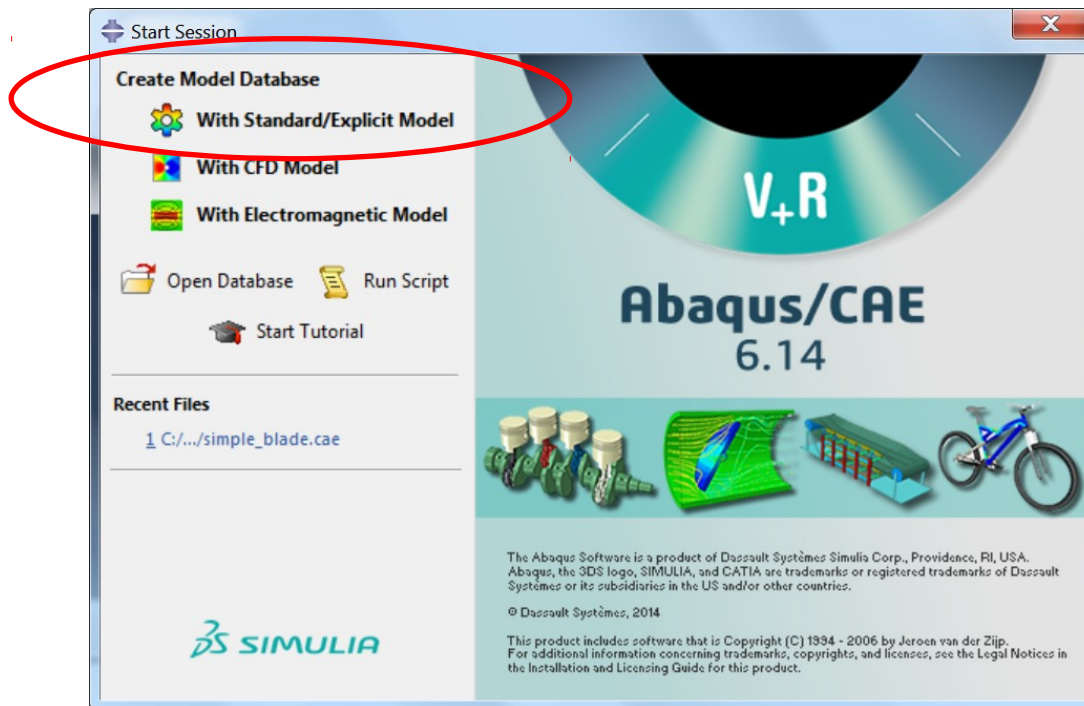
- Il faut penser au conditionnement numérique : il faut que les valeurs numériques des variables (déplacement, pressions, forces...) soient de l'ordre de l'unité ou de ses puissances voisines ($10^{-3} \rightarrow 10^3$)
- Le système 1 est souvent le plus approprié pour la mécanique général où les dimensions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

L'interface graphique



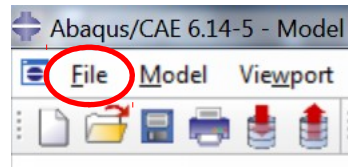
Nouvelle étude Abaqus

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

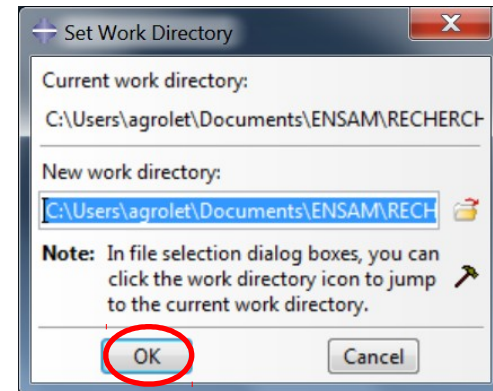


Définition du dossier de travail

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



« File/Set Work Directory »

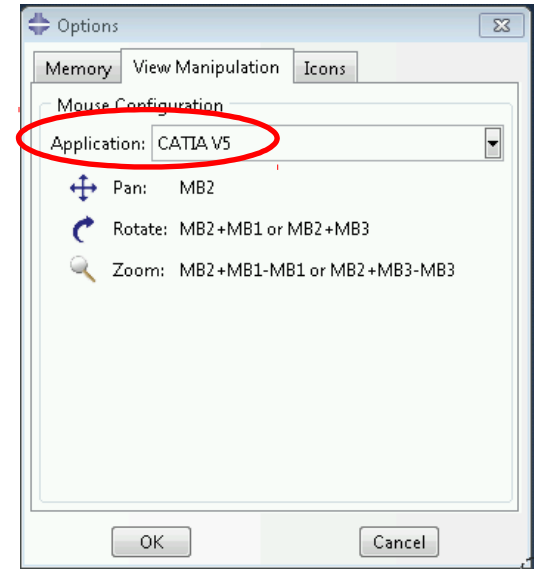


- **Important** car beaucoup de fichiers sont créés :
 - .cae : fichier binaire qui contient le modèle
 - .odb : fichier binaire de résultat
 - .dat : fichier texte contenant les caractéristiques et résultats de calcul
 - .inp : fichier texte contenant le modèle (noeuds, maillage...)

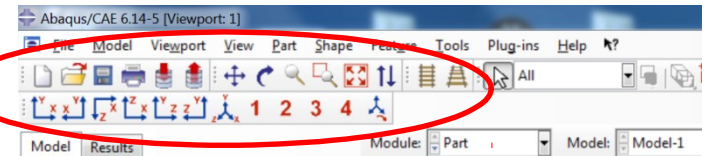
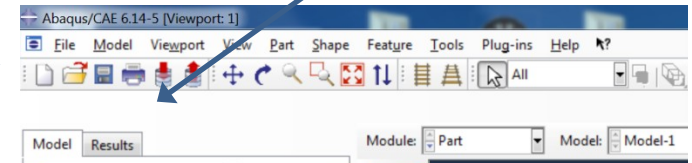
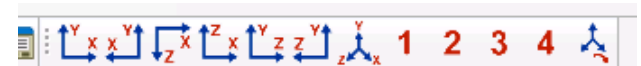
Quelques préférences

- manipulation à la souris :

« Tools/Options »

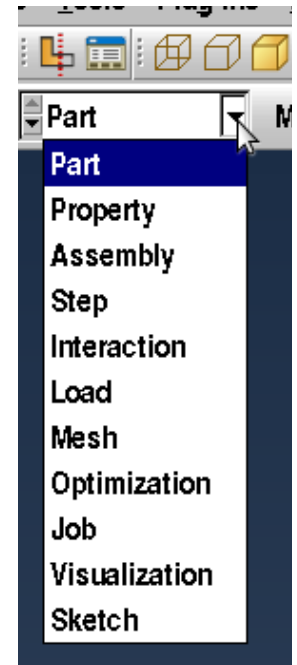


- Taille des caractères :
 - Viewport → Viewport Annotation Options...
 - File → Save Display Options...
- Barre de vues
 - View → Toolbars → views



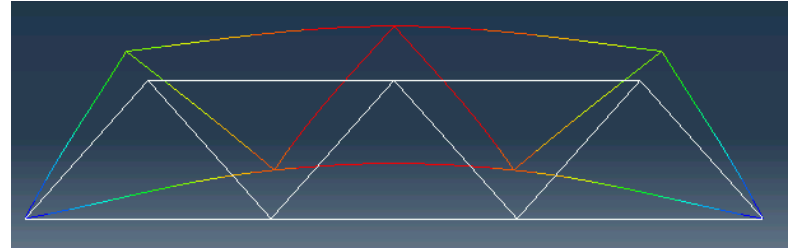
Étapes de construction d'un calcul

- 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**)

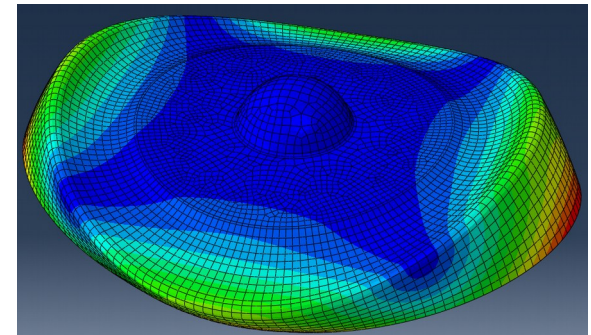


Type de modèles géométriques

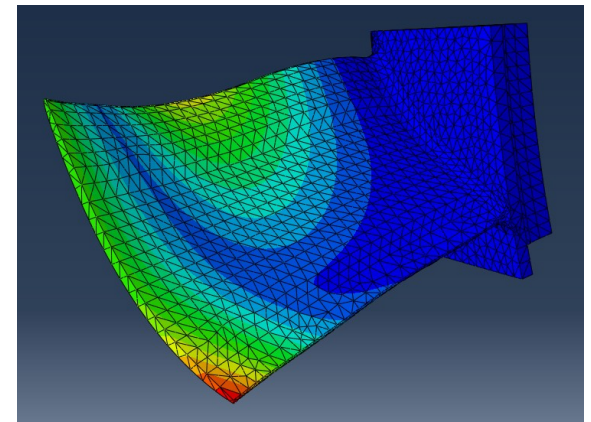
- Modèles filaires (1D)



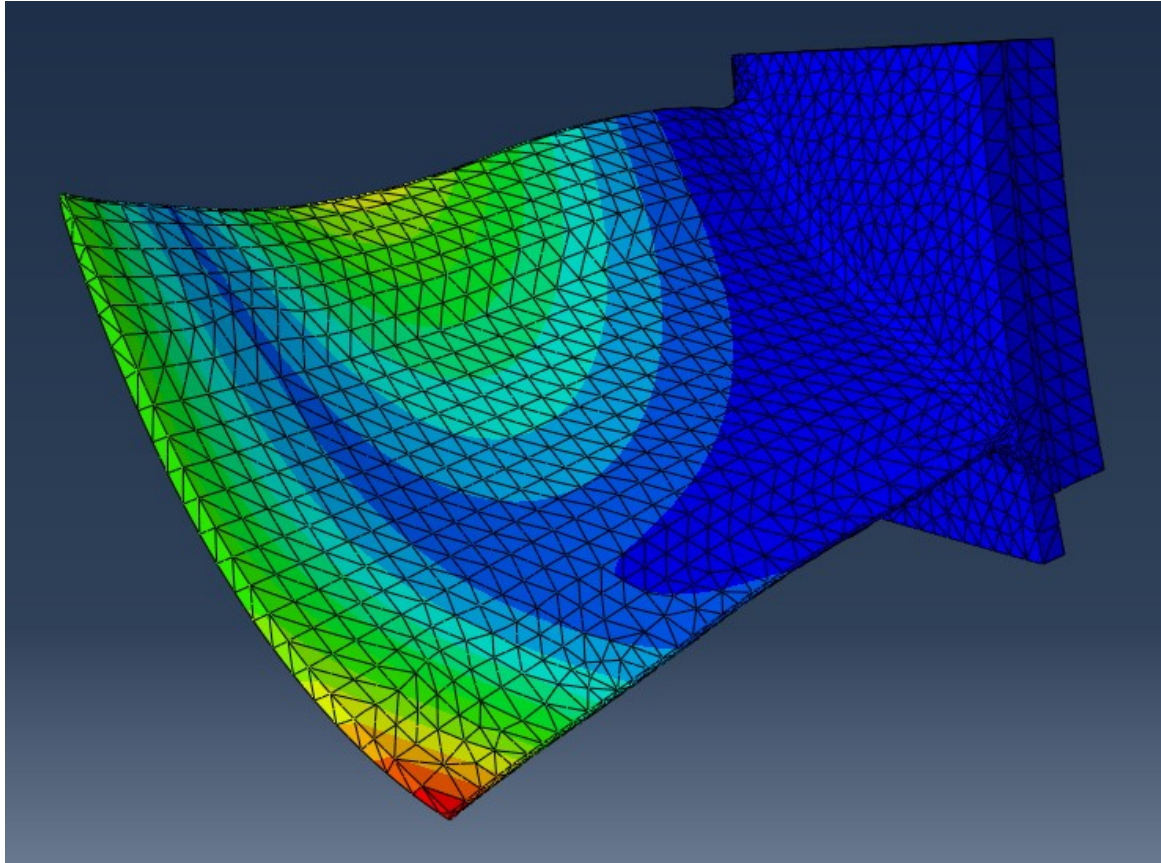
- Modèles surfaciques (2D)
 - modèles de coques
 - modèles en contraintes planes



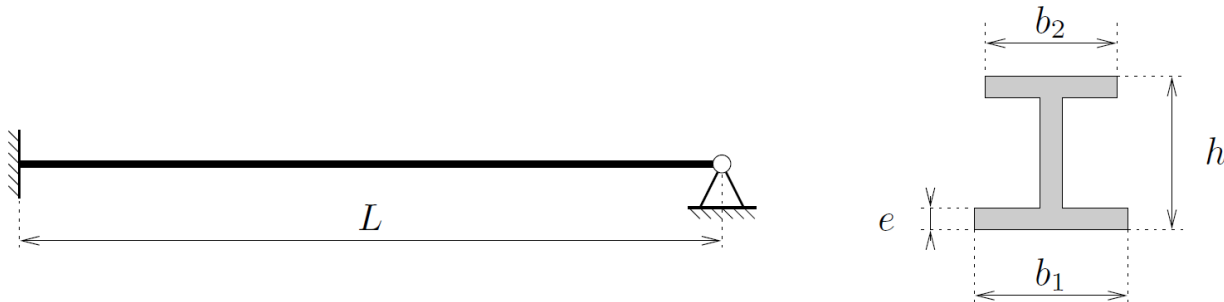
- Modèles volumiques (3D)
- → le présent document



Modèle volumique (3D)



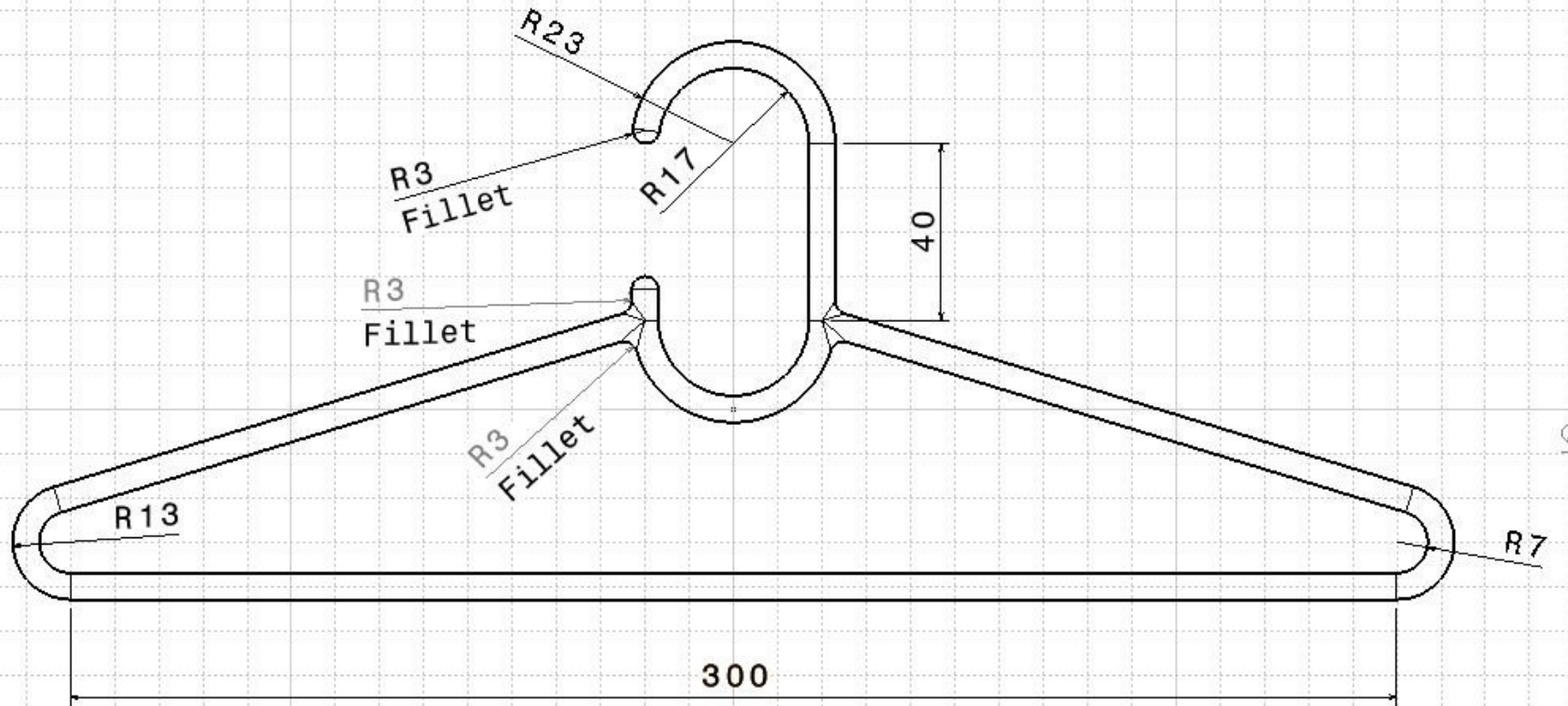
Problème à l'étude



Dimensions	Longueur	$L = 600 \text{ mm}$
	Largeurs de section	$b_1 = b_2 = 20 \text{ mm}$
	Hauteur de section	$h = 30 \text{ mm}$
	Épaisseur du profil	$e = 2 \text{ mm}$
Matériau	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$E = 210 \text{ GPa}$
	Coefficient de Poisson	$\nu = 0.3$

