

RECOMMANDATIONS POUR LES TRAVAUX PRATIQUES

Consignes générales

- respecter le planning de rotation qui vous est proposé,
- respecter le matériel qui vous est confié,
- ranger les tables de manipulation avant de partir,
- la constitution des groupes de TP doit rester identique.

Préparation des TP

Les TP doivent être préparés avant chaque séance :

- Lecture du sujet et du cours contenant les savoirs associés (apporter celui-ci)
- Effectuer les calculs préalables s'il y en a

Recommandations et déroulement des TP

Les TP doivent être préparés avant chaque séance. Comme il n'y a qu'un enseignant pour l'encadrement des TP, ce dernier établit une rotation de ses interventions en fonction de la longueur, de la difficulté et des possibilités de découpage des différents TP. Il est donc recommandé de mettre à profit le délai plus ou moins long, séparant le début de la séance de la première intervention de l'enseignant, pour parfaire la phase préparatoire :

- en lisant attentivement **tout le texte** de la manipulation,
- en repérant le matériel qui devra être utilisé,
- en faisant les développements théoriques demandés,
- en commençant, si possible, la rédaction de la partie théorique.

Pour tirer bénéfice des TP, il est impératif de faire les mesures avec le plus grand soin. Il est souhaitable que les étudiants participent à tour de rôle à ces mesures.

La durée des TP est de 4h. Il ne sera toléré aucun départ anticipé sans remise du compte rendu du TP correspondant à la séance.

Le compte rendu devra impérativement être remis à l'enseignant à la fin de la séance. Passé ce délai, une pénalité sera appliquée. Le cas particulier de certains TP est laissé à l'appréciation du responsable du TP.

Rédaction des comptes rendus

- La forme devra être soignée. Quant au fond, il est inutile de recopier le texte de la manipulation.
- Il doit notamment contenir la réponse aux différentes questions posées (dans l'ordre si possible)
- Sélectionnez les informations à mettre dans le compte rendu. Un tableau de valeur sans commentaire et sans mise en évidence d'un résultat (surlignage...) ne sera même pas regardé par le correcteur.
- Vous devez faire des commentaires, des critiques, des remarques sur la comparaison entre la partie numérique et la partie théorique.

- Les valeurs numériques doivent toujours porter l'indication de l'unité dans laquelle elles sont exprimées, et lorsque cela est possible, l'estimation (ou mieux le calcul) de l'erreur correspondante.
- Chaque observation ou chaque résultat devra être commenté et expliqué (une constatation n'est pas une explication), même lorsqu'il s'agit d'un échec (exemple : résultats numériques très différents des résultats théoriques).
- Une conclusion à votre compte rendu est indispensable.

Notation

Les critères pris en compte pour la notation sont

- La préparation du TP avant la séance
- Le comportement du groupe au cours de la séance
- La propreté de la manip après la séance

Vous trouverez ci-dessous les titres des différents TP ainsi que la partie à préparer en avance entre parenthèses:

TP1 : Modélisation en 3D d'une poutre en matériaux homogène, isotrope et élastique sous sollicitation statique (lecture).

TP2 : Modélisation en 2D d'un treillis plan à 7 barres en matériaux homogène, isotrope et élastique sous sollicitation statique (lecture).

TP3 : Modélisation en 2D d'une poutre de forme rectangulaire trouée, homogène et isotrope en élastoplasticité sous sollicitation statique (lecture).

TP N°1

Objectif de la séance : Prise en main du code de calcul par éléments finis ABAQUS

Application : Modélisation 3D d'une poutre en matériau homogène, isotrope et élastique Sous sollicitation statique

Principaux objectifs

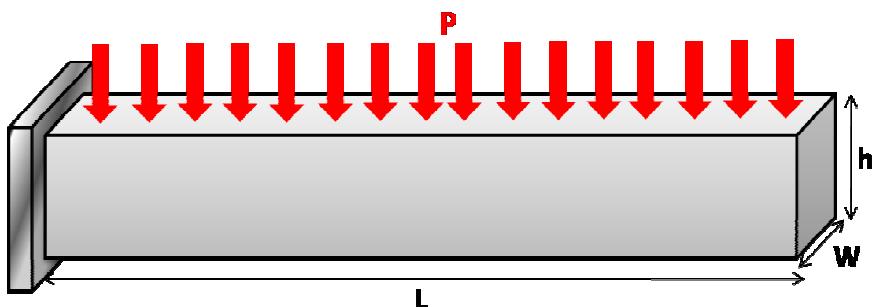
Les principaux objectifs sont :

1. Prise en main d'un code de calcul par éléments finis (EF) à travers un problème de mécanique des matériaux. Apprendre les différentes étapes d'étude par éléments finis :
 - a. Passage du problème réel au modèle EF
 - b. Dessin de la pièce
 - c. Propriétés du matériau
 - d. Conditions aux limites
 - e. Maillage
 - f. Vérification
 - g. Calcul
 - h. Analyse des résultats et discussions
 - i. Conclusion
2. Tester d'autres types de conditions aux limites : appui simple ou libre à la place de l'encastrement et une charge répartie sur une partie au milieu de la poutre par exemple.

Application à traiter

Poutre encastrée sous charge répartie

Etude 1 : A l'aide d'Abaqus CAE, réalisez une étude par éléments finis du problème suivant
Etude 3D d'une poutre encastrée sous charge répartie $\sigma = 0.1 \text{ Mpa}$.



Longueur de la poutre $L = 0.2 \text{ m}$, section rectangulaire : $W = 0.02 \text{ m}$, $h = 0.01 \text{ m}$.

Le matériau est élastique isotrope et homogène «on prendra les propriétés d'un Aluminium classique» : $E = 75 \text{ GPa}$, $v = 0,3$.

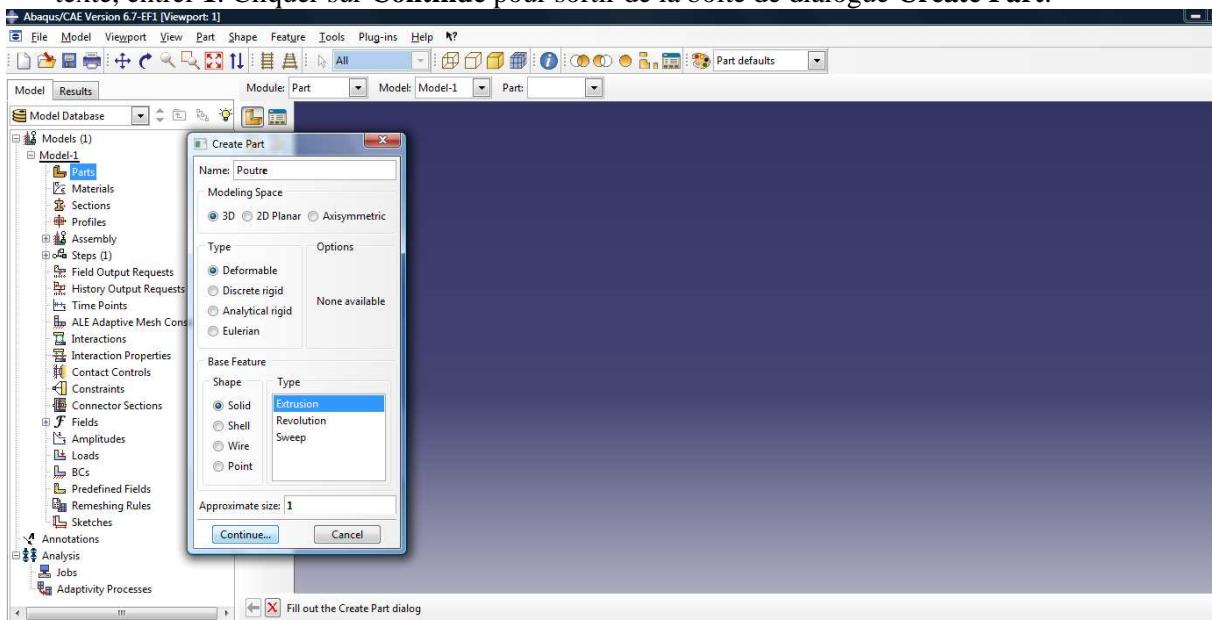
- Etudier l'effet du maillage
- Tracer le déplacement U_1 en fonction de la longueur L de la poutre (par exemple).

Etude 2 : tester d'autres types de conditions aux limites : appui simple ou libre à la place de l'encastrement et une charge répartie sur une section au milieu de la poutre par exemple.

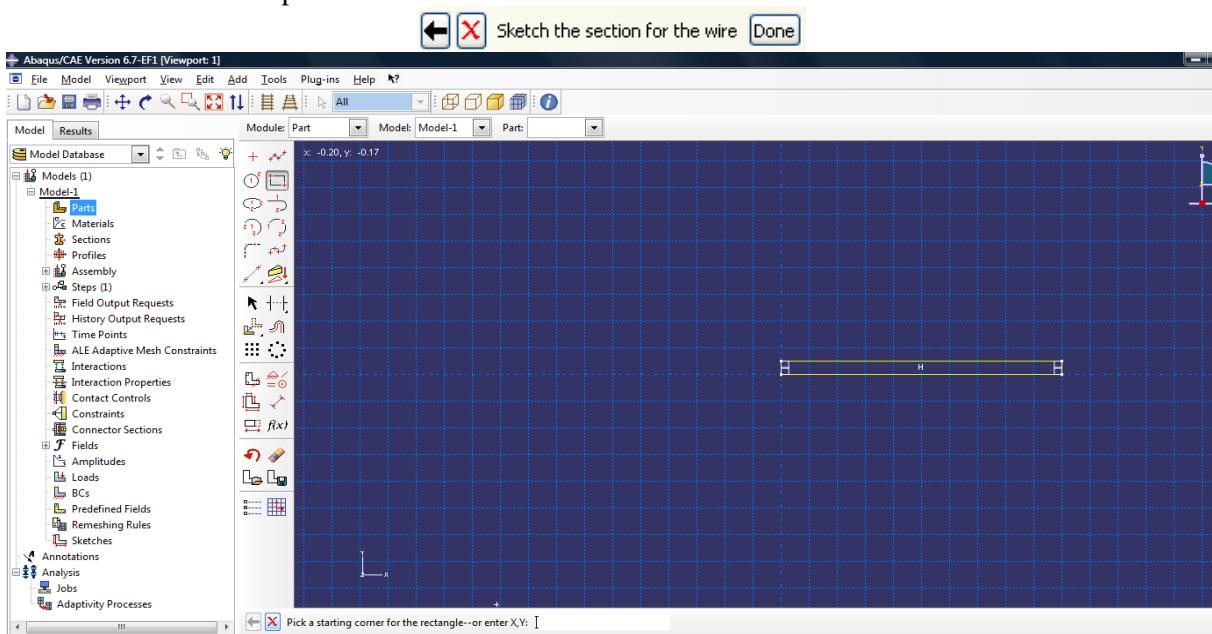
Les différentes étapes de la modélisation sur ABAQUS pour cette étude

1. Définir la géométrie du modèle

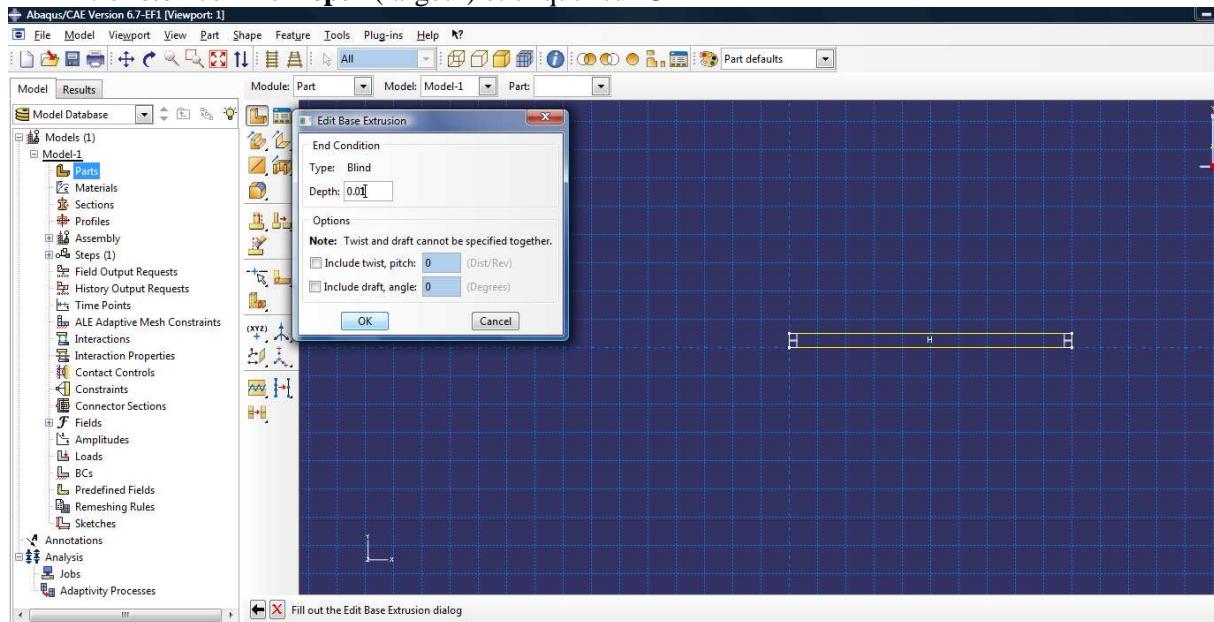
- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **Parts** pour créer une nouvelle pièce. La boîte de dialogue **Create Part** apparaît.
- Nommer la pièce (par exemple **Poutre**) et choisir **3D** pour un solide bidimensionnel, **Deformable** et **Solid** dans la zone de dialogue de la pièce à créer. Dans la zone Taille approximative du champ texte, entrer **1**. Cliquer sur **Continue** pour sortir de la boîte de dialogue **Create Part**.



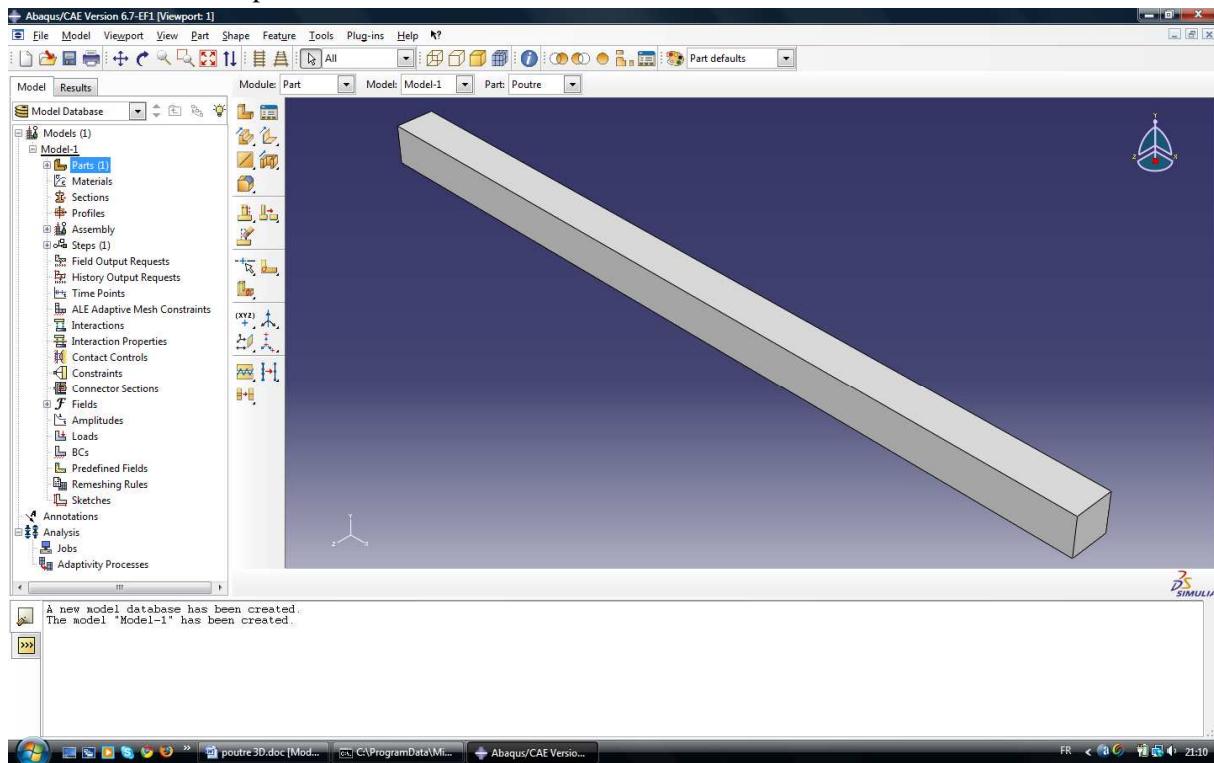
- Cliquer sur l'outil **Create Lines/Rectangle** pour créer les lignes de la poutre. Entrer les coordonnées des deux points : taper **0,0,0,01** puis entrée au clavier, faites de même pour le point **0,2,0**.
- Cliquer sur **Cancel** pour sortir de l'outil **Create Lines/ Rectangle** .
- Sélectionner **Done** pour sortir de mode dessin.



- La boîte de dialogue **Edit Base Extrusion** apparaît.
- Entrer **0.02** comme **Depth** (largeur) et cliquer sur **Ok**



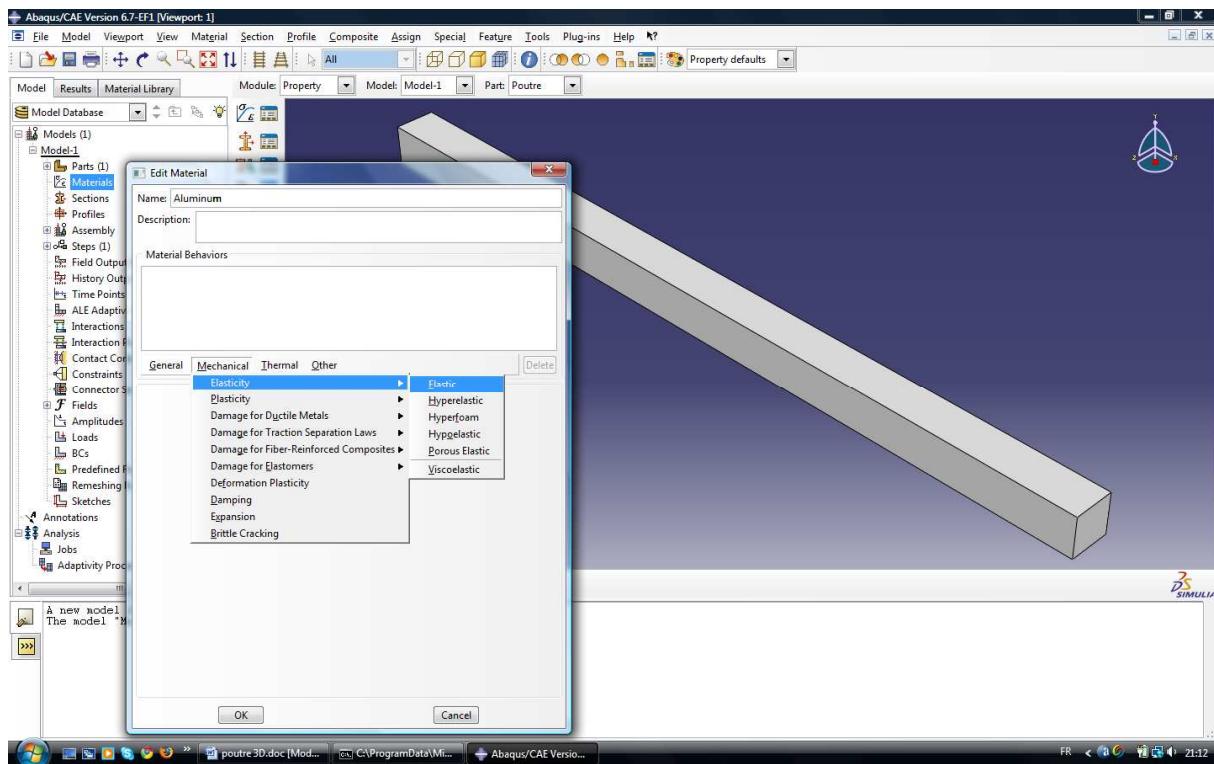
Le dessin final de la poutre est obtenu :



2. Définition des propriétés du matériau

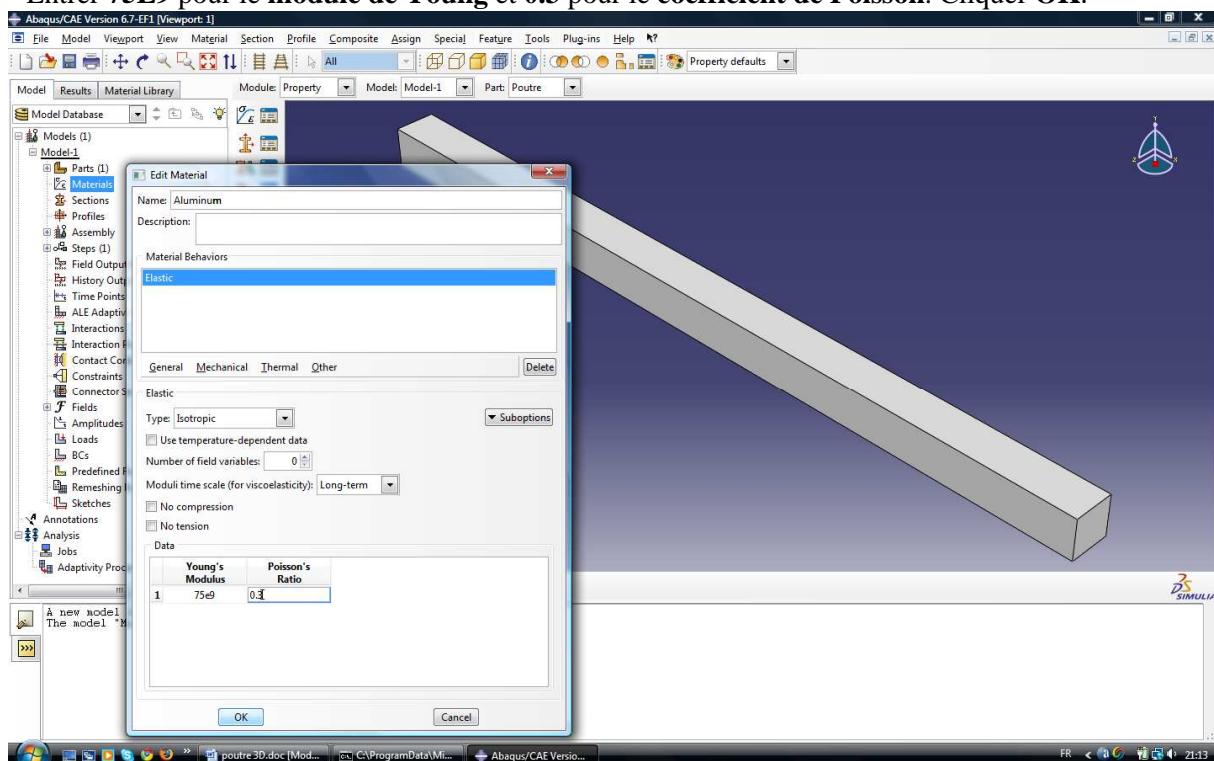
Pour définir les propriétés du matériau :

- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **Materials** pour créer un nouveau matériau. La boîte de dialogue **Edit Material** apparaît.
 - Nommer le matériau **Aluminium**
- Ensuite, il va falloir donner les caractéristiques de notre matériau. Vous pouvez trouver toutes les caractéristiques que nous pouvons donner (plasticité, conductivité...).
- Sélectionner **Mechanical_Elasticity_Elastic**.



ABAQUS/CAE affiche les données à rentrer pour ce type de matériau

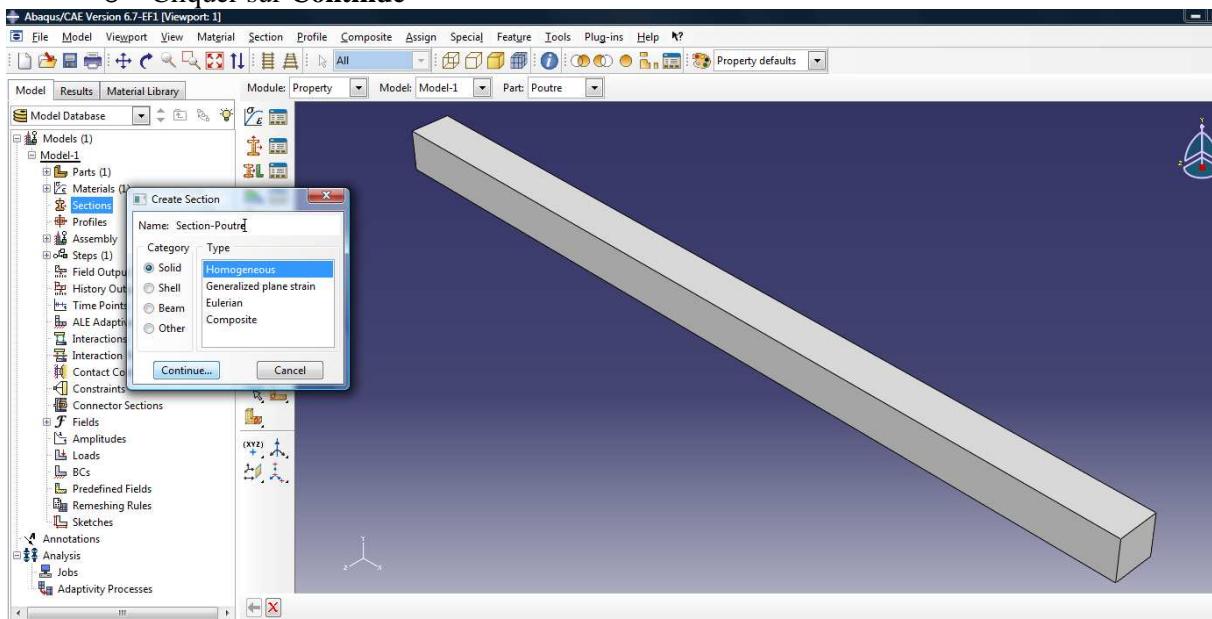
- Entrer **75E9** pour le module de Young et **0.3** pour le coefficient de Poisson. Cliquer OK.



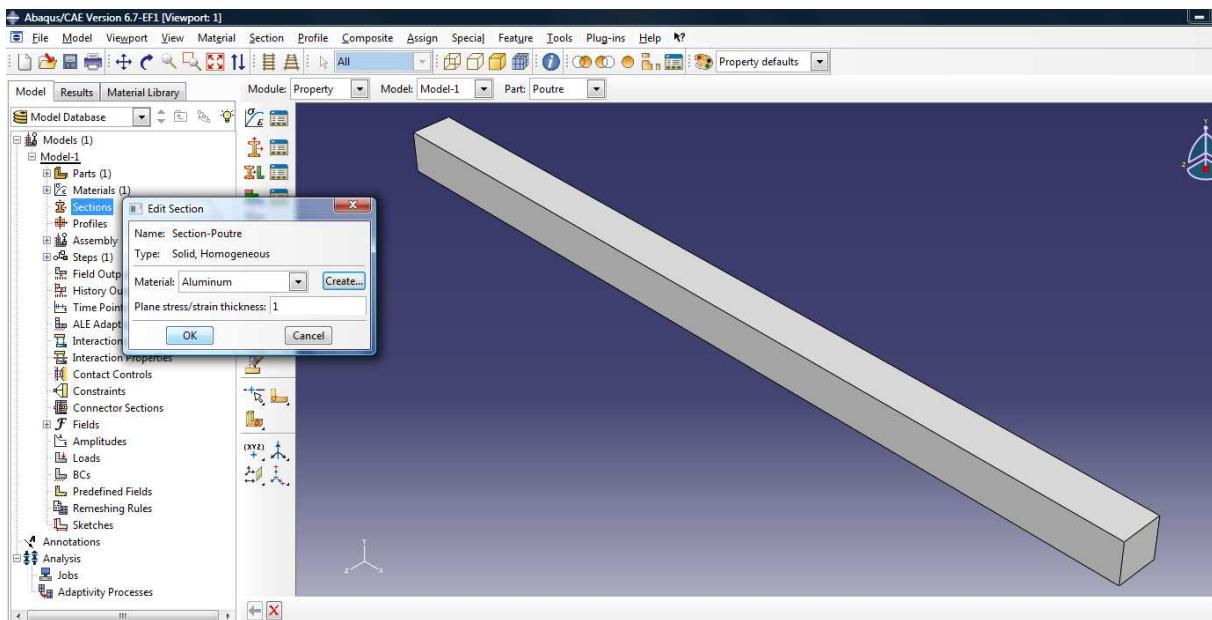
3. Définir et affecter les propriétés de la section

- Double cliquer sur **Sections** dans l'arbre afin de créer une section.
- Dans la boîte de dialogue **Create Section**,
 - Nommer la section : **Section-Poutre**.
 - Choisir dans la liste des catégories **Solid**.

- Dans la liste des types, choisir **Homogeneous**.
- Cliquer sur **Continuer**

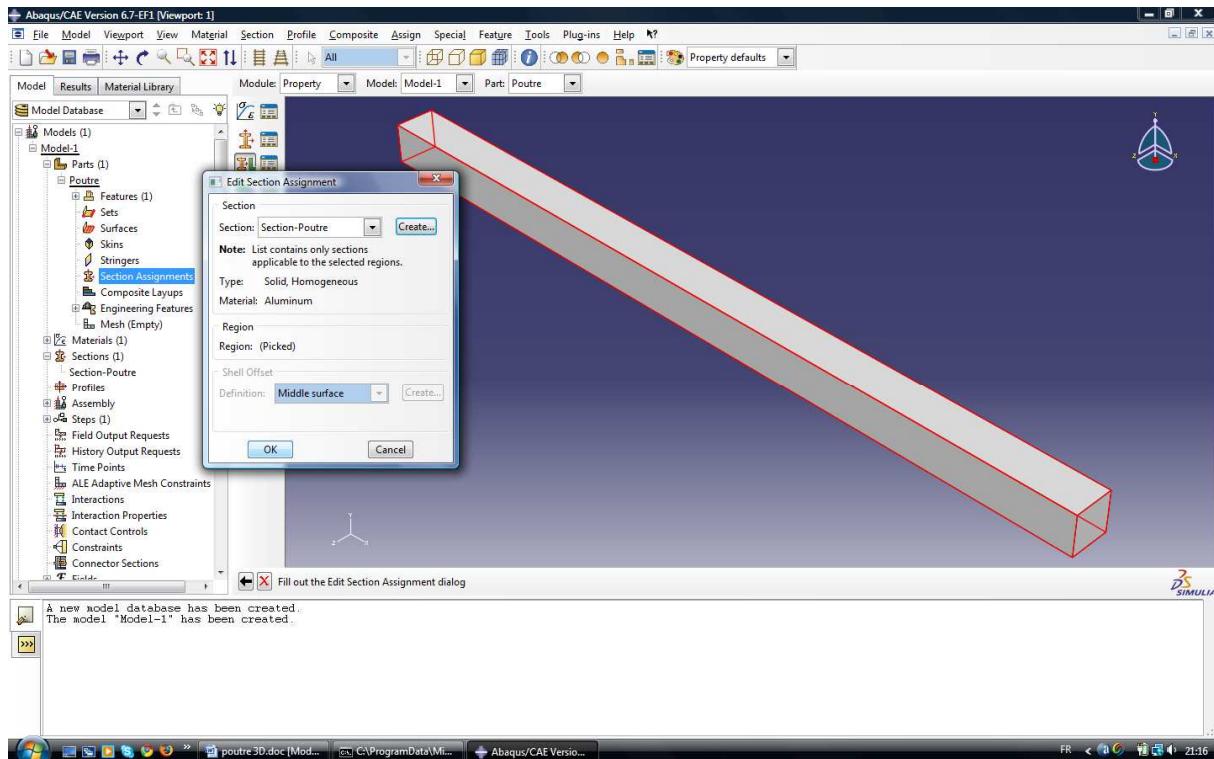


La boîte de dialogue **Edit Section** apparaît, Cliquer sur **OK**



Ensuite, il faut affecter la section à la poutre.

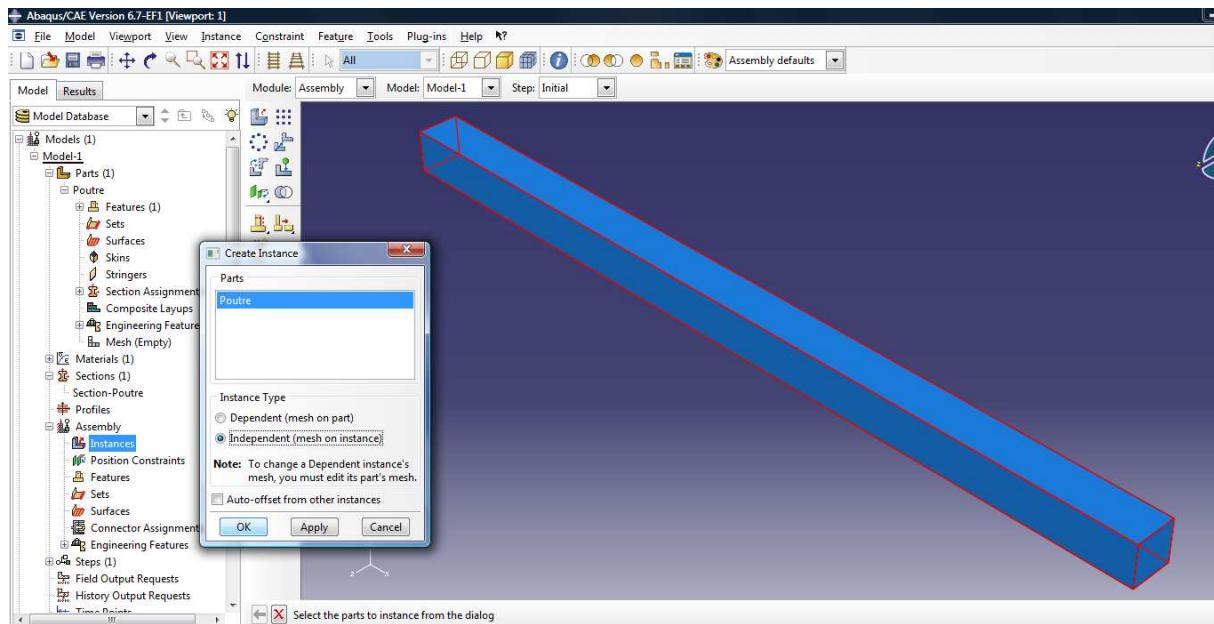
- Dans l'arbre du modèle, ouvrir l'arborescence de **Parts** en cliquant sur «+» puis celle de **Poutre**.
- Double-cliquer sur **Section Assignment**. Des instructions sont alors données dans la zone **prompt area**.
- Sélectionner toute la géométrie en cliquant en haut à gauche de la fenêtre, déplacer le curseur en créant une boîte autour de la poutre, puis relâcher la souris.
- Valider votre choix en cliquant sur **Done**.
- La boîte de dialogue **Edit Section Assignment** s'ouvre alors, choisir **Section-Poutre** puis accepter **OK** et fermer la boîte de dialogue.