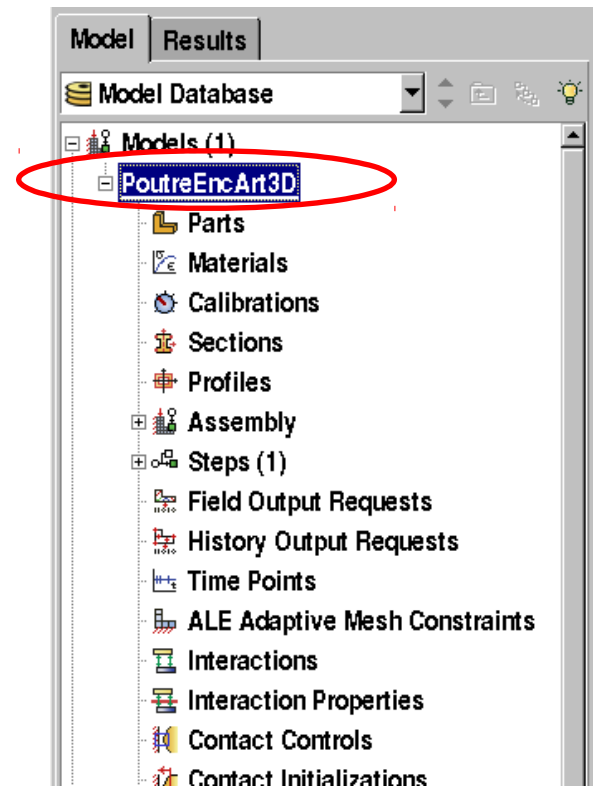
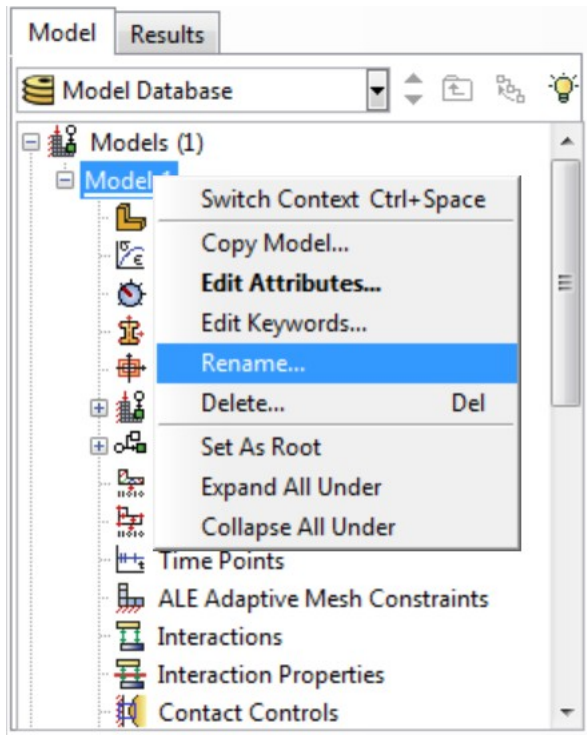
On se propose de calculer les modes propres d'une poutre en « I » en conditions aux limites encastree / articulée. Pour fixer les idées, on utilise les dimensions et les caractéristiques matérielles précisées ci-dessus

Géométrie (module Part)

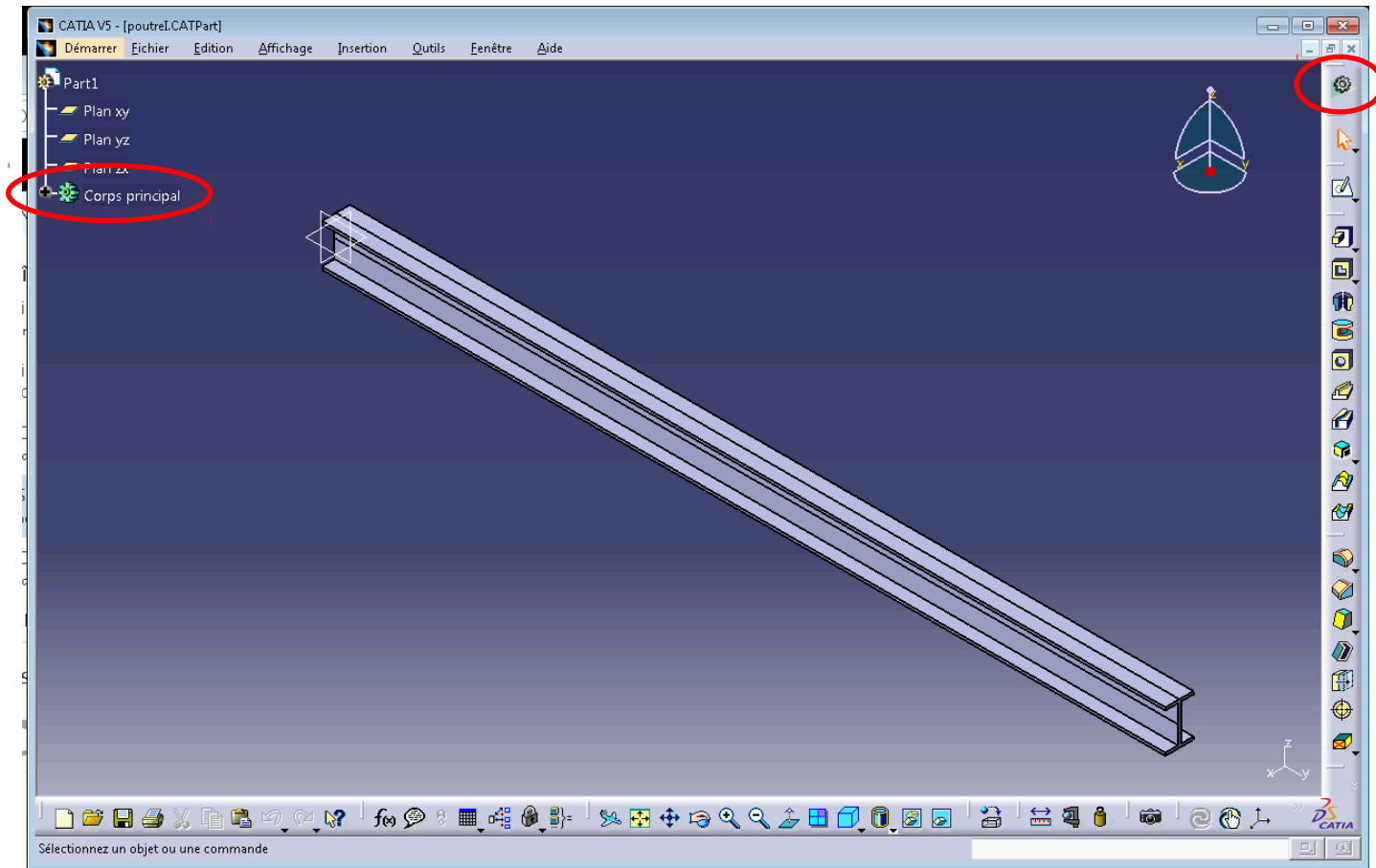


Renommer le modèle

- Renommer le modèle avec un nom explicite



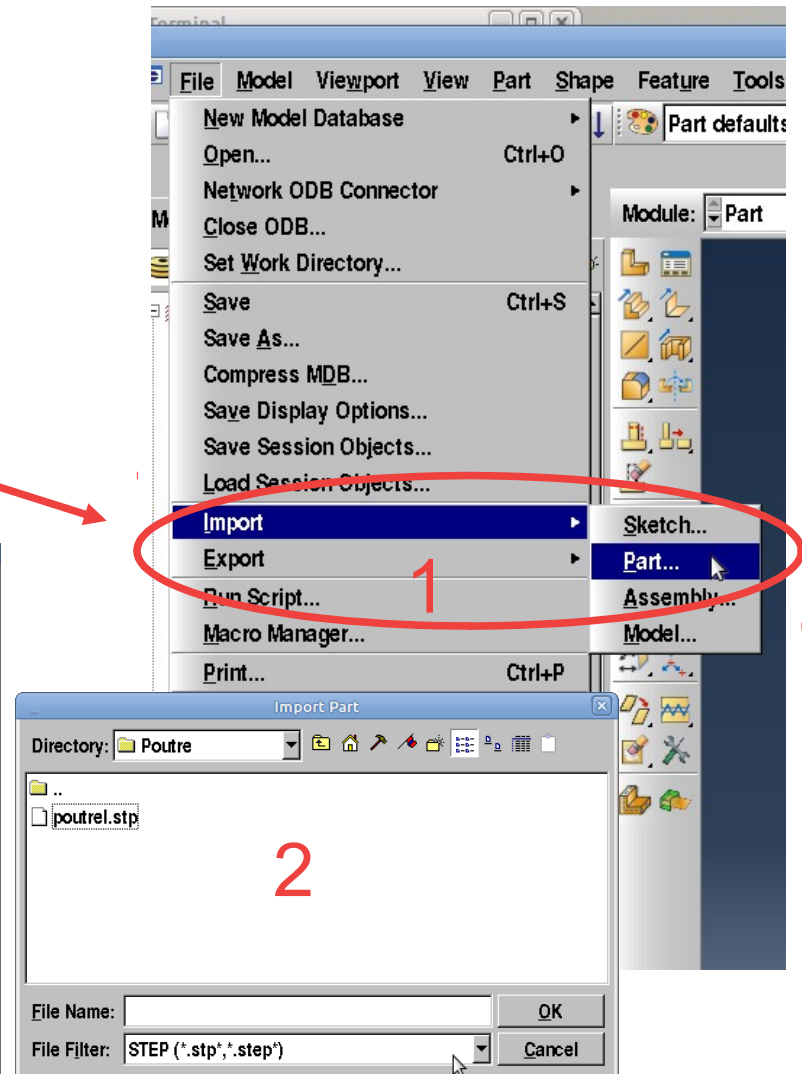
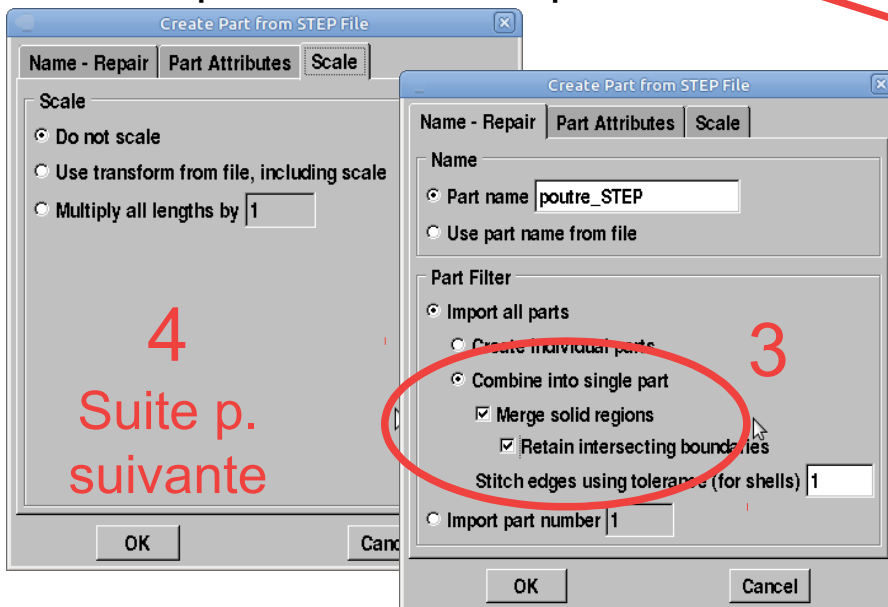
Géométrie importée d'un modèle CAO



- Modèle volumique dans CATIA V5 (atelier « Part »)
- Fichier → Enregistrer sous... → fichier *.CATPart ou *.stp

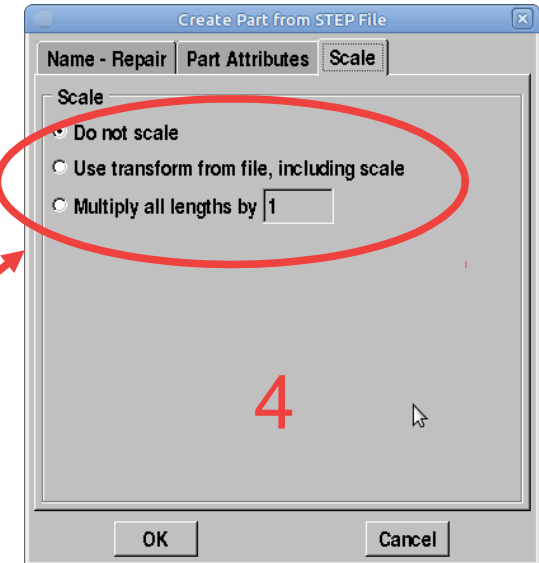
Géométrie importée d'un modèle CAO

- 3 types de fichiers :
- - fichier CATIA (V5 → poutrel.CATPart)
- - fichier STEP, IGES
- Marche à suivre :
- 1/ faire le modèle CAO volumique
- 2/ le sauver en .CATPart, .stp, .igs
- 3/ l'importer dans Abaqus

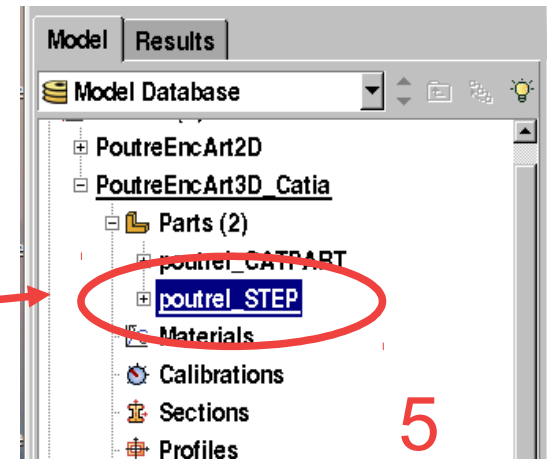


Géométrie importée d'un modèle CAO

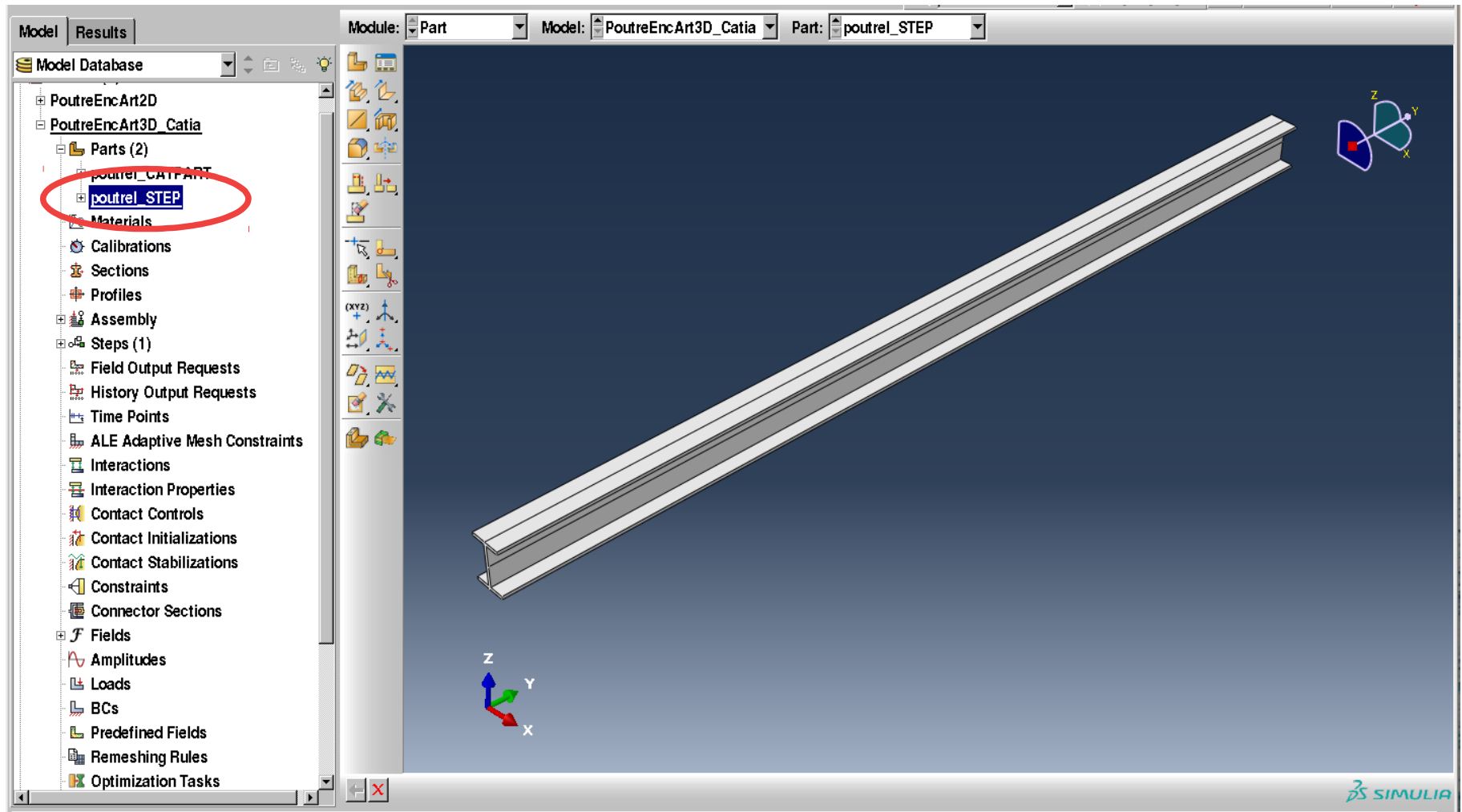
- Unités des longueurs dans la géométrie:
 - - Abaqus n'a pas d'unité, seul les chiffres importent ;
 - - Les longueurs correspondent donc à celles du modèle CAO exprimés dans les unités de celui-ci, multipliées par un facteur d'échelle si nécessaire



- Une nouvelle pièce est créée dans l'arbre
 - → On peut la renommer si nécessaire

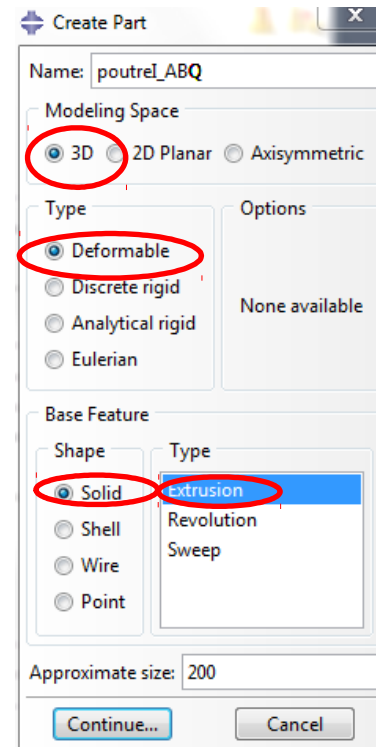
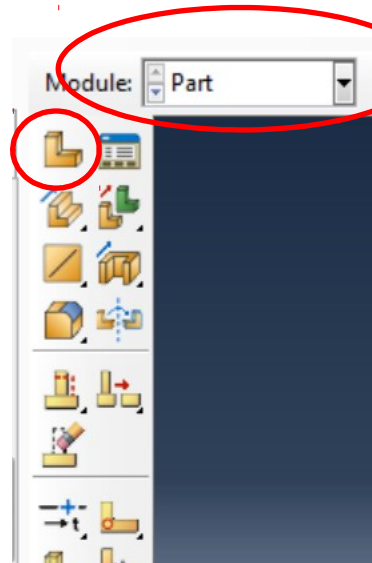