4. Création d'un assemblage (assembly)

Pour créer une instance de la pièce :

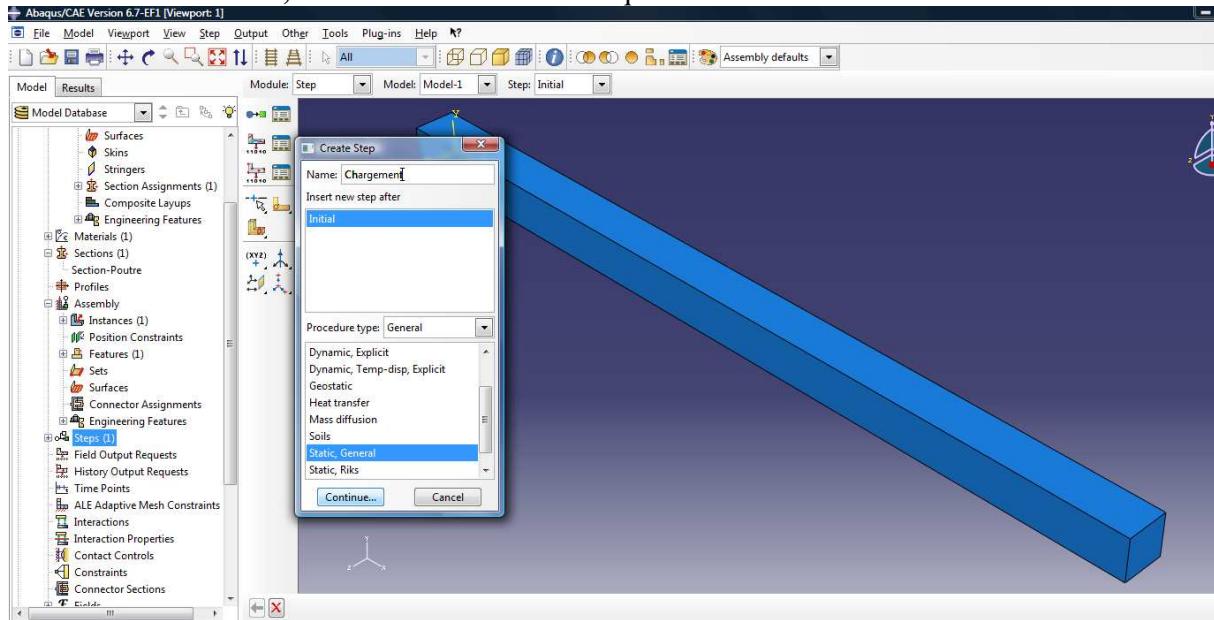
- Dans l'arbre du modèle, développer la branche **Assembly** et double cliquer sur **Instances** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Instance**.
- Cocher **Independent** dans Instance Type.
- Choisir Poutre puis **OK**



5. Configuration de l'analyse : étapes d'analyse et spécification des requêtes de sorties

5.1. Définir une étape :

- Dans l'arbre du modèle, double cliquer sur **Steps** pour créer un pas d'analyse.
- Dans la boîte de dialogue **Create Step** Nommer ce pas **Chargement**.
- Sélectionner **General** comme type de procédure.
- Sélectionner **Static, General** dans la liste et cliquer sur **Continue**.

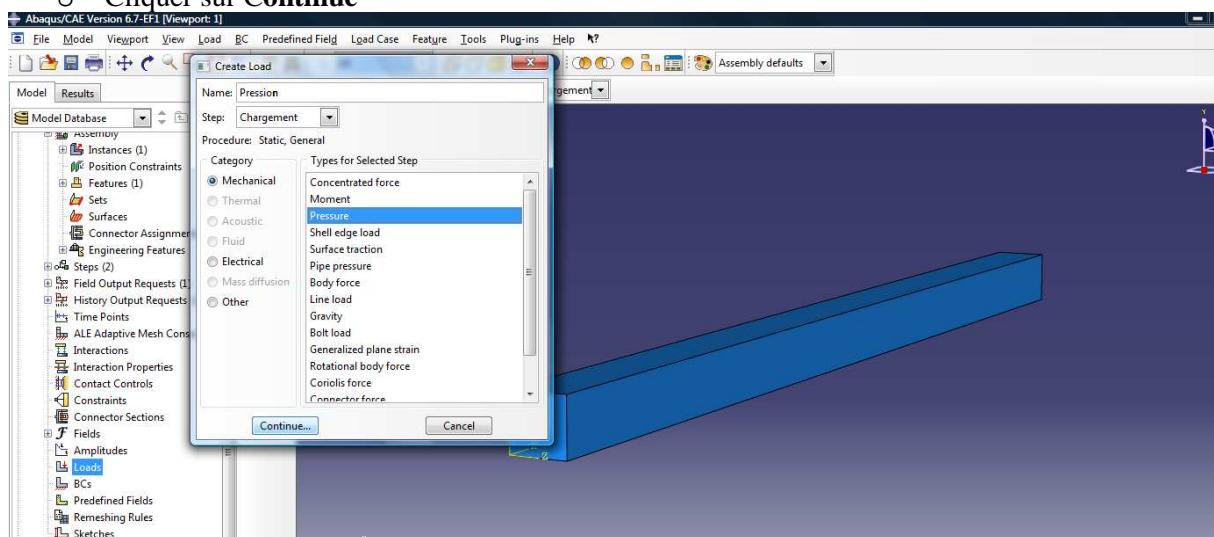


La boîte de dialogue **Edit Step** apparaît alors.

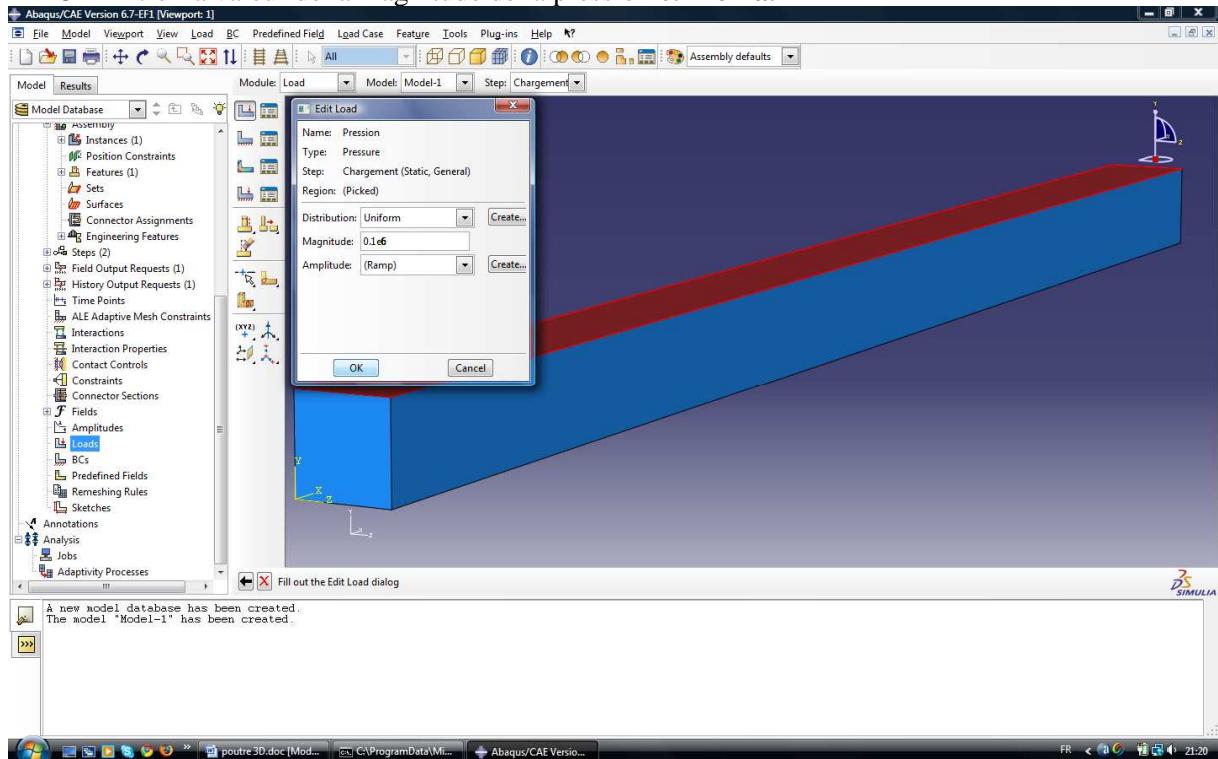
- Valider en cliquant sur **OK**

6. Appliquer le chargement et les conditions aux limites pour le modèle

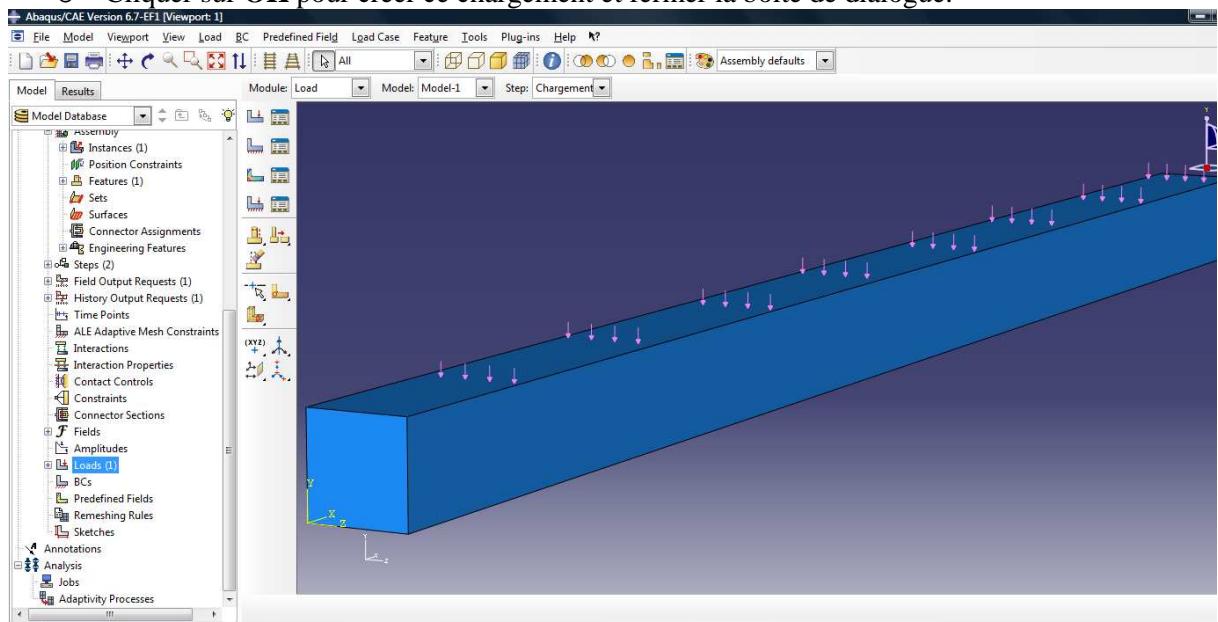
- Dans l'arbre du modèle, double cliquer sur **Loads** pour créer un chargement.
 - Nommer le **Pression**.
 - Choisir l'état **Chargement** comme état dans lequel la force doit être appliquée.
 - Dans la liste **Category**, sélectionner **Mechanical**.
 - Dans la liste **Types for Selected Step**, sélectionner **Pressure**.
 - Cliquer sur **Continue**



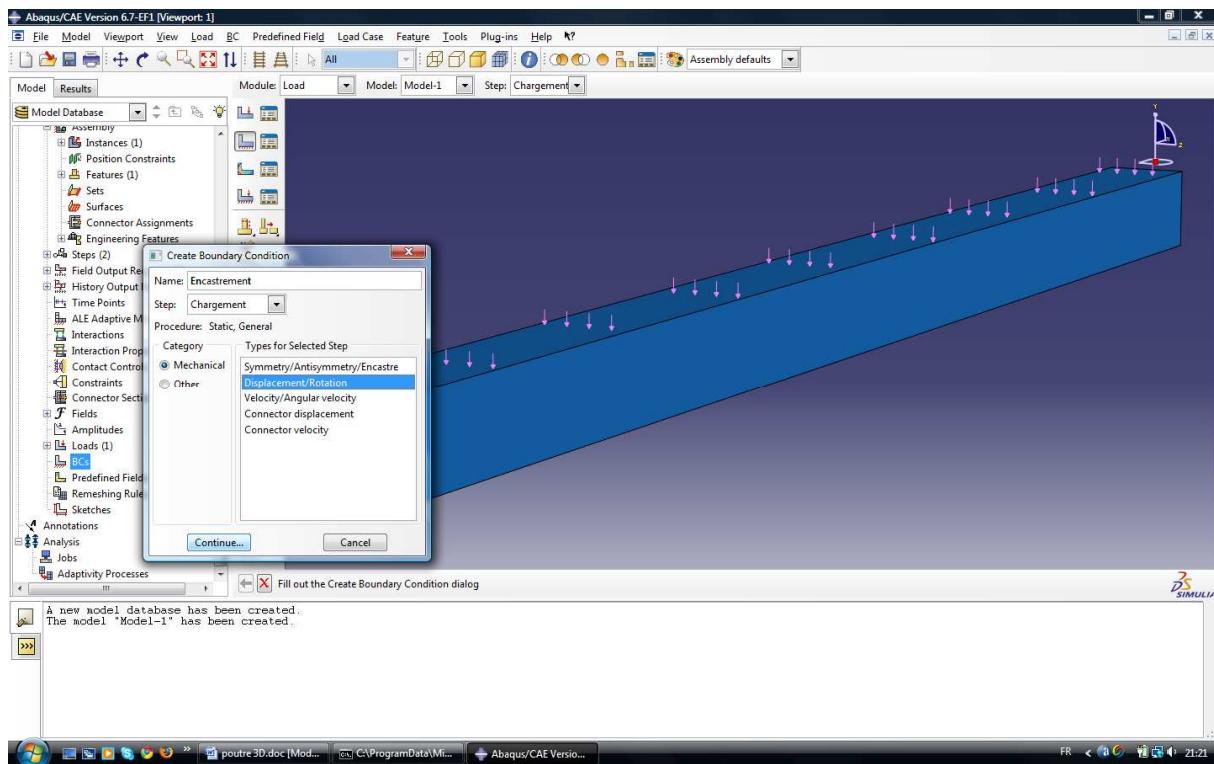
- Sélectionner la surface où on va appliquer le chargement de la poutre.
- Cliquer sur **Done**. La boîte de dialogue **Edit Load** apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue :
 - Entrer la valeur de la magnitude de la pression **0.1E6 Pa**.



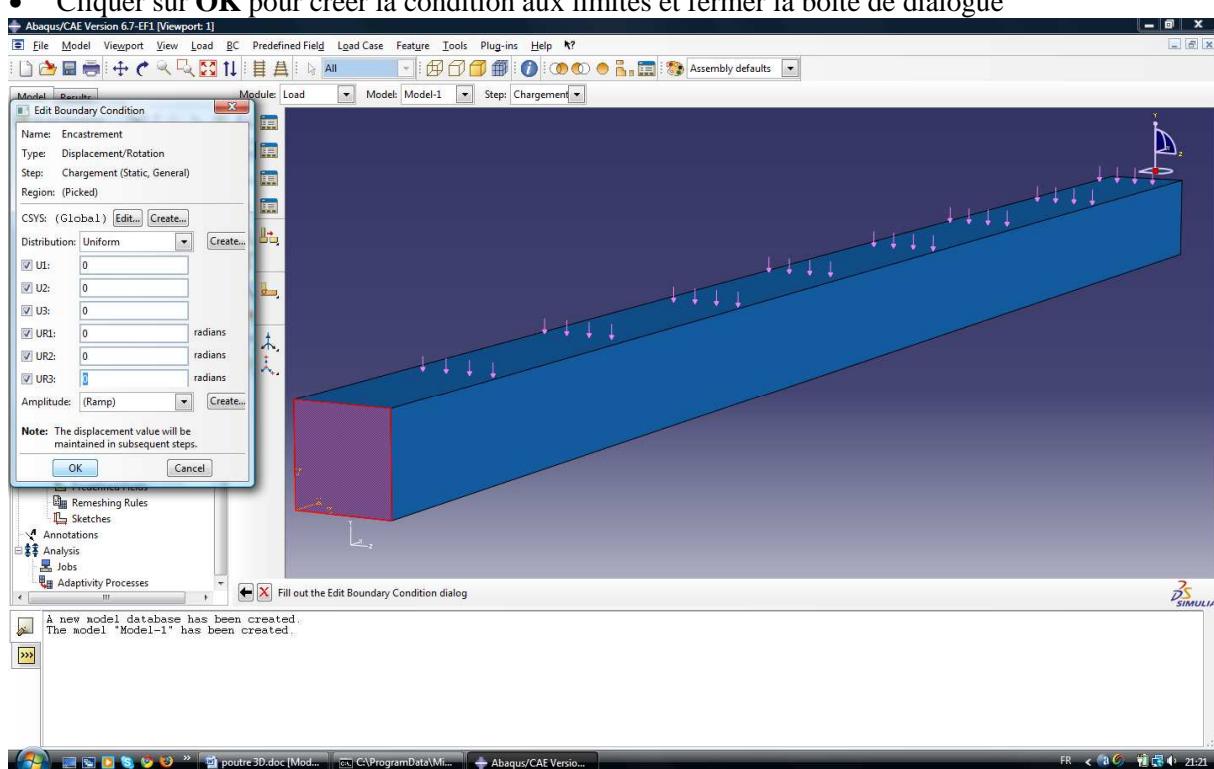
- Cliquer sur **OK** pour créer ce chargement et fermer la boîte de dialogue.

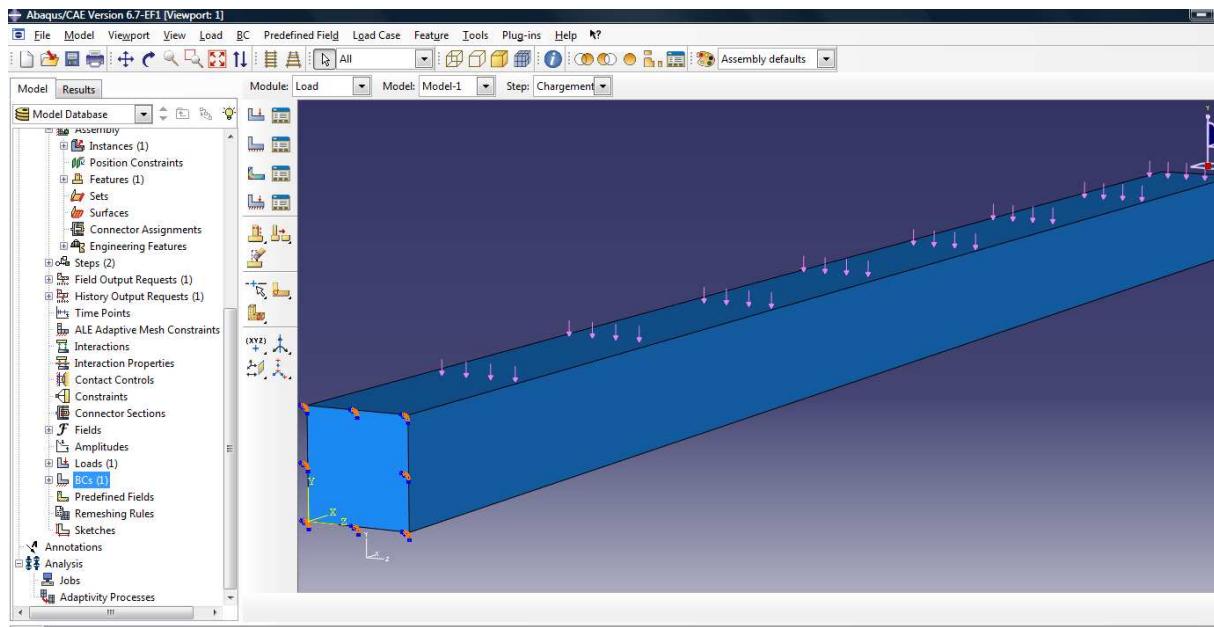


- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **BCs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Boundary Condition**.
 - Nommer la **Encastrement**. Dans la liste des états.
 - Choisir **Chargement** pour définir l'état où la condition sera active.
 - Dans la liste des catégories choisissez **Mechanical**.
 - Dans **Types for Selected Step**, choisissez **Displacement/Rotation** et cliquer sur **Continuer**.



- Sélectionner la surface où cette condition va être appliquée.
- Cliquer avec le bouton 2 de la souris ou cliquer sur **Done**. La boîte de dialogue **Edit Boundary Condition** apparaît.
 - Dans cette boîte, choisir $\mathbf{U}_1=\mathbf{U}_2=\mathbf{U}_3=\mathbf{U}\mathbf{R}_1=\mathbf{U}\mathbf{R}_2=\mathbf{U}\mathbf{R}_3=0$ pour empêcher le déplacement et la rotation dans les directions 1,2 et 3.
- Cliquer sur **OK** pour créer la condition aux limites et fermer la boîte de dialogue

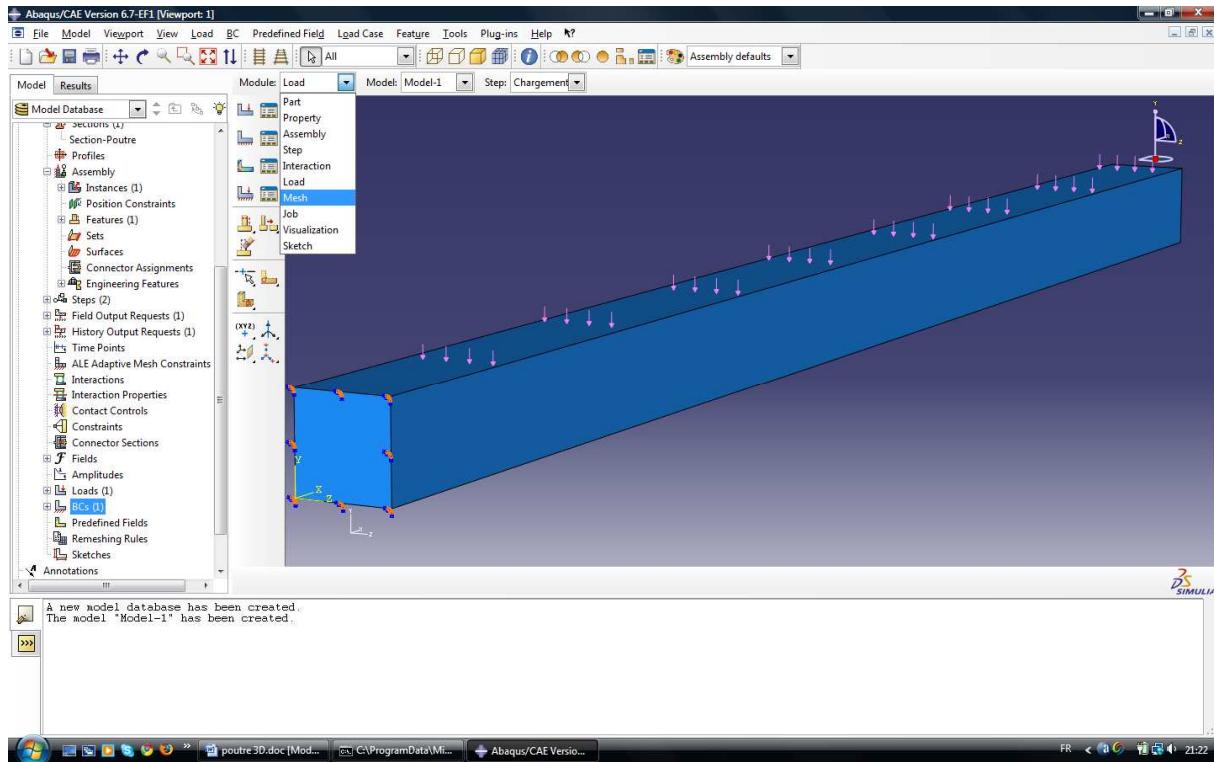




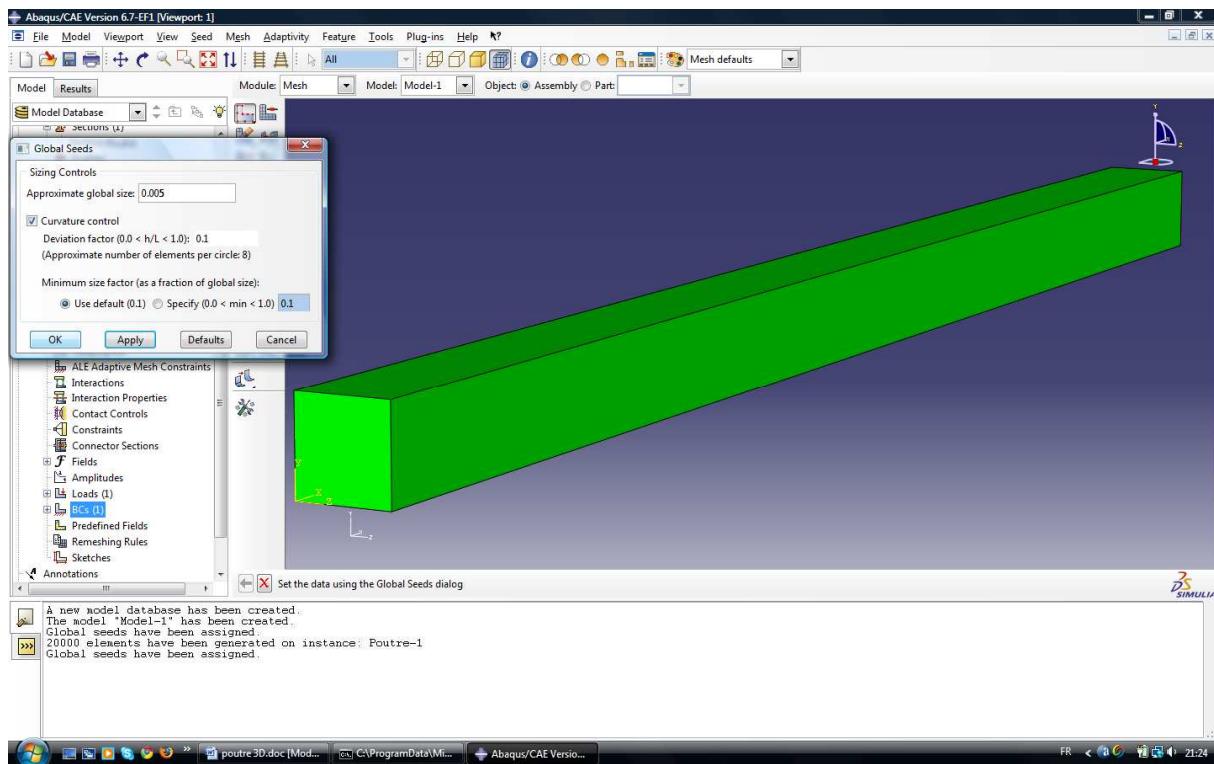
7. Maillage du modèle

7.1. Créer le maillage

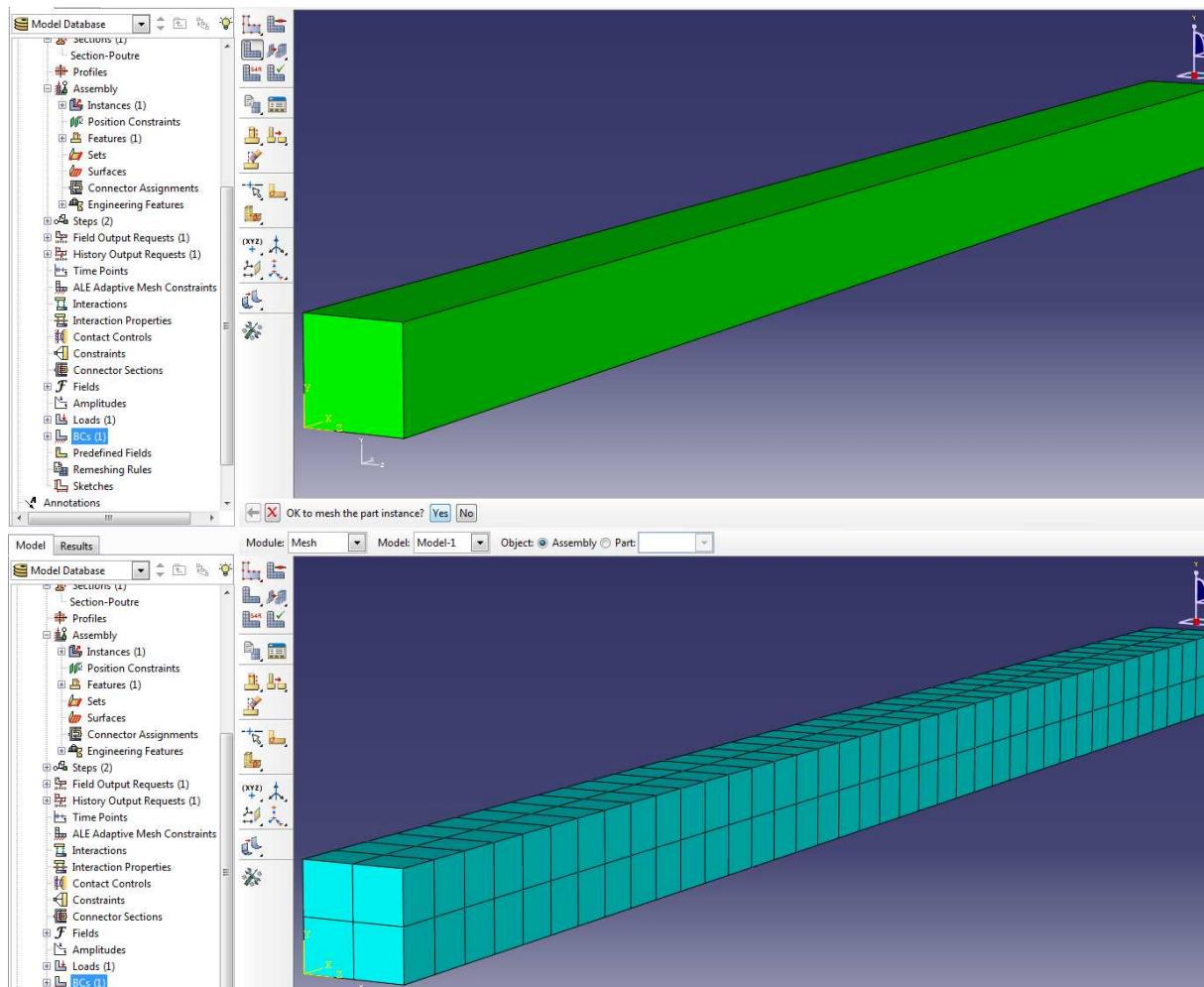
- Sélectionner Mesh dans Module



- A partir de la barre de menus cliquer sur **Seed→Instance**. La boîte de dialogue **Global Seeds** apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue, spécifier une taille approximative des éléments. Choisissez **0.005** pour mailler la poutre.
- Cliquer sur **OK**.
- Cliquer sur **Done**



- A partir de la barre de menu, sélectionnez Mesh→Instance.
- Pour mailler la pièce, cliquez sur Yes.



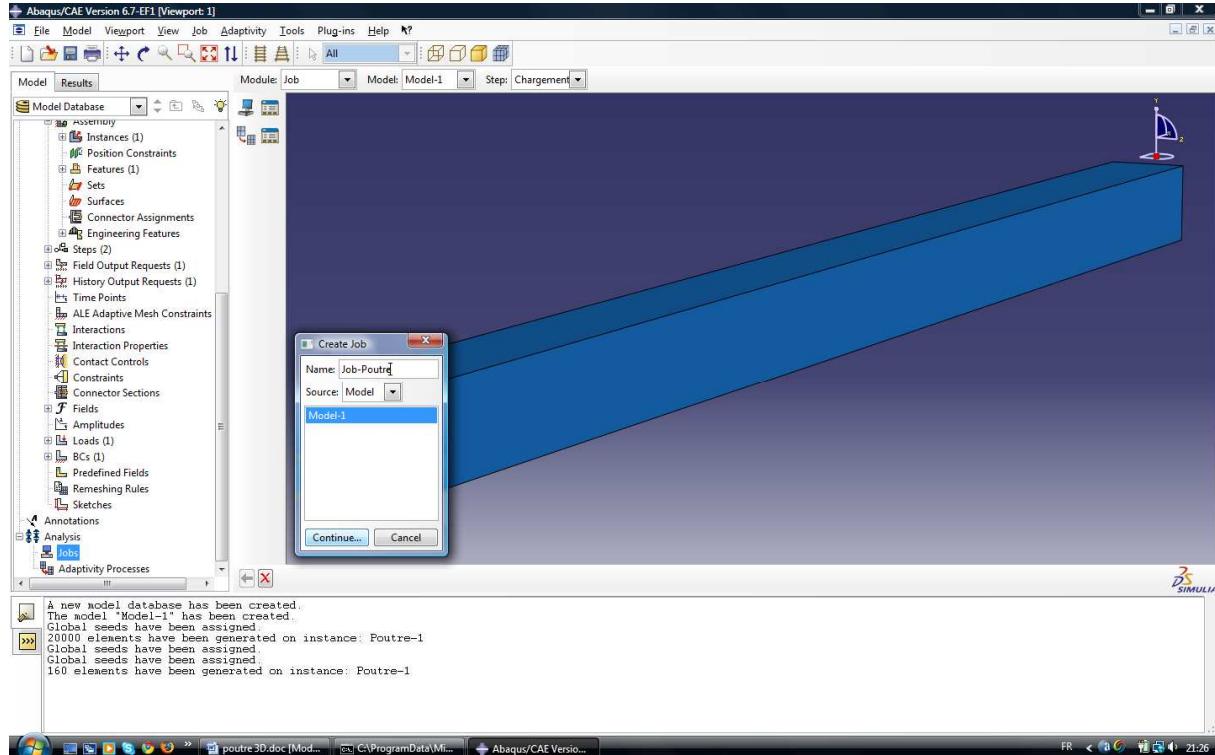
8. Création et lancement d'un calcul

8.1. Création d'un calcul (job)

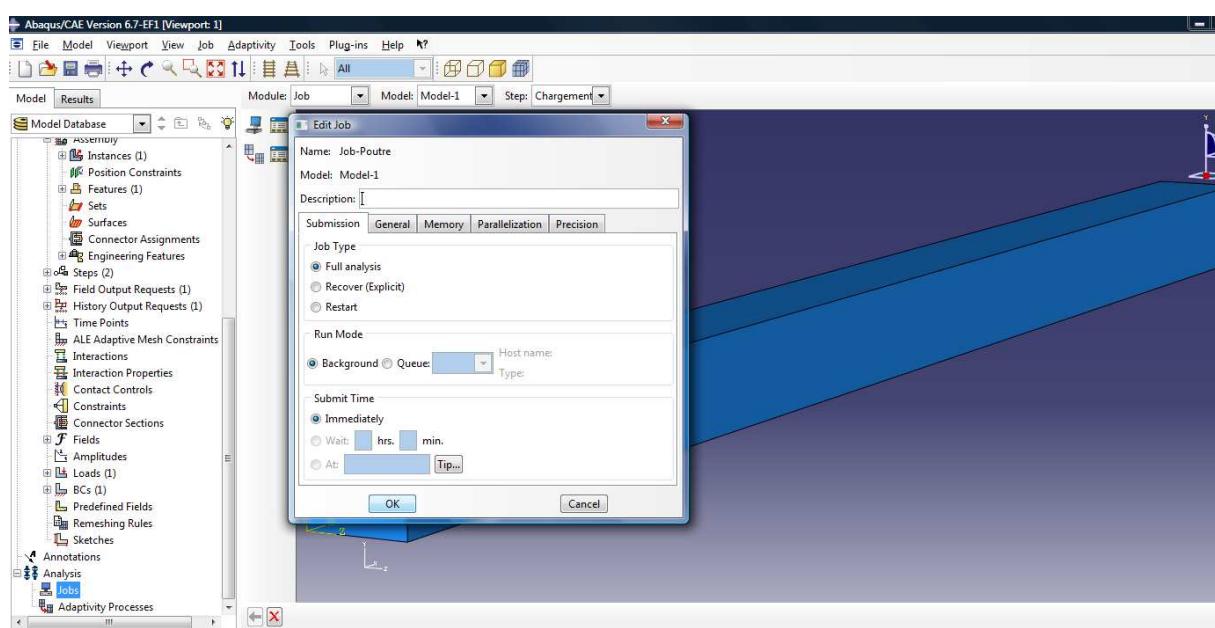
Pour créer un travail :

- Dans l'arbre du modèle, double-cliquer sur **Jobs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Job**.
- Nommer le travail **Job-Poutre** et cliquer sur **Continuer**.

La boîte de dialogue **Edit Job** apparaît alors.



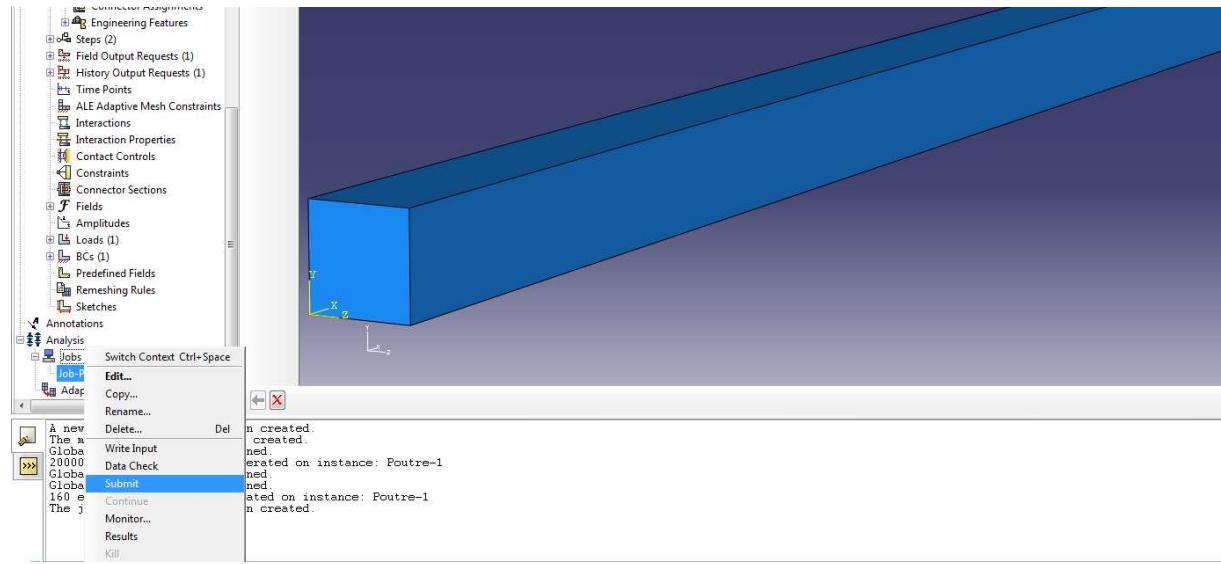
- Choisir **Full Analysis** : Faire une analyse complète.
- Cliquer sur **OK** pour valider.



8.2. Soumettre le calcul

Pour soumettre le travail :

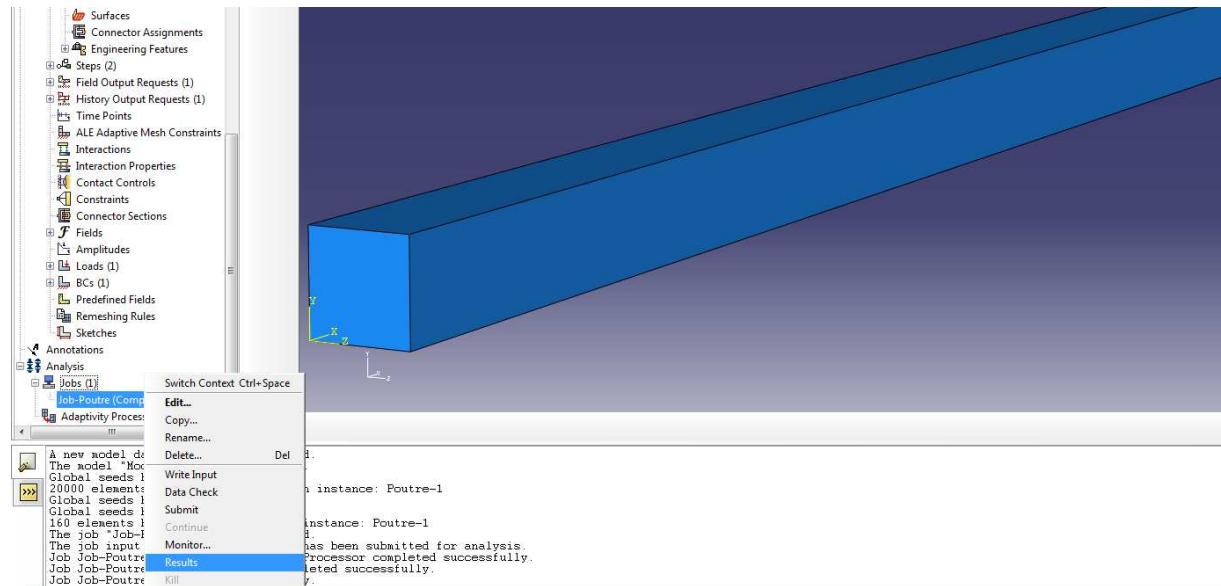
Cliquer avec le bouton 3 de la souris sur le nom du travail (**Job-Poutre**) dans l'arbre du modèle puis cliquer sur **Submit**



- A la fin de l'analyse du modèle (ABAQUS marque **Completed** à côté du travail demandé).

9. Visualiser les résultats de l'analyse

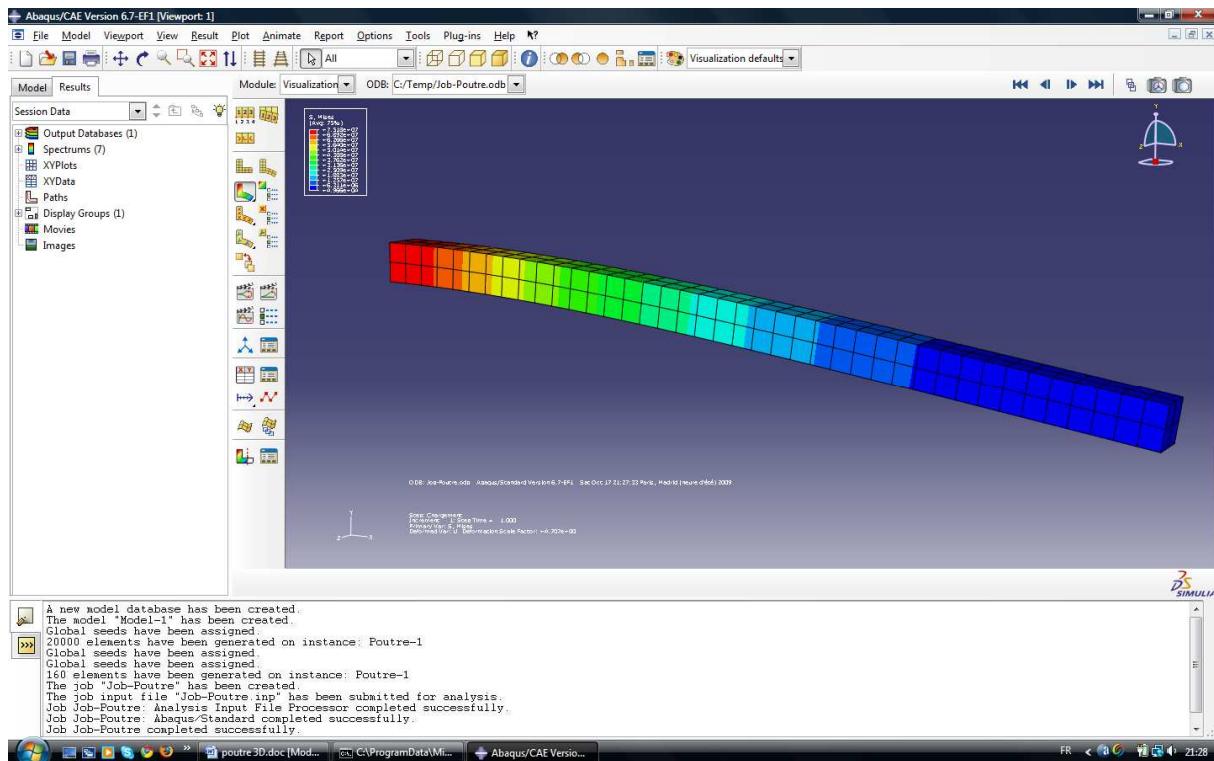
- Dans l'arbre du modèle, cliquez avec le bouton 3 de la souris sur le travail appelé **Job-Poutre** et choisir **Results** à partir du menu qui s'affiche pour entrer dans le module de visualisation



ABAQUS/CAE ouvre la base de données des résultats créée par le travail et affiche la forme du modèle non déformée.

9.1. Afficher et Personnaliser la configuration déformée du modèle

Cliquer sur l'outil  dans la boîte à outils. ABAQUS/CAE affiche la déformée du modèle :

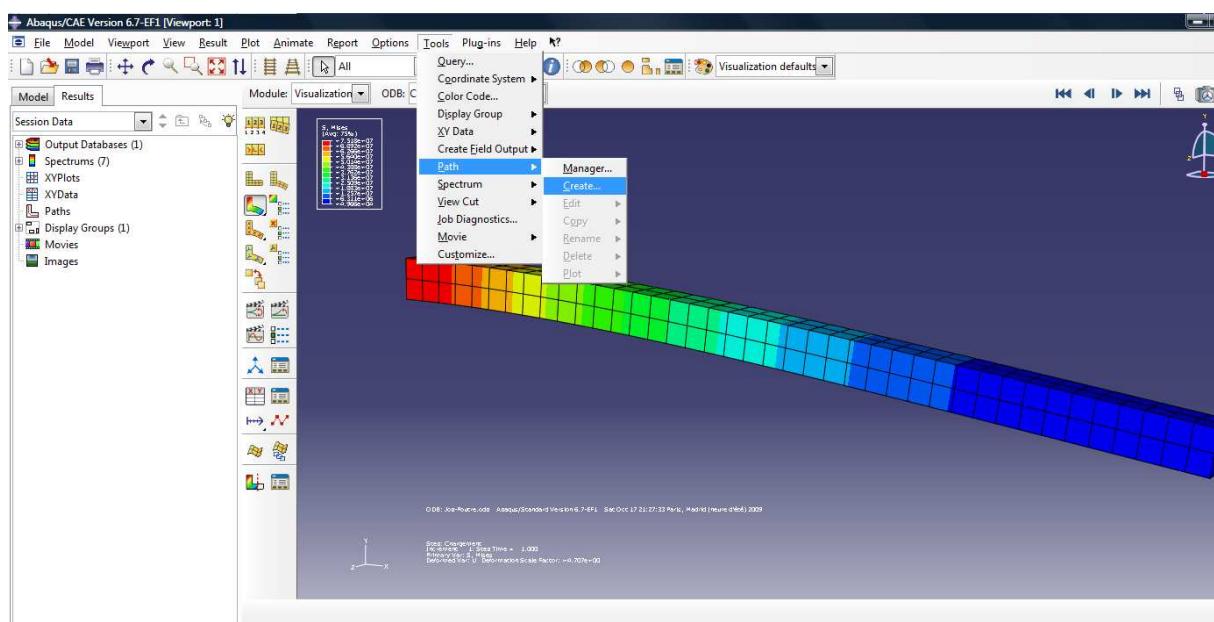


Pour Superposer la déformée et la forme initiale du modèle :

- Cliquer sur l'outil  dans la boîte à outils; puis cliquer sur l'outil  pour ajouter la forme initiale du modèle à la déformée déjà affichée.

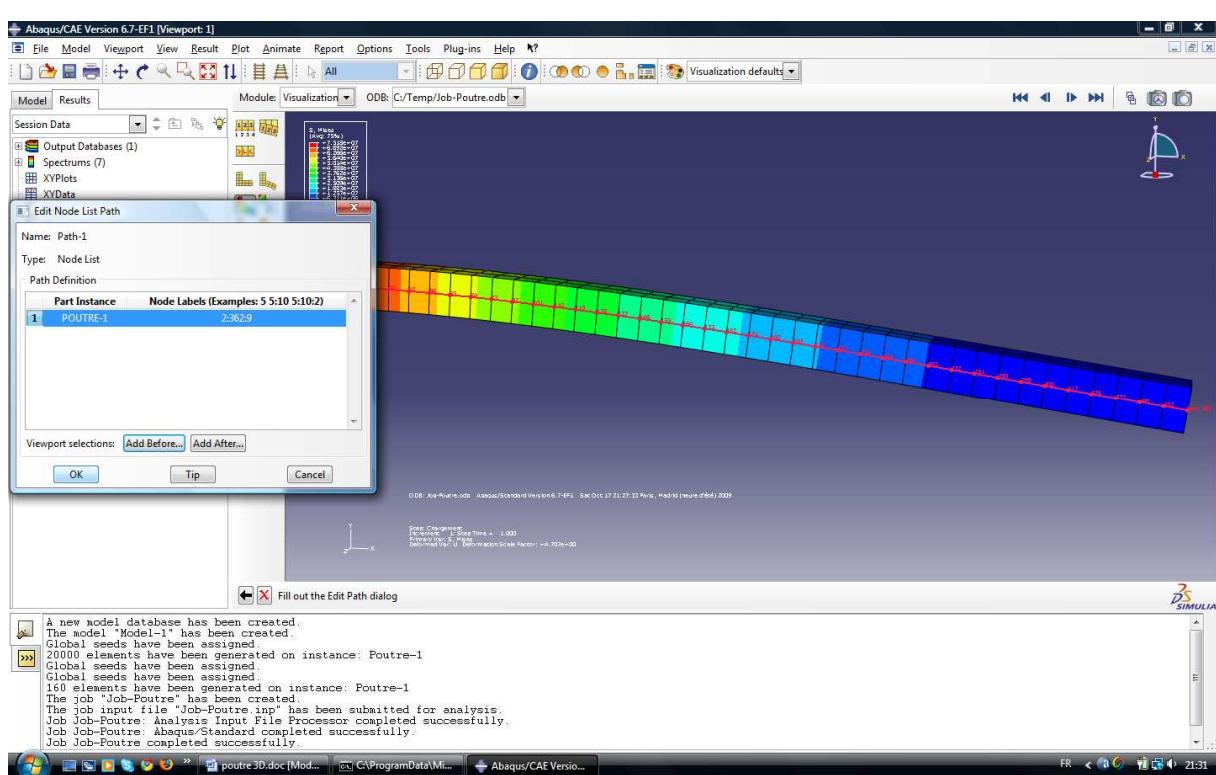
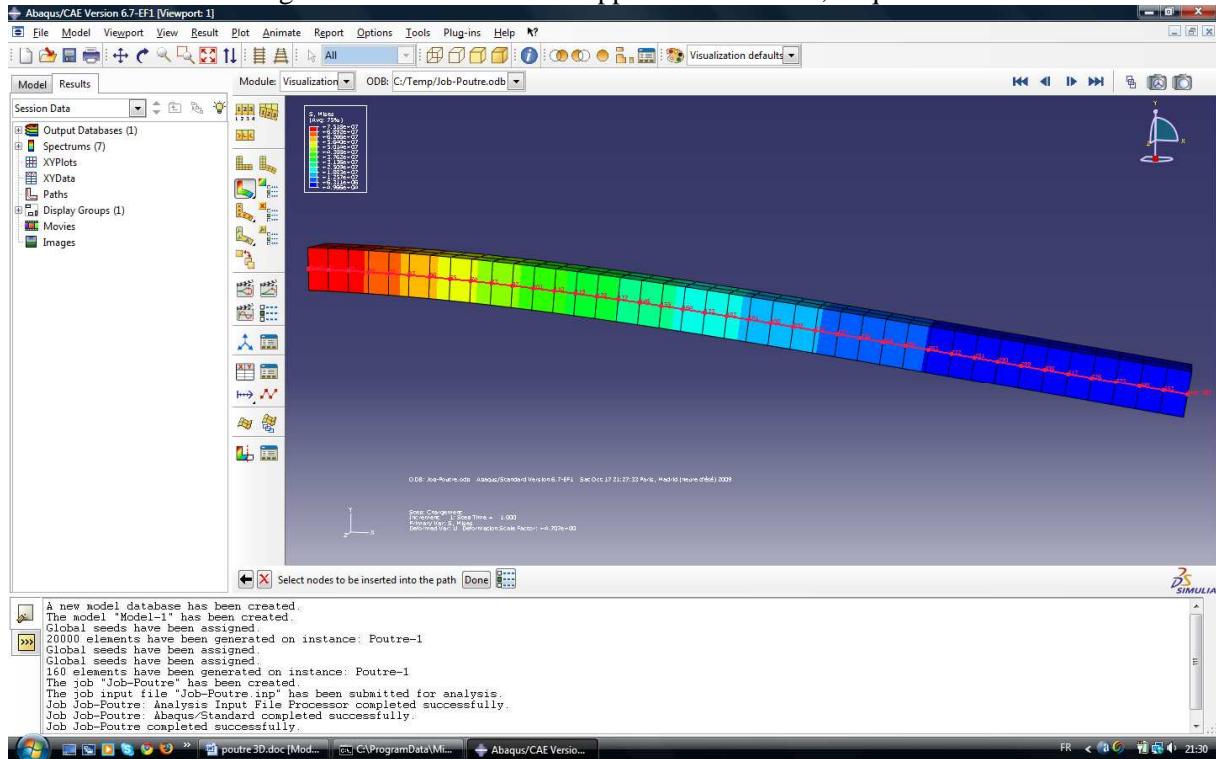
9.2. Variation d'une quantité le long d'un chemin

- Commencer par créer le chemin (**path**) sur lequel suivre l'évolution d'un résultat : aller dans le menu **Tools→Path→Create**.

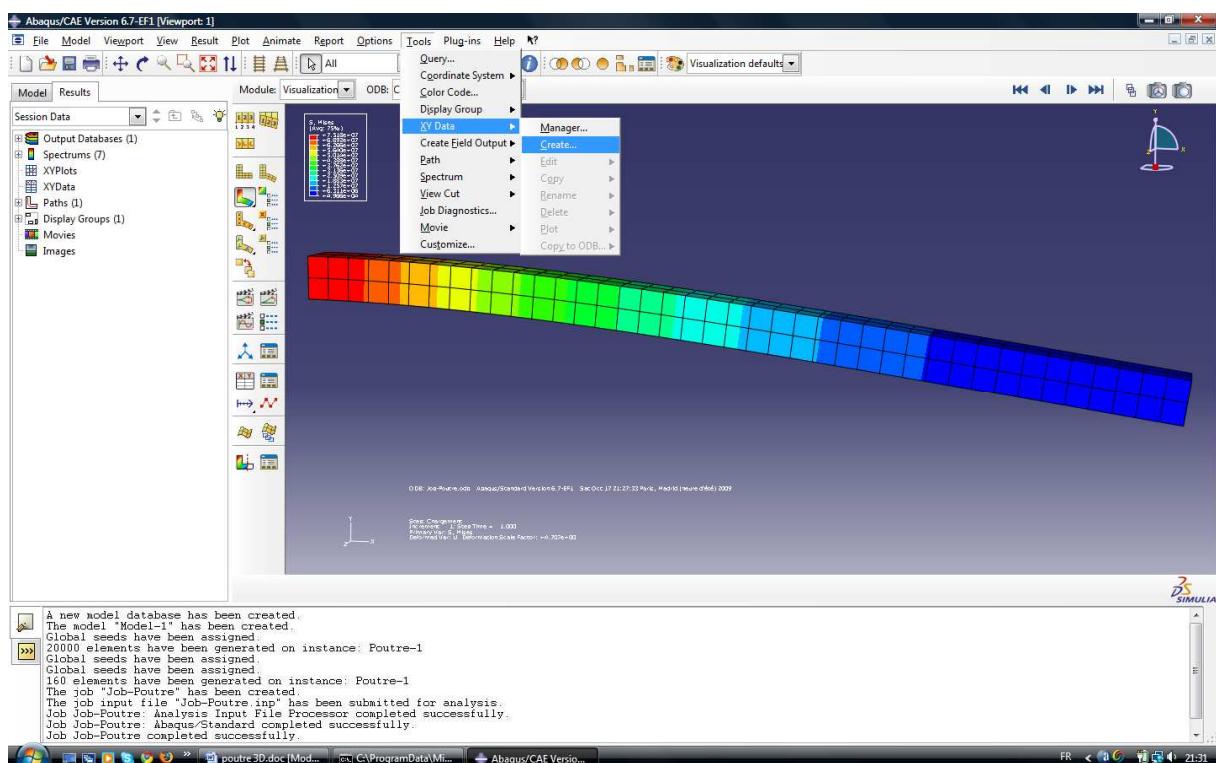


La boîte de dialogue **Create Path** apparaît :

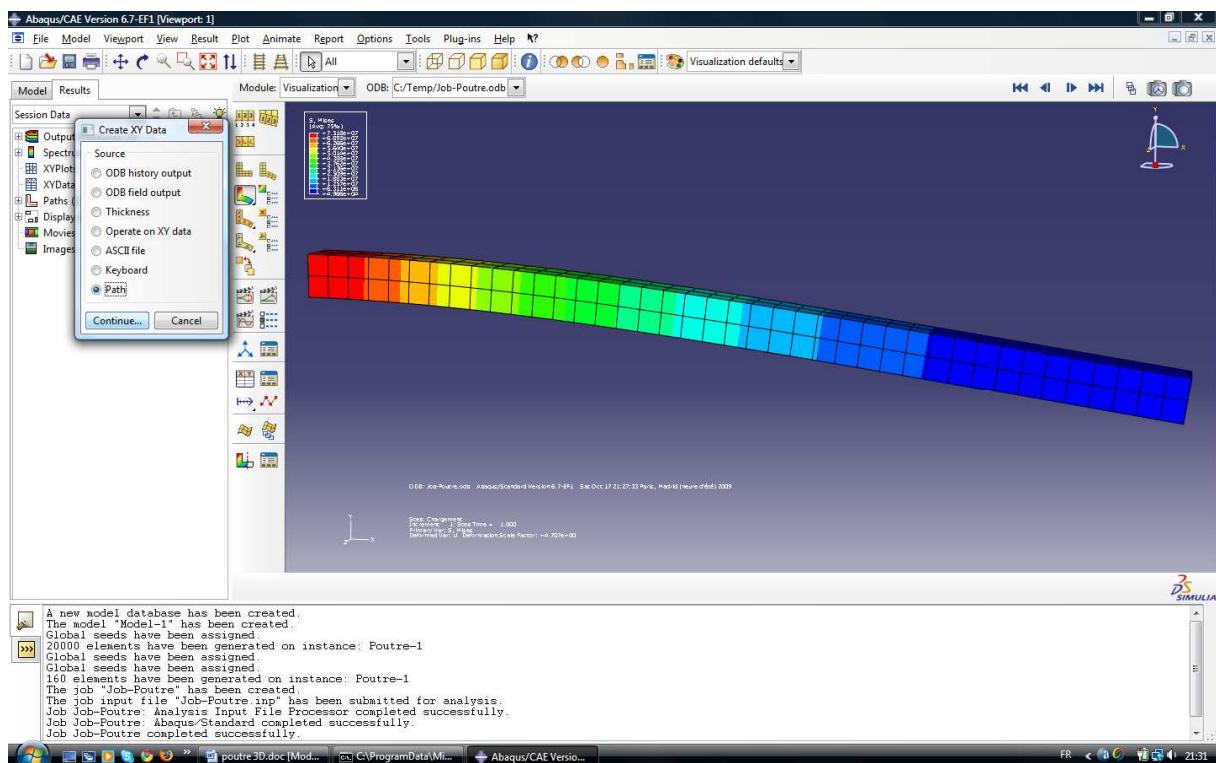
- Sélectionner **Node list**.
- Cliquer sur **Continue**. La boîte de dialogue **Edit Node List Path** apparaît.
- Cliquer ensuite sur **Add Before**
- créer le chemin (**path**) sur lequel suivre l'évolution d'un résultat en sélectionnant les nœuds (nœud par nœud)
- Cliquer sur **Done**
- La boîte de dialogue **Edit Node List Path** apparaît de nouveau, cliquer sur **OK**



- Créer le tableau de valeurs décrivant l'évolution de la quantité souhaitée le long du chemin créé précédemment :
 - Aller dans le menu Tools→XY Data→Create

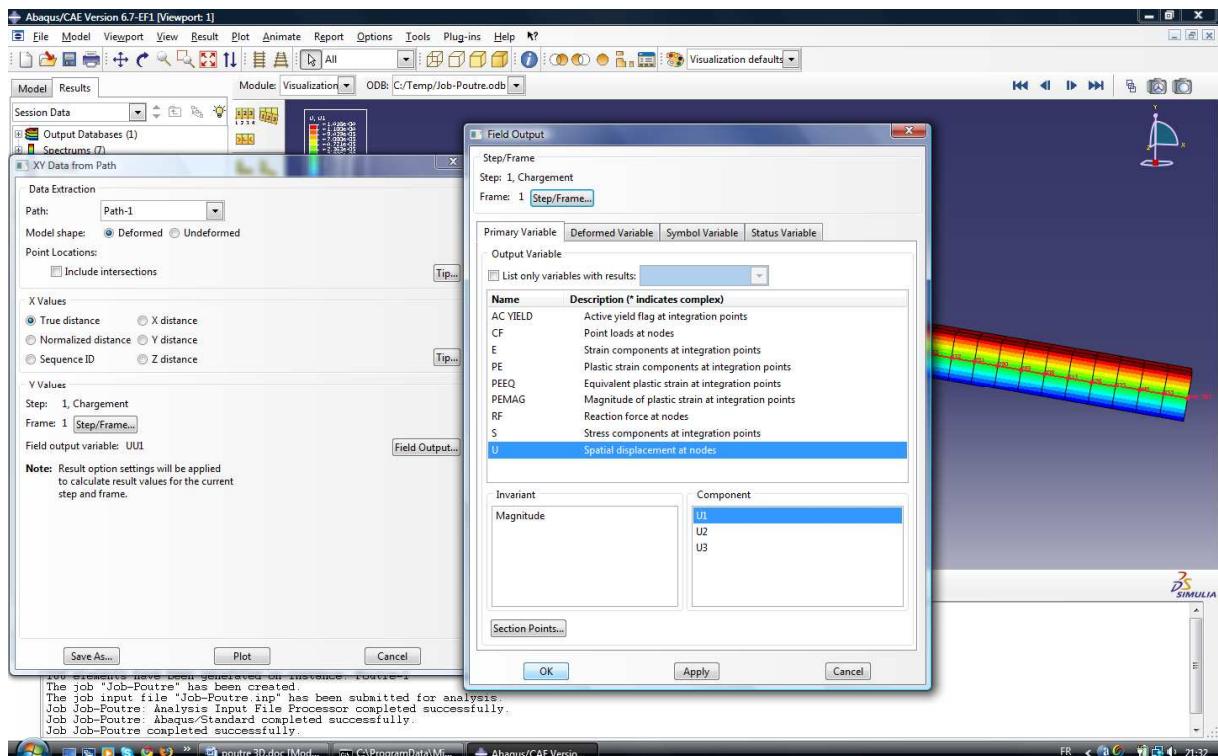
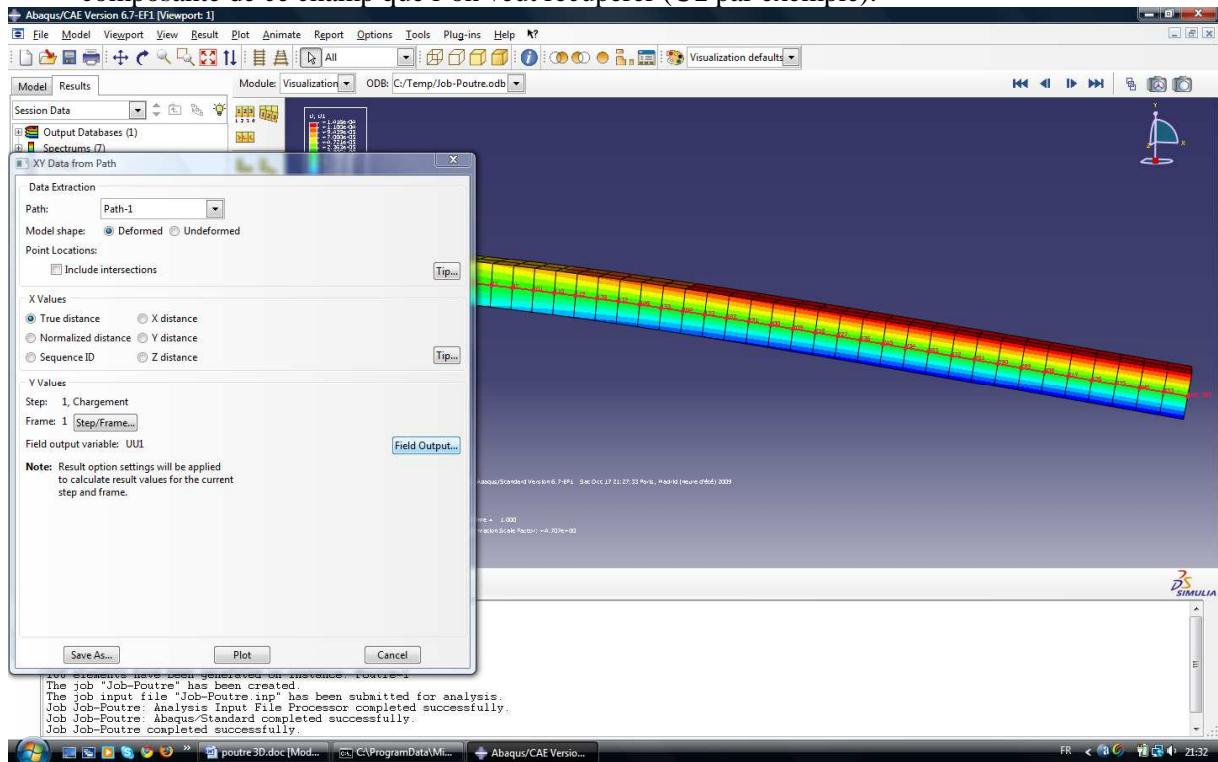


- Sélectionner l'option Path, cliquer sur Continue



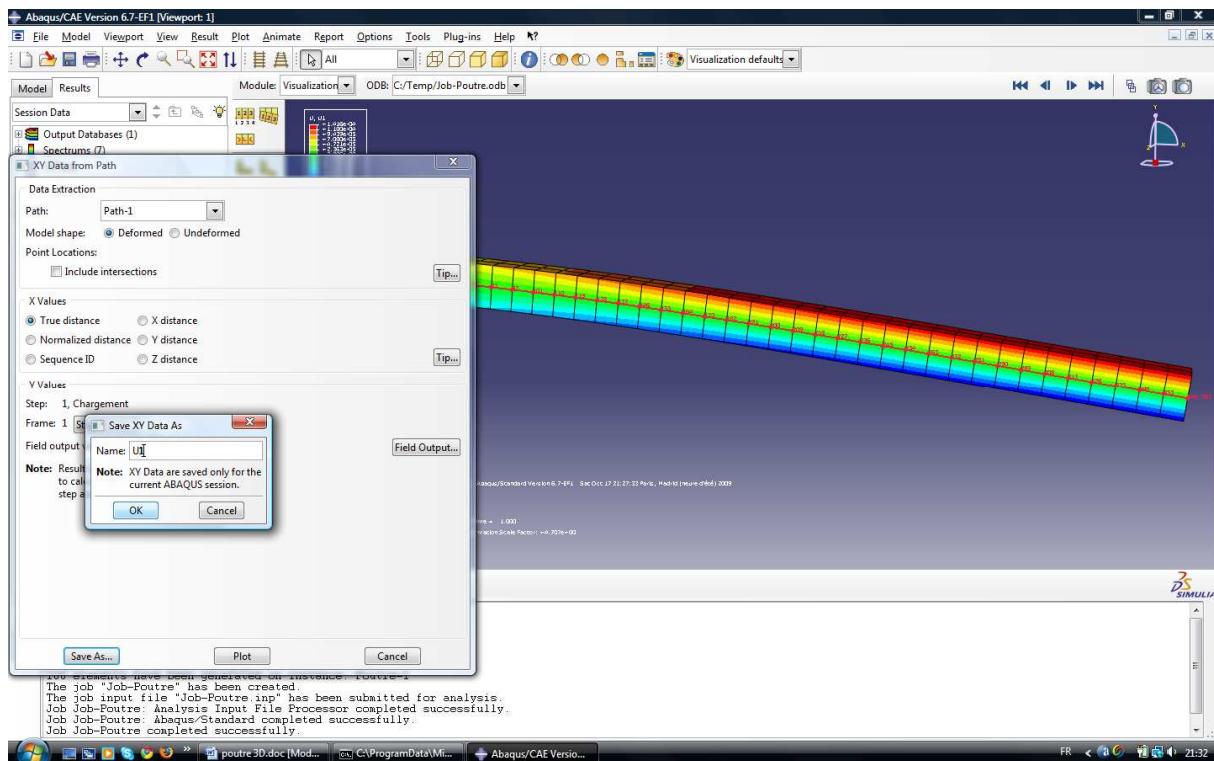
- Dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, sélectionner le chemin (Path-1) sur lequel on veut tracer la courbe.

- Choisir ensuite les valeurs qu'on souhaite avoir en **X :True Distance**, et celles qu'on souhaite en **Y**. Cliquer pour ces dernières sur **Field Output** pour aller sélectionner le champ, et la composante de ce champ que l'on veut récupérer (**U1** par exemple).