Nouvelle pièce par import d'un modèle CAO



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

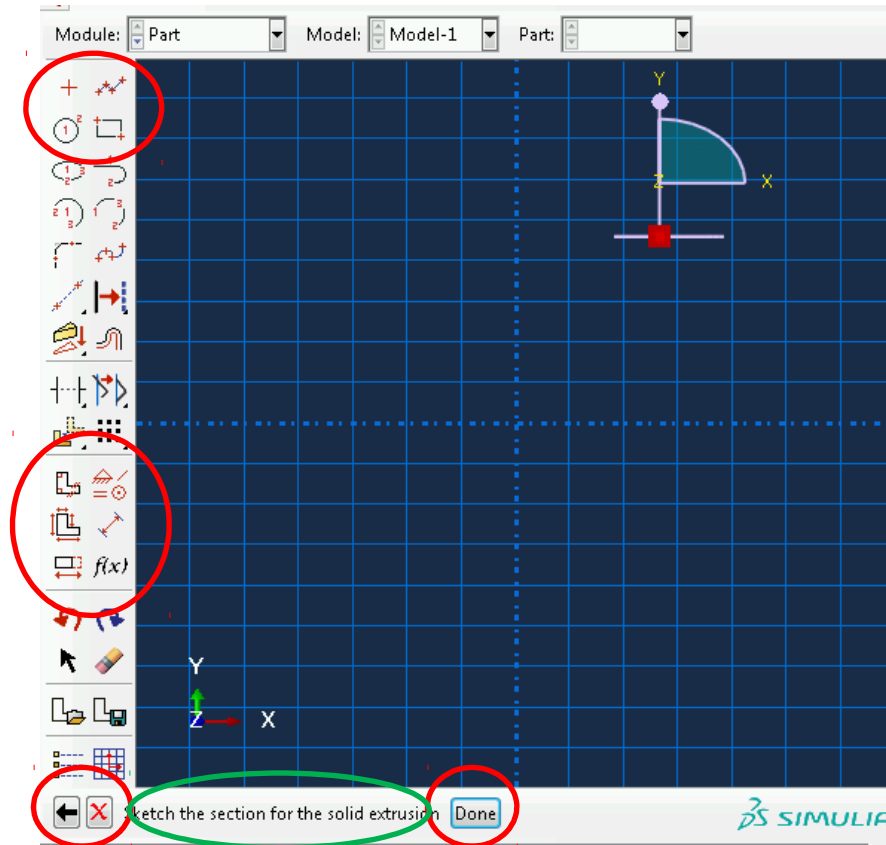
Modèle de type
« volumique » extrudé

Taille caractéristique

Définition de l'esquisse

Créer les points / lignes /
rectangles

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



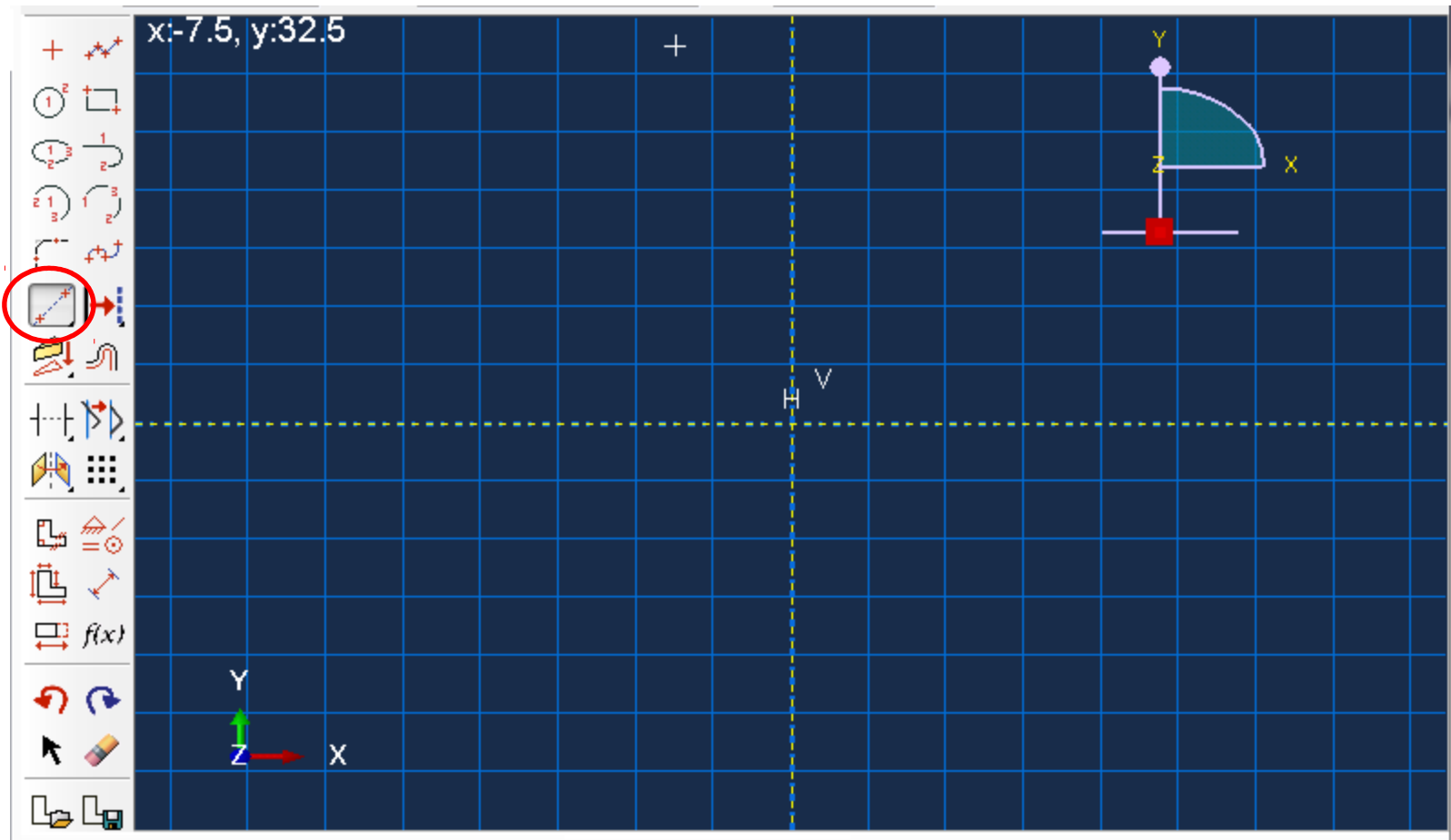
Retour /
Annuler

valider

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

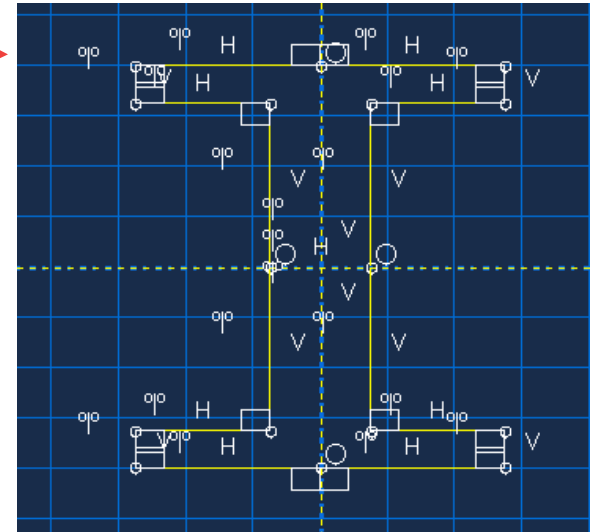
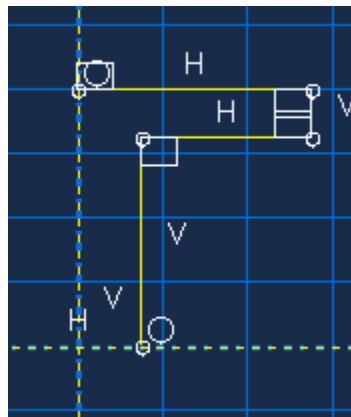
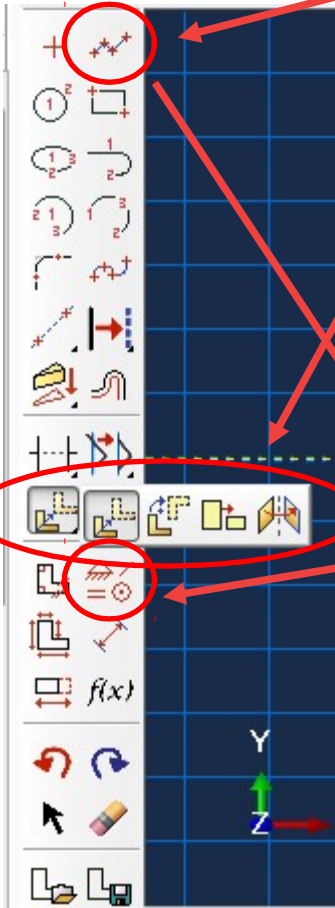
Création de l'esquisse

- Créer des lignes de construction pour les axes de symétrie



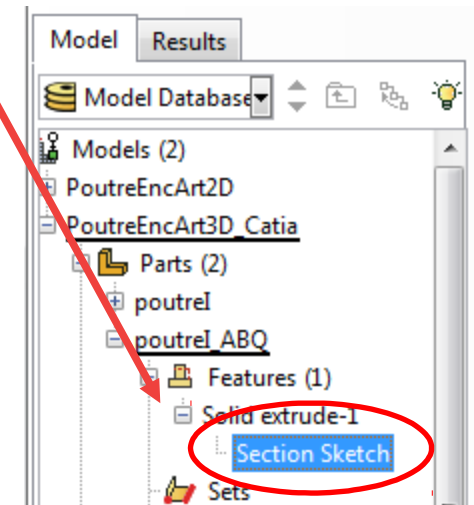
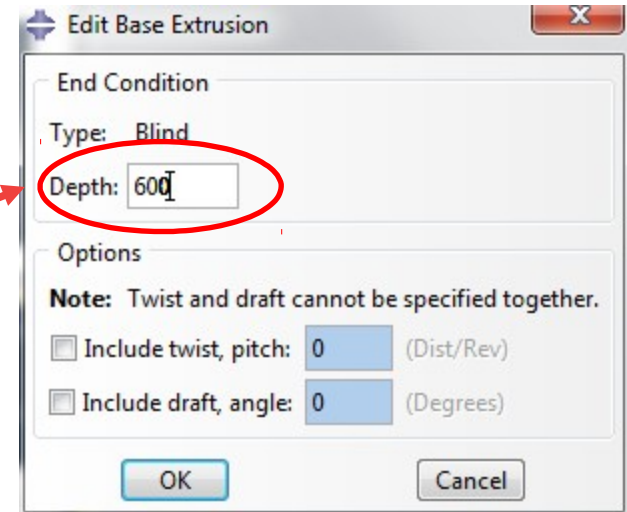
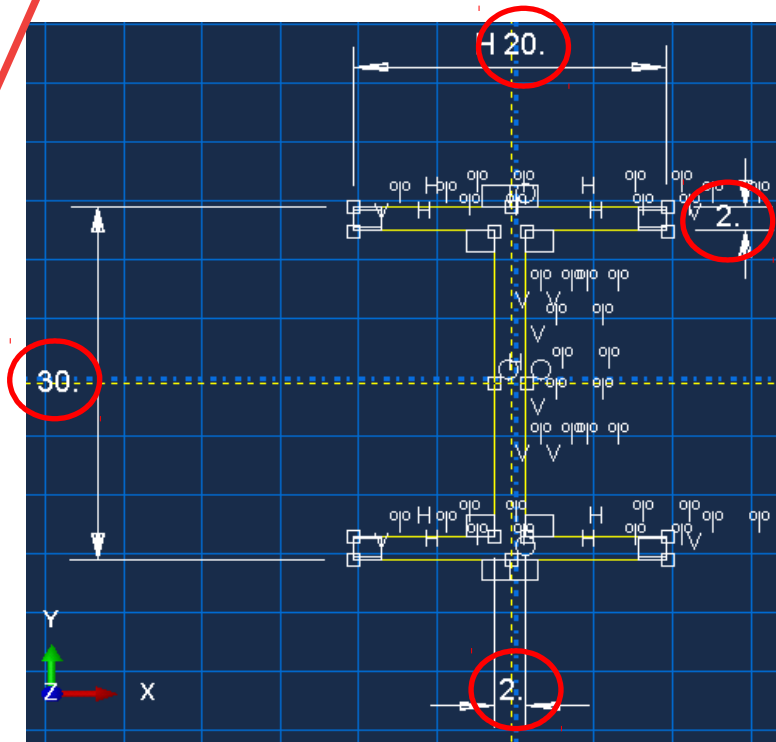
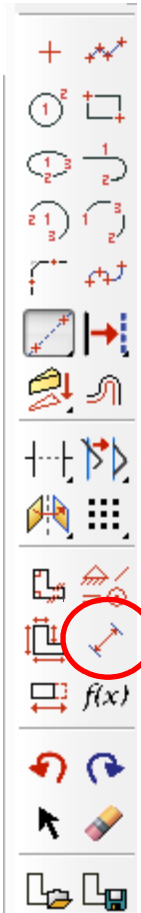
Création de l'esquisse

- Dessiner $\frac{1}{4}$ de la géométrie
- Faire apparaître (si nécessaire) l'outil « miroir » (en maintenant appuyé le bouton gauche de la souris) et l'utiliser:
 - select the type of mirror operation -> copy
 - pick the mirror line -> cliquer sur une des lignes de construction
 - select the entities to mirror -> utiliser la touche « shift » pour sélectionner les segments du contour puis « done »
- Refaire l'opération pour la 2^e symétrie
- Ne pas oublier **les contraintes**