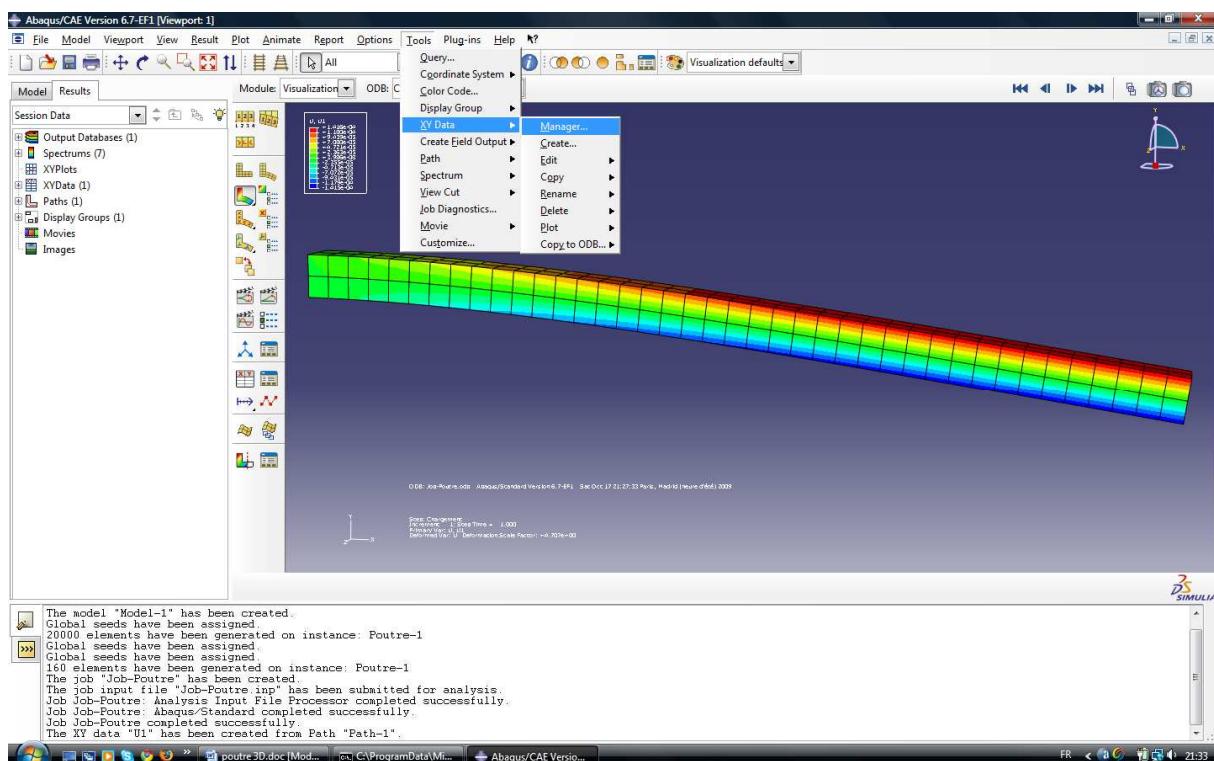


Cliquer sur **ok**.

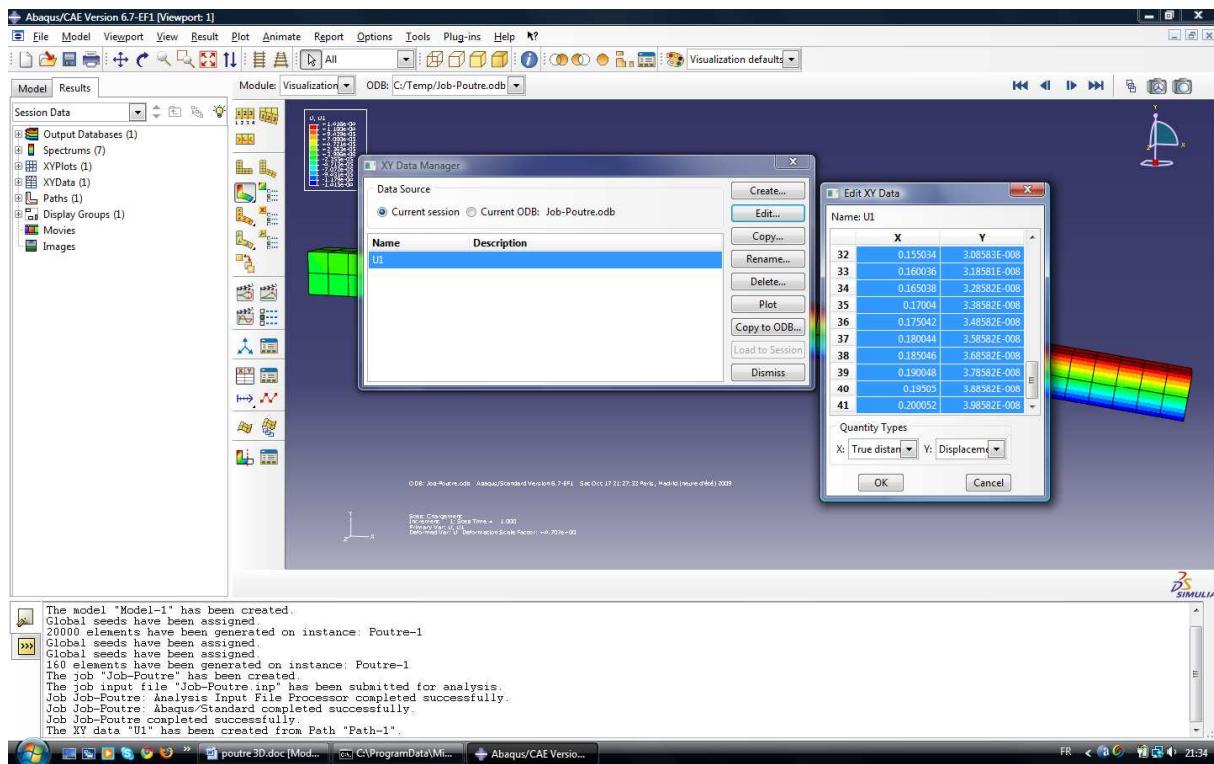
- Cliquer sur **Save As** dans la boîte de dialogue **XY Data from Path** pour sauvegarder les valeurs d'**U1**.
- La boîte de dialogue **Save XY Data** apparaît, Nommer le résultatat **U1** et cliquer sur **OK**.



- Pour afficher les valeurs d'U1, aller dans le menu **Tools**→**XY Data**→**Manager**



- La boîte **XY Data Manager** apparaît, sélectionner **U1** et appuyer sur **Edit**.
- Les valeurs d'U1 sont donc affichées.



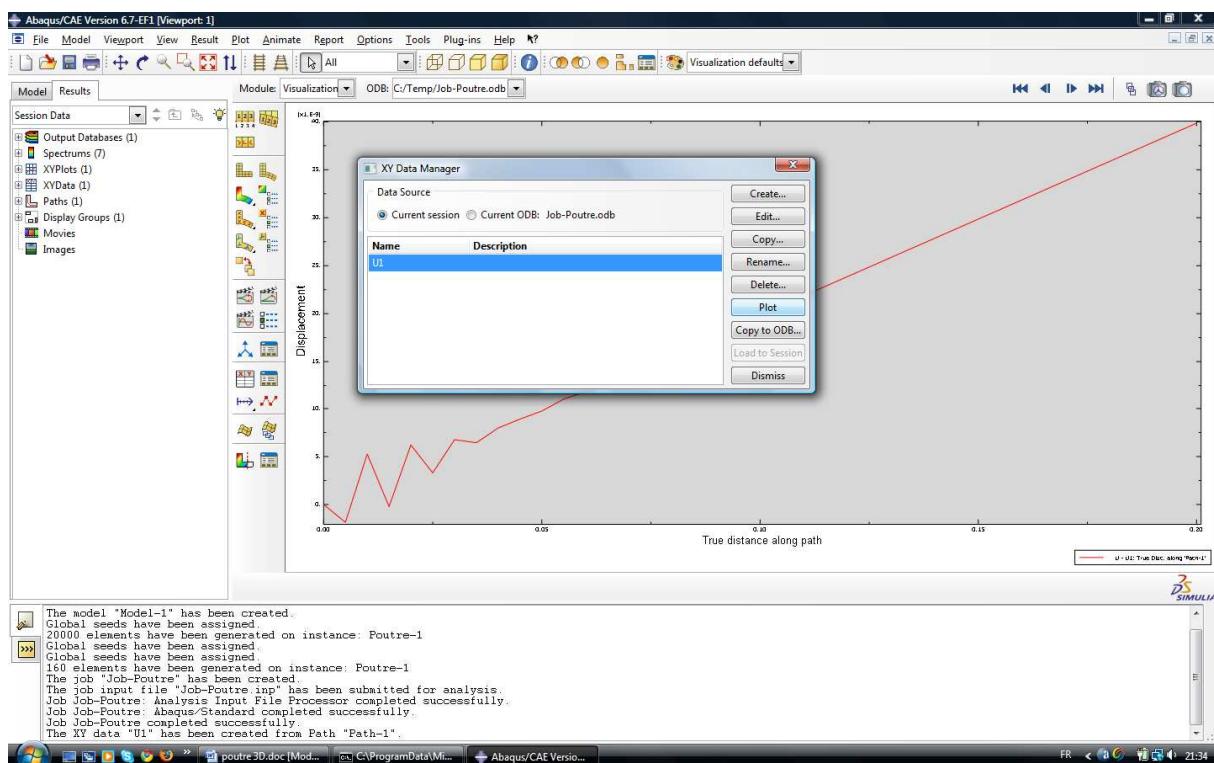
Pour tracer la courbe de U1 en fonction de la distance il y a deux méthodes :

Méthode 1:

Pour tracer la courbe de U1 en fonction de la distance, copier coller le résultat sur Excel et tracer votre courbe

Méthode 2 :

On peut tracer la courbe directement en cliquant sur Plot.



9.3. Etude de l'effet du maillage

- Cliquer sur **Model** pour afficher l'arbre du modèle.
- Dans l'arbre du modèle, développer **Assembly**, puis **Instances** puis **Poutre-1**, double cliquer sur **Mesh**.
- A partir de la barre de menus cliquer sur **Seed→Instance**. La boîte de dialogue **Global Seeds** apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue, spécifier la taille des éléments. Choisir **0.0015** pour mailler la poutre.
- Cliquer sur **OK**
- Cliquer sur **Delete Meshes** pour supprimer le maillage
- Cliquer sur **Done**
- A partir de la barre de menu, sélectionnez **Mesh→Instance**.
- Pour mailler la pièce, cliquer sur **Yes**.
- Soumettre ce **Job** en cliquant avec le bouton 3 de la souris sur ce dernier dans l'arbre du modèle puis cliquer sur **Submit**.
- Analyser ensuite les résultats
- Comparer avec les résultats précédents

10. Travail

Tester d'autres types de conditions aux limites : appui simple ou libre à la place de l'encastrement et une charge répartie sur une partie au milieu de la poutre par exemple.

TP N° 2

Partie 1

Objectif : Prise en main du code de calcul par éléments finis ABAQUS

Application : Modélisation en 2 dimensions d'un treillis plan à sept barres en matériau homogène, isotrope et élastique Sous sollicitation statique

Principaux objectifs

Les principaux objectifs sont :

1. Prise en main d'un code de calcul par éléments finis (EF) à travers un problème de mécanique des matériaux. Apprendre les différentes étapes d'étude par éléments finis :
 - a. Passage du problème réel au modèle EF
 - b. Dessin de la pièce
 - c. Propriétés du matériau
 - d. Conditions aux limites
 - e. Maillage
 - f. Vérification
 - g. Calcul
 - h. Analyse des résultats et discussions
 - i. Conclusion
2. Comparer les résultats issus des deux modèles différents :
 - a. Modèle Eléments Finis
 - b. Modèle analytique

Cette comparaison ne peut se faire sans le rappel des hypothèses de chacun des deux modèles.

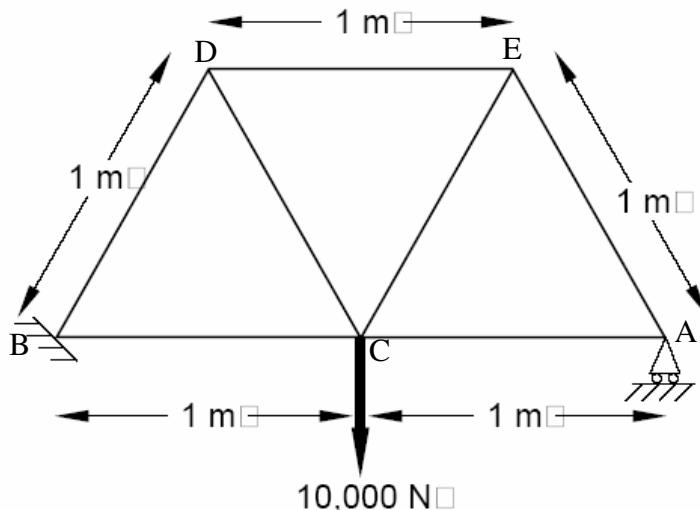
3. Application : comportement élastique d'un solide sous sollicitation statique

Application à traiter

Etude d'un treillis plan à sept barres :

Définition : On appelle treillis un assemblage de barres articulées entre elles de manière à ce que chacune des barres ne soit sollicitée qu'en traction-compression.

Longueur des barres $L=1\text{m}$, section circulaire de diamètre 5 mm.



Le matériau est élastique isotrope et homogène «on prendra les propriétés d'un acier classique» : $E=210\text{GPa}$, $\nu=0,3$

Le point A est simplement appuyé et le point B est articulé. Une force concentrée de 10 kN est appliquée au point central C comme montré sur la figure ci-dessus.

Examiner les contraintes dans les barres, les déplacements et les efforts appliqués aux nœuds.

Les différentes étapes de modélisation sur ABAQUS pour cette étude

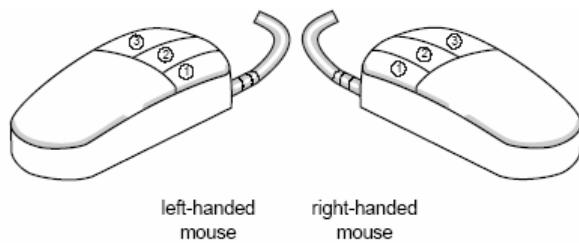
1. Unités :

Avant de définir le modèle, il faut choisir quel système d'unités vous utilisez. ABAQUS n'a aucun système d'unités intégré. Il ne faut pas inclure les unités en saisissant les données dans ABAQUS. Toutes les données d'entrée doivent être indiquées dans des unités cohérentes. Quelques systèmes d'unités cohérentes sont regroupés dans le tableau suivant :

Quantité	SI	SI (mm)	US Unit (ft)	US Unit (inch)
Longueur	m	mm	ft	in
Force	N	N	lbf	lbf
Masse	kg	tonne (10^3 kg)	slug	lbf s ² /in
Temps	s	s	s	S
Contrainte	Pa (N/m ²)	MPa (N/mm ²)	lbf/ft ²	psi(lbf/in ²)
Energie	J	mJ (10^{-3} J)	ft lbf	in lbf
Densité	kg/m ³	tonne/mm ³	slug/ft ³	lbf s ² /in ⁴

2. Les touches de la souris

La souris comporte trois boutons 1, 2 et 3. Chacun à un mode de fonctionnement particulier dans ABAQUS/CAE : la touche 1 sert à sélectionner (classique), la touche 2 sert en général à confirmer pour quitter une action : elle peut être une alternative pratique pour répondre "OK" à une question. Cliquer sur 2 revient donc la plupart du temps à valider une action, ou à quitter une procédure. La touche 3 permet de faire apparaître des menus contextuels relatifs à l'action en cours. En particulier, elle permet bien souvent de faire un pas en arrière dans l'action entreprise.

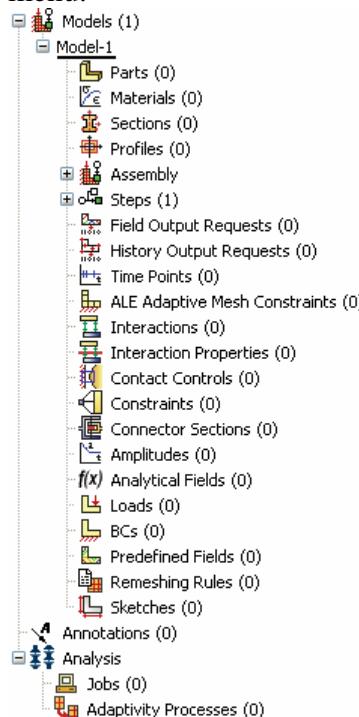


Les tâches à accomplir dans l'environnement ABAQUS/CAE respectent le cheminement suivant :

- Construction du modèle géométrique : via un profil 2D (module **Part**)
- Définir les propriétés du matériau utilisé et de la section du treillis (module **Property**)
- Assemblage de la géométrie et création de sous ensembles (**Assembly**)
- Configuration de l'analyse et spécification des résultats à créer (**Step**)
- Définition des chargements et des conditions aux limites (**Load**)
- Maillage de la pièce (**Mesh**)
- Création d'un job d'analyse et lancement des calculs (**Job**)
- Post-traitement et visualisation des résultats (**Visualization**)

3. L'arbre du modèle

L'arbre donne une description visuelle de la hiérarchie des objets du modèle. Tous les objets sont indiqués par de petites icônes avec en parenthèses le nombre de ces objets. Leur ordre dans l'arbre reflète l'ordre classique d'élaboration du modèle. A partir de cet arbre il est possible de retrouver la plupart des fonctionnalités de la barre de menu principale. Par exemple, double cliquer sur **Parts** permet de créer une nouvelle pièce comme sélectionner **Part → Create** dans la barre de menu.



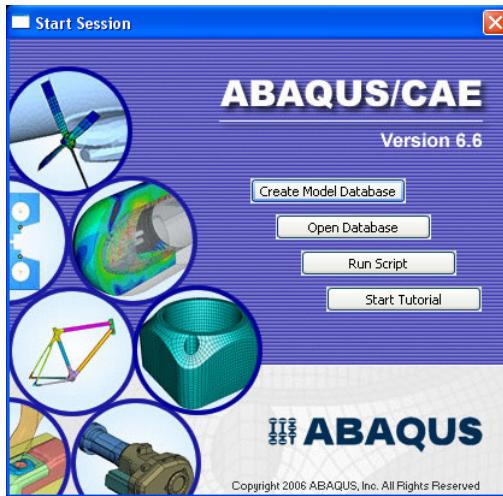
4. Démarrer le code ABAQUS

Cliquer sur Démarrer, Programmes, ABAQUS 6.6-2 puis ABAQUS CAE

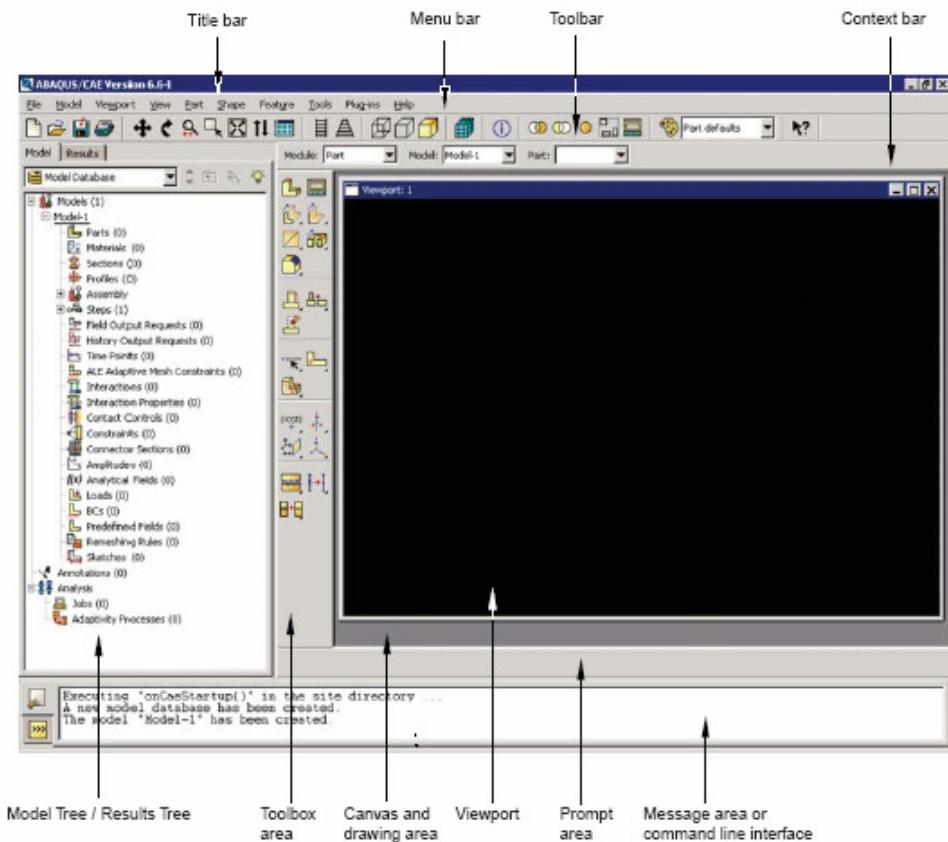


Quelques secondes après le démarrage, l'écran de travail de ABAQUS /CAE apparaît et les options suivantes sont disponibles :

- **Create Model Database** permet de commencer une nouvelle analyse.
- **Open Database** permet d'ouvrir un model déjà sauvegardé ou un fichier résultats.
- **Run Script** permet d'exécuter un fichier contenant des commandes ABAQUS/CAE.
- **Start Tutorial** permet de commencer une application introductory à partir de la documentation en ligne.

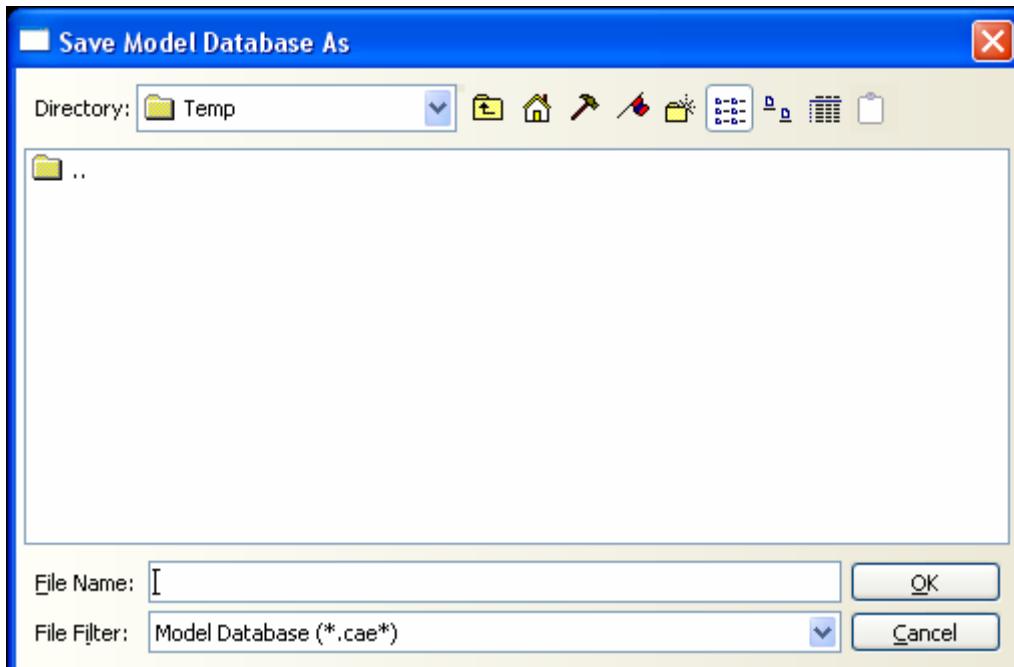


Sélectionner **Create Model Database** pour créer un nouveau model.



5. Choisir le nom de l'étude et l'enregistrer

- A partir du menu **File** → **Save** ou bien cliquer sur le bouton **Save Model** . La boîte de dialogue **Save Model Database As** apparaît. Par défaut le logiciel vous propose le répertoire **C:\Temp**



- Donner un nom au modèle.

Ne jamais Mettre d'espaces, ni de ponctuations ni d'accents, ni dans le choix du répertoire ni dans le nom de l'étude. Ne mettez pas d'extension dans le nom du fichier. ABAQUS/CAE rajoute automatiquement **.cae** au fichier.

- Cliquer sur **OK** pour valider et fermer.

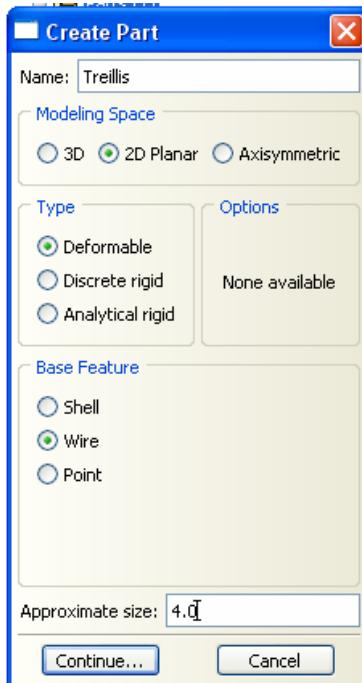
Le chemin et le nom de fichier apparaissent sur la barre de titre (**Title bar**). Vous devez sauvegarder votre fichier régulièrement. Par exemple à chaque fois que vous changez de module.

6. Définir la géométrie du modèle

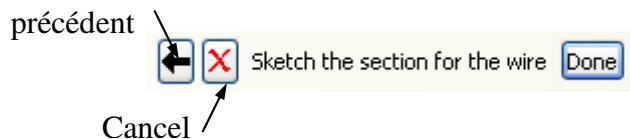
La première étape de création du modèle est la définition de sa géométrie. Dans cet exemple vous créez un corps bidimensionnel déformable.

Pour créer la pièce :

- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **Parts** pour créer une nouvelle pièce. La boîte de dialogue **Create Part** apparaît. ABAQUS/CAE affiche un texte en bas de la fenêtre pour vous guider à travers toute la procédure.
- Nommez la pièce (par exemple **Treillis**) et choisissez **2D Planar, Deformable** et **Wire** (solide bidimensionnel déformable et filaire) dans la zone de dialogue de la pièce à créer. Dans la zone Taille approximative du champ texte, entrez **4.0**. Cette valeur est utilisée par ABAQUS/CAE pour calculer la taille de la zone affichée et l'espacement de la grille. On doit choisir une valeur du même ordre de grandeur que la plus grande dimension de la pièce. Cliquer sur Continue pour sortir de la boîte de dialogue **Create Part**.



ABAQUS/CAE affiche un message dans la zone **prompt area** indiquant l'action en cours : cliquer sur le bouton **précédent** vous permet de revenir en arrière et d'annuler l'action en cours. Cliquer sur le bouton **Cancel** annule toute la création de la pièce. Cliquer sur le bouton **Done** permet de finir avec la création de la pièce.

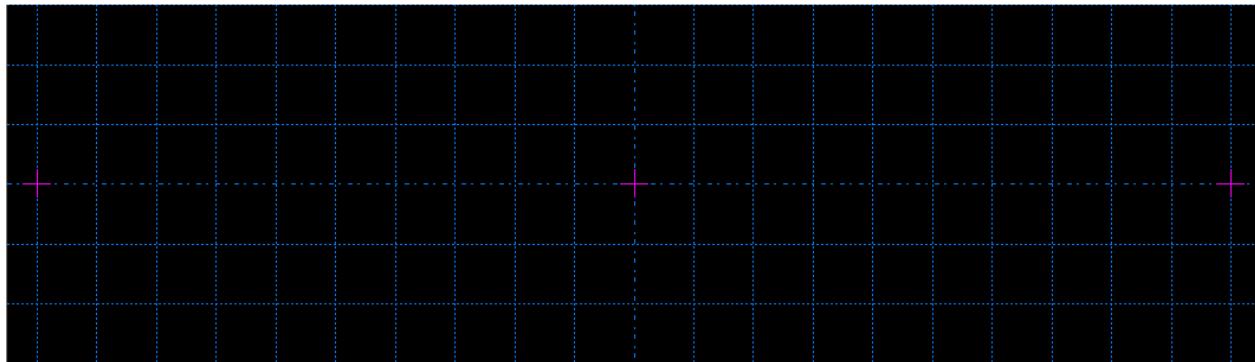


La feuille de dessin apparaît et la boîte d'outils de dessin apparaît automatiquement à gauche de la fenêtre pour vous permettre de dessiner la géométrie 2D de la pièce. Pour terminer avec un outil donné cliquer avec le bouton 2 de la souris ou bien cliquer sur un autre outil.

Remarque : comme pour tout les outils dans ABAQUS/CAE, si vous positionner le curseur pendant un moment, une petite fenêtre apparaît pour donner une petite description de l'outil.

Les aspects suivants de la feuille du dessin vous aident à dessiner la géométrie désirée :

- La grille vous aide à placer le curseur et à aligner des objets dans la fenêtre.
- Les lignes en pointillées indiquent les axes X et Y de la feuille.
- Quand vous choisissez un outil de dessin, ABAQUS/CAE montre les coordonnées du curseur X et Y dans le coin haut-gauche de la fenêtre.
- Utilisez l'outil **Create Isolated Point**  pour créer trois points. Entrez les coordonnées des points (-1,0), (0,0) et (1,0) au clavier. Ces points sont correspondant à ceux du bas du treillis. Utilisez l'outil **Auto-Fit View**  pour afficher les trois points. Cliquer avec le bouton 2 de la souris pour sortir de l'outil **Create Isolated Point**.



- Les positions des points du haut du treillis ne sont pas évidentes. Ils peuvent être déterminées facilement en utilisant le fait que les barres font 60° avec l'horizontale.

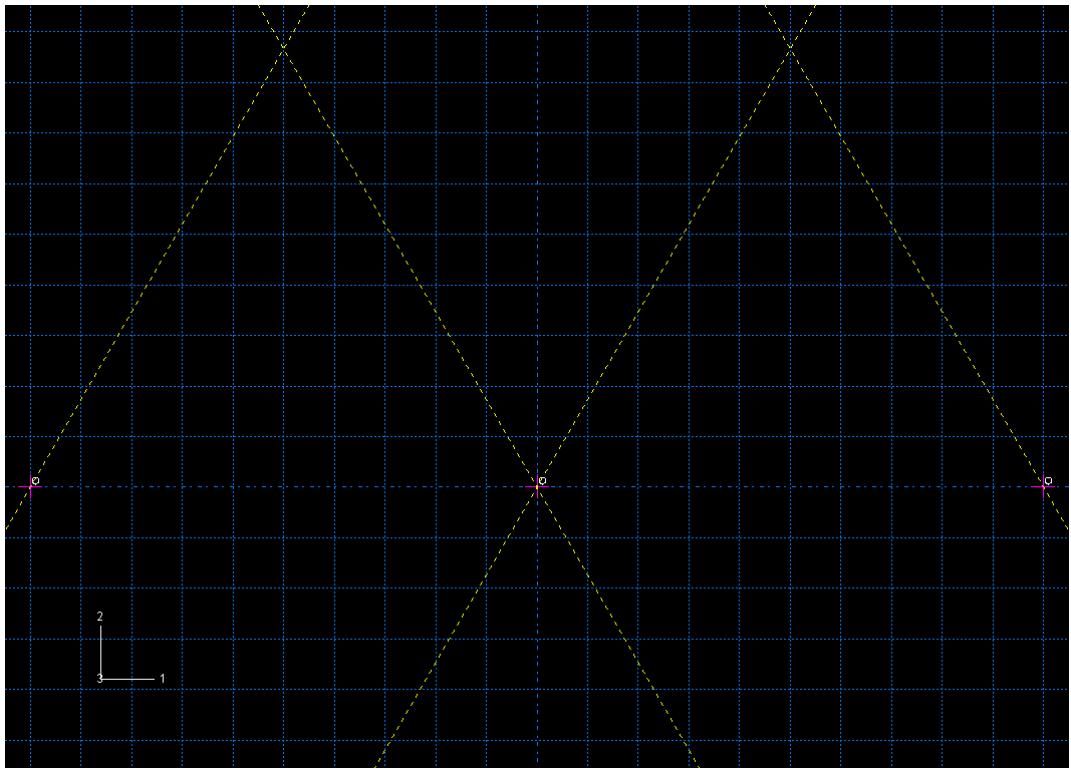
- Utilisez l'outil **Create Construction: Line at an angle**  qui permet de créer des lignes obliques passant par les points créés à l'étape précédente.
 - Il est à noter que les petits triangles noirs qu'on retrouve sur certaines icônes des outils ABAQUS. Ces triangles indiquent la présence d'autres icônes cachées.

- Cliquer sur l'outil **Create Construction: Horizontal Line Thru Point**  mais ne lâcher pas le bouton 1 de la souris, déplacer le curseur sur les icônes qui apparaissent. Relâcher la souris quand le curseur est sur l'outil **Create Construction: Line at an angle**.

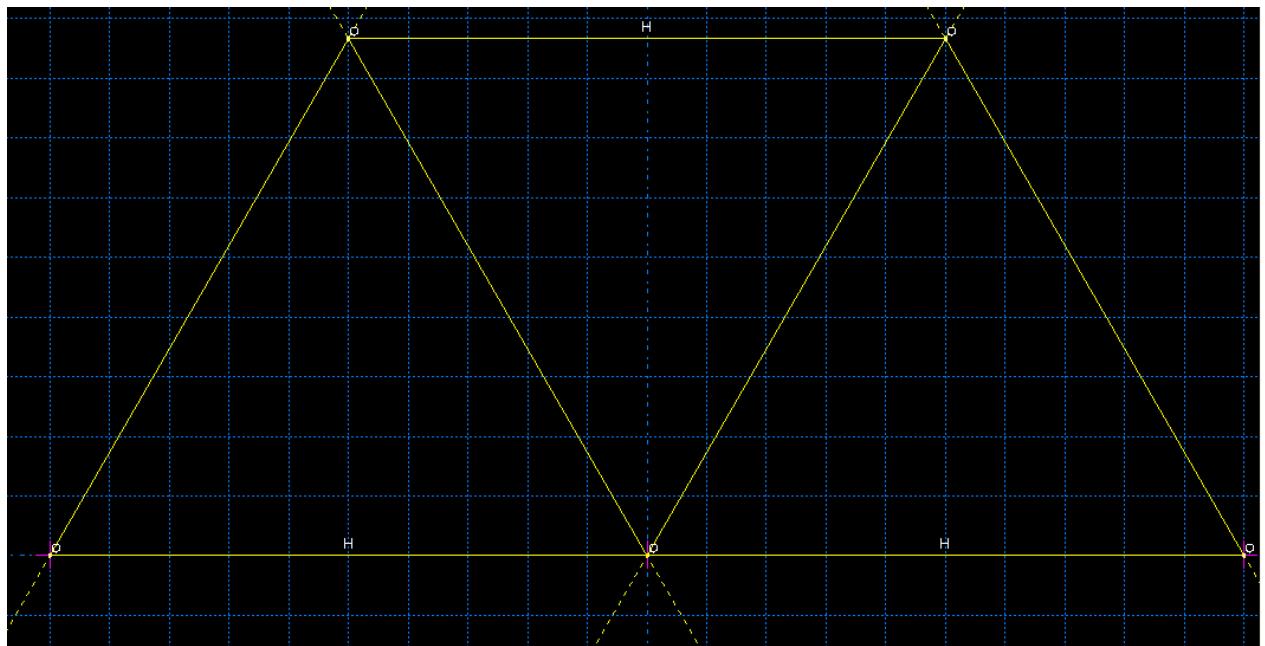
- Entrer **60.0** dans la zone **prompt area** comme l'angle que fait la ligne avec l'horizontale. Il faut utiliser le sens trigonométrique.
- Placer le curseur sur le point de coordonnées (-1,0) et cliquer avec le bouton 1 de la souris. Puis de même pour le point (0,0). Cliquer ensuite sur le bouton **Cancel** pour sortir de cet outil.