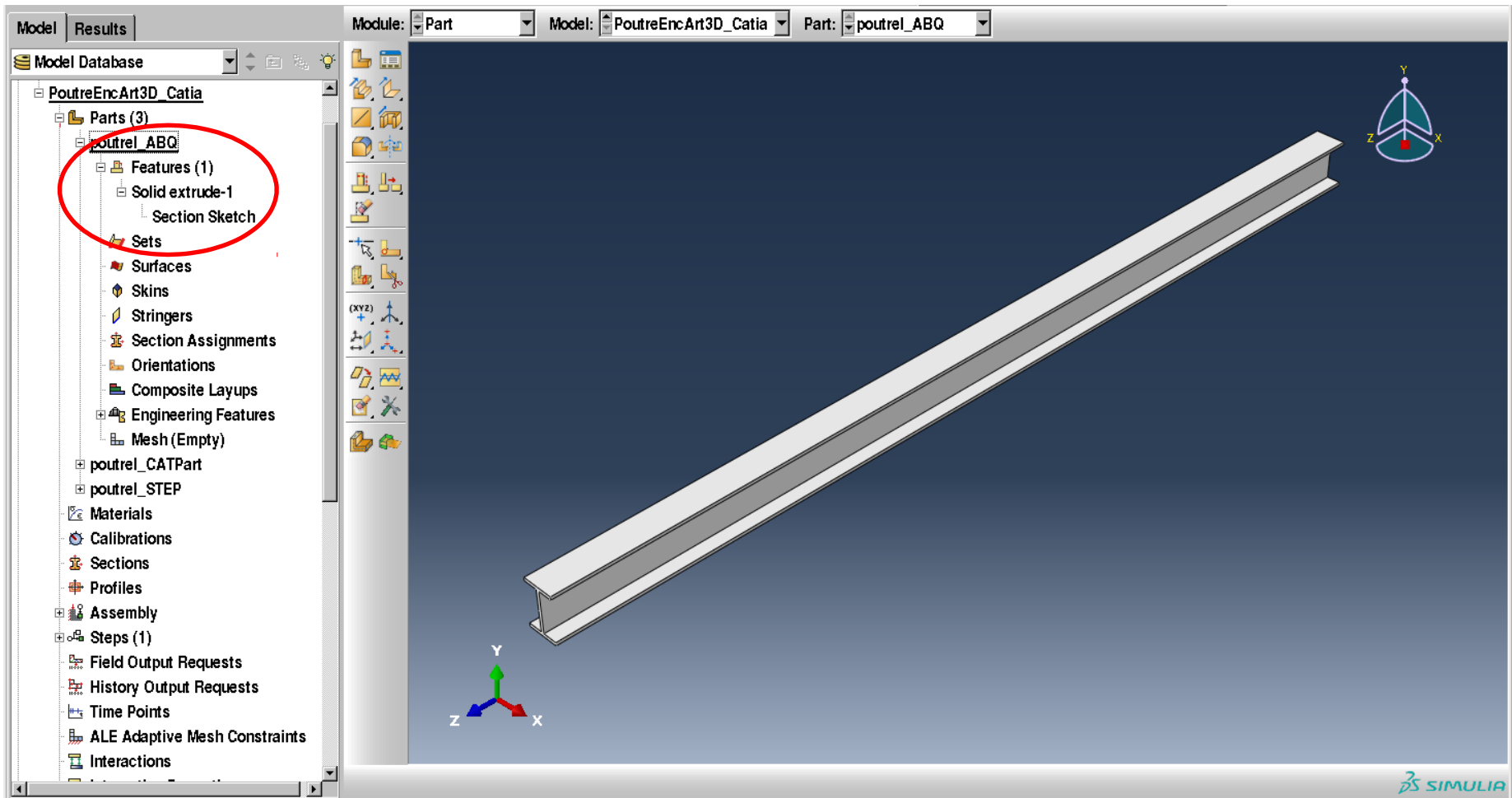


Finition de l'esquisse et extrusion

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



Géométrie de la pièce

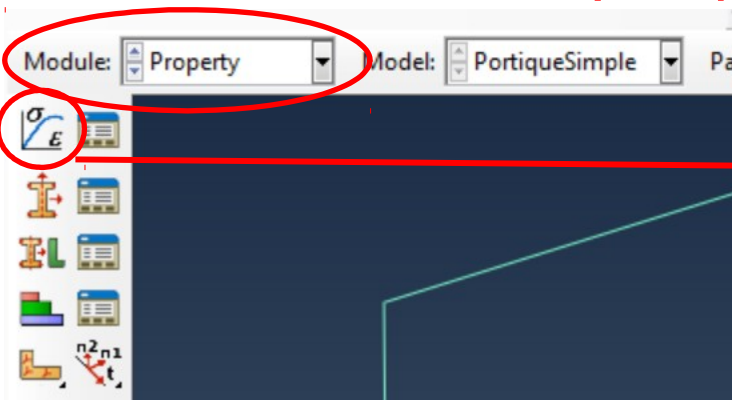


Propriétés matériaux et sections

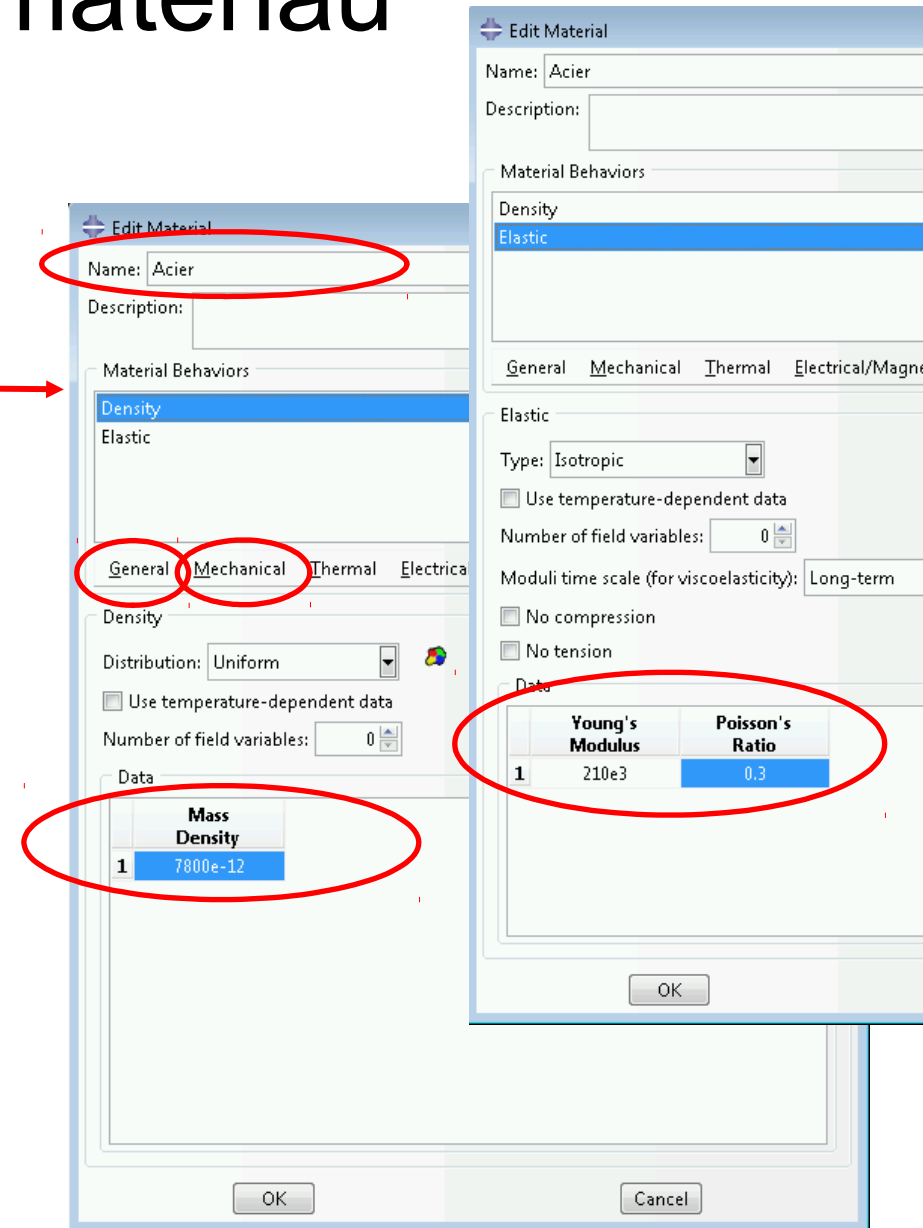


Définir le matériau

Activer le module **Property**

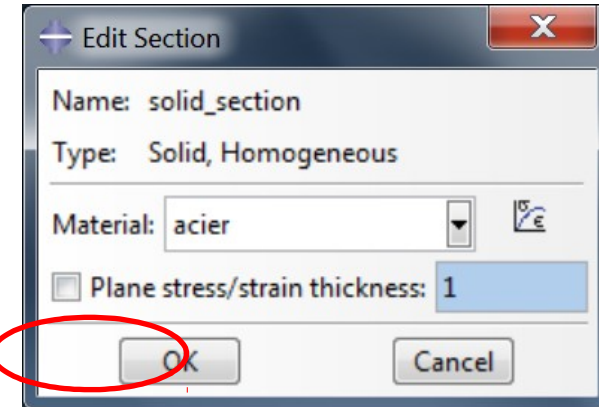
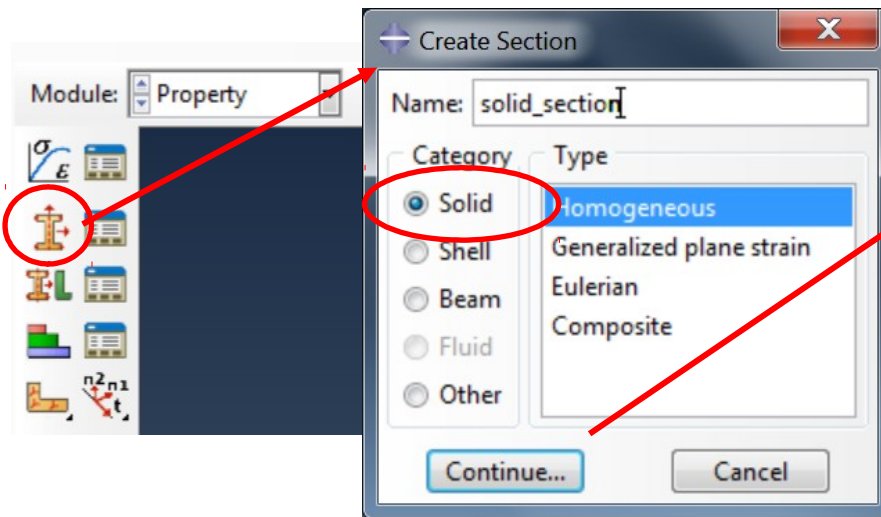


- General -> Density
 - masse volumique
- Mechanical -> Elastic
 - Module Young
 - Coeff. Poisson
- **Attention aux unités !**

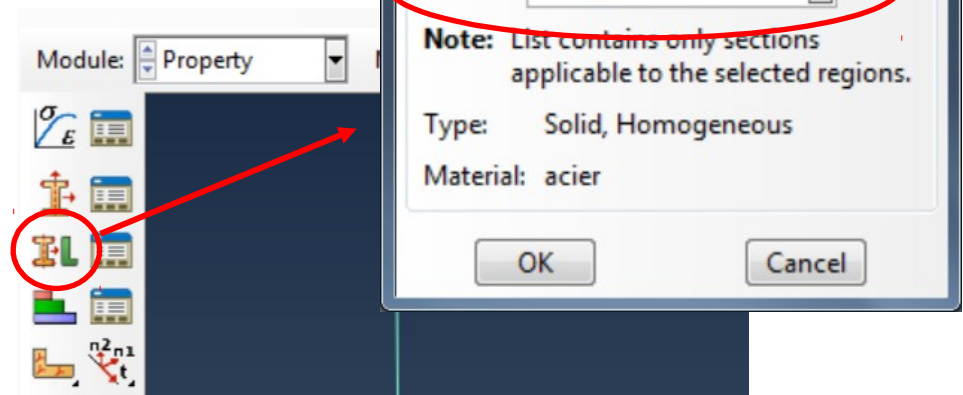


Créer la section

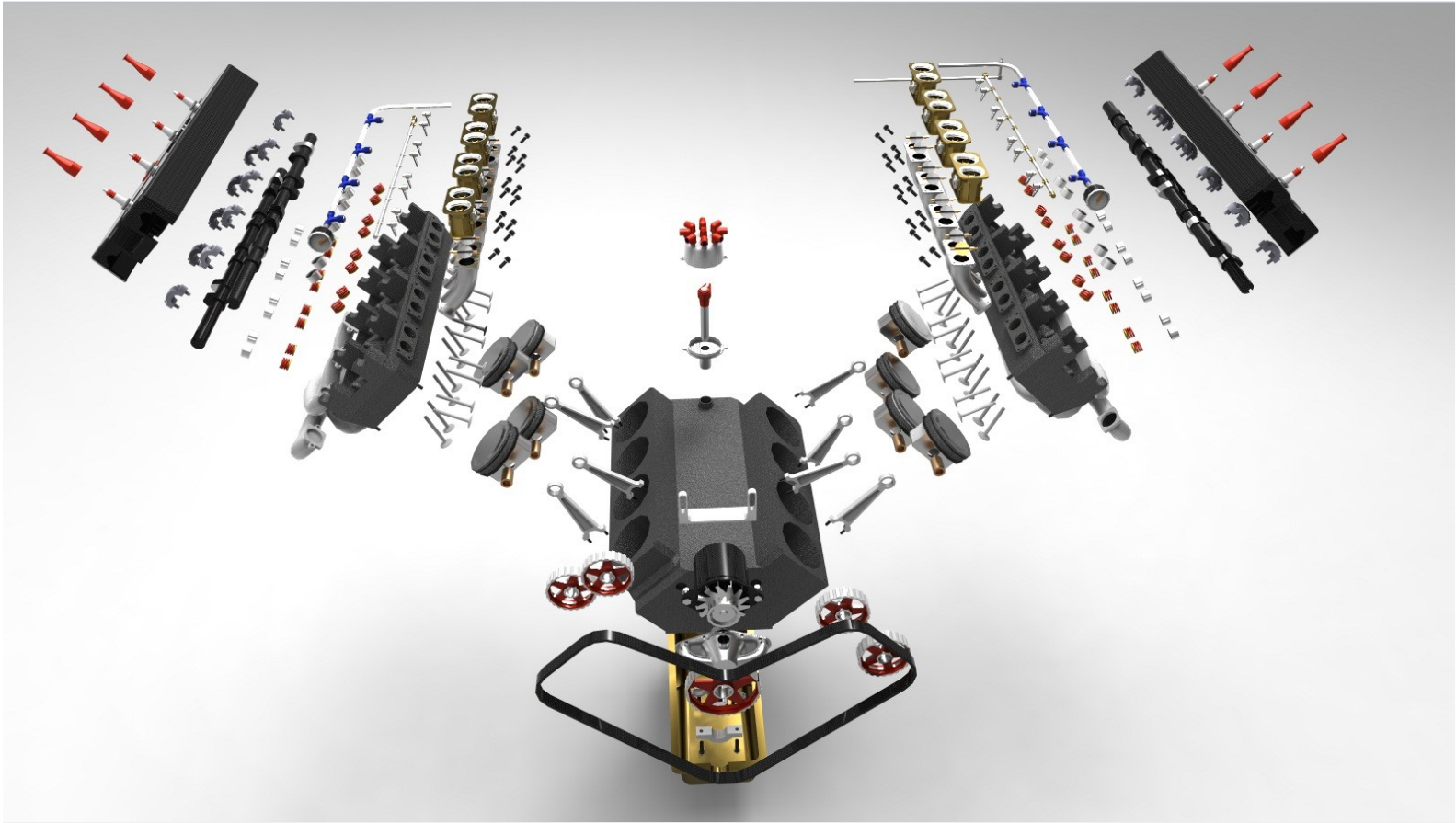
- Définir la section
- → section « solid » car modèle volumique



- Assigner la section à la pièce



Instance et Assemblage

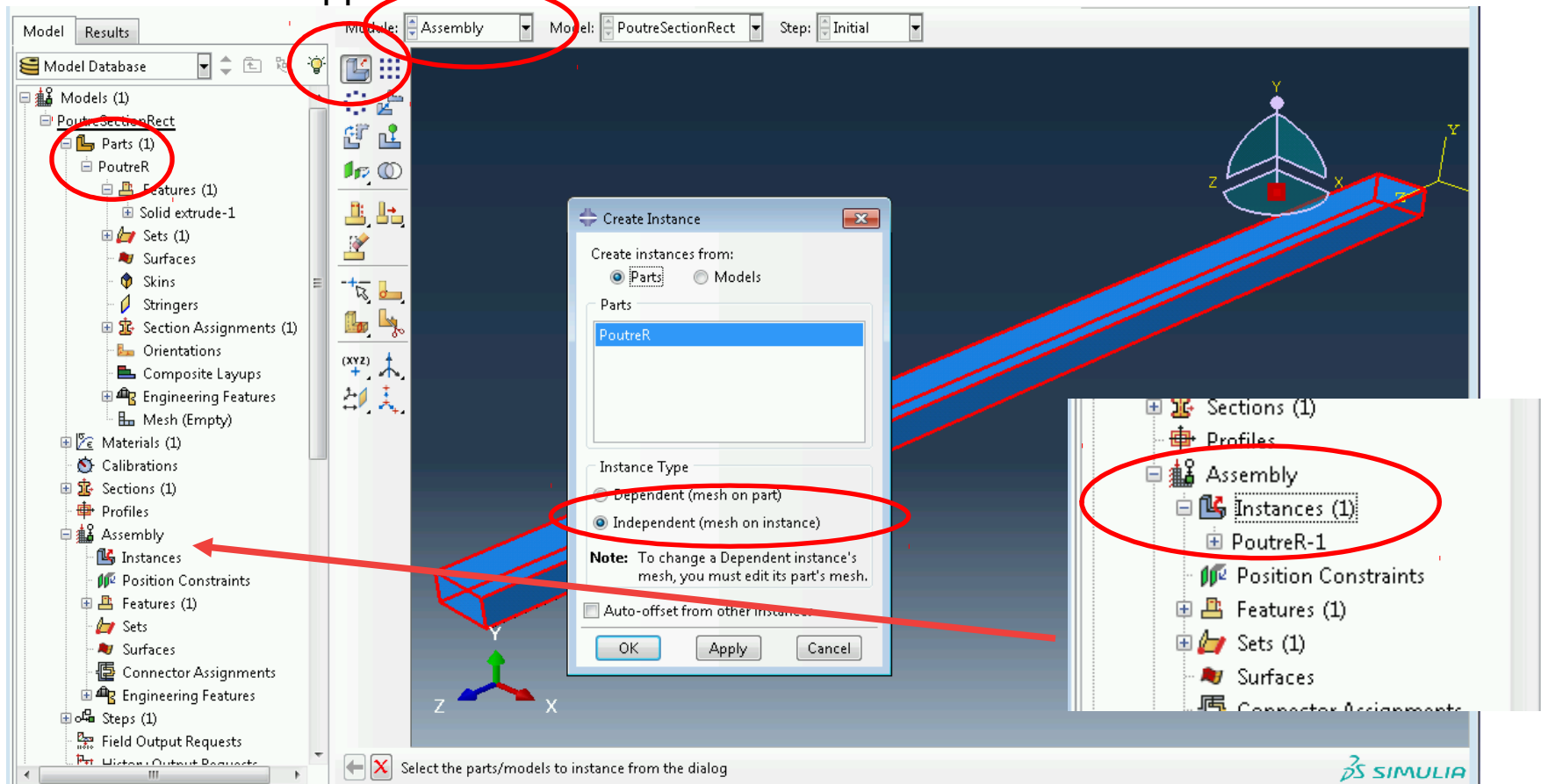


Créer l'assemblage

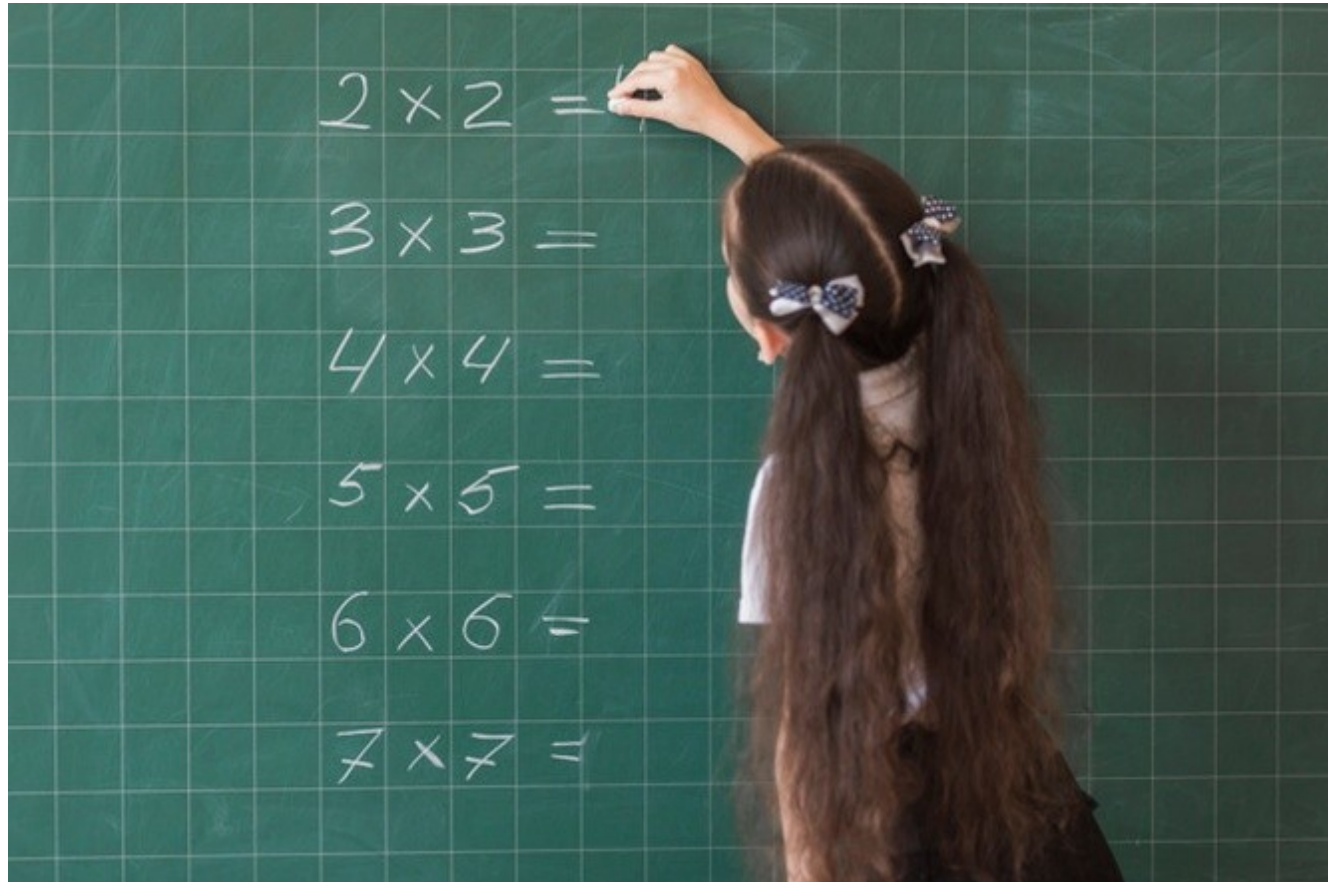
- Pour créer le modèle géométrique, il faut assembler plusieurs composants (défini par des « parts » auxquelles sont assignées des « sections »).
- Pour utiliser plusieurs fois le même composant, on peut insérer plusieurs « instances » d'une même « part » (notion identique dans CATIA).
- Même si le modèle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

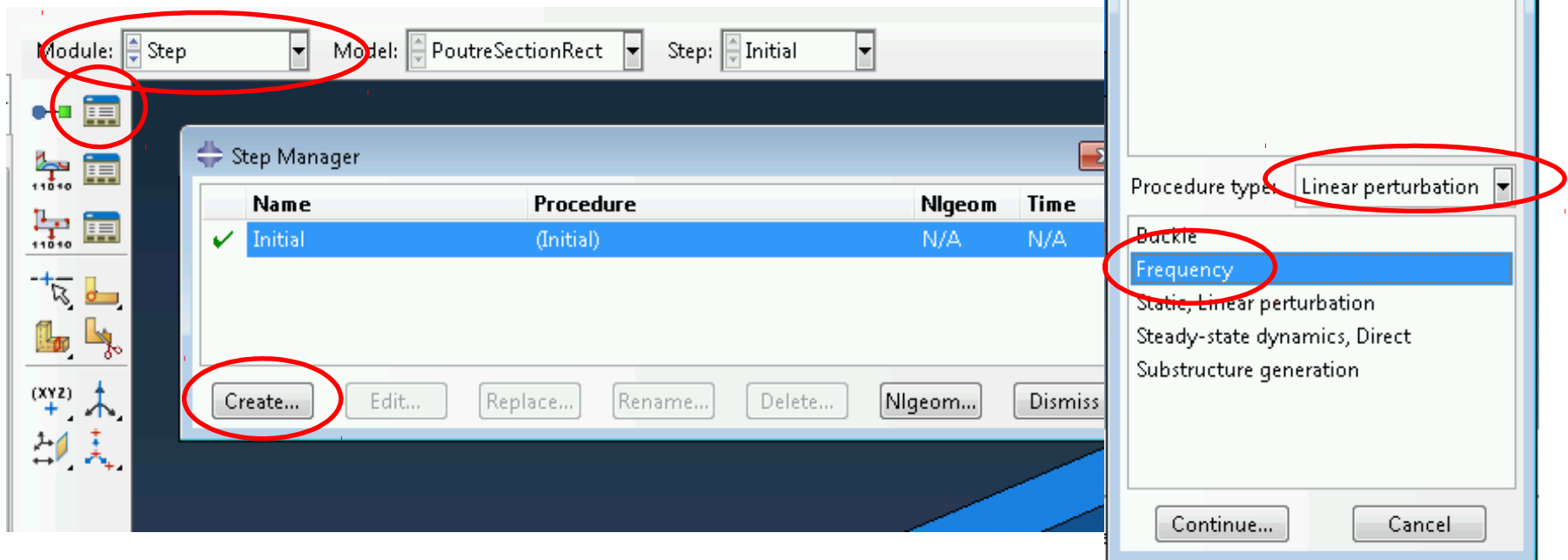


Définition du type de calcul

- 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
- ...

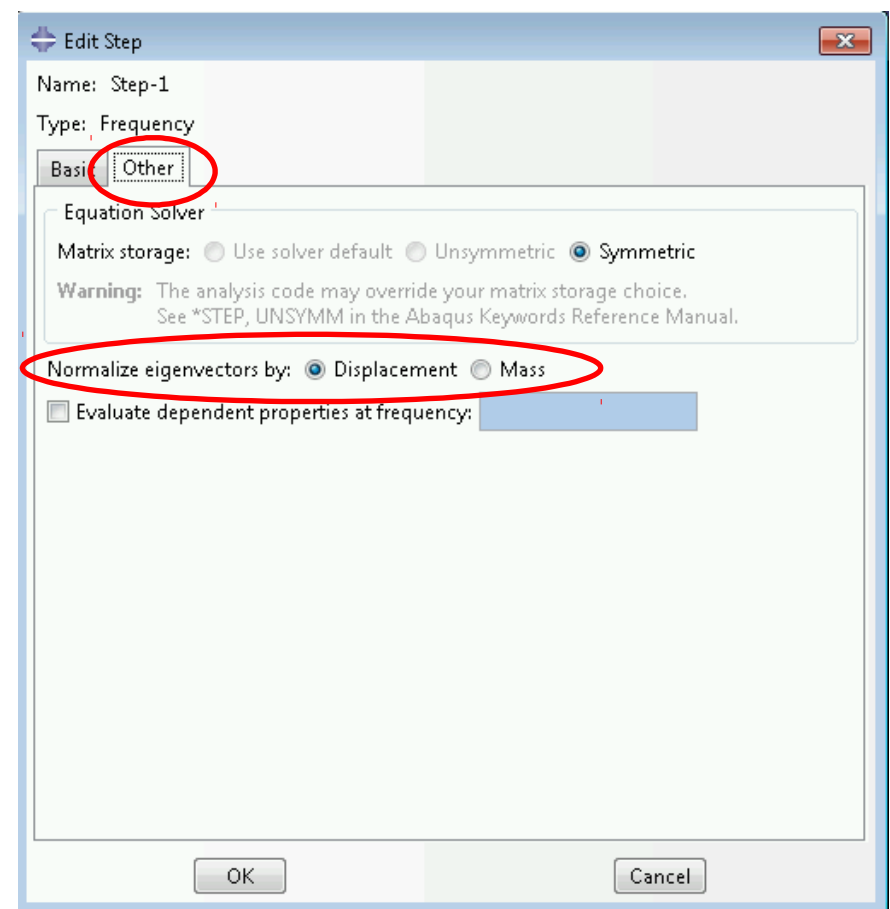
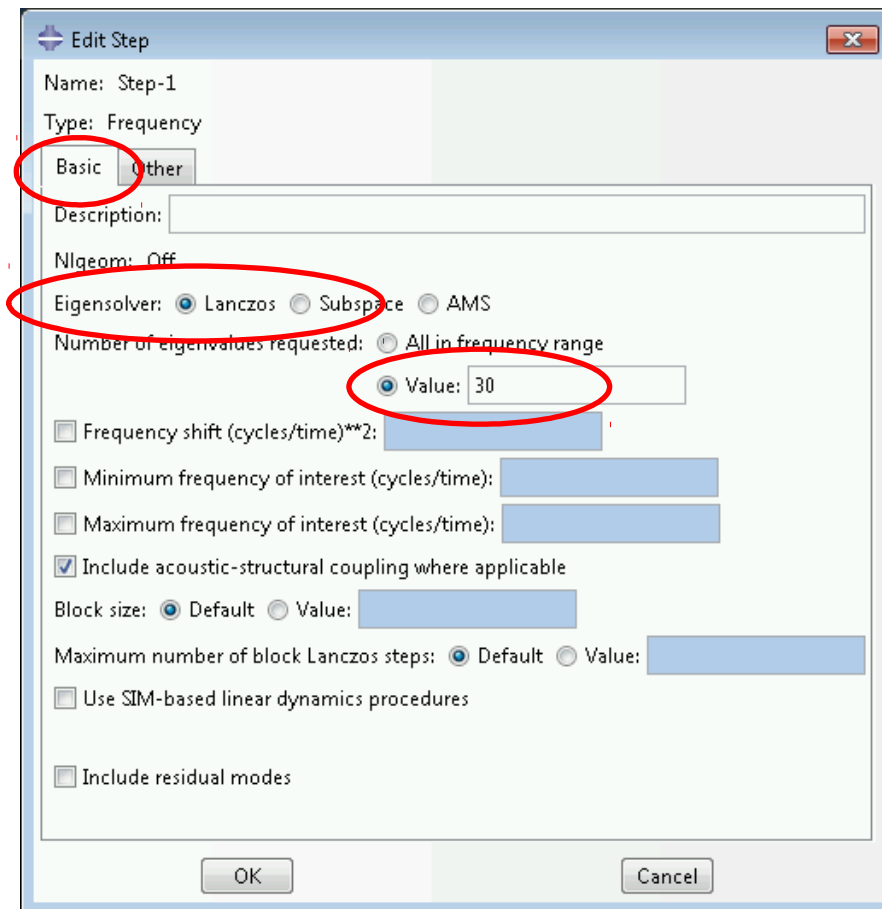
Définition du type de calcul

- Activer le module **Step**
- Créer un nouveau « step » :
- - Linear perturbation
- - Frequency (= analyse modale)



Options du calcul (analyse modale)

- Prendre l'algorithme par défaut : Lanczos
- Indiquer le nombre de modes à calculer
- Préciser la normalisation des déformées modales



Théorie



TABLEAU DE BORD > COURS > LI-MÉCANIQUE DES SOLIDES 2A

NAVIGATION

- Tableau de bord
- Accueil du site
- Pages du site
- Mes cours
 - Ingénieur Arts & Métiers
 - Plus...
- Cours
 - LI-Mécanique des solides 2A**
 - Participants
 - Badges
 - Compétences
 - Notes
 - Généralités
 - Vibration (VIB)
 - VIB - Ressources Jacques Charley
 - VIB - Sujets d'ED
 - VIB - Sujet TP Éléments-finis
 - VIB - Annales corrigées
 - Mécanique non linéaire (MNL) -

Li-Mécanique des solides 2A

- Annonces
- Caché pour les étudiants
- Actualités du cours
- Caché pour les étudiants

Vibration (VIB)

- COURS: diaporamas**
- COURS: résumés
- COURS: films et animations
- ED: sujets + exemples d'exercices
- ANNALES CC

Li-Mécanique des solides 2A

COURS: diaporamas

- slide01_intro.pdf
- slide02_gene1ddl.pdf
- slide03_dissipatif_ressources.pdf
- slide04_systNddl libre_modes.pdf**
- slide05_systNddl_élastomique.pdf
- slide06_modele_continu.pdf
- slide07_numerique.pdf

Télécharger le dossier

Modifier

I. Modes propres de systèmes conservatifs
II. Systèmes dissipatifs. Amortissement.
III. Vibrations libres
Conclusions

En pratique : normalisation des modes

- Les déformées modales sont des vecteurs propres : leur amplitude absolue n'est pas définie par le problème aux valeurs propres, seule l'amplitude relative des composantes du vecteur a un sens.
- En pratique, il faut bien choisir une amplitude et donc "normaliser" le mode. Deux choix courants :

U. Magnitude
+1.000e+00

Normalisation / déplacement
 $\max(\Phi_k) = 1$

U. Magnitude
+6.350e-01

Normalisation / masse
 $m_k = \Phi_k^T M \Phi_k = 1$

2018-19 16/56

I. Résolution approchée
II. Résolution numérique de problèmes de dynamique

Calcul de modes propres

- Problème à résoudre (voir diaporama 4) :
Trouver $P = K$ modes propres (ω_k, Φ_k) , $k = 1, \dots, K < N$ tels que :
 $(K - \omega^2 M)\Phi = 0$
- C'est un problème aux valeurs propres de taille N .
- Dans Matlab :
 - soit $[V, D] = \text{eig}(\text{inv}(M) * K)$
~> à éviter car l'inversion de M est très coûteuse ;
 - soit $[V, D] = \text{eig}(K, M)$
~> algorithme adapté.
- Dans les codes éléments-finis (Abaqus) :
 - Plusieurs algorithmes sont disponibles et très efficaces pour traiter le nombre N possiblement très élevé de degrés de liberté
 - Il faut préciser le nombre de modes ou la plage fréquentielle sur lesquels faire le calcul (tous les N modes ne sont pas calculés).

2018-19 30/42

Chargement et conditions aux limites

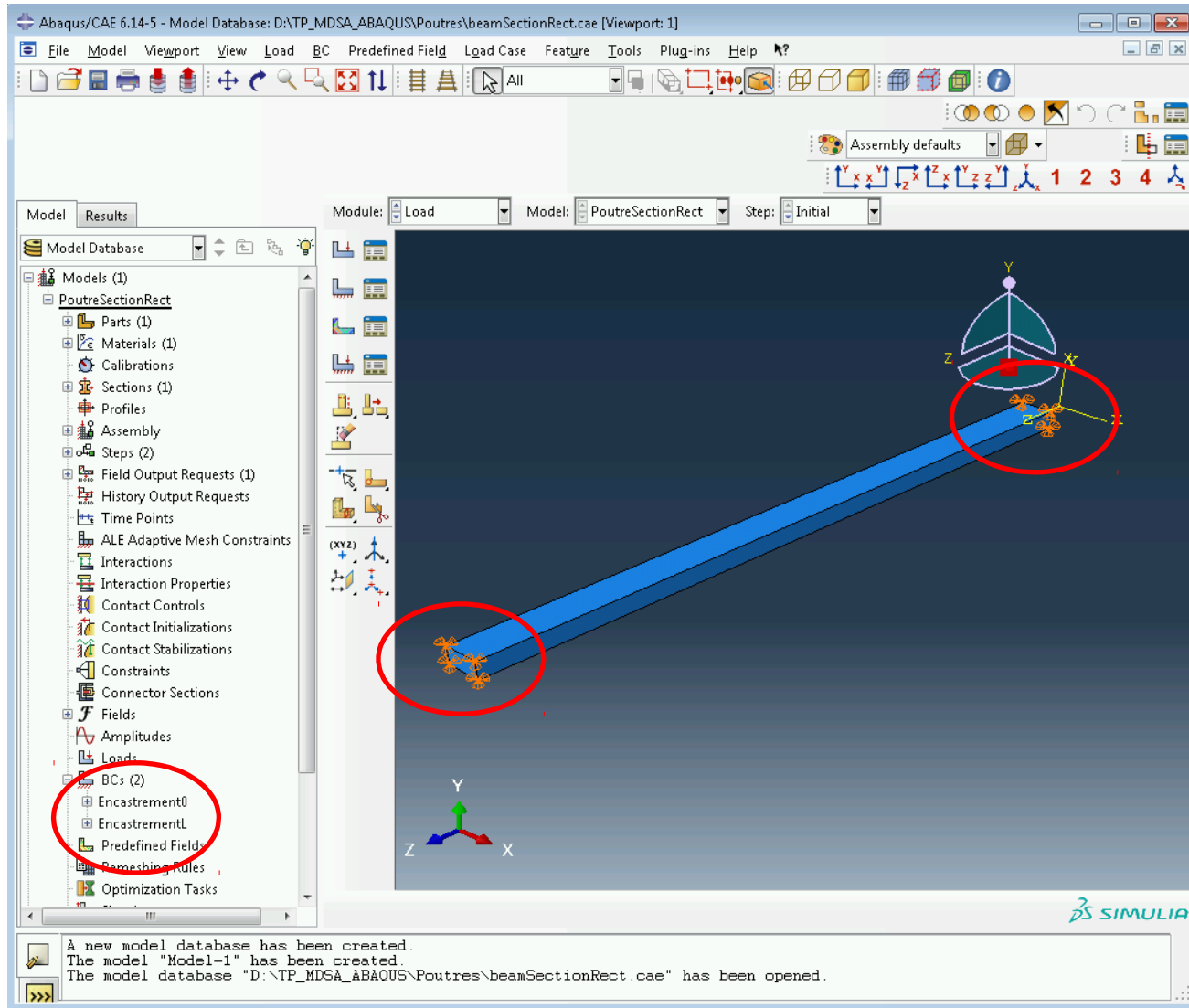


Chargement et conditions aux limites

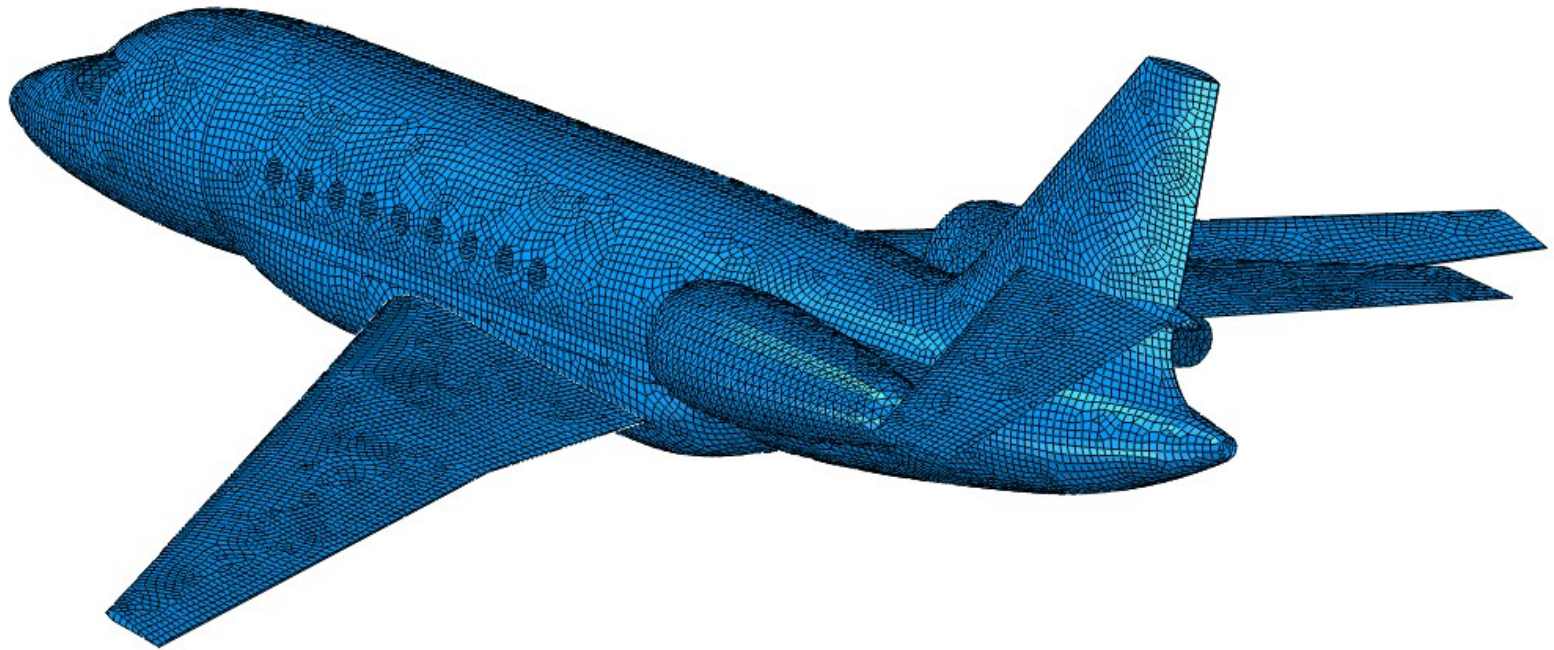
- Activer le module **Load**
- Pour une analyse modale, on ne définit que les conditions aux limites
- Sans aucune condition aux limites définies, la structure est libre

The image shows a software interface for defining boundary conditions on a 3D model of a beam. The main window displays the 'Create Boundary Condition' dialog box. The 'Name' field is set to 'Encastrement', and the 'Step' is 'Initial'. Under 'Procedure', the 'Mechanical' category is selected, and 'Displacement/Rotation' is chosen from the 'Types for Selected Step' list. The 'Edit Boundary Condition' dialog box is also open, showing the 'Name' as 'Encastrement', 'Type' as 'Displacement/Rotation', and 'Region' as 'Face0'. The 'CSYS' is '(Global)'. The 'U1', 'U2', and 'U3' checkboxes are checked, while 'UR1', 'UR2', and 'UR3' are unchecked. A note at the bottom of the dialog states: 'Note: The displacement value will be maintained in subsequent steps.' The 'OK' and 'Cancel' buttons are visible. The background shows a 3D model of a blue beam with a coordinate system (X, Y, Z) and a red circle highlighting the end face of the beam. The 'Module' dropdown is set to 'Load', and the 'Model' is 'PoutreSectionRect'. The 'Step' is 'Initial'. The 'Select regions for the boundary condition' dialog at the bottom shows 'Create set: Face0' and 'Done' buttons.