- Les mêmes étapes sont à refaire pour construire les droites orientées à 120° et qui passent par les points (0,0) et (1,0).



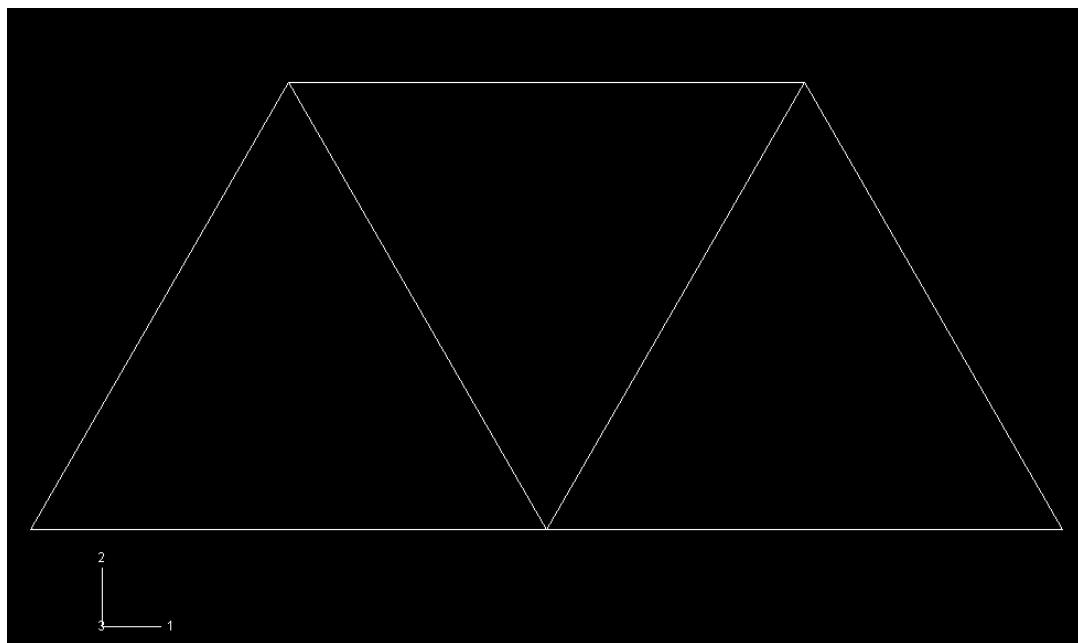
- Utiliser l'outil **Pan View**  pour translater la géométrie.
- Utilisez l'outil **Create Lines/Connected**  pour créer les lignes du treillis en cliquant sur les points D, E, A, C, B, D, C et E dans cet ordre.



- Sélectionner **Done** pour sortir de mode dessin.

  Sketch the section for the wire 

Le dessin final du treillis est obtenu :



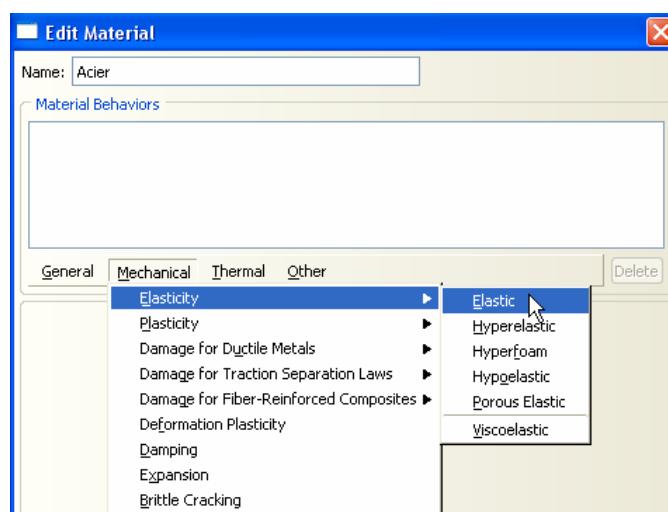
Votre pièce principale a été créée. Vous pouvez la sauvegarder.

7. Définition des propriétés du matériau

La prochaine étape implique la définition des propriétés du matériau dont est fait la pièce. Dans ABAQUS, il n'existe pas de base de données des matériaux, il faut donc créer nos matériaux nous même. Dans notre cas nous voulons que le treillis soit en acier, nous allons créer le matériau acier.

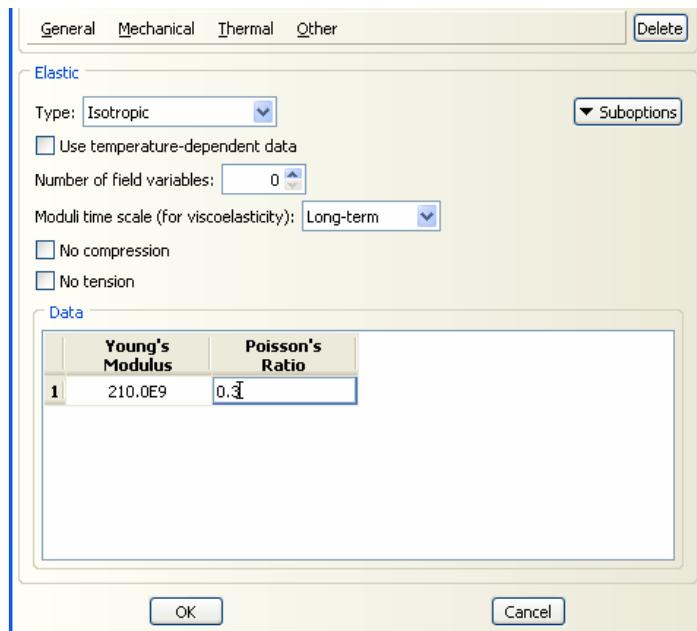
Pour définir les propriétés du matériau :

- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **Materials** pour créer un nouveau matériau. La boîte de dialogue **Edit Material** apparaît.
 - Nommez le matériau **Acier**
- Ensuite, il va falloir donner les caractéristiques de notre matériau. Vous pouvez trouver toutes les caractéristiques que nous pouvons donner (plasticité, conductivité...).
- Sélectionnez **Mechanical**→**Elasticity**→**Elastic**.



ABAQUS/CAE affiche les données à rentrer pour ce type de matériau

- Entrez **210.0E9** pour le module de Young et **0.3** pour le coefficient de Poisson. Cliquez **OK**.



8. Définir et affecter les propriétés de la section

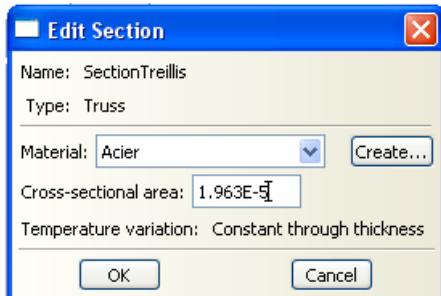
Les propriétés des objets (**Parts**) sont définies à travers les sections. Pour cette étude, nous allons créer une section homogène solide que nous allons ensuite affecter au treillis. Cette section contiendra une référence au matériau que nous avons créé.

- Double cliquez sur **Sections** dans l'arbre afin de créer une section.
- Dans la boîte de dialogue **Create Section**,
 - Nommez la section : **SectionTrellis**.
 - Choisir dans la liste des catégories **Beam**
 - Dans la liste des types, choisir **Truss**.
 - Cliquer sur **Continue**.



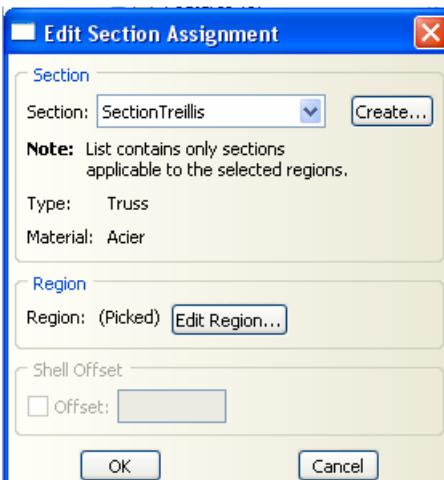
La boîte de dialogue **Edit Section** apparaît.

- Sélectionnez **Acier** comme matériau associé à la section
- Entrer la valeur de la section **1.963E-5**.
- Cliquez sur **OK** pour valider.



Ensute, il faut affecter la section au treillis.

- Dans l'arbre ouvrez l'arborescence de **Parts** en cliquant sur «+» puis celle du **Treillis**.
- Double-cliquez sur **Section Assignment**. Des instructions sont alors données dans la zone **prompt area**.
- Sélectionnez toute la géométrie en cliquant en haut à gauche de la fenêtre, déplacer le curseur en créant une boîte autour du treillis, puis relâcher la souris.
- Validez votre choix en cliquant sur **Done**.
- La boîte de dialogue **Edit Section Assignment** s'ouvre alors, choisissez **SectionTreillis** puis acceptez **OK** et fermez la boîte de dialogue.

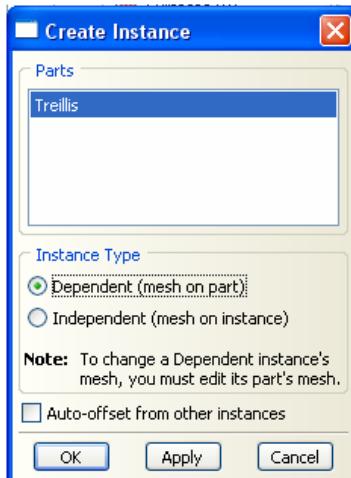


Lorsque vous avez affecté une section à un objet, ABAQUS colorie l'objet en bleu pour signifier qu'il est défini. De plus, le matériau défini dans la section est affecté à l'objet.

9. Crédit d'un assemblage (assembly)

Un assemblage contient toute la géométrie incluse dans un modèle élément fini. Même si un modèle d'ABAQUS/CAE peut contenir plusieurs objets, il ne peut contenir qu'un seul assemblage. Le module **Assembly** permet donc de créer des instances et de positionner ces instances dans un repère global les unes par rapport aux autres. Une instance peut être indépendante ou dépendante. Les instances indépendantes sont maillées individuellement alors que les dépendantes sont maillées en association avec le maillage de la pièce originale. Pour créer une instance de la pièce :

- Dans l'arbre, développez la branche **Assembly** et double cliquez sur **Instances** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Instance**
- Choisissez **Treillis** puis **OK**.

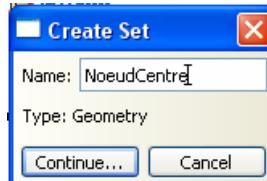


ABAQUS crée alors une instance à partir du treillis. Dans cet exemple, il y a une seule instance à créer qui définit l'assemblage.

10. Création d'un Set

Ce sont des régions qui font partie de la géométrie du modèle qui servent par exemple pour appliquer un chargement ou pour définir un contact ou pour récupérer des résultats. Dans cet exemple, on va créer un **Set** qui contient le nœud où on applique la charge par exemple.

- Dans l'arbre du modèle développer la branche **Assembly**.
- Cliquer avec le bouton 3 de la souris sur **Set**
- Sélectionnez **Create**, la boîte de dialogue **Create Set** apparaît. Vous pouvez aussi ouvrir cette boîte de dialogue en double-cliquant sur **Set**.
- Nommez le **Set** NoeudCentre.
- Cliquez sur **Continue**



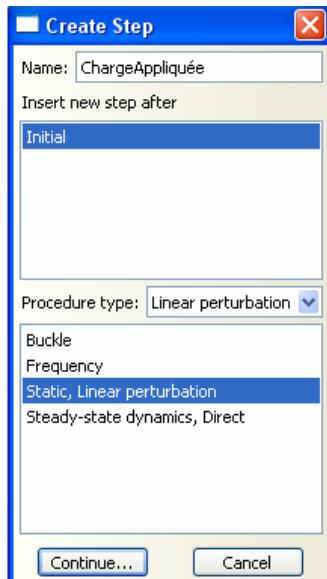
- Sélectionnez le point centre bas du treillis
- cliquez sur **Done**. Le set est maintenant créé.

11. Configuration de l'analyse : étapes d'analyse et spécification des requêtes de sorties

On définit maintenant les étapes ou pas d'analyse. Puisque les interactions, les chargements, et les conditions aux limites peuvent dépendre des étapes d'analyse, ces étapes doivent avoir été préalablement définies. Pour cette simulation on va définir une étape statique d'une charge ponctuelle de 10kN au point C, avec une articulation au point B et un appui simple au point A. Le modèle consiste en deux états : **Initial Step** créé automatiquement par ABAQUS/CAE où on va définir les conditions aux limites. On va définir un nouvel état où on va appliquer la charge concentrée. En plus, on va indiquer les types de résultats désirés en sortie de cette analyse.

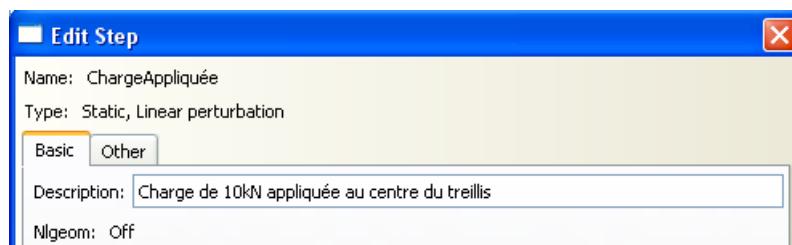
11.1. Définir une étape :

- Dans l'arbre du modèle, double cliquez sur **Steps** pour créer un pas d'analyse.
- Dans la boîte de dialogue **Create Step** Nommer ce pas **ChargeAppliquée**.
- Sélectionner **Linear perturbation** comme type de procédure.
- Sélectionner **Static, Linear perturbation** dans la liste et cliquer sur **Continue**.

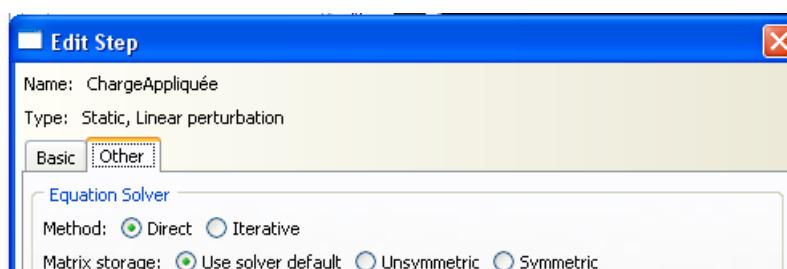


La boîte de dialogue **Edit Step** apparaît alors.

- Dans **Basic** entrer Charge de 10kN appliquée au centre du treillis dans le champ **Description**



- Cliquer sur **Other** pour voir son contenu. Acceptez les valeurs par défaut.
- Ensuite validez par **OK**.



11.2. Spécification des résultats écrits dans les fichiers de sorties :

Afin de réduire la taille des sorties, ABAQUS permet de les contrôler et les gérer de sorte que seulement les résultats de la simulation requis seront sortis. Quatre types de résultats sont fournis par une analyse ABAQUS :

- Résultats stockés dans un dossier binaire employé par ABAQUS/CAE pour le post-traitement. Ce dossier est le fichier de base de données de résultats d'ABAQUS. Il a l'extension (**.odb**).
- Les tables imprimées des résultats, écrites dans le fichier ABAQUS (**.dat**). ce fichier est disponible seulement dans ABAQUS/Standard.
- Les données employées pour continuer une analyse, écrite dans le fichier de relancement d'ABAQUS (**.res**).
- Les résultats stockés dans les fichiers binaires pour le post-traitement avec un autre logiciel de post-traitement, écrits dans le fichier de résultats ABAQUS (**.fil**).

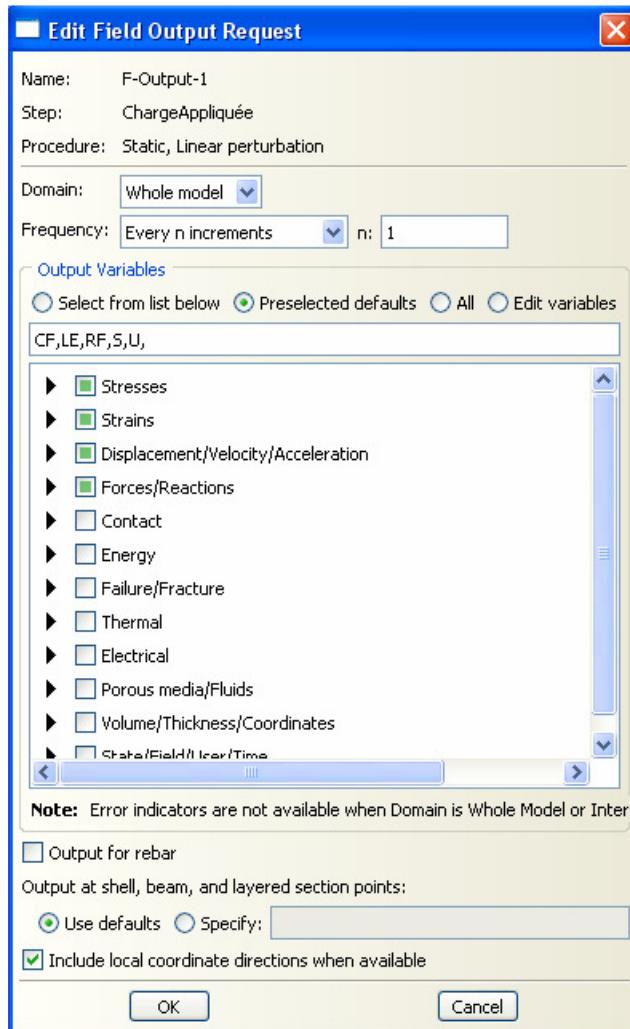
On utilisera **Field Output Requests Manager** pour spécifier les résultats qui devront être écrites dans la base de données de sortie avec des fréquences relativement basses pour le modèle entier ou pour une grande partie du modèle. On utilisera **History Output Requests Manager** pour spécifier les variables qui devraient être écrites dans la base de données à une haute fréquence d'une petite partie du modèle ; par exemple, le déplacement d'un nœud.

Pour spécifier le type de résultats qui seront écrits dans les fichiers **.odb** :

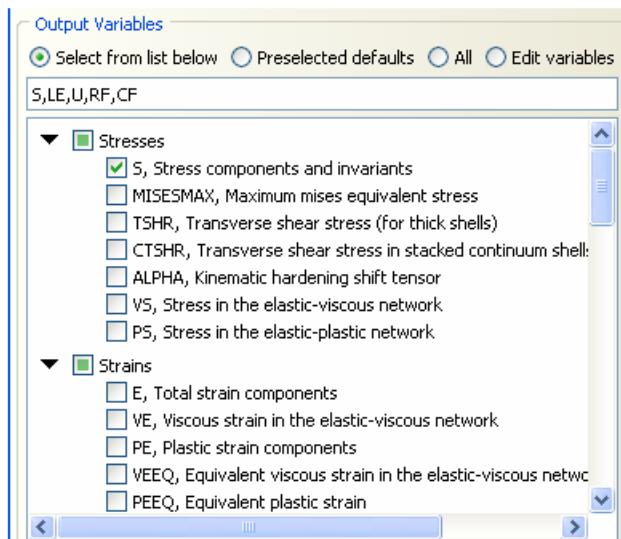
- Dans l'arbre du modèle, cliquer avec le bouton 3 de la souris sur **Field Output Requests** et sélectionnez **Manager** dans le menu qui apparaît. ABAQUS/CAE affiche **Field Output Requests Manager**. On y trouve la liste des tables de sorties pour chaque étape d'analyse.



- Une requête de sortie créée par défaut par ABAQUS/CAE pour l'étape nommée **ChargeAppliquée**. Cliquer sur **Created**, puis cliquez sur **Edit**, une boîte de dialogue apparaît dans laquelle il est possible de modifier les sorties désirées.

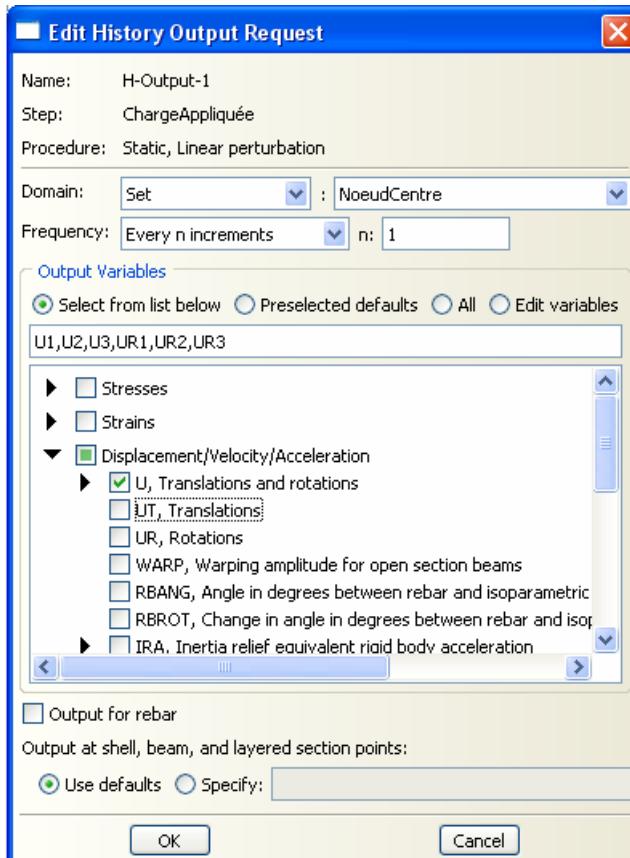


- Dans la zone **Output Variables**, Cliquez sur les flèches à côté des catégories de variables pour voir la liste exacte des variables sorties.



- Cliquez sur **Cancel** si vous ne voulez pas faire de changements et accepter les sorties par défaut.
- Cliquer **Dismiss** pour fermer Field **output Requests Manager**.

- Faites de même pour les sorties de l'historique en cliquant avec le bouton 3 de la souris sur **History Output Requests** pour ouvrir la boîte de dialogue **History Output Requests Manager**. Cliquer sur **Delete** si vous voulez supprimer toute sortie de l'historique ou sur **Edit** pour modifier ce type de sorties.
- Dans la liste **Domain**, choisissez **Set** et **NoeudCentre** dans la liste des **Sets disponibles**.
- Dans la liste **Frequency**, sélectionnez **Every n increments** et laisser la valeur de $n = 1$.
- Dans la zone **Output Variables**, sélectionnez **U, Translations and Rotations**.

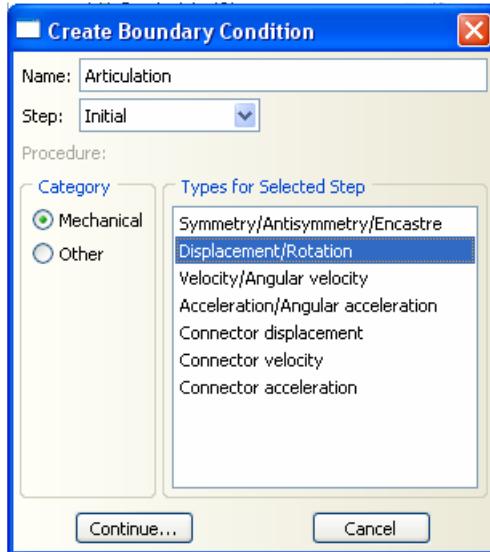


- Cliquez sur **OK** pour fermer le **History Output request Manager**.

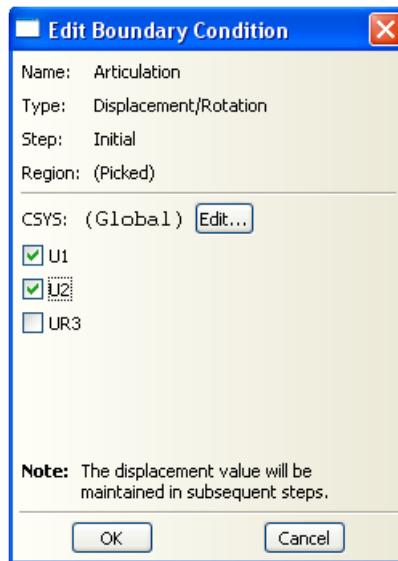
12. Appliquer les conditions aux limites et le chargement pour le modèle

Toutes les conditions sont dépendantes du pas d'analyse, c'est-à-dire qu'elles s'activeront à un état donné et qu'elles dureront jusqu'à un autre état.

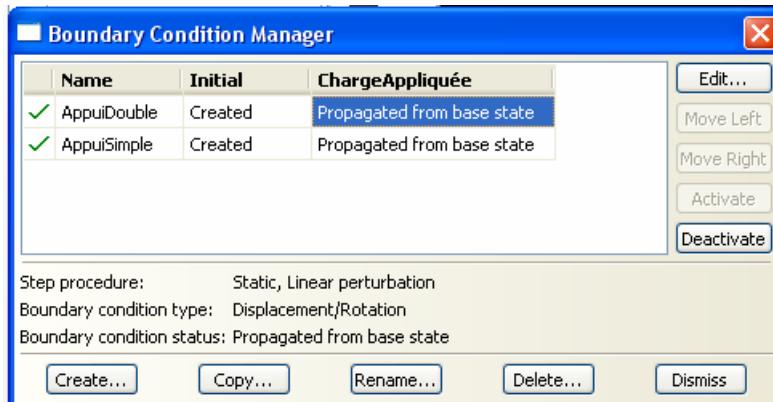
- Dans l'arbre du modèle, double cliquez sur **BCs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Boundary Condition**.
 - Nommez la **Articulation**. Dans la liste des états.
 - choisissez **Initial** pour définir l'état où la condition sera active.
 - Dans la liste des catégories choisissez **Mechanical**.
 - Dans **Types for Selected Step**, choisissez **Displacement/Rotation** et cliquer sur **Continue**.



- Sélectionner le point B où cette condition va être appliquée.
- Cliquer avec le bouton 2 de la souris ou cliquer sur **Done**. La boîte de dialogue **Edit Boundary Condition** apparaît.
 - Dans cette boîte, choisir **U1** et **U2** pour empêcher le déplacement du nœud dans les directions 1 et 2.
 - Cliquer sur **OK** pour créer la condition aux limites et fermer la boîte de dialogue.



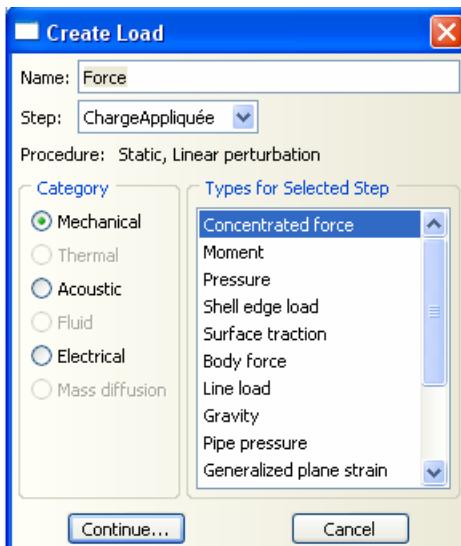
- Répéter les mêmes étapes pour créer la condition au point A pour le bloquer suivant la direction 2. Nommez le **AppuiSimple** et choisissez **U2** dans la boîte de dialogue **Edit Boundary Condition**.
- Dans l'arbre du modèle, cliquer avec le bouton 3 de la souris sur **BCS** et sélectionner **Manager** à partir du menu qui apparaît. ABAQUS/CAE affiche la boîte de dialogue **Boundary Condition Manager**. Cette boîte de dialogue indique que les conditions aux limites **AppuiSimple** et **Articulation** créées dans l'état **Initial** sont actives dans l'étape d'analyse jusqu'à l'état **ChargeAppliquée**. En cliquant sur **Propagated from base state**, on peut éditer les conditions aux limites à l'état **ChargeAppliquée** en cliquant sur **Edit**. On peut aussi les désactiver en cliquant sur **Deactivate**.



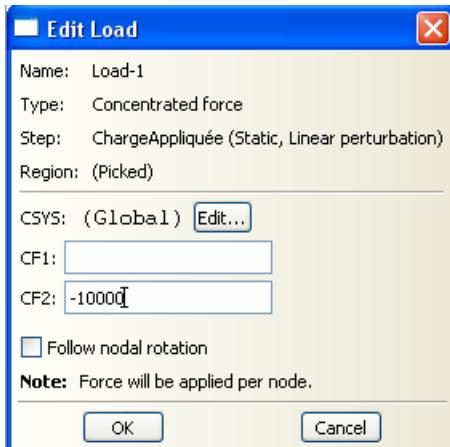
- Cliquer sur **Dismiss** pour fermer la boite de dialogue.

Afin d'appliquer une charge concentrée au nœud du centre en bas du treillis :

- Dans l'arbre du modèle, double cliquez sur **Loads** pour créer un chargement.
 - Nommez le **Force**.
 - Choisissez l'état **ChargeAppliquée** comme état dans lequel la force doit être appliquée.
 - Dans la liste **Category**, sélectionnez **Mechanical**.
 - Dans la liste **Types for Selected Step**, sélectionnez **Concentrated force**.
 - Cliquer sur **Continue**.



- Sélectionnez le nœud au centre en bas du treillis.
- Cliquer sur **Done**. La boite de dialogue **Edit Load** apparaît.
- Dans cette boite de dialogue :
 - Entrez la valeur de la magnitude de la force **-10000.0** pour **CF2**.
 - Cliquer sur **OK** pour créer ce chargement et fermer la boite de dialogue.



- Vous pouvez examiner **Load Manager**, en cliquant avec le bouton 3 de la souris sur **Loads**, pour vérifier que le chargement a été créé et active à l'état **ChargeAppliquée**.

13. Maillage du modèle

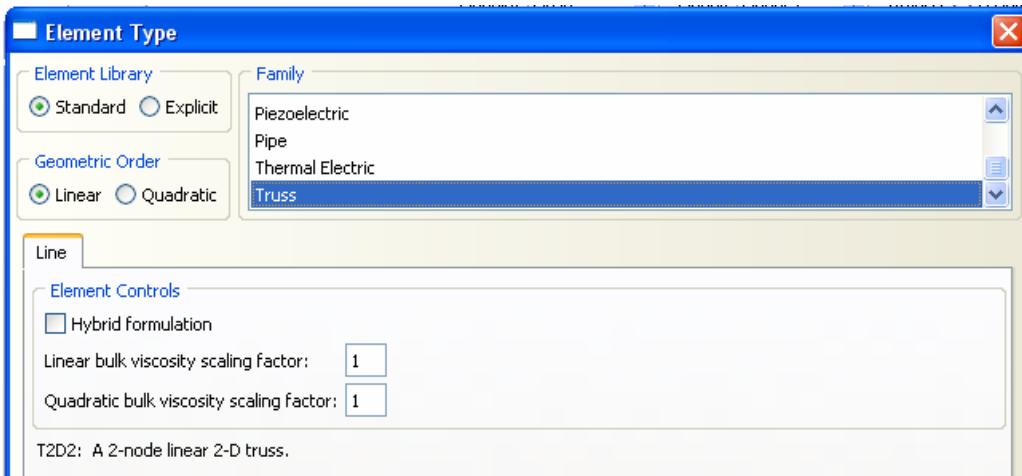
Vous allez générer le maillage éléments finis. Vous pouvez choisir la technique de maillage qu'ABAQUS/CAE utilisera pour créer le maillage, la forme des éléments, et leurs type. ABAQUS /CAE peut utiliser les techniques de maillages suivantes :

- Maillage structuré (structured mesh) qui exige la création initiale d'un partitionnement de la géométrie en régions de formes géométriques simples (par exemple régions topologiquement équivalentes à un quadrilatère ou un hexaèdre);
- Le maillage Swept permet de mailler un côté ou une surface puis de copier ce maillage le long d'un chemin, c'est-à-dire balayer (sweep) le modèle avec un maillage de base.
- Maillage libre (free mesh). C'est le maillage le plus souple, il permet de mailler notre pièce de la manière que l'on veut.

Lorsqu'on entre dans le module de maillage, ABAQUS/CAE colorie les régions selon les codes associés à la technique de maillage qui peut être utilisée (vert pour un maillage structuré, jaune pour un maillage extrudé, rose pour un maillage libre, orange si l'affectation de la forme d'élément par défaut ne peut être utilisée). Pour des géométries unidimensionnelles (telles que celles dans cet exemple), la technique de maillage ne peut pas être changée.

13.1. Affecter le type d'élément

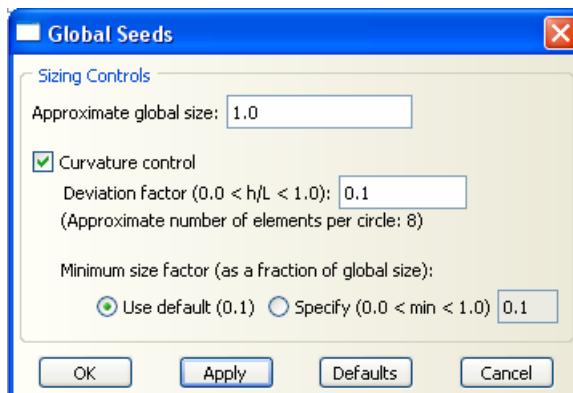
- A partir de la barre de menus choisissez **Mesh→Element type**.
- Sélectionnez toute la géométrie en cliquant dans un point en haut à gauche, déplacer le curseur en créant une boîte autour du treillis, puis relâcher la souris.
- Cliquer sur **Done**. La boîte de dialogue **Element type** apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue sélectionnez :
 - **Standard** pour la bibliothèque d'éléments (**Element Library**).
 - **Linear** comme ordre géométrique (**Geometric Order**).
 - **Truss** comme famille d'éléments (**Family**)



- Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, examinez les options qui concernent la forme de l'élément. Une courte description du choix de l'élément par défaut est disponible en bas de chaque page. Puisque le modèle est un treillis bidimensionnel, seulement des types d'éléments bidimensionnels sont disponibles. Une description du type d'élément **T2D2** apparaît en bas de la boîte de dialogue. ABAQUS/CAE associera maintenant les éléments **T2D2** aux éléments du maillage.
- Cliquer sur **OK** pour affecter ce type d'éléments au maillage du treillis et fermer la boîte de dialogue.
- Cliquer sur **Done**.