Chargement et conditions aux limites

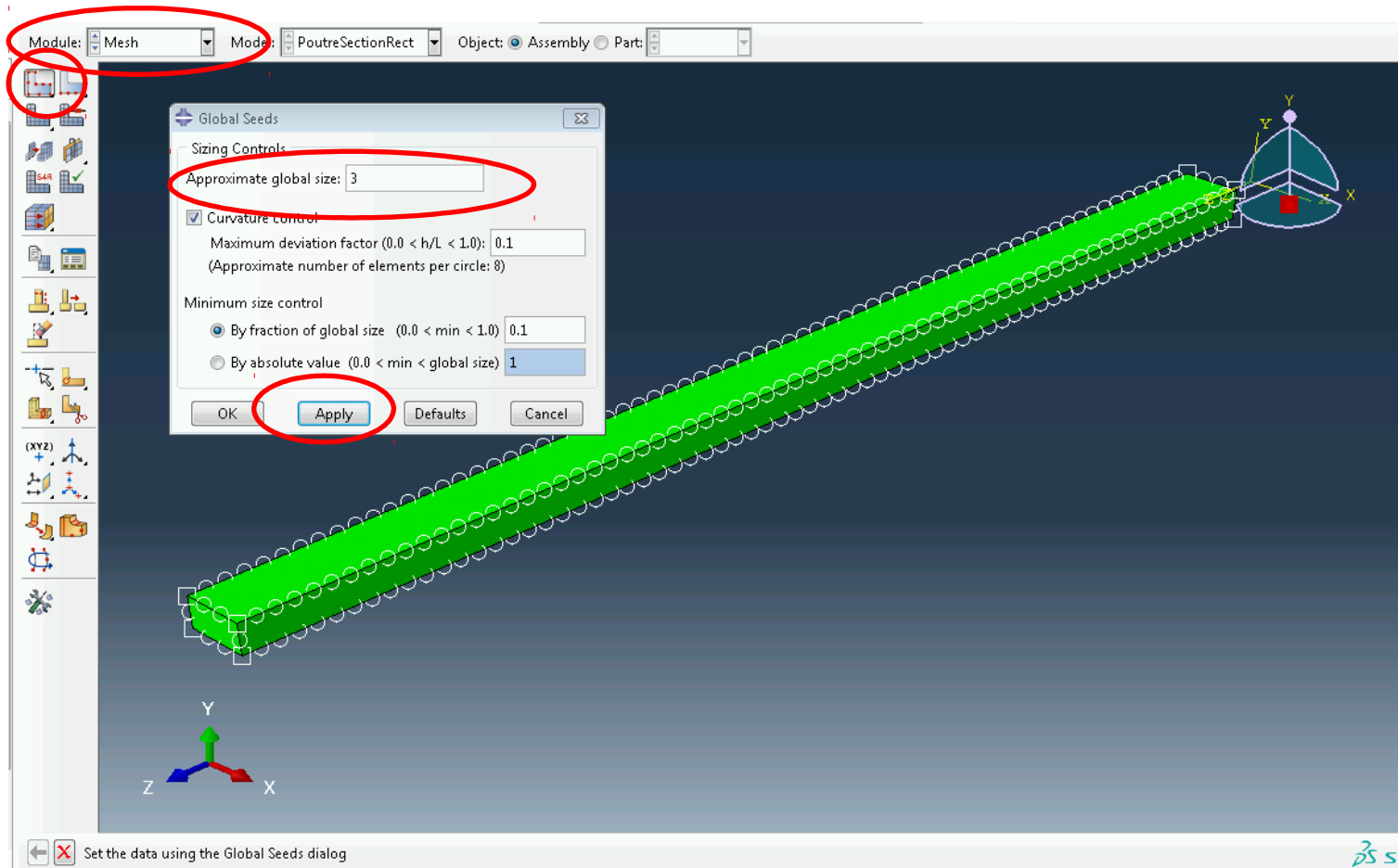


Maillage



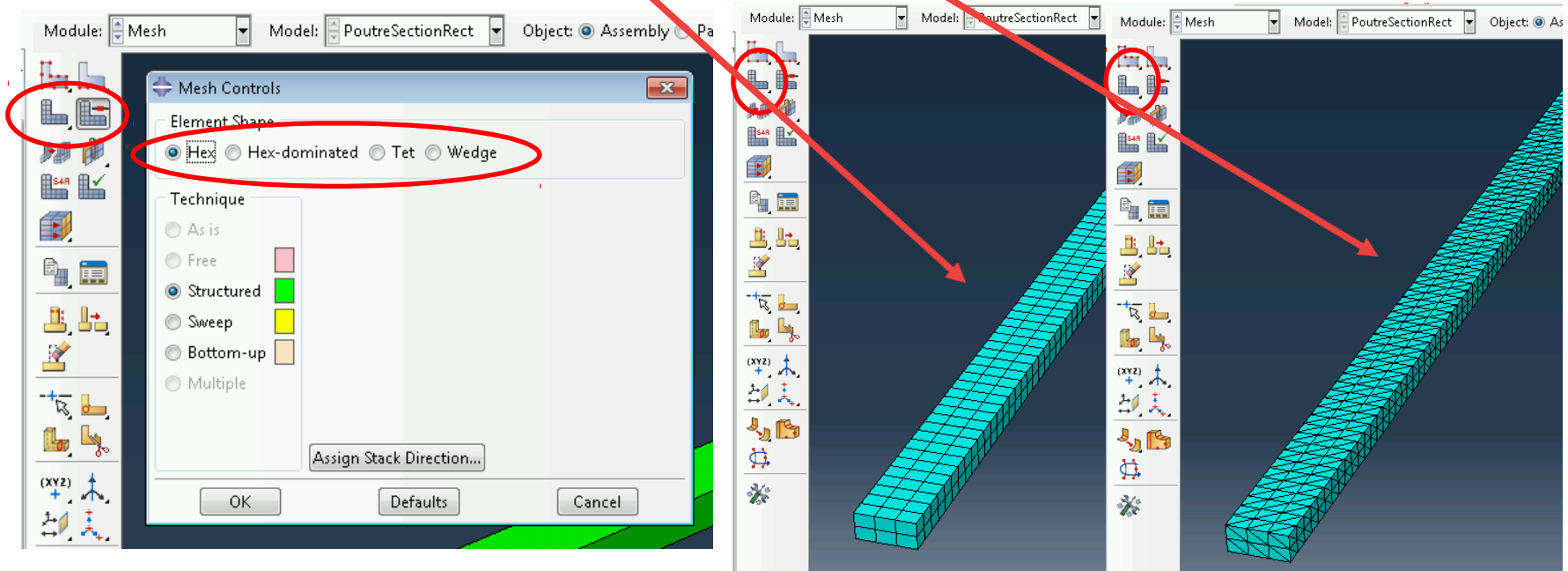
Définir le maillage

- Activer le module « Mesh »
- Régler la discrétisation (« seed edge »)



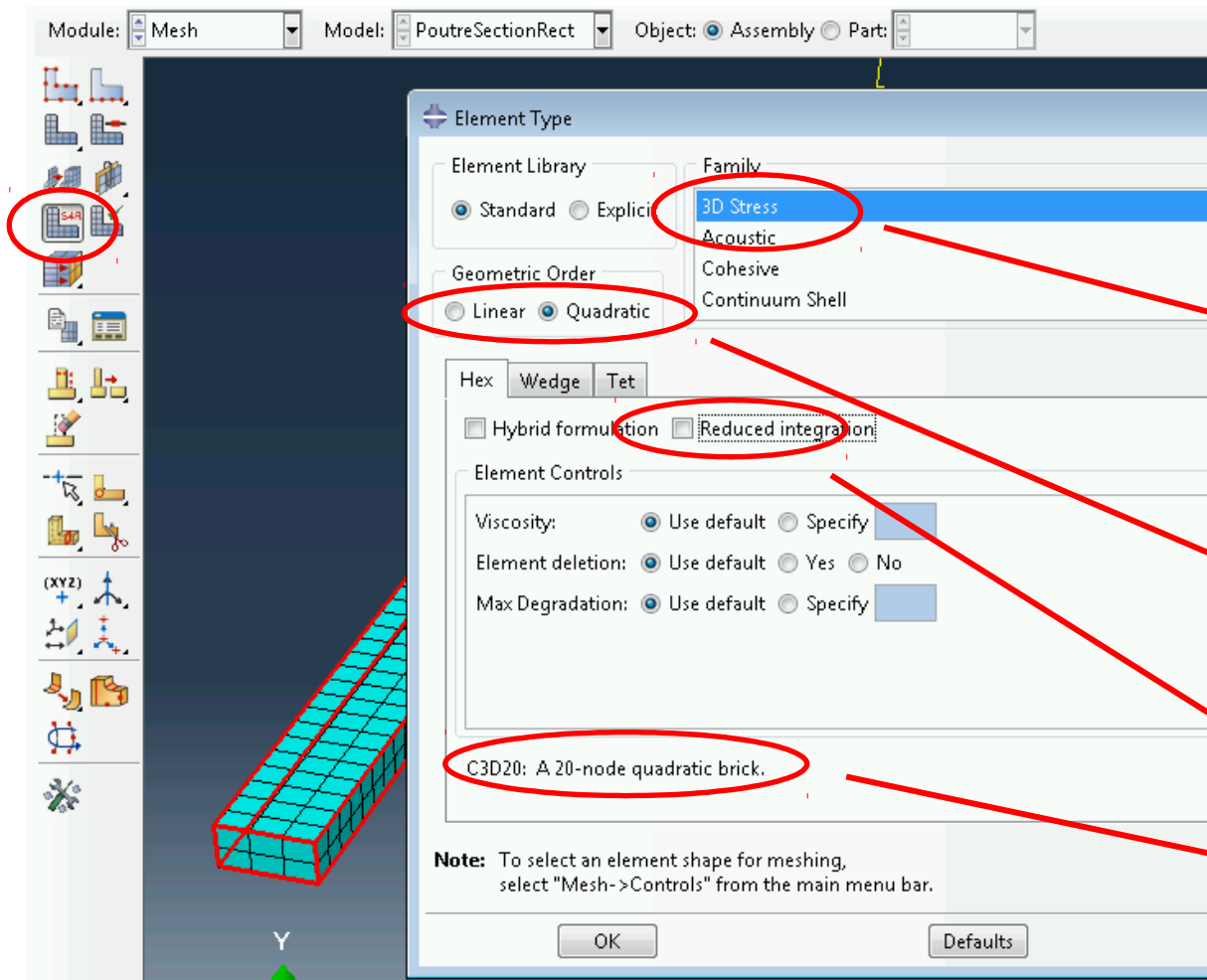
Définir le maillage

- Régler la géométrie des éléments puis mailler
- → essayer en Hex (maillage de toute la structure en Hexaedres)
- → sinon en Hex-dominated
- → au pire, un maillage en Tetraedres est toujours possible. Néanmoins, il conduit à des calculs moins précis que les Hexaedres.



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)

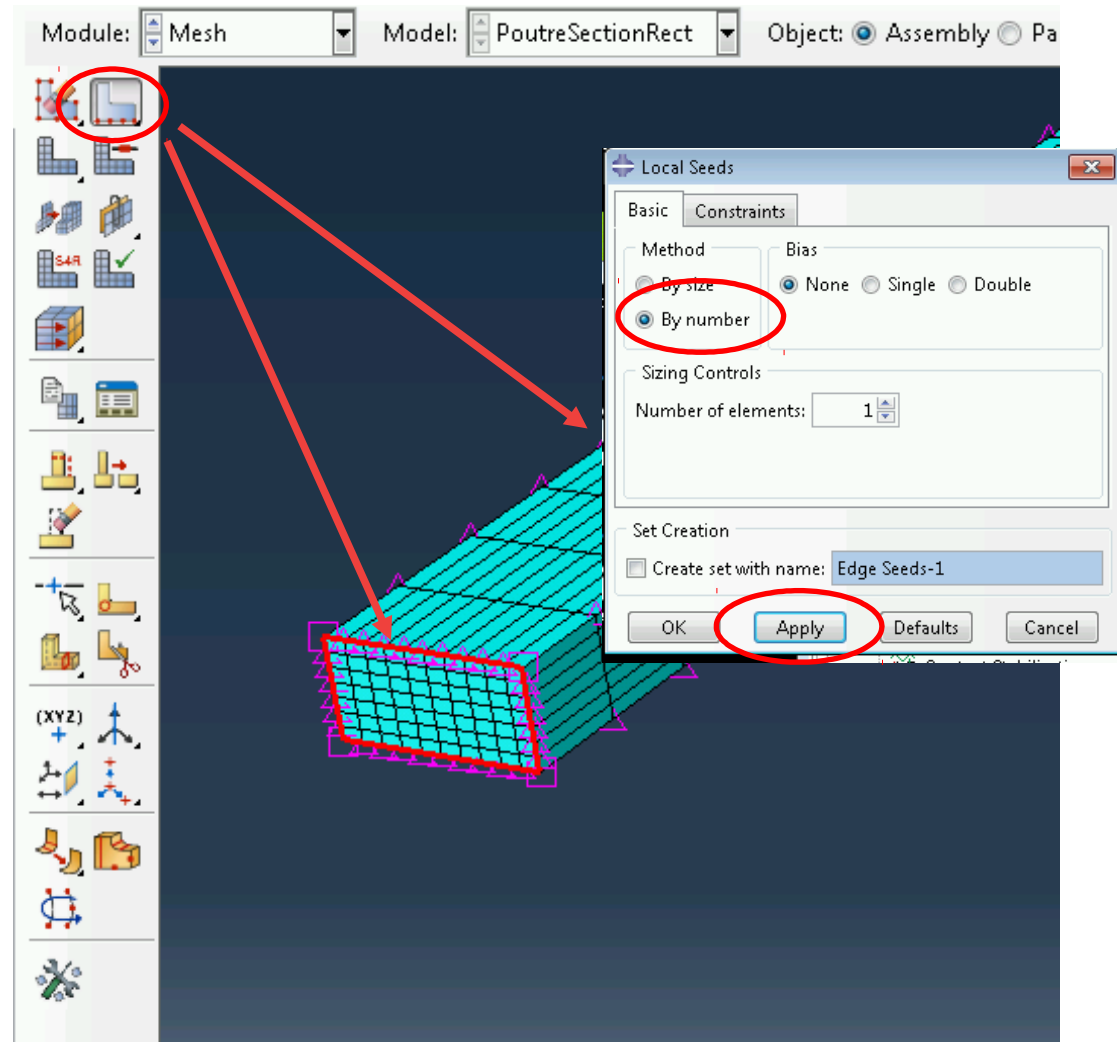
Degré d'interpolation
(fonctions de formes linéaires
Ou quadratiques)

Décocher
« intégration réduite »

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

Taille des mailles selon la direction

- Il est possible de choisir une discrétisation différente selon les arêtes.
- Cela permet de gérer une taille - et donc un nombre - d'éléments différentes dans l'épaisseur et dans la longueur de la structure.



Définir le maillage

- Vérifier si nécessaire le nombre de nœuds : tools → query → mesh

The screenshot displays a CAD software interface with a 3D model of a curved, meshed part. The software window includes a top toolbar with a 'Query' icon circled in red. A 'Query' dialog box is open on the right, showing a list of query options. The 'Mesh' option is selected and highlighted in blue. Below the dialog box, the 'Analysis' window shows the results of the query: 'Total number of nodes: 621', 'Total number of elements: 80', and '80 quadratic hexahedral elements of type C3D20'. The 'Done' button in the 'Query' dialog is also circled in red.