13.2. Créer le maillage

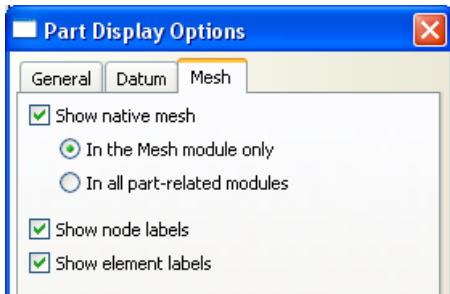
- A partir de la barre de menus cliquer sur **Seed→Part**. La boîte de dialogue **Global Seeds** apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue spécifier une taille approximative des éléments. Choisissez **1.0** puis cliquer sur **OK**.



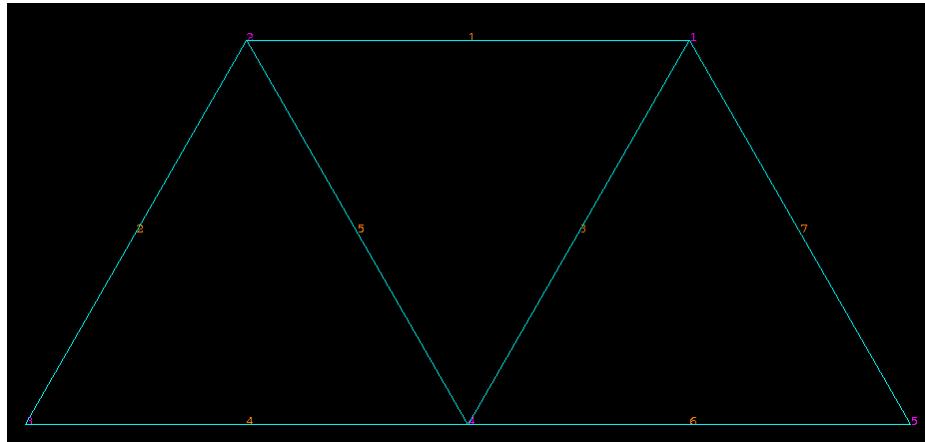
- A partir de la barre de menu sélectionnez **Mesh→Part**.
- Pour mailler la pièce et cliquez sur **Yes**.

ABAQUS/CAE affiche : "7 elements have been generated on part: Treillis"

- Vous pouvez afficher les numéros des nœuds et des éléments en sélectionnant **View→Part Display Options** à partir de la barre de menu. Cliquer sur **Show node labels** et **Show element labels** dans l'onglet **Mesh** de la boîte de dialogue **Part Display Options**.



- Cliquer sur **Apply** pour afficher les numéros des éléments et ceux des nœuds :

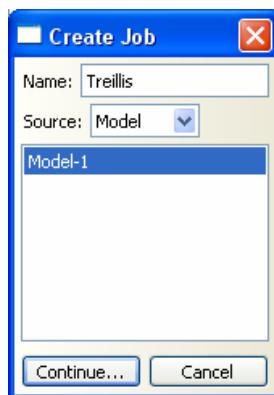


14. Création et lancement d'un calcul

14.1. Création d'un calcul (job)

Pour créer un travail :

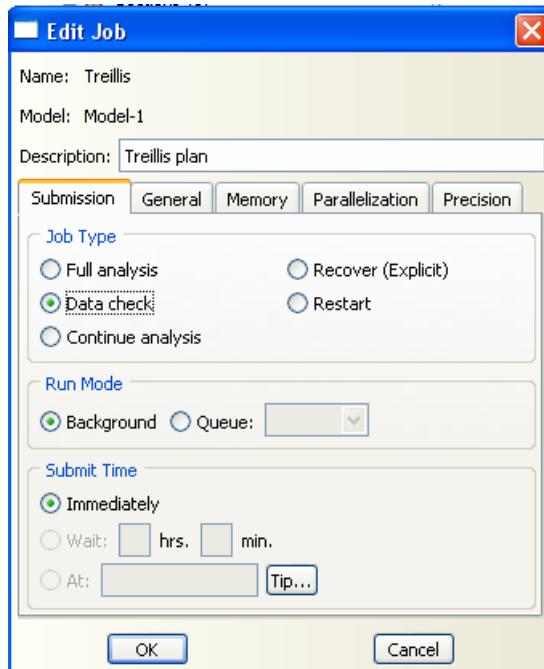
- Dans l'arbre du modèle, double-cliquer sur **Jobs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Job**.
- Nommez le travail **Treillis** et cliquer sur **Continue**.



La boîte de dialogue **Edit Job** apparaît alors.

- Dans la zone de description tapez **Treillis plan**.
- Il est possible de choisir plusieurs paramètres et options pour le travail :
 - **Full Analysis** : Faire une analyse complète (option par défaut).
 - **Data Check** : Vérifier que le calcul est consistant.
 - **Continue Analysis** : Continuer le calcul après une vérification.

- **Restart** : Lancer un job qui est la continuation d'une analyse précédente du modèle.
- Choisir **Data Check** et cliquez **OK** pour valider.



14.2. Vérifier le modèle EF

Après avoir générer le modèle EF, vous êtes prêt à lancer le calcul. Malheureusement, il est possible d'avoir des erreurs dans le modèle en raison des données incorrectes ou absentes. Il faut d'abord vérifier le modèle avant de faire l'exécution.

Pour lancer une vérification des données de l'analyse :

- Assurez-vous que le type du travail est bien **Data check**. Dans l'arbre modèle, ouvrez l'arborescence de **Job**.
- Cliquer avec le bouton 3 de la souris sur le travail appelé Treillis et choisir **Submit** du menu qui apparaît pour soumettre le travail.

Des informations apparaissent à côté du nom du travail indiquant son état. Les états suivants peuvent être indiqués :

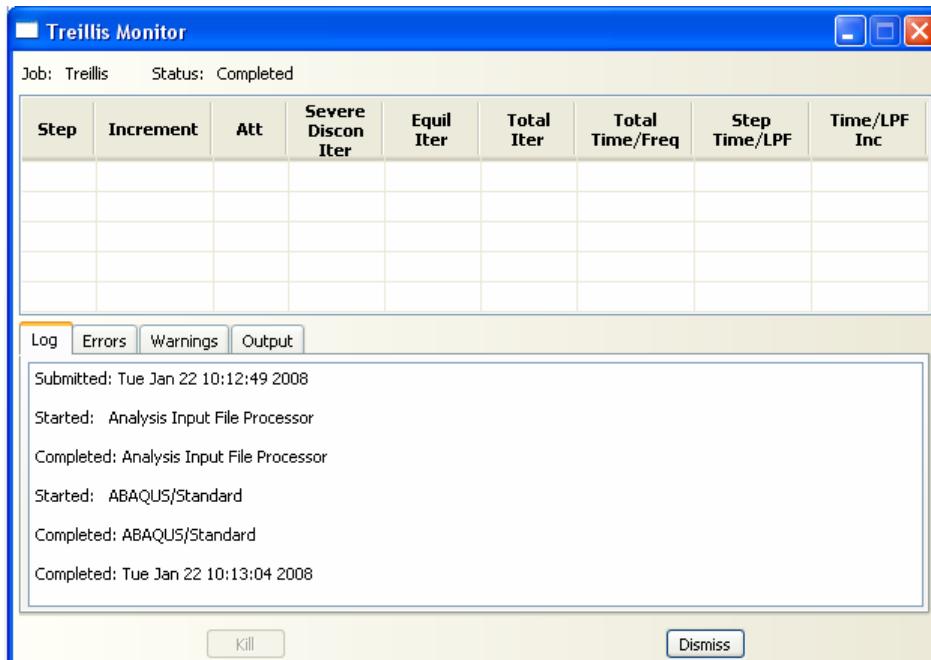
- **Submitted**, quand vous soumettez le travail.
- **Running** quand ABAQUS analyse le model.
- **Completed** quand l'analyse est complète, et les résultats écrits dans la base de données des résultats.
- **Aborted** si ABAQUS/CAE trouve un problème avec les données d'entrée et arrête l'analyse.

Pendant l'analyse, ABAQUS/Standard envoie des informations à ABAQUS/CAE pour vous permettre de suivre le progrès du travail ou de la vérification. L'information sur l'état du calcul, les données, et les fichiers contenant les messages apparaissent dans la zone de dialogue du contrôle du travail.

```
The job input file "Treillis.inp" has been submitted for analysis.
Job Treillis: Analysis Input File Processor completed successfully.
Job Treillis: ABAQUS/Standard completed successfully.
Job Treillis completed successfully.
```

Pour contrôler l'état du travail :

- Dans l'arbre du modèle, cliquer avec le bouton 3 de la souris sur le travail nommé **Treillis** et sélectionner **Monitor** à partir du menu qui apparaît pour ouvrir la boîte de dialogue **treillis monitor**.



La moitié supérieure de la boîte de dialogue montre les informations disponibles dans le fichier d'état de l'analyse qu'ABAQUS crée (**.sta**). Ce fichier contient un bref sommaire du progrès d'une analyse. La moitié inférieure de la zone de dialogue montre les informations suivantes :

- Cliquez sur l'onglet **Log** pour montrer les temps de début et de fin de l'analyse qui apparaissent dans le fichier d'extension (**.log**).
- Cliquez les onglets **Errors** et **Warnings** pour montrer les dix premières erreurs ou les dix premiers warnings qui apparaissent dans les fichiers (**.dat**) et (**.msg**). Si une région particulière du modèle cause l'erreur ou le warning, un ensemble de noeuds ou d'éléments que contient cette région sera créé automatiquement. Le nom de l'ensemble de noeuds ou d'éléments apparaît avec l'erreur ou le warning, et vous pouvez visualiser ce groupe en utilisant **Display Groups** dans le module de visualisation (**Visualization**).

Il ne sera pas possible de lancer le calcul jusqu'à ce que les causes de tous les messages d'erreurs soient corrigées. En outre, vous devriez toujours étudier la raison des warnings pour déterminer est-ce qu'une correction est nécessaire ou si de tels messages peuvent être ignorés sans risque.

Si il y a plus de dix erreurs ou warnings, l'information concernant les erreurs et les warnings additionnels peut être obtenue à partir des fichiers (**.dat**) et (**.msg**).

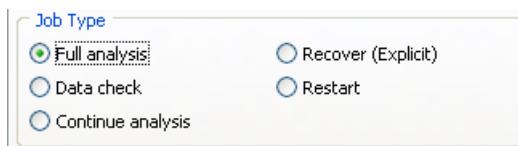
- Cliquer sur l'onglet **Output** pour afficher le chemin et le nom du fichier résultats.



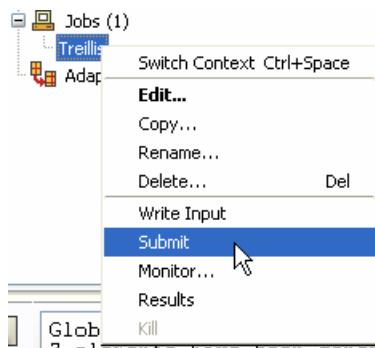
- Cliquer sur **Dismiss** pour fermer la boîte de dialogue **Treillis monitor**.

Pour soumettre le travail :

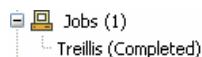
- Dans l'arbre du modèle, cliquer avec le bouton 3 de la souris sur le travail nommé **Treillis** et sélectionner **Edit** à partir du menu qui apparaît pour ouvrir la boîte de dialogue **Edit Job**.
- Choisir **Full Analysis** et cliquez sur **OK** pour valider et fermer la boîte de dialogue **Edit Job**.



- cliquer avec le bouton 3 de la souris sur le nom du travail dans l'arbre du modèle puis cliquer sur **Submit**.

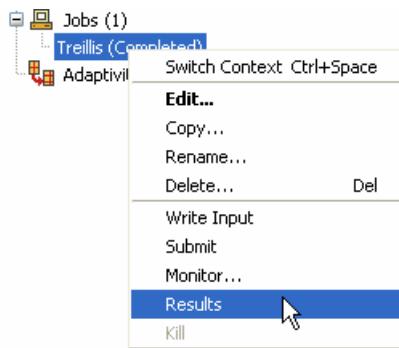


- A la fin de l'analyse du modèle (ABAQUS marque **Completed** à côté du travail demandé).

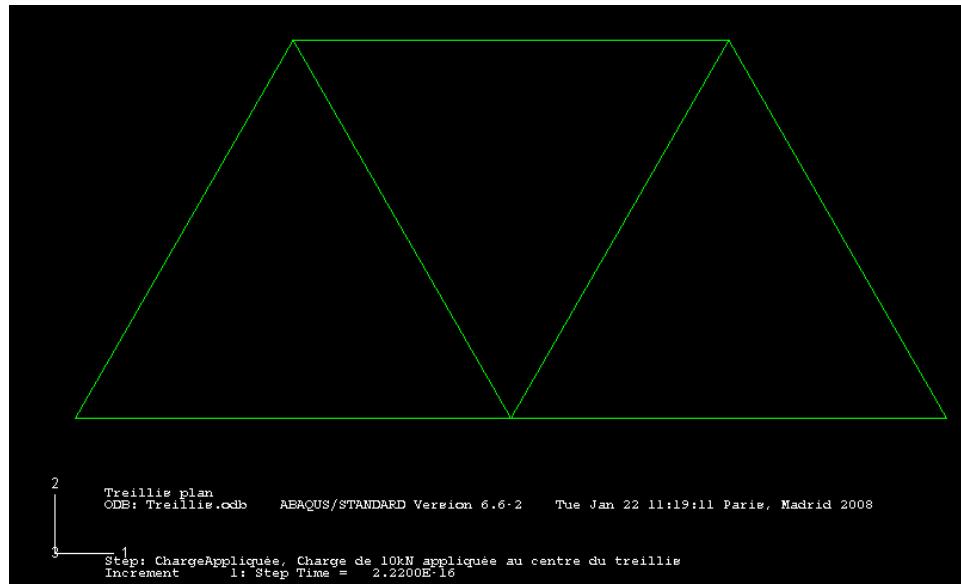


15. Visualiser les résultats de l'analyse

Quand le travail est accompli avec succès, vous pouvez visualiser les résultats de l'analyse avec le module **Visualization**. Dans l'arbre du modèle, cliquez avec le bouton 3 de la souris sur le travail appelé **Treillis** et choisissez **results** à partir du menu qui s'affiche pour entrer dans le module de visualisation.



ABAQUS/CAE ouvre la base de données des résultats créée par le travail et affiche la forme du modèle non déformée.



Vous pouvez également entrer dans le module **Visualization** en sélectionnant **Visualization** à partir de la liste des modules. Sélectionner **File→Open** à partir de la barre de menu. Choisir treillis.odb à partir de la liste des fichiers de base de données des résultats disponibles, puis cliquer sur **OK**.

Dans le bloc de titre en bas de la pièce, on retrouve les indications suivantes :

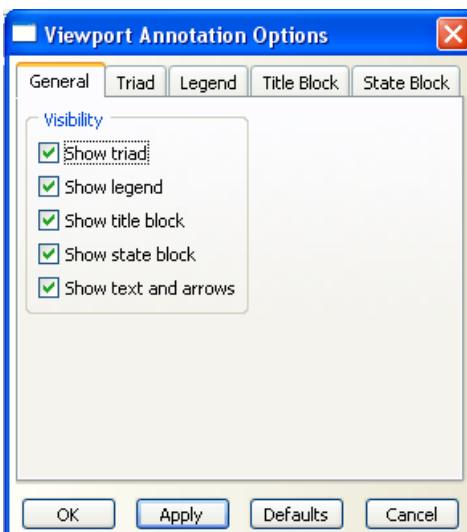
- La description du modèle (à partir de la description du travail ou **Job**).
- Le nom du fichier base de données des résultats (**.odb**).
- Le nom du produit (ABAQUS/Standard ou ABAQUS/Explicit) et la version utilisée pour générer les résultats.
- La date et l'heure de modification du fichier base de données des résultats.

Le bloc d'état en bas du bloc de titre indique ce qui suit :

- Quel état (**Step**) est visualisé.
- L'incrément de l'étape.
- Le temps de l'étape.

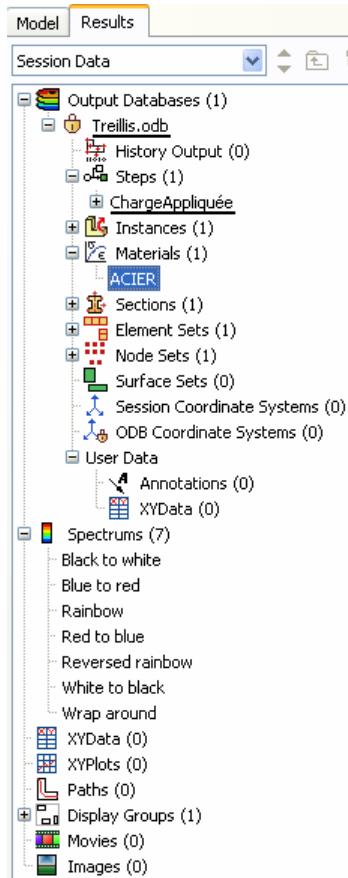
Le système d'axes indique l'orientation du modèle dans le système de coordonnées globales.

Vous pouvez supprimer l'affichage du bloc de titre, le bloc d'état, et le système d'axes ou l'adapter en sélectionnant **Viewport→Viewport Annotation Options** à partir de la barre de menu principale.



15.1. L'arbre des résultats

Vous utiliserez l'arbre des résultats (**Results**) pour vérifier les composants du modèle. Il permet l'accès facilement aux résultats **History Output** contenu dans un fichier base de données résultats afin de créer des courbes X-Y et également des groupes d'éléments, de nœuds, et des surfaces basées sur des noms d'ensemble (**Sets**), affectation du matériau et de la section, etc... pour vérifier le modèle et de gérer également l'affichage des résultats.



Afin de vérifier le modèle :

- Sur le côté gauche de la fenêtre principale, cliquez sur l'onglet **Results** pour afficher l'arbre des résultats si ce n'est pas encore fait.
- Tous les fichiers base de données des résultats qui sont ouverts dans une session de post-traitement donnée sont énumérés sous la branche **Output Databases**. Ouvrez cette branche ensuite la branche base de données des résultats appelée **Treillis.odb**.
- Ouvrir la branche **Materials** et cliquez sur le matériau appelé **Acier**. Tous les éléments sont colorés en rouge car un seul matériau a été affecté à tout le Treillis.

15.2. Personnaliser l'état non déformé du modèle

Vous utiliserez maintenant les options du dessin pour permettre l'affichage des numéros des nœuds et des éléments. Des options de dessin communes à tous les types de dessin (non déformé, déformé, contour, symbole, et orientation matérielle) qui sont placées dans une boîte de dialogue simple.

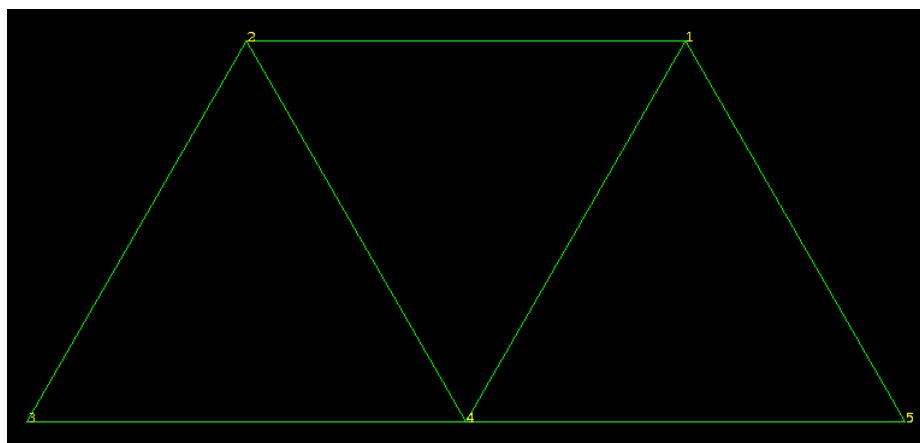
Pour afficher les numéros des nœuds :

- À partir de la barre de menu principale, choisissez **Options→Common** ; ou utilisez l'outil  dans la boîte à outils. La boîte de dialogue **Common Plot Options** apparaît.

- Cliquez l'onglet **Labels**.
- Choisissez **Show node labels**. Vous pouvez choisir la couleur de ces numéros en cliquant sur le bouton **Color**. Par défaut cette couleur est jaune.
- Cliquez sur **Apply**.



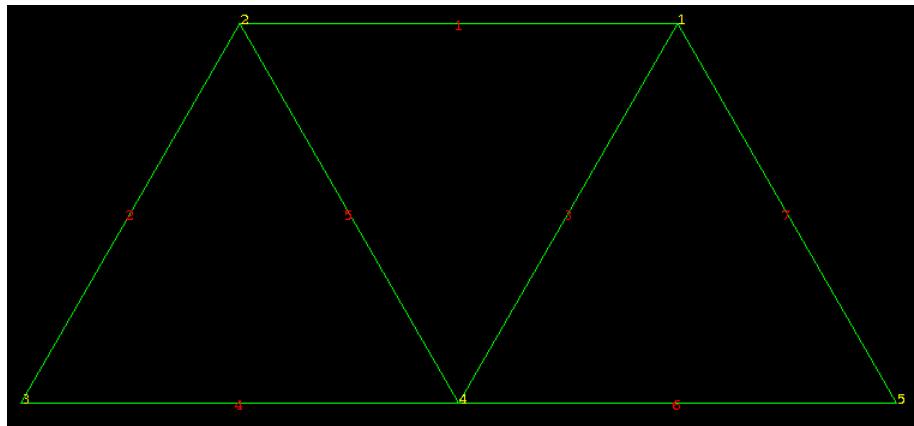
ABAQUS/CAE applique le changement et maintient la boîte de dialogue ouverte. Vos numéros de nœuds peuvent être différents selon l'ordre dans lequel vous avez dessiné les membres du treillis.



Pour afficher les numéros des éléments :

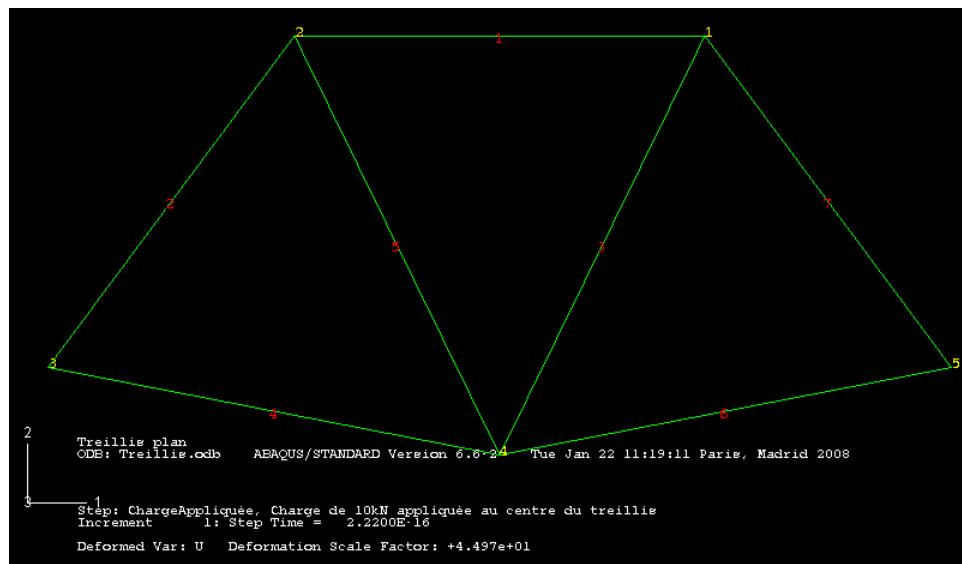
- Dans l'onglet **Labels** de la boîte de dialogue **Common Plot Options**, Choisissez **Show element labels**.
- Choisissez une couleur rouge en cliquant sur le bouton **Color**.
- Cliquez sur **OK**.

ABAQUS/CAE applique le changement et ferme la boîte de dialogue.



15.3. Afficher et Personnaliser l'état déformé du modèle

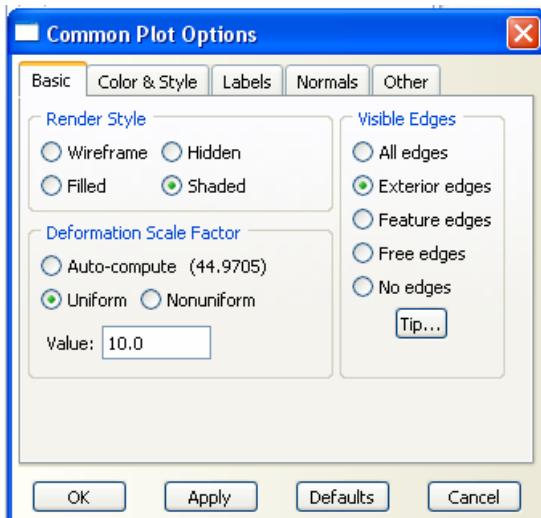
À partir de la barre de menu principale, sélectionnez Plot Deformed→Shape; ou utilisez l'outil dans la boîte à outils. ABAQUS/CAE affiche la déformée du modèle.



Pour des analyses en petits déplacements (la formulation par défaut dans ABAQUS/Standard), les déplacements sont multiplié par un facteur automatiquement pour s'assurer qu'ils sont visibles. Le facteur multiplicateur est affiché dans le bloc d'état. Dans ce cas-ci les déplacements ont été multipliés par un facteur de 44.97.

Pour changer le facteur multiplicateur de déformation :

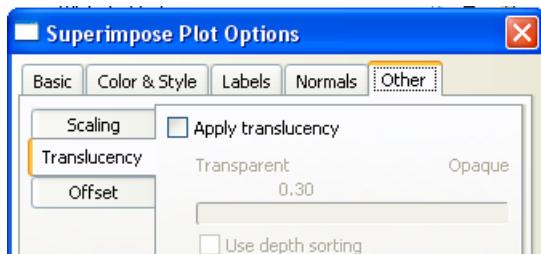
- À partir de la barre de menu principale, choisissez Options→Common ; ou utilisez l'outil dans la boîte à outils.
- Dans l'onglet **Basic** de la boîte de dialogue **Common Plot Options**, Choisissez **Uniform** dans la zone **Deformation Scale Factor**.
- Entrez la valeur **10.0** dans le champ **value**.



- Cliquez sur **Apply** pour réafficher la déformée.

Pour Superposer la déformée et la forme initiale du modèle :

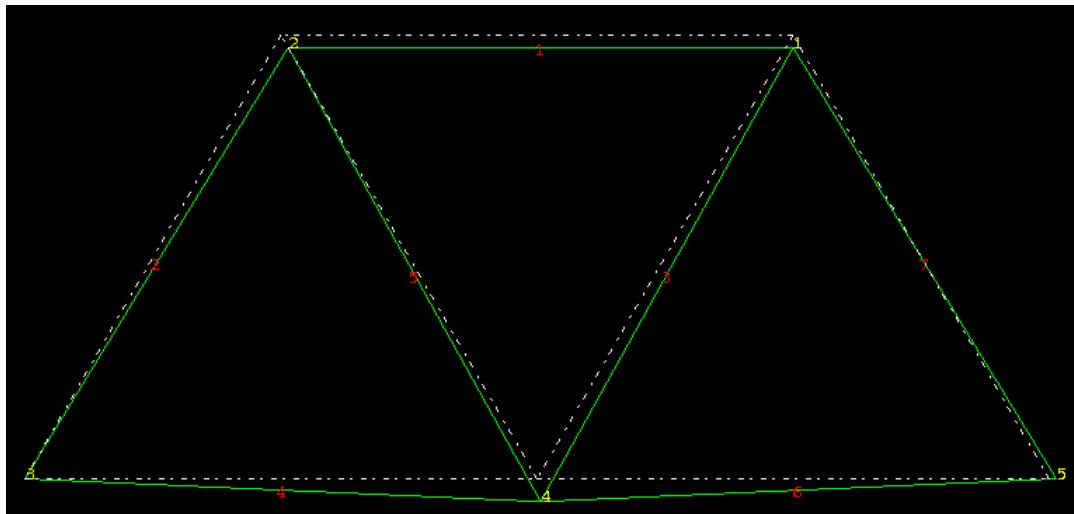
- Cliquez sur l'outil dans la boîte à outils; cliquez alors sur l'outil ou sélectionnez **Plot→Undeformed** pour ajouter la forme initiale du modèle à la déformée déjà affichée. Par défaut, ABAQUS/CAE trace la forme modèle déformée en vert et la forme initiale (superposée) avec blanc translucide (qui apparaît gris).
- Les options de la forme superposée sont commandées séparément de ceux de la forme affichée en premier. À partir de la barre de menu principale, choisissez **Options→Superimpose** ; ou utilisez l'outil dans la boîte à outils pour supprimer la translucidité de la forme superposée (c.-à-d., état initiale).
- A partir de la boîte de dialogue **Superimpose Plot Options**, cliquez sur l'onglet **Other**.
- Dans l'onglet **Other**, choisissez l'onglet de **Translucency**.
- Décocher **Apply translucency**.



Dans l'onglet **Color&Style**, dans la zone **Edge Attributes**, choisissez un Style de trait discontinu comme montré dans la figure suivante :



- Cliquez sur **OK** de pour fermer la boîte de dialogue **Superimpose Plot Options** et pour appliquer les changements. Le modèle à l'état non déformé apparaît en blanc.

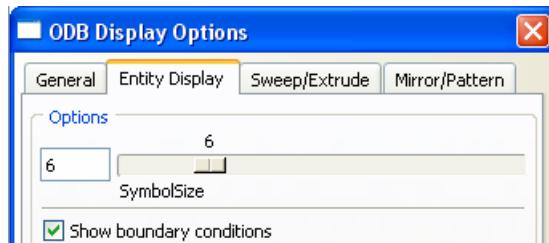


15.4. Vérification du modèle avec ABAQUS/CAE

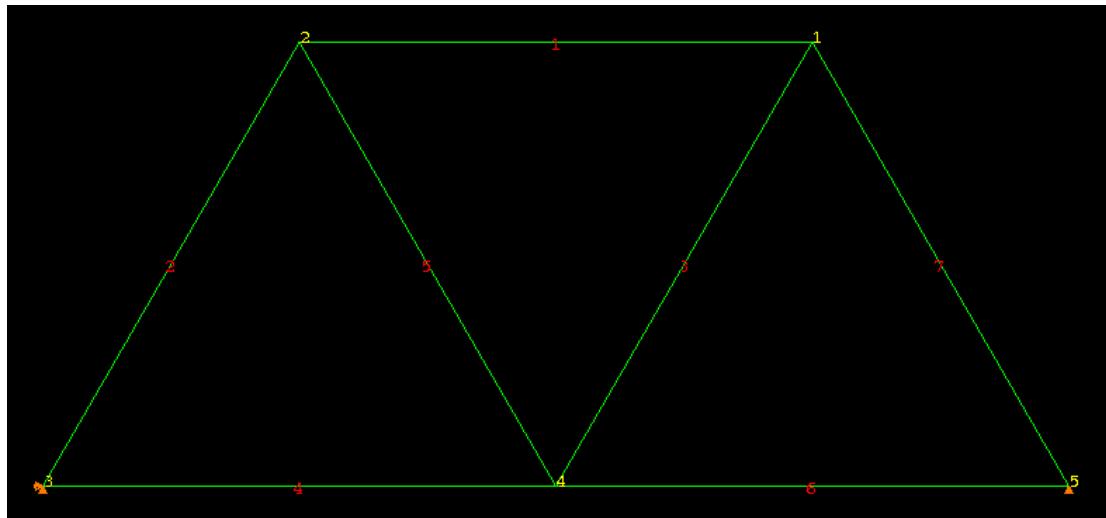
Vous pouvez utiliser ABAQUS/CAE pour vérifier que le modèle est correct avant de lancer la simulation. Vous avez déjà vu comment afficher le modèle et montrer les numéros de nœuds et ceux des éléments. Ce sont des outils utiles pour vérifier qu'ABAQUS utilise un maillage correct. Les conditions aux limites appliquées au modèle peuvent également être affichées et vérifiées dans le module de visualisation.

Pour afficher les conditions aux limites à l'état non déformé du modèle :

- Cliquez sur l'outil  dans la boîte à outils pour désactiver l'affichage multiple.
- Affichez l'état non déformé du modèle, si il n'est pas déjà affiché. À partir de la barre de menu principale, sélectionnez **Plot→Undeformed**; ou utilisez l'outil  dans la boîte à outils.
- A partir de la barre de menu principale, sélectionnez **View→ODB Display Options**.
- Dans la boîte de dialogue **ODB Display Options**, cliquez sur l'onglet **Entity Display**.
- Choisissez **Show boundary conditions**.
- Cliquez sur **OK**.



ABAQUS/CAE affiche des symboles pour indiquer les conditions aux limites appliqués, comme montré sur la figure suivante :

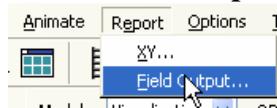


15.5. Fichiers résultats (.dat)

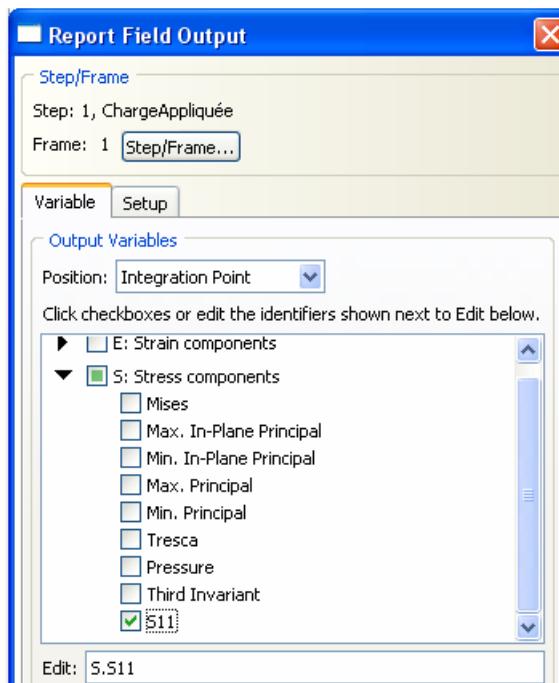
En plus des possibilités graphiques décrites ci-dessus, ABAQUS/CAE vous permet d'écrire des résultats dans un fichier texte (**.dat**) dans un format donné. Les résultats écrits de cette manière sont très utiles. Ils peuvent, par exemple, être utilisés pour des rapports écrits. Dans ce problème vous allez générer un rapport contenant les contraintes dans les éléments, les déplacements nodaux, et les forces de réaction.

Pour générer un rapport de résultats :

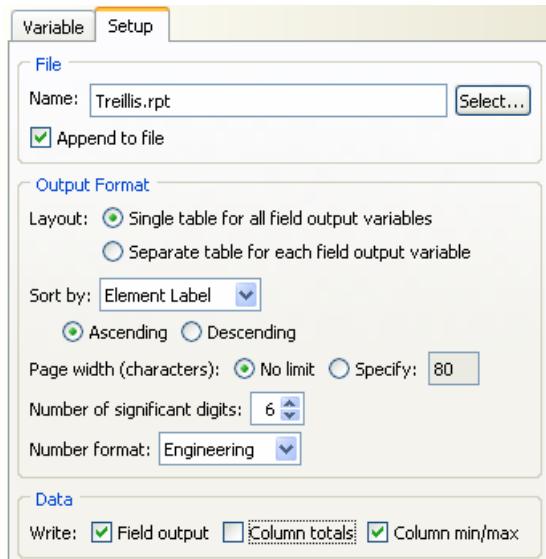
- Dans la barre de menu principale, sélectionnez **Report→Field Output**.



- Dans l'onglet **Variable** de la boîte de dialogue **Report Field Output**, acceptez la position par défaut marquée **Integration Point**. Cliquez sur le triangle à côté de **S** : pour développer les composants des contraintes disponibles. Dans cette liste, cliquer sur **S11**.



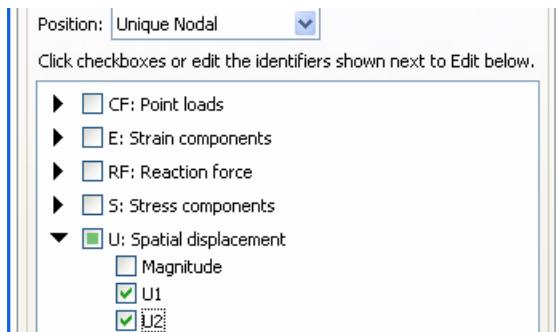
- Dans l'onglet **Setup**, nommez le rapport **Treillis.rpt**. Dans la zone **Data** en bas de la boîte de dialogue, décochez **Column totals**.



- Cliquez sur **Apply**.

Les contraintes dans les éléments sont écrites dans le fichier rapport des résultats.

- Dans l'onglet **Variable** de la boîte de dialogue **Report Field Output**, changez de la position **Integration Point** à la position **Unique Nodal**. DÉCOCHER **S** puis Cliquez sur le triangle à côté de la variable **U** : pour choisir les composants des déplacement **U1** et **U2**.



- Cliquez sur **Apply**.

Les déplacements nodaux sont rajoutés au fichier rapport des résultats.

- Dans l'onglet **Variable** de la boîte de dialogue **Report Field Output**, décocher **U** puis Cliquez sur le triangle à côté de la variable **RF** : pour choisir les composants des déplacement **RF1** et **RF2**.



- Dans la zone **Data** en bas de la boîte de dialogue, cochez **Column totals** pour calculer la somme des réactions.

- Cliquez sur **OK**.

Les forces de réaction sont rajoutés au fichier rapport des résultats, et la boîte de dialogue **Report Field Output** se ferme.

Ouvrez le fichier **Treillis.rpt** dans un éditeur de texte. Le contenu de ce fichier est montré ci-dessous. Votre numérotation des nœuds et des éléments peut être différente. Les valeurs très petites peuvent également être calculées différemment, selon votre système.

Field Output Report, written Tue Jan 22 17:01:41 2008

Source 1

ODB: C:/Temp/Treillis.odb
Step: ChargeAppliquée
Frame: Increment 1: Step Time = 2.2200E-16

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: TREILLIS-1

Element Label	Int Pt	S.S11 @Loc 1
1	1	-294.116E+06
2	1	-294.116E+06
3	1	294.116E+06
4	1	147.058E+06
5	1	294.116E+06
6	1	147.058E+06
7	1	-294.116E+06

Minimum -294.116E+06
At Element 7

Maximum 294.116E+06
At Element 5

Int Pt 1

Field Output Report, written Tue Jan 22 17:08:00 2008

Source 1

ODB: C:/Temp/Treillis.odb
Step: ChargeAppliquée
Frame: Increment 1: Step Time = 2.2200E-16

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part: TREILLIS-1

Node Label	U.U1 @Loc 1	U.U2 @Loc 1
------------	-------------	-------------

1	-867.362E-21	-2.42583E-03
2	1.40055E-03	-2.42583E-03
3	0.	-5.E-33
4	700.277E-06	-4.44736E-03
5	1.40055E-03	-5.E-33

Minimum -867.362E-21 -4.44736E-03

At Node 1 4
Maximum 1.40055E-03 -5.E-33

At Node 5 5

Field Output Report, written Tue Jan 22 17:17:36 2008

Source 1

ODB: C:/Temp/Treillis.odb
Step: ChargeAppliquée
Frame: Increment 1: Step Time = 2.2200E-16

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part: TREILLIS-1

Node Label	RF.RF1 @Loc 1	RF.RF2 @Loc 1
1	0.	0.
2	0.	0.
3	1.81899E-12	5.E+03
4	0.	0.
5	0.	5.E+03

Minimum 0. 0.

At Node 5 4
Maximum 1.81899E-12 5.E+03

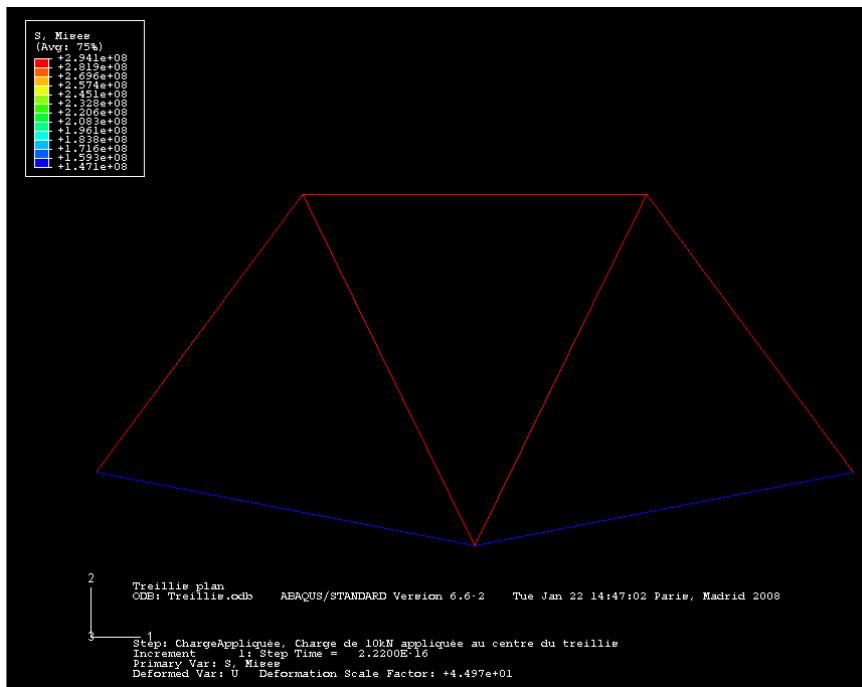
At Node 3 5

Total 0. 10.E+03

C'est une bonne idée de vérifier que les résultats de la simulation satisfont les principes de base de la physique. Vérifiez dans ce cas que la somme des forces externes appliquées au treillis et les forces de réaction est égale à zéro dans les directions verticales et horizontales.

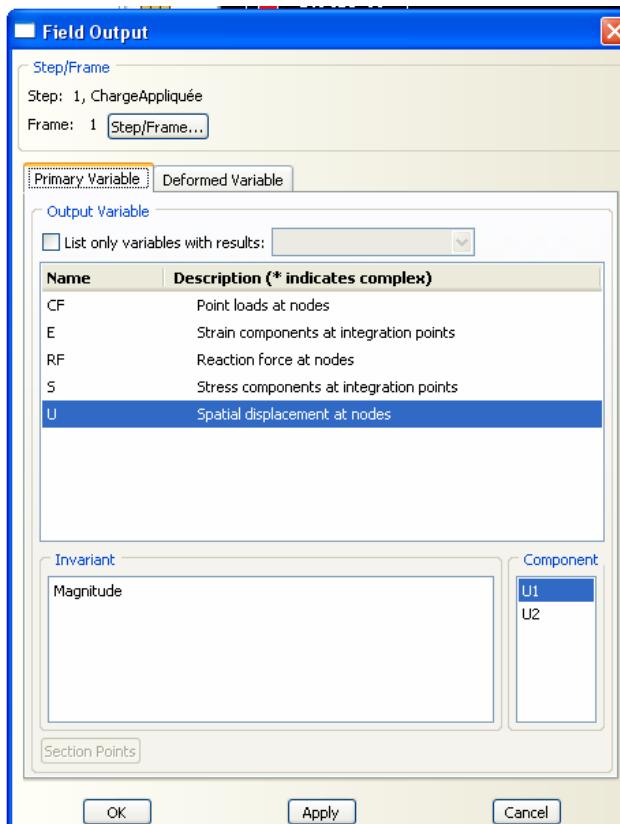
15.6. Afficher des champs

Pour afficher le champ de la contrainte de Von Mises, on peut utiliser l'icône  :

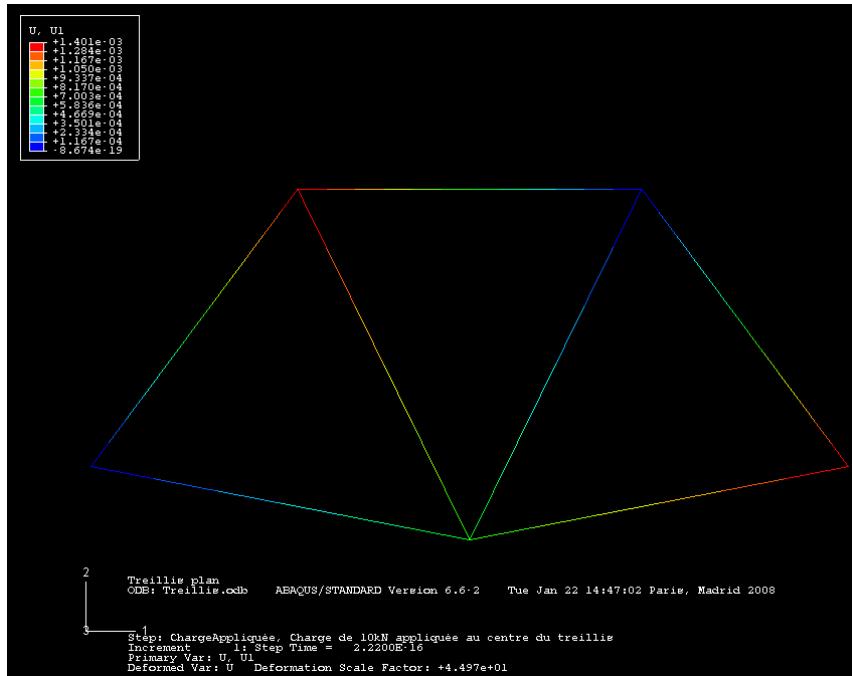


Pour changer la variable affichée :

- Dans la barre de menu principale, sélectionnez **Result→Field Output**. La boîte de dialogue **Field Output** apparaît alors.

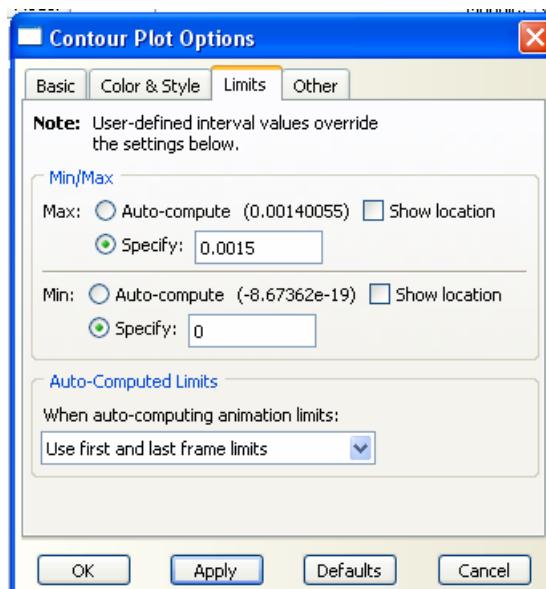


- À Partir de la liste de variables de sortie disponibles, sélectionnez **U** par exemple et choisissez **U1**.
- Cliquez sur **OK**.



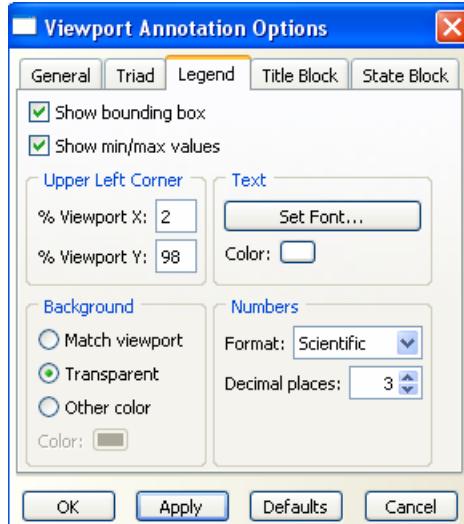
Pour spécifier les valeurs min et max de la barre de couleurs :

- Dans la barre de menu principale, sélectionnez **Options**→**Contour**. La boîte de dialogue **Contour Plot Options** apparaît.
- Cliquez sur l'onglet **Limits**.
- Cliquez sur **Specify** et rentrez les valeurs min et max que vous voulez.
- Cliquez sur **Apply** pour appliquer ce changement.
- Cliquez sur **OK** pour fermer la boîte de dialogue.

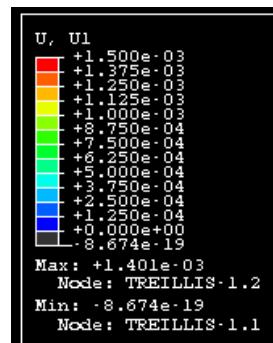


Pour afficher les valeurs min et max du calcul :

- Dans la barre de menu principale, sélectionnez **Viewport**→**Viewport Annotation Options**. La boîte de dialogue **Viewport Annotation Options** apparaît.



- Cliquez sur l'onglet **Legend**.
- Cliquez sur **Show min/max values**.
- Cliquez sur **Apply** pour appliquer ce changement. En dessous de la barre des couleurs le maximum, le minimum s'affichent.
- Cliquez sur **OK** pour fermer la boîte de dialogue.



Partie 2

*Aide à l'utilisation du code de calcul par
éléments finis ABAQUS*

1. Les caractéristiques du logiciel ABAQUS

ABAQUS est avant tout un logiciel de simulation par éléments finis de problèmes très variés en mécanique. Il est connu et répandu, en particulier pour ses traitements performants de problèmes nonlinéaires.

Le cœur du logiciel ABAQUS est donc ce qu'on pourrait appeler son "moteur de calcul". À partir d'un fichier de données (caractérisé par l'extension **.inp**), qui décrit l'ensemble du problème mécanique, le logiciel analyse les données, effectue les simulations demandées et fournit les résultats dans un fichier **.odb**.

Deux tâches restent à accomplir : générer le fichier de données (cela s'appelle aussi prétraitement), et exploiter les résultats contenus dans le fichier **.odb** (ou post-traitement). La structure du fichier de données peut se révéler rapidement complexe : elle doit contenir toutes les définitions géométriques, les descriptions des maillages, des matériaux, des chargements, etc..., suivant une syntaxe précise. Il faut savoir que le prétraitement et le post-traitement peuvent être effectués par d'autres logiciels. ABAQUS propose le module ABAQUS CAE, interface graphique qui permet de gérer l'ensemble des opérations liées à la modélisation :

- La génération du fichier de données.
- Le lancement du calcul proprement dit.
- L'exploitation des résultats.

Il est toujours possible de générer le fichier de données par d'autres moyens :

- avec un peu d'expertise, on peut générer le fichier entièrement "à la main", pour peu qu'on se limite à des géométries simples,
- des logiciels de CAO (I-DEAS, CATIA..), comportent des modules permettant d'exporter les problèmes modélisés au format ABAQUS, en générant le fichier **.inp**.

De même, les résultats de calculs pourraient être visualisés à l'aide d'autres logiciels dédiés à cette tâche (EnSight par exemple).

Si les fonctionnalités de pré et post-traitement proposées dans ABAQUS CAE ne constituent pas le cœur essentiel d'ABAQUS, elles n'en offrent pas moins des outils très intéressants qui facilitent grandement l'accès au calcul lui-même.

2. Principales étapes pour effectuer une étude par EF avec ABAQUS :

- Construction du modèle géométrique : via un profil 2D
- Définir les propriétés du matériau utilisé et de la section du treillis
- Assemblage de la géométrie et création de sous ensembles
- Configuration de l'analyse et spécification des résultats à créer
- Définition des conditions aux limites et du chargement
- Maillage
- Création d'un job d'analyse et lancement des calculs
- Post-traitement et visualisation des résultats

3. Bases de l'interface d'ABAQUS

3.1. Organisation de l'interface

On retrouve dans l'interface les éléments essentiels suivants :

- la fenêtre d'affichage graphique
- une première barre de menus en haut : ces menus sont relatifs au module dans lequel on se trouve
- une deuxième barre horizontale d'outils : y sont disposées les icônes correspondant aux commandes les plus courantes, c'est-à-dire les commandes d'ouverture et d'enregistrement de fichiers, et les commandes réglant l'affichage des vues (perspective, ombrage, zoom, rotations, etc.)
- une troisième barre de menus déroulant permettant d'accéder aux autres modules, ou de sélectionner le modèle ou la pièce sur lesquels on souhaite travailler.
- Plus important : on dispose à gauche d'une colonne d'icônes permettant d'accéder aux outils disponibles à l'intérieur du module dans lequel on se trouve.

Attention : les icônes comportant une petite flèche en bas à droite  cachent d'autres icônes. Il faut maintenir enfoncée la touche 1 de la souris sur ces icônes pour voir apparaître les icônes cachées et pouvoir sélectionner les outils correspondants.

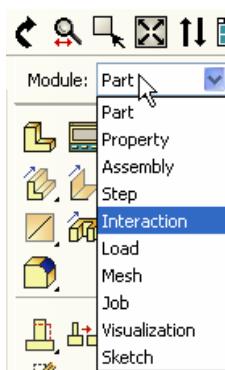
- L'espace juste sous la fenêtre d'affichage graphique est celui dans lequel ABAQUS vous parle : les messages affichés à cet endroit sont faits pour vous guider dans l'action que vous avez entreprise. Lisez-les, suivez-les attentivement, ils vous seront d'une grande aide.
- Enfin, une fenêtre en dessous sur fond blanc est utilisée pour afficher des messages informatifs : réponses à des questions posées, avertissements liés à des problèmes rencontrés, etc.

3.2. Manipulation de la vue affichée

Trois raccourcis bien pratiques pour manipuler la vue affichée à l'aide de la souris : "Ctrl + Alt + souris/1" : rotation de la vue, "Ctrl + Alt + souris/2" : translation de la vue, "Ctrl + Alt + souris/3" : zoom avant/arrière.

3.3. Les Modules

ABAQUS CAE est divisé en unités fonctionnelles appelées modules. Chaque module contient les outils qui sont propres à une partie de la tâche de modélisation.



Le module Part

Le module **Part** permet de créer des parties ou objets géométriques, soit en les dessinant dans ABAQUS CAE, soit en les important d'un autre logiciel de modélisation.

Le module Property

Le module **Property** permet de définir les propriétés des parties, ou objets géométriques, créées dans **Part** ou d'une région de ces parties.

Le module Assembly

Ce module permet d'assembler les différentes parties créées dans un même repère de coordonnées global. Un modèle ABAQUS contient un seul assemblage.

Le module Step

Ce module permet de créer et configurer les étapes d'analyse et les requêtes pour le post-traitement ou **Output Requests**. La séquence d'une étape fournit une manière commode de capturer des changements dans un modèle (tel qu'un changement du chargement ou des conditions aux limites); les requêtes de post-traitement peuvent changer selon les besoins pour chaque étape.

Le module Interaction

Grâce à ce module, il est possible de spécifier les interactions mécaniques et thermiques entre les différentes parties et régions du modèle. Un exemple d'une interaction est le contact entre deux surfaces. Il faut savoir qu'ABAQUS ne prend en compte que les interactions explicitement définies, la proximité géométrique n'étant pas suffisante.

Le module Load

Le module **Load** permet de spécifier tous les chargements, conditions aux limites. Il faut savoir que les chargements et les conditions limites sont dépendants des étapes **steps**, ce qui signifie que vous devez indiquer les étapes d'analyse dans lesquelles elles sont actives.

Le module Mesh

Ce module contient tous les outils nécessaires pour générer un maillage éléments finis sur un assemblage **Assembly**.

Le module Job

Une fois que toutes les tâches de définition du modèle ont été réalisées, le module **Job** peut être utilisé pour analyser ce modèle. Ce module permet de soumettre interactivement un calcul (**Job**) pour l'analyse et de surveiller son progrès. Plusieurs modèles et calculs peuvent être soumis et surveillés simultanément.

Le module Visualization

Ce module fournit l'affichage graphique des modèles et des résultats éléments finis. Les variables qu'on peut sortir sont commandés à partir des requêtes de post-traitement (**Output Requests**) du module **Step**.

Le module Sketch

Ce module permet de créer des formes bidimensionnelles employés pour aider à former la géométrie définissant une pièce dans ABAQUS/CAE. Il peut être utilisé pour créer des parties planaires, des poutres, des géométries 2D qui peut être extrudé ou tourné pour former des parties tridimensionnelles.

4. Génération de la géométrie

4.1. Principes généraux

Les fonctionnalités offertes par ABAQUS CAE au niveau de la génération de la géométrie reprennent, sous une forme simplifiée et beaucoup moins développée, ce qu'on pourrait trouver dans la partie géométrique d'un code de CAO. Les logiciels de CAO classiques offrent de plus en plus de fonctionnalités supplémentaires, et permettent de générer des géométries complexes et précises. ABAQUS CAE ne peut les concurrencer sur ce domaine, mais permet cependant de créer de manière efficace les supports géométriques nécessaires à l'étude de problèmes à géométries peu complexes.

Les éléments de modélisation associés à un problème mécanique pourront s'appuyer sur différents types de géométries simples : des points, des lignes, des surfaces et des volumes. ABAQUS CAE permet de créer successivement des composants élémentaires de chacun des types précédents, et de les associer ensuite pour générer des entités géométriques plus complexes.

L'objet à modéliser sera considéré comme un assemblage, réalisé à l'aide du module **Assembly**. Un assemblage est composé d'instances de plusieurs pièces, qui auront été créées à l'aide du module **Part**. Ces instances des différentes pièces sont associées entre elles suivant des contraintes géométriques qui règlent leurs positionnements relatifs.

4.2. Crédit d'une pièce (module Part)

Une **Part** peu être une partie pas trop complexe de l'assemblage qui constituera la géométrie modélisée. Elle peut être filaire, surfacique ou volumique. Elle est en général constituée d'une forme élémentaire, à laquelle peuvent être ajoutées quelques éléments (**Features**) supplémentaires, servant à ajouter ou à retirer de la matière.

La création de la géométrie d'une pièce s'appuie sur un dessin 2D (**sketch**), qui génère dans l'espace un volume, que ce soit par extrusion, par révolution autour d'un axe, ou par balayage d'un contour le long d'un chemin (**sweep**).

4.2.1. Partie dessin 2D

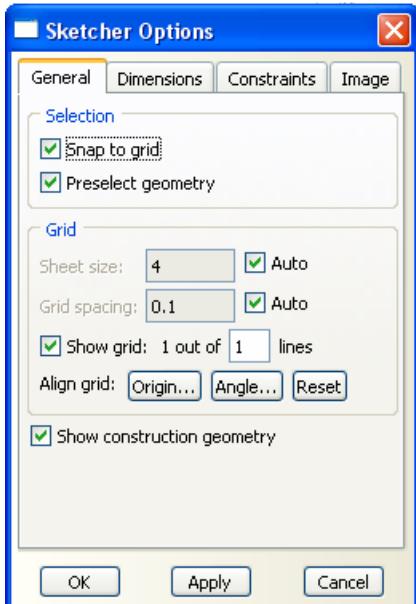
Lors de la création d'une nouvelle pièce, après un menu servant à renseigner les caractéristiques de la pièce, on est conduit à un module de dessin 2D, servant à tracer les contours de l'ébauche de la pièce.

4.2.2. Repérage par rapport à la grille de fond

Les options de dessin 2D (accessibles par l'icône ), permettent de faciliter le positionnement des points sur la grille :

- si l'option **Snap to grid** est sélectionnée, il sera proposé de positionner les points uniquement aux intersections de la grille,
- si l'option **Preselect geometry** est sélectionnée, on pointe exactement des points déjà créés pour positionner de nouveaux points.

Ces deux options peuvent être modifiées à tout moment, y compris au cours d'une opération de construction de ligne, et prendront effet dès qu'on clique sur **Apply**.



4.2.3. Cotations

L'icône et permettent de définir des côtes de longueur, de rayon. Cela est très utile pour paramétriser la géométrie du modèle et la modifier facilement et rapidement par la suite.

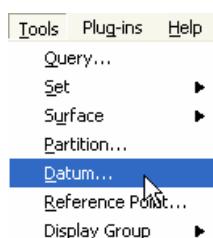
La modification des côtes s'effectue en cliquant sur l'icône .

4.2.4. Géométries de construction

L'icône et les icônes associées permettent de créer des géométries de construction. Cela est utile pour toute construction nécessaire qui ne constitue pas le contour final souhaité, par exemple pour les axes de révolution.

4.2.5. Géométries de repérage (Datum)

Pour réaliser les opérations d'assemblage des pièces, il est utile, voir parfois indispensable, d'avoir recours à des entités géométriques (points, axes ou plans) liées aux pièces, et servant de repérage sur celles-ci. Le menu de création de ces entités, appelé **Datum**, est accessible par le menu **Tools**. Des options variées sont proposées pour créer ces entités.



4.3. Assemblage de pièces (module Assembly)

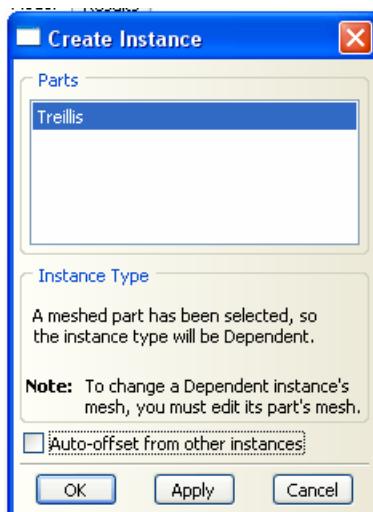
4.3.1. Notion d'instance d'une pièce

Le module d'assemblage est utilisé pour créer la géométrie sur laquelle s'appuiera le modèle étudié. Il utilise les instances des pièces déjà créées, c'est-à-dire des représentations de ces pièces dans un espace donné. Un même motif de base, correspondant à une unique pièce, peut apparaître plusieurs fois dans l'assemblage final : on aura là plusieurs instances de la même pièce. Il faut considérer la pièce réalisée sous le module **Part** comme une entité virtuelle qui se réalise, au moment de l'assemblage, et occupe une position déterminée dans l'espace. La

tâche essentielle de l'opération d'assemblage consiste à définir les positionnements relatifs des instances des différentes pièces.

4.3.2. *Création d'une instance*

La commande de création d'une instance est accessible par le menu **Instance→Create**. Sélectionner alors la pièce dont on veut créer une instance, et cliquer sur **Apply** ou **OK**. On a tout intérêt à cocher dans la boîte de dialogue l'option **Auto-offset from other instances** : les différentes instances sont alors positionnées dans l'espace les unes à la suite des autres, sans risquer de se recouvrir ou d'être trop distantes.



4.3.3. *Les contraintes d'assemblage (Constraints)*

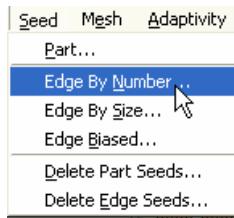
L'opération d'assemblage consiste à venir positionner successivement chacune des instances l'une par rapport à l'autre. Ce positionnement est réalisé essentiellement en indiquant comment les plans, arêtes et points des différentes instances se positionnent relativement. Dans chaque assemblage entre deux instances, on considère toujours que l'une est fixe, et l'autre mobile. Une instance qui a été considérée comme fixe dans un assemblage, ne pourra plus être considérée comme mobile pour un autre assemblage. Pour un enchaînement de plusieurs assemblages successifs, il faut donc considérer une partie fixe, et amener successivement les autres instances mobiles à se positionner par rapport aux autres instances déjà placées.

5. *Réalisation du maillage*

Le maillage est réalisé par le module **Mesh**. La réalisation du maillage suit les phases suivantes :

- Détermination de la taille des éléments, ou de la densité du maillage, globalement, ou sur les arêtes. Cela revient à prévoir déjà grossièrement les positions des nœuds sur les arêtes ou faces choisies. Cette opération est appelée **seeding** dans ABAQUS : elle consiste à distribuer localement ces **seeds** en lesquels le mailleur essaiera de positionner les nœuds. Les commandes pour cette opération se trouvent dans le menu **Seed**, ou dans les icônes en haut à gauche. On peut déterminer au choix :
 - la taille moyenne entre deux nœuds sur l'ensemble d'une instance,
 - le nombre d'éléments sur une arête,
 - la taille des éléments sur une arête,
 - le nombre d'éléments sur une arête, avec une taille variant suivant une progression géométrique : on définit alors un biais (**bias**) représentant le rapport des longueurs du

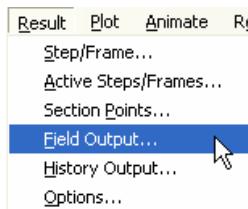
plus grand et du plus petit élément sur une arête. Cela permet d'obtenir des raffinements locaux du maillage.



- Le maillage peut ensuite être généré, par région, ou globalement, de manière structurée, ou par balayage d'une section, ou de manière libre. Le maillage structuré peut être réalisé sur une géométrie ayant une topologie de type parallélépipède, c'est-à-dire à six faces, pour laquelle on peut générer un maillage de façon simple, sur un modèle de grille, en donnant simplement le nombre d'éléments dans chaque direction. Cette méthode permet souvent d'obtenir des maillages de bonne qualité, facilement contrôlables. Elle génère des hexaèdres.
- Le maillage peut-être obtenu par balayage. Abaqus/CAE a besoin de trouver dans la géométrie deux sections planes opposées, entre lesquelles il va pouvoir balayer le maillage 2D réalisé sur une section. Là encore, il s'agira d'éléments hexaédriques.
- Le maillage libre correspond aux autres situations : il sert à mailler des géométries quelconques. Des algorithmes complexes permettent de distribuer des noeuds dans la structure de manière à générer des tétraèdres répondant à une série de critères (taille, angles, distorsion, etc.).

6. Visualisation des résultats

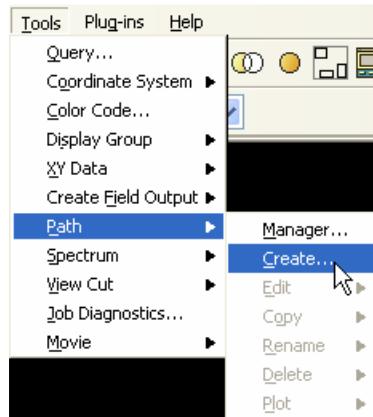
Les visualisations des déformées du maillage et des isovaleurs relatives aux différents champs sur ce maillage s'obtiennent facilement à l'aide des outils représentés par les icônes sur la colonne de gauche. La sélection du champ à représenter se fait à partir du menu **Result→Field Output**.



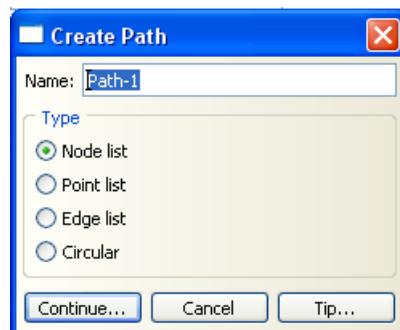
6.1. Variation d'une quantité le long d'un chemin

Pour connaître par exemple l'évolution d'une contrainte suivant une ligne. Pour cela :

- commencer par créer le chemin (**path**) sur lequel suivre l'évolution : aller dans le menu **Tools→Path→Create**.

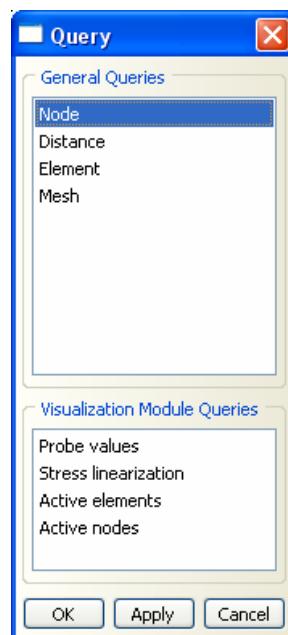


La boîte de dialogue **Create Path** apparaît :



Il y a deux manières de créer un chemin :

- soit en donnant une liste de numéros de nœuds définissant le chemin (**Node List**), ces nœuds étant soit entrés au clavier, soit sélectionnés à la souris sur l'écran.
- soit en donnant des coordonnées de points (**Point List**). Cette option peut être plus rapide s'il on souhaite considérer un chemin droit entre deux points. Pour obtenir les coordonnées des nœuds entre lesquels on veut créer le chemin, on utilise la commande **Query** accessible par le menu **Tools→Query**.



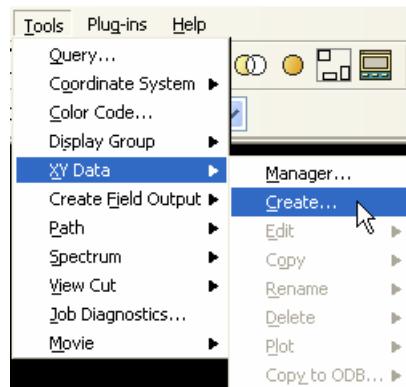
Sélectionner **Node** dans la boîte de dialogue qui apparaît, cliquer sur **Apply**, cliquer ensuite sur le nœud choisi : les coordonnées de ce nœud dans les configurations non déformées et déformées apparaissent dans l'espace d'affichage en bas de la fenêtre. Relever ainsi les coordonnées des deux nœuds extrémités du chemin souhaité, les entrer au clavier dans la boîte de dialogue de création du chemin, valider.

Par exemple pour le treillis le nœud où on a appliqué la charge donne comme résultats :

Node: TREILLIS-1.4

	1	2	3	Magnitude
Base coordinates:	0.00000e+000, 0.00000e+000, 0.00000e+000, -			
Scale:	4.49705e+001, 4.49705e+001, 4.49705e+001, -			
Deformed coordinates (unscaled):	7.00277e-004, -4.44736e-003, 0.00000e+000, -			
Deformed coordinates (scaled):	3.14918e-002, -2.00000e-001, 0.00000e+000, -			
Displacement (unscaled):	7.00277e-004, -4.44736e-003, 0.00000e+000, 4.50215e-003			

- créer le tableau de valeurs décrivant l'évolution de la quantité souhaitée le long du chemin créé :
 - aller dans le menu **Tools**→**XY Data**→**Create**



- sélectionner l'option **Path**, cliquer sur **Continue**

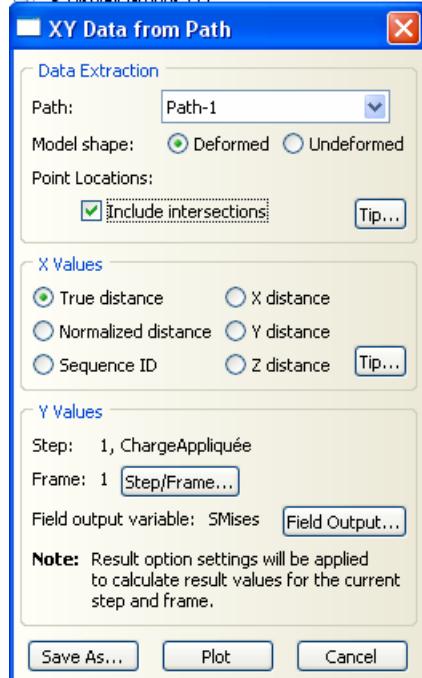


- dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, sélectionner le chemin créé sur lequel on veut tracer la courbe.