Module: Mesh Model: BarreauPiezo Object: Assembly Part: []

Query

General Queries

- Point/Node
- Distance
- Angle Point/Node
- Feature
- Shell element normals
- Beam element tangents
- Mesh stack orientation
- Mesh**
- Element
- Mesh gaps/intersections
- Mass properties
- Geometry diagnostics

Mesh Module Queries

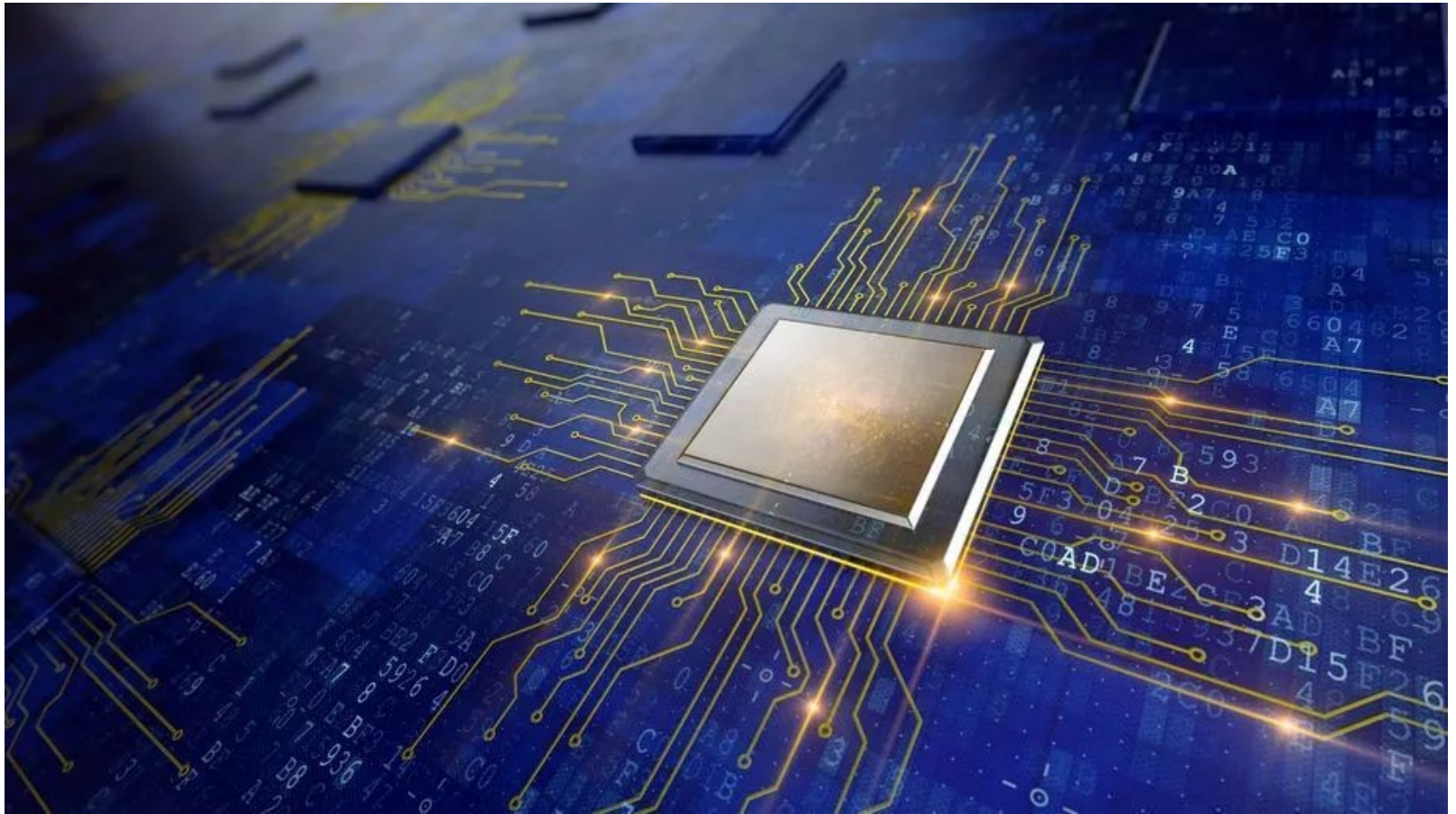
- Free/Non-manifold edges
- Unmeshed regions
- Unassociated geometry

Analysis

Query entire assembly [] Display detailed report [] Done

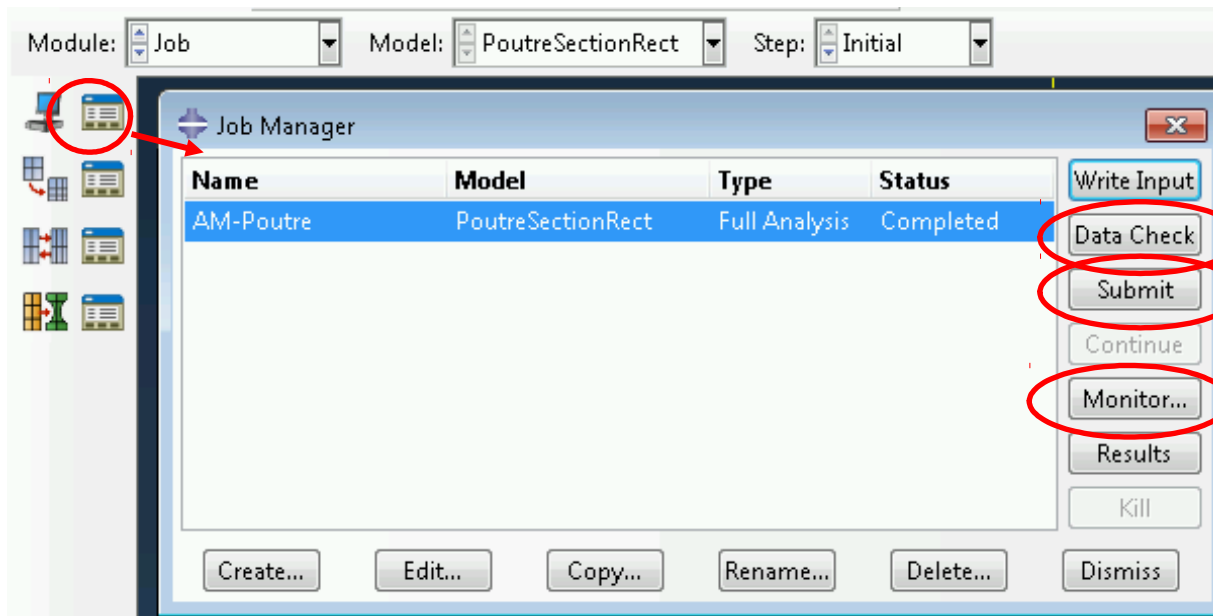
Total number of nodes: 621
Total number of elements: 80
80 quadratic hexahedral elements of type C3D20

Définir et lancer un calcul



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



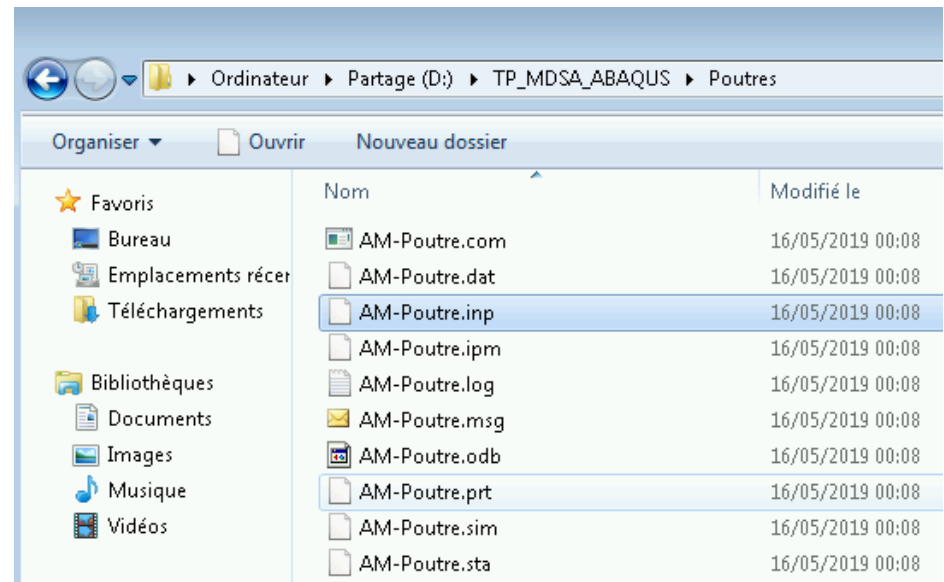
Vérifie si le jeu de données est OK

Lance le calcul

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

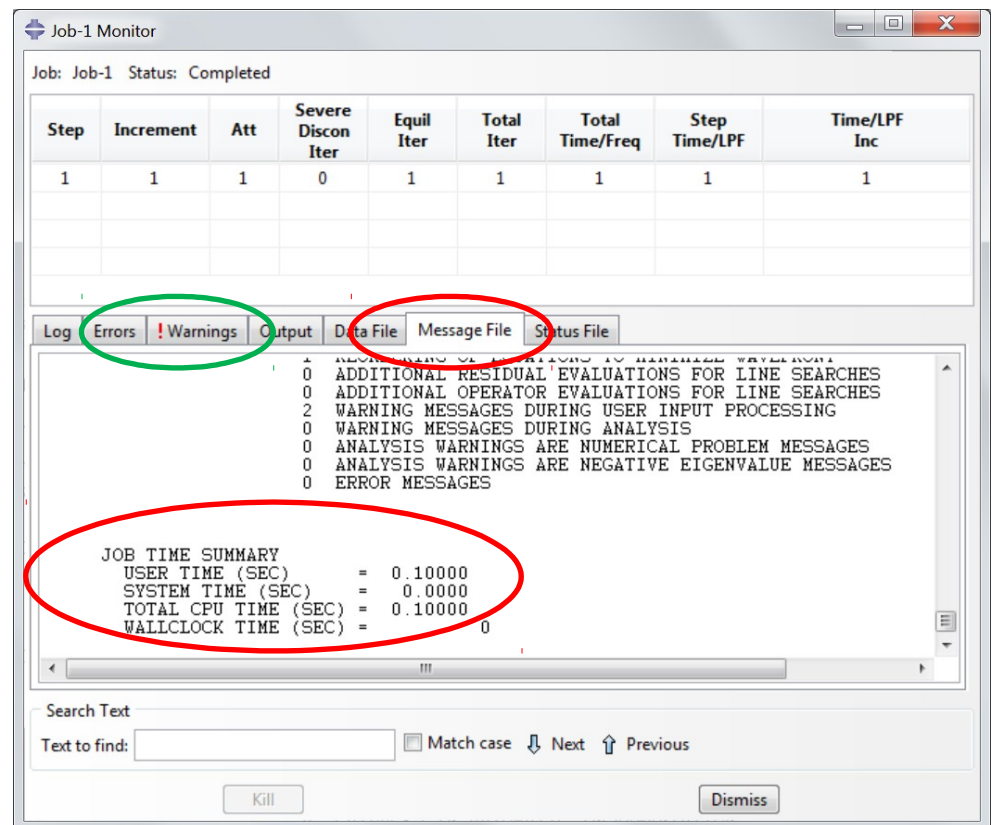
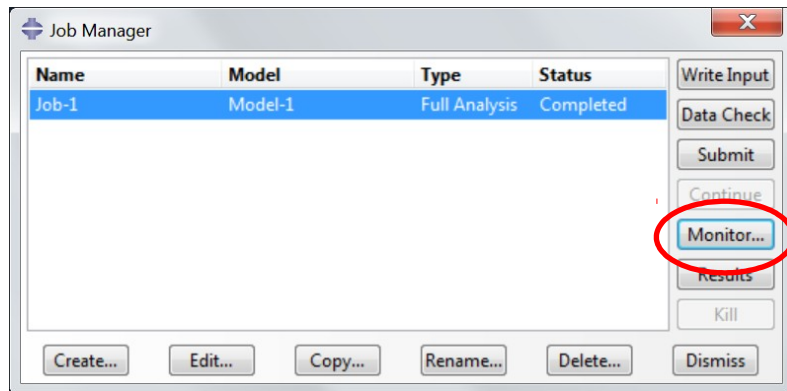
Résultat du calcul

- 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



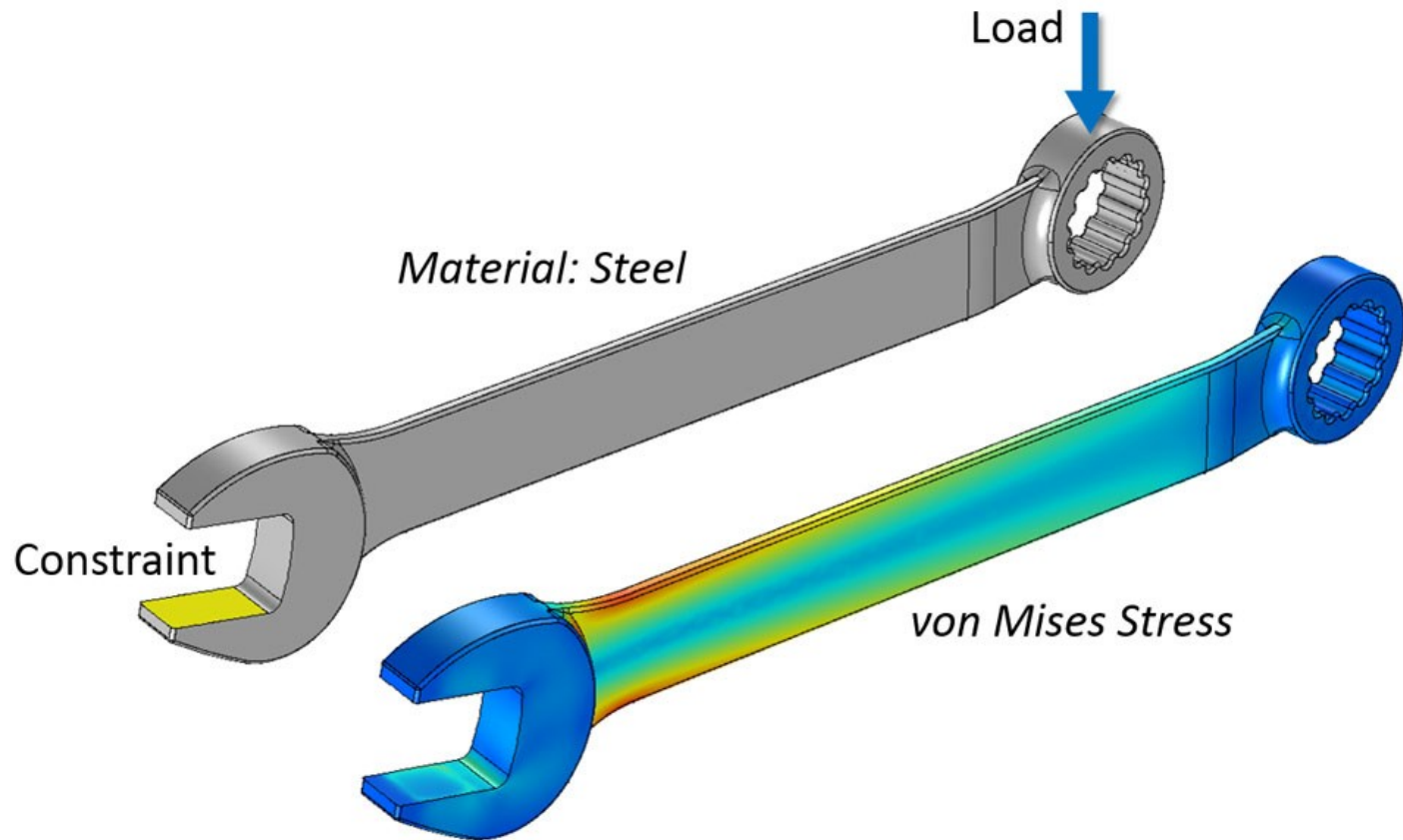
Résultat du calcul

- 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 »

The screenshot displays the Abaqus software interface. The top bar shows the 'Module' set to 'Visualization' and the 'Model' path as 'D:/TP_MDSA_ABAQUS/Poutres/AM...'. The 'Job Manager' dialog box is open, showing a table with the following data:

Name	Model	Type	Status
AM-Poutre	PoutreSectionRect	Full Analysis	Completed

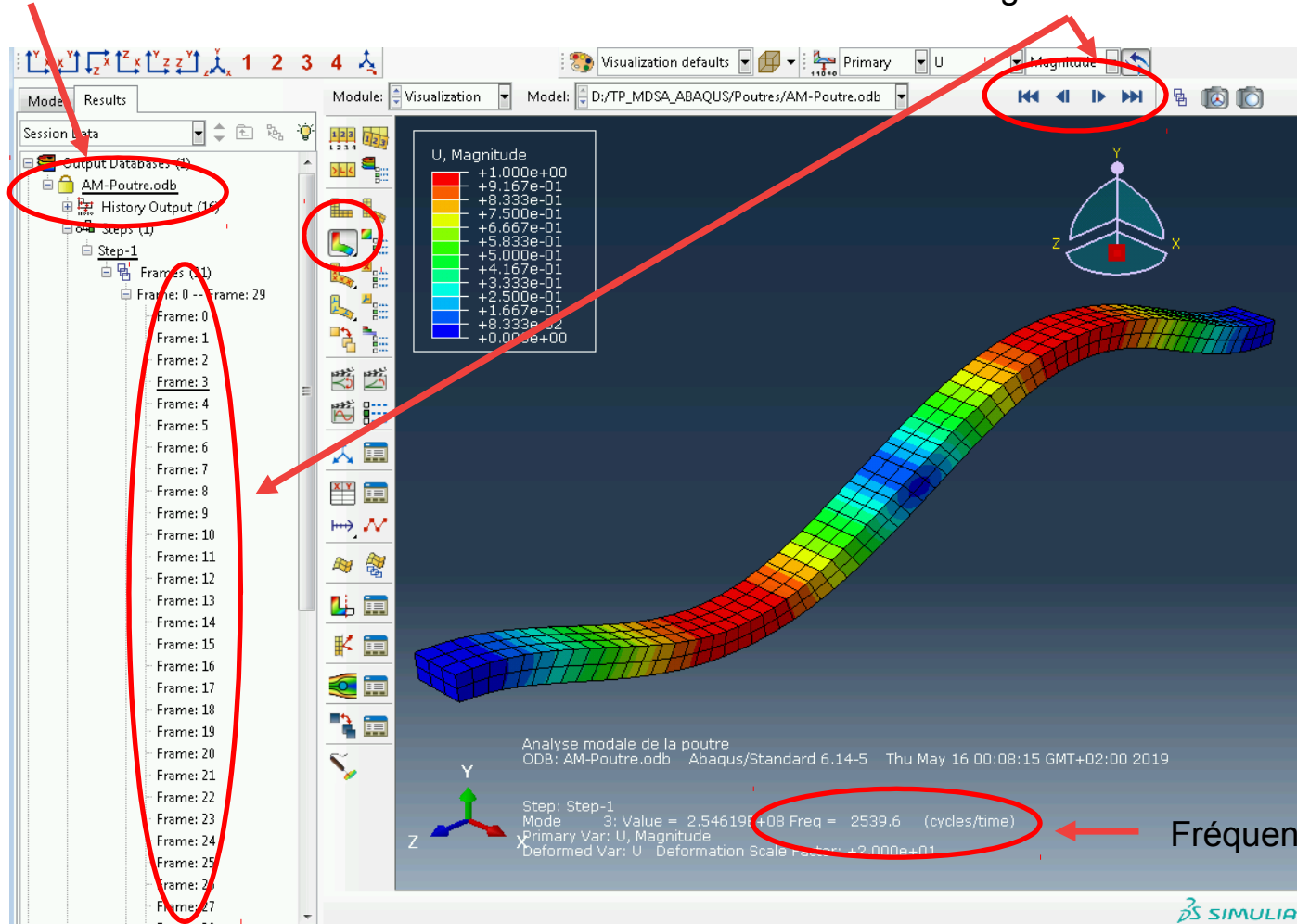
Buttons for 'Results' and 'Monitor...' are circled in red. The main window shows a color scale for 'U, Magnitude' ranging from 0.000e+00 (blue) to 0.000e+00 (red). A 3D model of a beam is visible at the bottom right.

- Trace la déformée

Déformées et fréquences propres

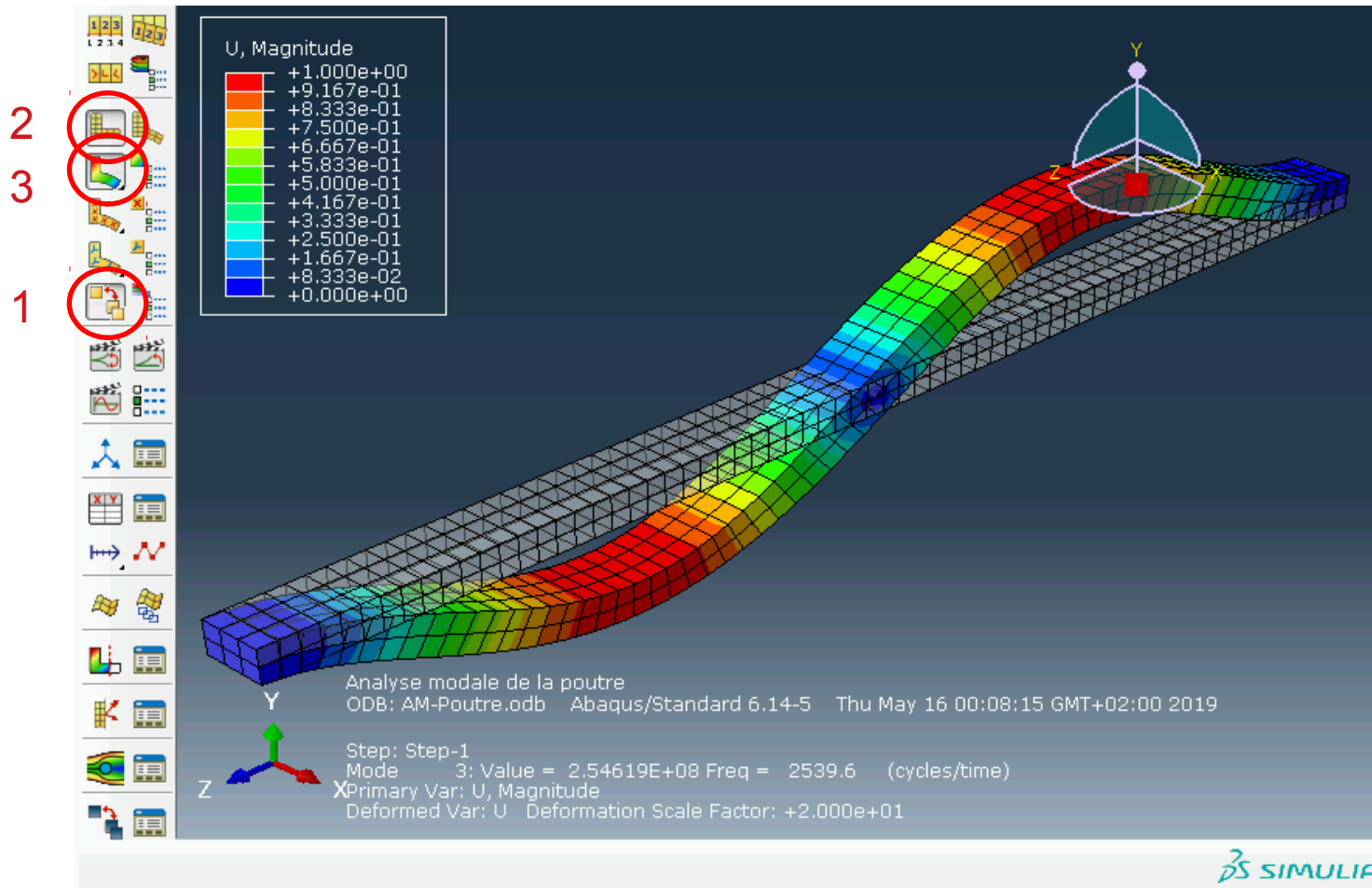
Fichier de résultats

Changement de déformée modale



Fréquence propre

Affichage de la configuration non déformée



Affichage de la configuration non déformée avec couleurs

The image shows the Abaqus/CAE 2021 interface. The 'Plot' menu is open, and the 'Contours' option is selected. The 'On Both Shapes' option is checked. The 'Superimpose Plot Options' dialog box is open, and the 'Transparency' option is checked. A 3D model of a curved beam is shown with a color gradient representing displacement. The color scale ranges from -1.197e+02 (blue) to +1.172e+02 (red).

1

2

U, U2

+	1.172e+02
+	9.748e+01
+	7.773e+01
+	5.799e+01
+	3.824e+01
+	1.850e+01
-	1.244e+00
-	2.099e+01
-	4.073e+01
-	6.048e+01
-	8.022e+01
-	9.997e+01
-	1.197e+02

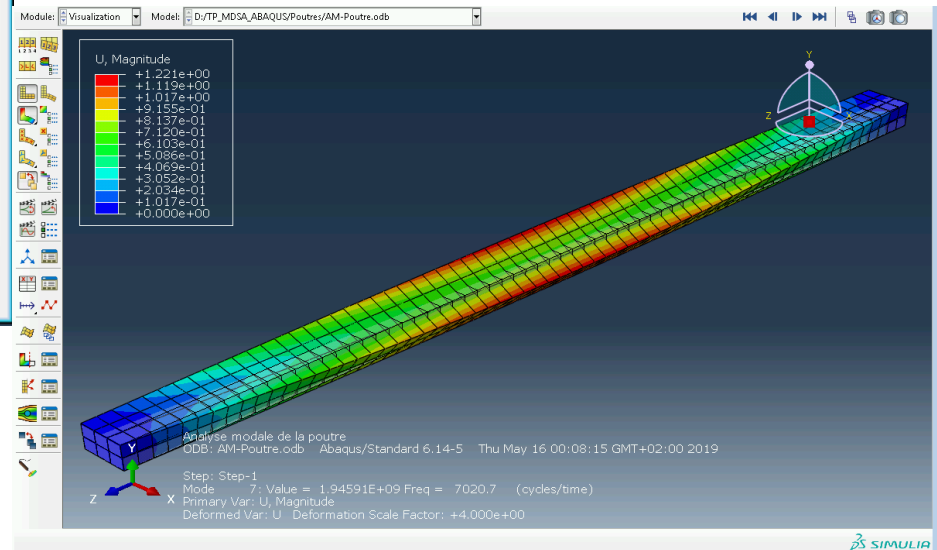
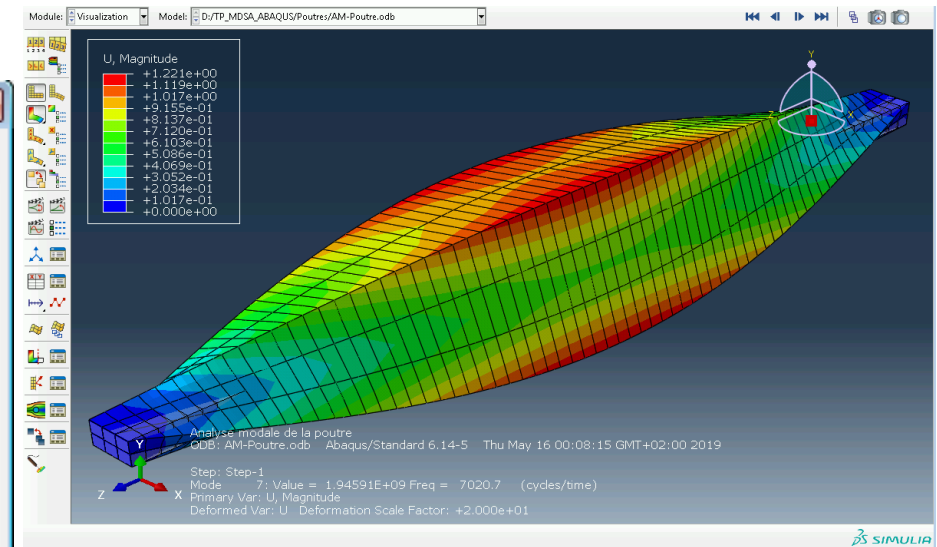
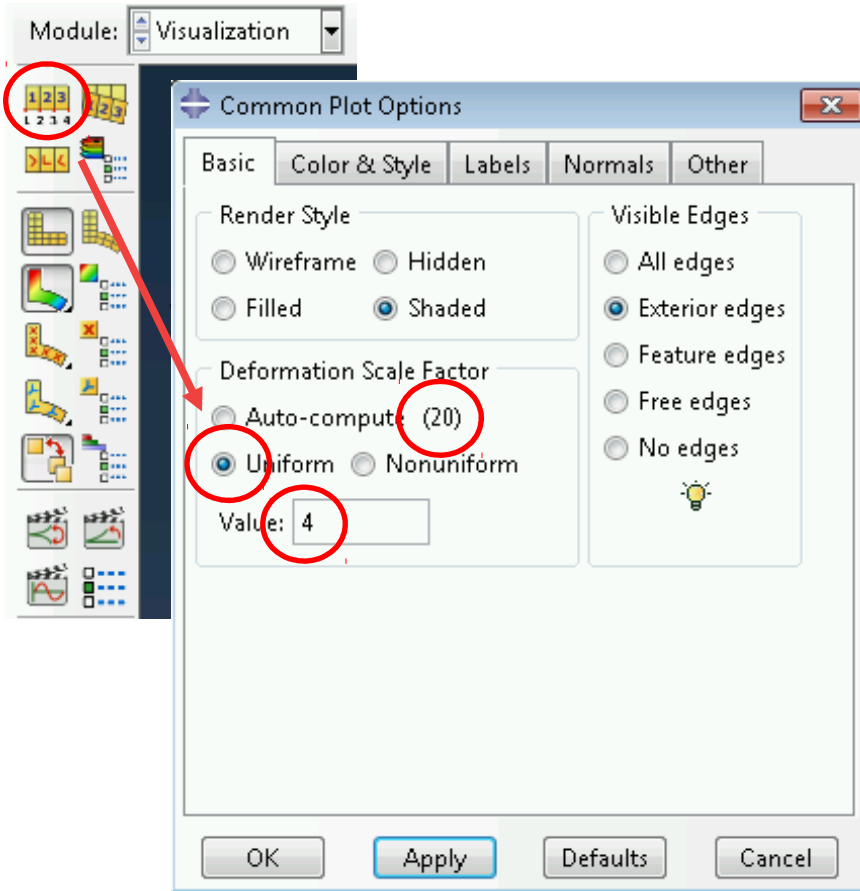
Standard 2021 Wed Feb 15 10:25:57 Paris, Madrid 2023

Freq = 534.35 (cycles/time)

Factor: +1.000e-01

2886 elements have been generated.
The job input file "ModalAnalysis" has been created.
Job ModalAnalysis: Analysis has been submitted.
Job ModalAnalysis: Abaqus/CAE has been started.
Job ModalAnalysis completed successfully.

Réglage du facteur d'échelle



Animation des déformées

Module: Visualization Model: D:/TP_MDSA_ABAQUS/Poutres/AM-Poutre.odb

Scale Factor: +0.71

U, Magnitude

+	1.000e+00
+	8.333e-01
+	6.667e-01
+	5.000e-01
+	3.333e-01
+	1.667e-01
+	8.941e-08
-	1.667e-01
-	3.333e-01
-	5.000e-01
-	6.667e-01
-	8.333e-01
-	1.000e+00

1

2

Animation Options

Player Scale Factor/Harmonic Time History XY Viewports

Mode

Play once Loop Loop backward Swing

Frame Rate

Slow Fast

Show frame counter

OK Apply Cancel

Animation Options

Player Scale Factor/Harmonic Time History XY Viewports

Relative Scaling

Full cycle Half cycle

Frames: 7

OK Apply Cancel

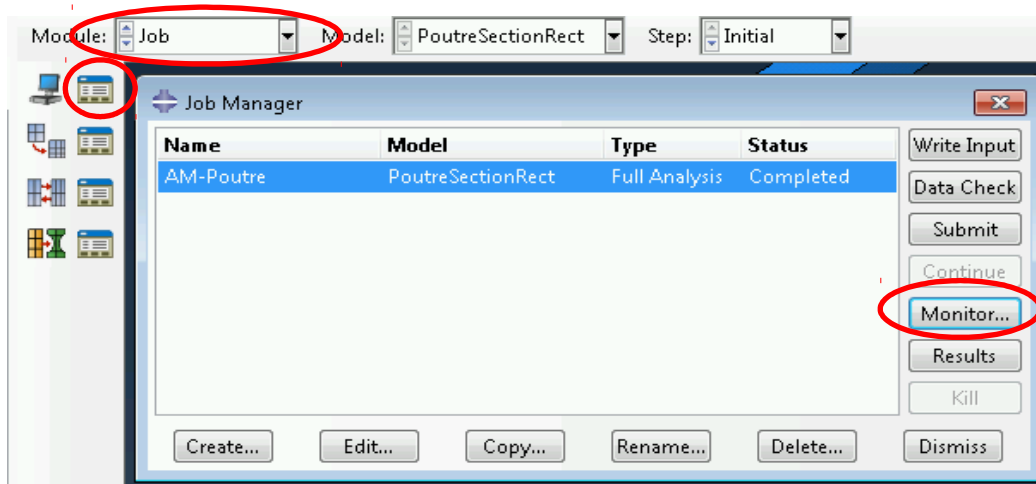
Analise modale de ODB: AM-Poutre.odb

Step: Step-1 Mode 1: Value Primary Var: U, Mag Deformed Var: U Deformation Scale Factor: 72.000e+01

Y Z

SIMULIA

Fréquences propres, temps de calcul



- Lecture du fichier « .dat »
- Ouverture possible avec un éditeur de texte (Notepad++)

AM-Poutre Monitor

Job: AM-Poutre Status: Completed

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF
1	1	1	0	0	0	0	1e-36

Log Errors Warnings Output Data File Message File Status File

E I G E N V A L U E O U T P U T

MODE NO	EIGENVALUE	FREQUENCY (RAD/TIME)	GENERALIZED MASS (CYCLES/TIME)
1	3.42212E+07	5849.9	931.04
2	6.85255E+07	8278.0	1317.5
3	2.54619E+08	15957.	2539.6
4	4.99305E+08	22345.	3556.3
5	9.52066E+08	30856.	4910.8
6	1.81940E+09	42654.	6788.7
7	1.94591E+09	44112.	7020.7
8	2.51560E+09	50156.	7982.5

AM-Poutre Monitor

Job: AM-Poutre Status: Completed

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF
1	1	1	0	0	0	0	1e-36

Log Errors Warnings Output Data File Message File Status File

ANALYSIS COMPLETE

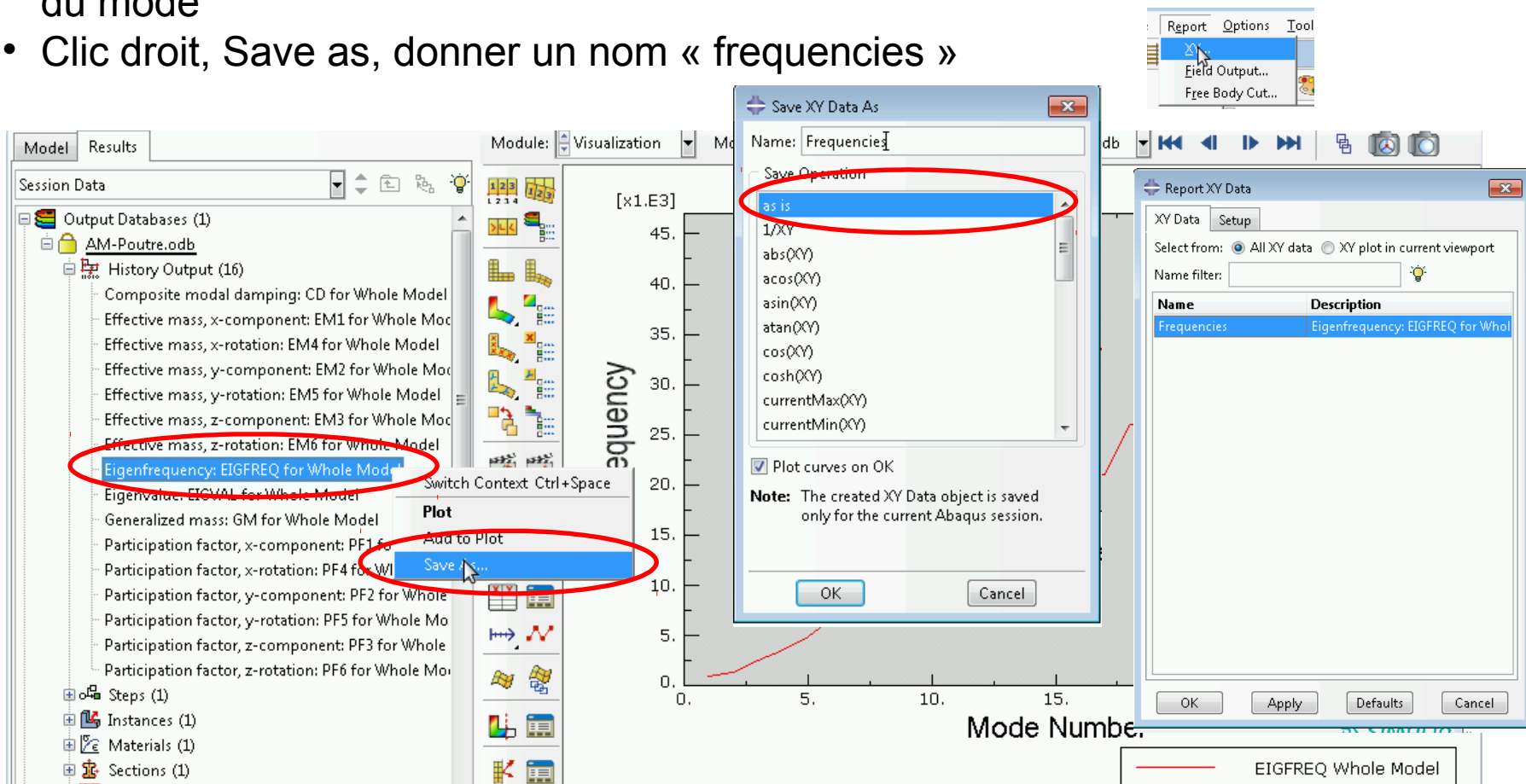
JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC)	=	0.90000
SYSTEM TIME (SEC)	=	0.20000
TOTAL CPU TIME (SEC)	=	1.1000
WALLCLOCK TIME (SEC)	=	1.

0.0000
0.0000
0.0000
0.0000
0.0000
0.0000

Récupération des fréquences propres dans un fichier

- Cliquer 2 fois pour obtenir le graphe des fréquences en fonction du numéro du mode
- Clic droit, Save as, donner un nom « frequencies »



Récupération des fréquences propres dans un fichier

- Report → XY
- On sauve un fichier text « *.rpt » qui contient la liste des fréquences propres.
- Ouverture du fichier « .rpt » avec Excel ou un éditeur de texte.