Important : il faut sélectionner l'option **Include intersections** pour que l'outil calcule les valeurs en toutes les intersections du chemin (sans cela, on n'obtiendra que les deux valeurs aux extrémités).

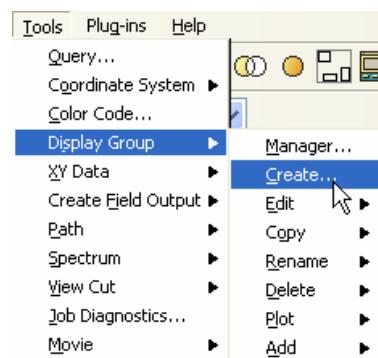
- choisir ensuite les valeurs qu'on souhaite avoir en **X**, et celles qu'on souhaite en **Y**. Cliquer pour ces dernières sur **Field Output** pour aller sélectionner le champ, et la composante de ce champ que l'on veut récupérer.

- on peut sauvegarder ce tableau de valeurs pour le visualiser plus tard (cliquer sur **Save As**),
- on peut tracer la courbe directement en cliquant sur **Plot**.

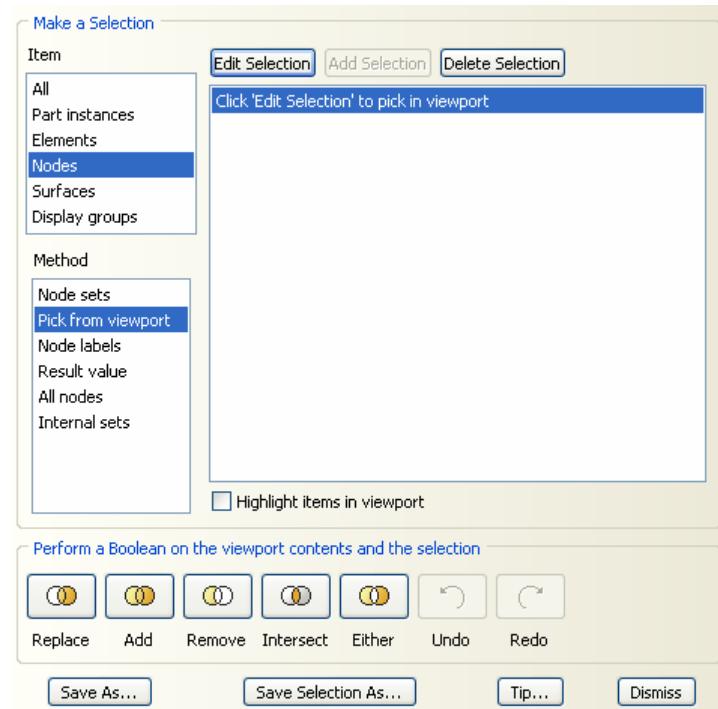


6.2. Utilisation des groupes d'affichage

Pour des questions pratiques, on peut souhaiter ne visualiser que certaines parties de la structure à l'écran ; par exemple en occultant la surface de contact. Cette différentiation s'obtient en utilisant des groupes d'affichage. Ces groupes, qui peuvent contenir des parties de l'assemblage, des ensembles de noeuds ou d'éléments, etc., sont créés à partir du menu **Tools→Display Group→Create**.



La boîte de dialogue qui apparaît, permet de réaliser des opérations booléennes entre ce qui est affiché à l'écran, et diverses entités sélectionnables proposées, afin de créer un groupe en incluant ou excluant certaines entités. Quand on a obtenu une sélection qui convient, on peut la sauvegarder en créant un groupe.



- Sélectionnez **All** dans **Item**
- Sélectionnez **Nodes** dans la liste **Item** et **Pick from viewport** de la liste **Method** et cliquez sur l'icône **Replace**.
- Sélectionnez les nœuds que vous voulez
- Cliquez sur **Done**.
- Cliquez sur **Save As...**

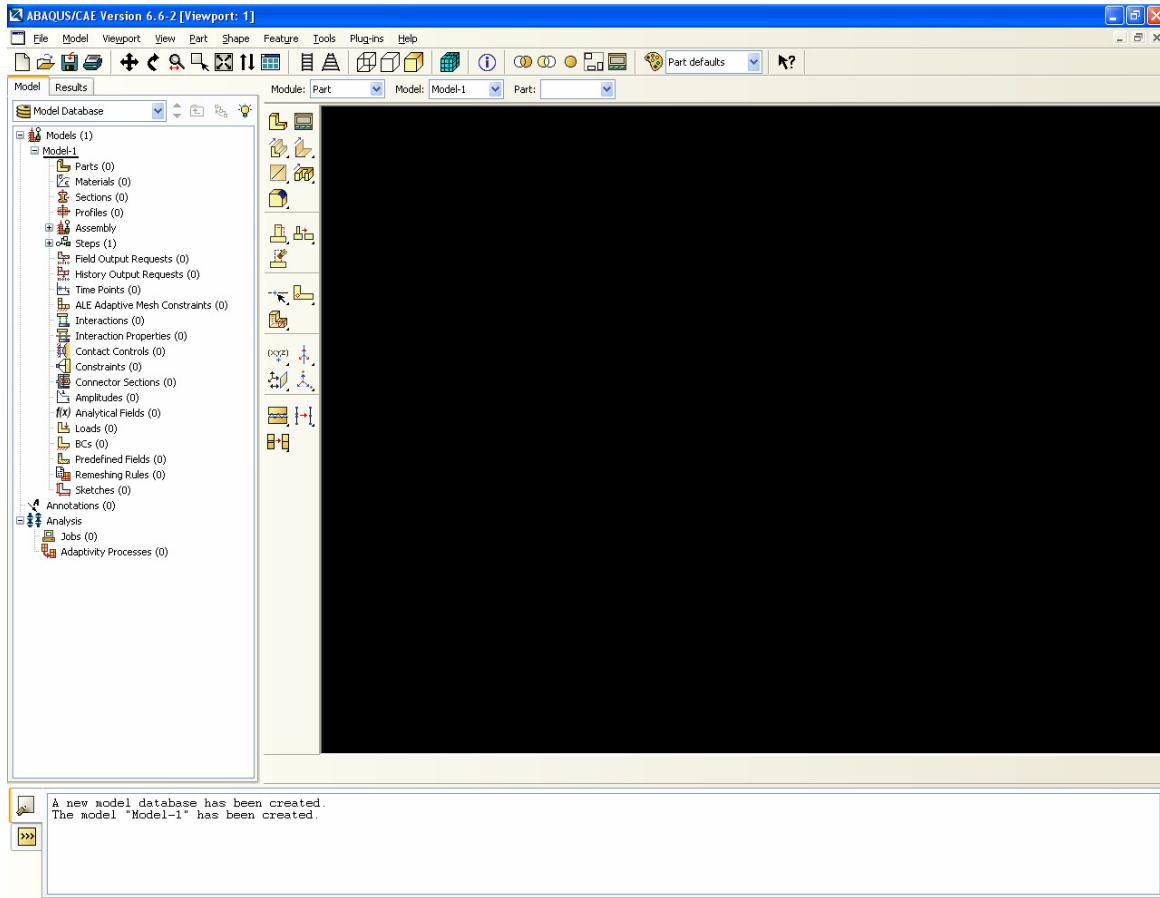


- Dans la boîte de dialogue **Save Display Group As**, nommez le groupe.
- Cliquez sur **OK**, puis sur **Dismiss**.

Partie 3

Guides des Menus sur ABAQUS/CAE

1. La fenêtre d'ABAQUS/CAE



2. Le menu File (fichier)

Mise à part les opérations standard d'un programme Windows (ouvrir, enregistrer, ...), ce menu dispose d'autres commandes importantes dont les plus importantes sont les suivantes :

- ♦ **Network ODB Connector** : permet de créer une connexion à un serveur à distance afin de l'utiliser pour lire une base de données de résultats à distance.
- ♦ **Close ODB** : permet de fermer un fichier base de données résultats.
- ♦ **Set Work directory** : permet de sélectionner le répertoire de travail. Le répertoire par défaut est C:\Temp.
- ♦ **Save As** : permet d'enregistrer la géométrie du modèle courant sous un autre nom.
- ♦ **Save Options** : pour enregistrer votre pièce (**Part**) personnalisée, assemblage (**assembly**), et les options d'affichage du module **Visualization**.

♦ **Import** (importer)

Permet d'importer :

- Des géométries 2D aux formats : IGES (**.igs**), AutoCAD (**.dxf**), ACIS (**.sat**) et STEP (**.stp**).
- Des pièces (Part) aux formats : ACIS, CATIA V4, CATIA V5, I-DEAS, IGES, Parasolid, Pro/ENGINEER, STEP, VDA-FS.
- Des modèles à partir de fichiers de données (**.inp**) ou de résultats (**.odb**).

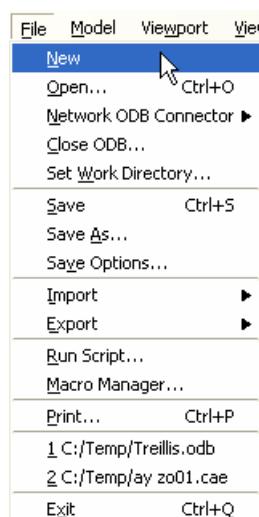
♦ **Export** (exporter)

Permet d'exporter :

- Des géométries 2D aux formats : ACIS SAT (**.sat**), IGES (**.igs**), STEP (**.stp**).
- Des Pièces (**Parts**) aux formats : ACIS SAT (**.sat**), IGES (**.igs**), STEP (**.stp**) et VDA (**.vda**).
- Des assemblages (**Assembly**) aux formats ACIS.

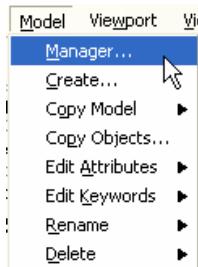
♦ **Run Script** : permet d'exécuter un fichier contenant des commandes ABAQUS/CAE.

♦ **Macro Manager** : permet de stocker vos actions dans un fichier de macros (**.py**) comme un ordre des commandes d'interface ABAQUS quand vous interagissez avec ABAQUS/CAE. Chaque commande correspond à une interaction à ABAQUS/CAE, et exécuter la macro reproduit l'ordre des interactions. Vous pouvez employer une macro pour automatiser les tâches que vous voulez exécuter à plusieurs reprises, comme imprimer la fenêtre courante ou appliquer une vue prédéfinie.



3. Le menu Model (modèle)

Le menu modèle vous permet d'ouvrir, copier, renommer ou de supprimer les modèles dans la base de données modèle courant.



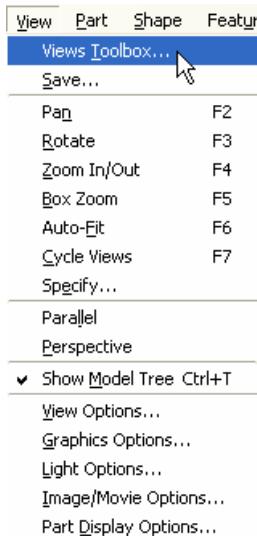
4. Le menu Viewport

Le menu de **Viewport** vous permet de créer ou manipuler des fenêtres et des légendes.



5. Le menu View

Le menu de **View** vous permet de manipuler des vues, personnaliser certains aspects de votre modèle ou des courbes, contrôler l'affichage, et d'afficher l'arbre du modèle ou l'arbre des résultats au besoin.



6. Le menu Part

Le menu **Part** vous permet de créer, copier, renommer ou de supprimer des pièces. Les sous-menu **Copy**, **Rename** et **Delete** contiennent une liste de toutes les pièces créées dans le modèle actuel. **Part Manager** contient des fonctions similaires à celles disponibles sous le menu **Part** et une liste de toutes les pièces disponibles dans le modèle actuel avec leur espace de modélisation (3D, 2D, axisymétrique), leur type (déformable, rigide)

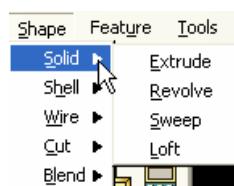


7. Le menu Shape

Le menu de **Shape** vous permet d'ajouter un **Feature** à la pièce actuelle. Par exemple pour le sous-menu :

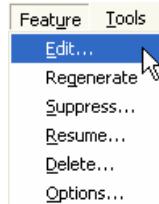
♦ **Solide** :

- **Extrude** : permet de rajouter un solide extrudé à une pièce de géométrie 3D déjà créée.
- **Revolve** : permet de rajouter un solide de révolution à une pièce de géométrie 3D déjà créée.
- **sweep** : permet de rajouter un solide par balayage en suivant un chemin à une pièce de géométrie 3D déjà créée.
- **Loft** : permet de rajouter un solide par balayage en suivant un chemin et en changeant la section à une pièce de géométrie 3D déjà créée.



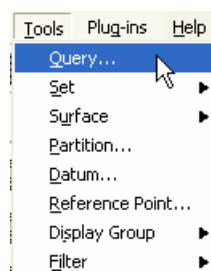
8. Le menu Feature

Le menu de **Feature** vous permet d'ajouter ou de retirer de la matière à la pièce actuelle.



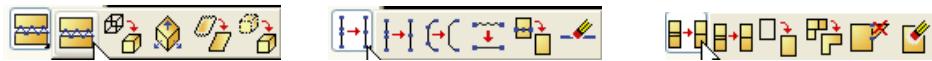
9. Le menu Tools

Le menu de **Tools** contient tous les jeux d'outils concernant le module utilisé. Un jeu d'outils est une unité fonctionnelle qui vous permet de réaliser des tâches de modélisation spécifique.



- ♦ **Query** : permet d'obtenir des informations sur votre modèle. Dans la plupart des cas ABAQUS/CAE montre l'information demandée dans la zone des messages, et la même information est écrite dans le fichier des macros (.py). Vous pouvez utiliser également le bouton  de la barre d'outils.
- ♦ **Set et Surface** : permet de créer, éditer, renommer ou de supprimer des **Sets** ou des surfaces. Ce sont des régions qui font partie de la géométrie du modèle qui servent par exemple pour appliquer un chargement ou pour définir un contact.
- ♦ **Partition** : permet de diviser une pièce (**Part**) ou un assemblage (**Assembly**). Les régions sont utilisées dans la modélisation ; par exemple, pour indiquer l'endroit d'application d'une charge, un changement des propriétés matérielles, ou une frontière du maillage.
- ♦ **Datum** : c'est des entités géométriques (points, axes, plans et systèmes de coordonnées) qui vous aident dans la construction géométrique du modèle.
- ♦ **Reference Point** : un point de référence est un point que vous créez sur une pièce (**Part**). Vous pouvez également créer des points de référence dans l'assemblage. Vous pouvez placer un point de référence n'importe où dans l'espace. Ce point est utile pour créer un point dans votre modèle où un sommet n'est pas disponible ; par exemple, au centre d'un trou. Contrairement à un sommet, un point de référence est ignoré par le module de maillage quand au moment de la génération du maillage.

- ♦ **Repair** : c'est un jeu d'outils dans le module **Part** qui permettent d'éditer la géométrie de la pièce. Vous pouvez utiliser ces outils pour réparer des régions de la pièce qui la rendent inadmissible ou imprécise.



- ♦ **Display Group** : Par défaut, ABAQUS/CAE affiche le modèle entier ; cependant, vous pouvez choisir d'afficher des sous-ensembles de votre modèle en créant des groupes d'affichage (**Display Groups**). Ces sous-ensembles peuvent contenir des combinaisons d'instances de la pièce (**Part instances**), des géométries (cellules, faces, ou bords), des entités géométriques « **Datums** » (points, axes, plans ou systèmes de coordonnées), des éléments, des nœuds, et des surfaces du modèle ou des résultats.

10. Conclusion

Ce document ne contient pas toutes les fonctionnalités d'ABAQUS.

TP N° 3

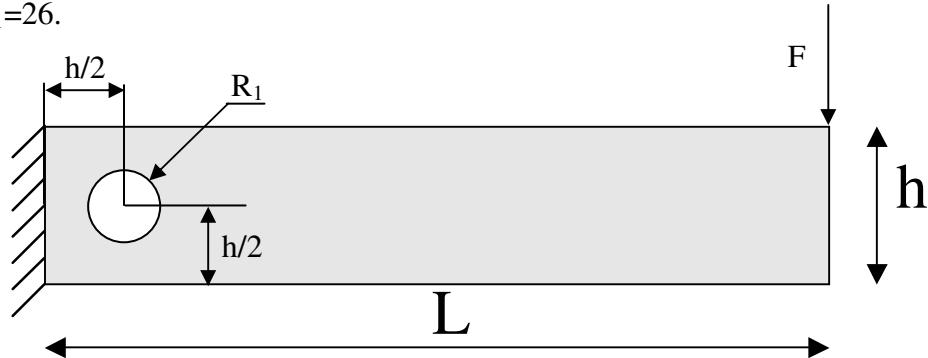
*Objectif : Prise en main du code de calcul
par éléments finis ABAQUS*

*Application : Modélisation en 2
dimensions d'une poutre de forme
rectangulaire trouée, homogène et isotrope
en élastoplasticité sous sollicitation statique*

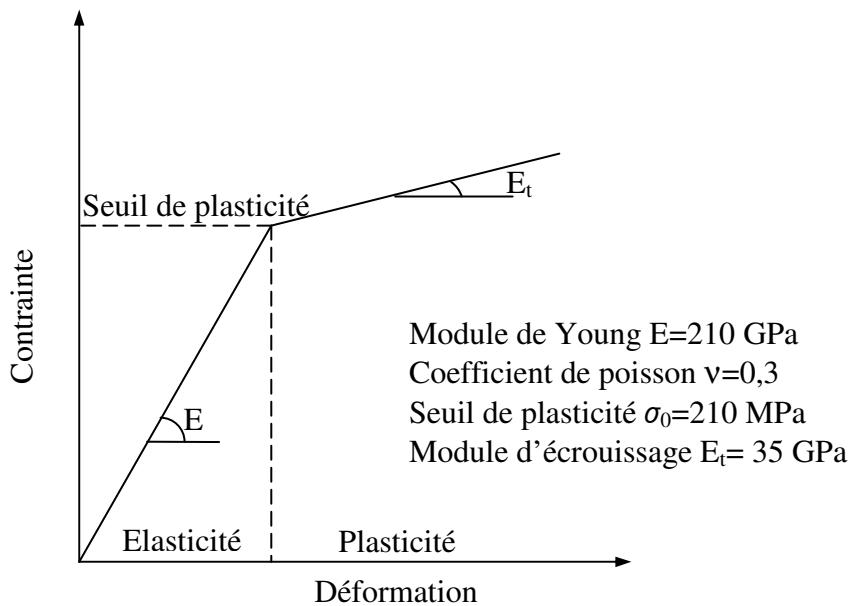
Application à traiter

Etude d'une poutre en flexion en 2D :

Longueur de la poutre $L=610$ mm, section rectangulaire : $h = 102$ mm, $b = 25,4$ mm. Le rayon du trou $R_1=26$.



Le matériau est élastoplastique isotrope et homogène «on prendra les propriétés d'un acier classique» :



Bord gauche : encastré

Bord droit :

Etude 1 : Traction sous l'effet d'une Force concentrée $F=15$ kN.

Etude 2 : Traction sous l'effet chargement répartie par application des Forces réparties uniformément

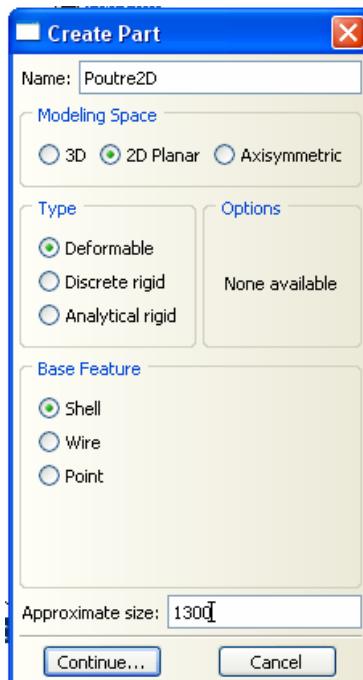
Examiner les champs des déplacements, des déformations et des contraintes.

Etudier l'effet du maillage : type d'élément utilisé et nombre d'éléments contenus dans le maillage.

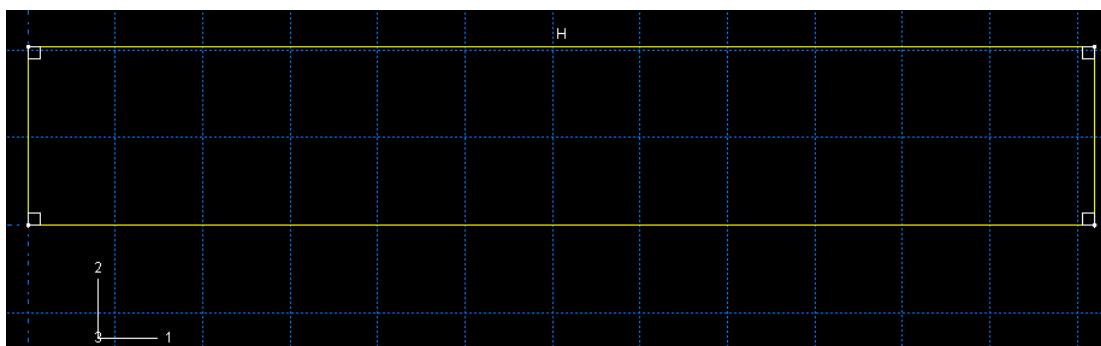
Les différentes étapes de modélisation sur ABAQUS pour cette étude

1. Définir la géométrie du modèle

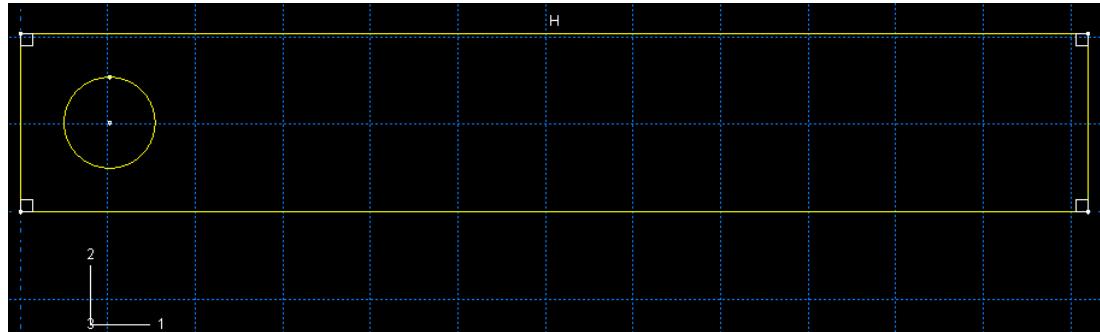
- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **Parts** pour créer une nouvelle pièce. La boîte de dialogue **Create Part** apparaît.
- Nommez la pièce (par exemple **Poutre2D**) et choisissez **2D Planar** pour un solide bidimensionnel, **Deformable** et **Shell** dans la zone de dialogue de la pièce à créer. Dans la zone Taille approximative du champ texte, entrez **1300.0**. Cliquer sur **Continue** pour sortir de la boîte de dialogue **Create Part**.



- Utilisez l'outil **Create Lines/Rectangle (4 Lines)**  pour créer la poutre. Entrez les coordonnées des deux points extrêmes (0,0) et (610,102) au clavier.



- Utilisez l'outil **Create Circle/Center and Perimeter** pour créer le trou. Entrez les coordonnées du centre (51,51). Ensuite entrez les coordonnées d'un point du périmètre (77,51) par exemple.



- Sélectionner **Done** pour sortir de mode dessin.

Sketch the section for the wire Done

Le dessin final de la poutre est obtenu :

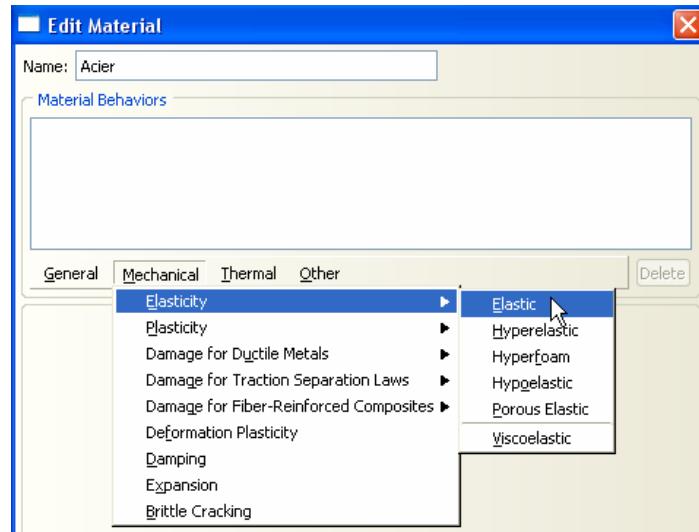


Votre pièce principale est créée. Vous pouvez la sauvegarder maintenant.

2. Définition des propriétés du matériau

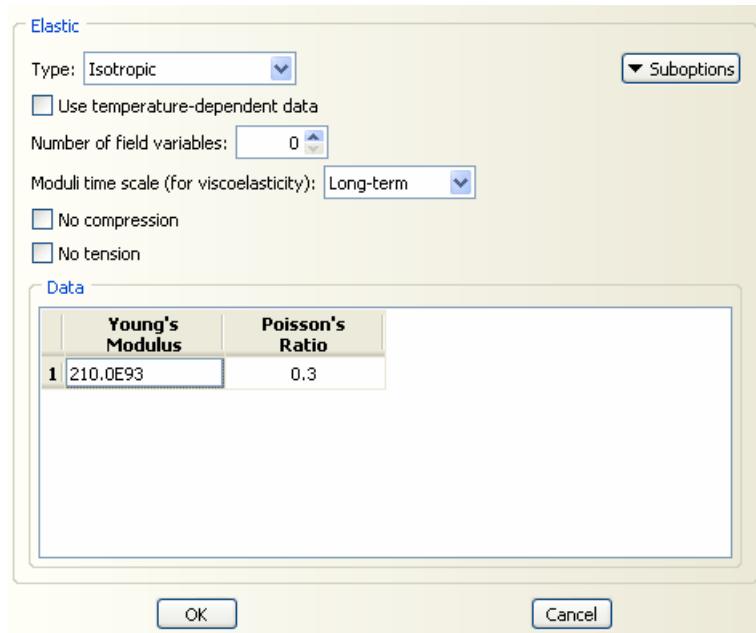
Pour définir les propriétés du matériau :

- Dans l'arbre du modèle double cliquer sur **Materials** pour créer un nouveau matériau. La boîte de dialogue **Edit Material** apparaît.
 - Nommez le matériau **Acier**
- Ensuite, il va falloir donner les caractéristiques de notre matériau. Vous pouvez trouver toutes les caractéristiques que nous pouvons donner (plasticité, conductivité...).
- Sélectionnez **Mechanical**→**Elasticity**→**Elastic**.

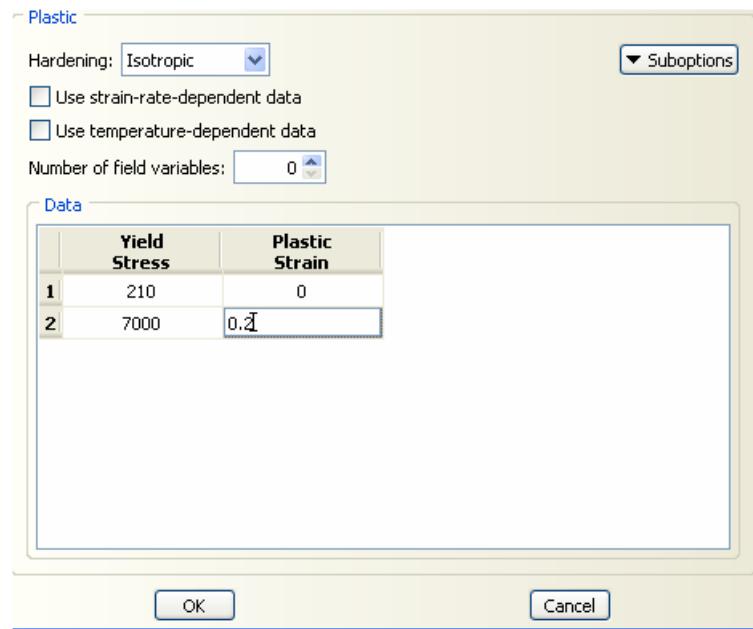


ABAQUS/CAE affiche les données à rentrer pour ce type de matériau

- Entrez **210.0E3** pour le module de Young et **0.3** pour le coefficient de Poisson. Cliquez **OK**.



- Sélectionnez ensuite **Mechanical→Plasticity→Plastic**. ABAQUS/CAE affiche les données à rentrer pour ce type de comportement.
- Entrez les points de la courbe d'écrouissage :
 - Entrez le premier point (210,0) puis appuyez sur la touche Entrée du clavier
 - Puis entrez un autre point (7000,0,2)
- Cliquez sur **OK**.



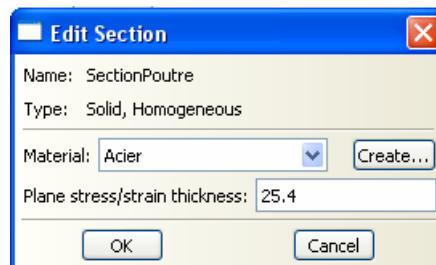
3. Définir et affecter les propriétés de la section

Les propriétés des objets (**Parts**) sont définies à travers les sections. Pour cette étude, nous allons créer une section homogène solide que nous allons ensuite affecter à la poutre. Cette section contiendra une référence au matériau que nous avons créé.

- Double cliquez sur **Sections** dans l’arbre afin de créer une section.
- Dans la boîte de dialogue **Create Section**,
 - Nommez la section : **SectionPoutre**.
 - Choisir dans la liste des catégories **Solid**.
 - Dans la liste des types, choisir **Homogeneous**.
 - Cliquer sur **Continuer**.



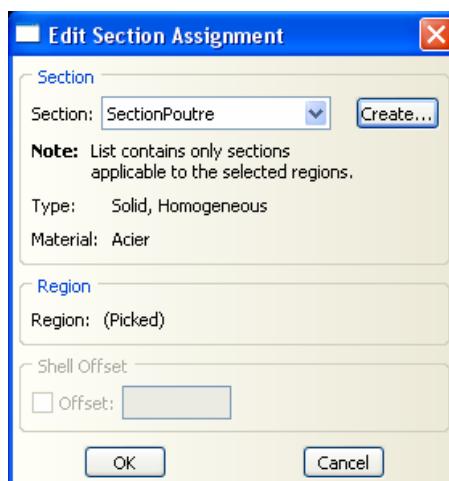
La boîte de dialogue **Edit Section** apparaît.



- Sélectionnez **Aacier** comme matériau associé à la section
- Entrer la valeur de la section **25.4**.
- Cliquez sur **OK** pour valider.

Ensuite, il faut affecter la section à la poutre.

- Dans l'arbre ouvrez l'arborescence de **Parts** en cliquant sur «+» puis celle du **Poutre2D**.
- Double-cliquez sur **Section Assignment**. Des instructions sont alors données dans la zone **prompt area**.
- Sélectionnez toute la géométrie en cliquant en haut à gauche de la fenêtre, déplacer le curseur en créant une boîte autour de la poutre, puis relâcher la souris.
- Validez votre choix en cliquant sur **Done**.
- La boîte de dialogue **Edit Section Assignment** s'ouvre alors, choisissez **SectionPoutre** puis acceptez **OK** et fermez la boîte de dialogue.

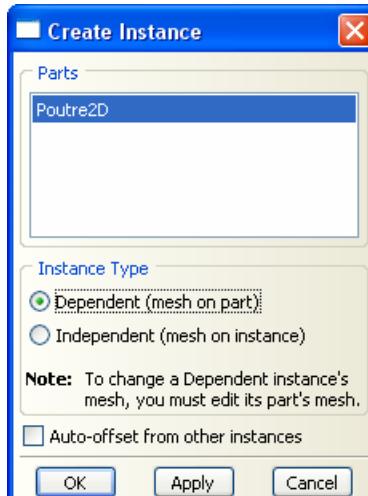


Lorsque vous avez affecté une section à un objet, ABAQUS colorie l'objet en bleu pour signifier qu'il est défini. De plus, le matériau défini dans la section est affecté à l'objet.

4. Crédit d'un assemblage (assembly)

Pour créer une instance de la pièce :

- Dans l'arbre, développez la branche **Assembly** et double cliquez sur **Instances** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Instance**
- Choisissez **Poutre2D** puis **OK**.

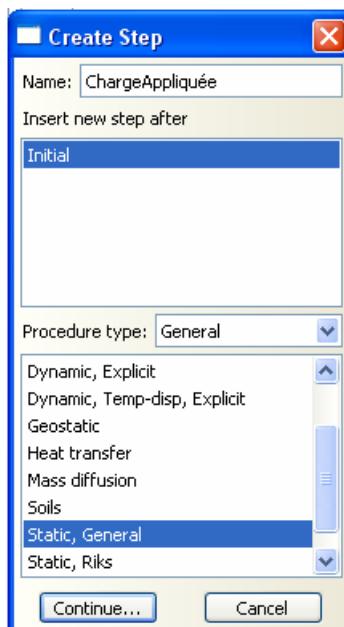


5. Configuration de l'analyse : étapes d'analyse et spécification des requêtes de sorties

On définit maintenant les étapes ou pas d'analyse. Pour cette simulation on va définir une étape statique d'une charge ponctuelle de 15kN à droite de la poutre, et un encastrement à gauche de la poutre. Le modèle consiste en deux états : **Initial Step** créé automatiquement par ABAQUS/CAE où on va définir les conditions aux limites. On va définir un nouvel état où on va appliquer la charge concentrée. En plus, on va indiquer les types de résultats désirés en sortie de cette analyse.

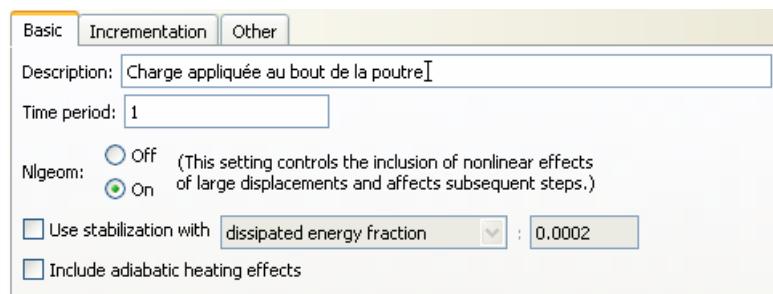
5.1. Définir une étape :

- Dans l'arbre du modèle, double cliquez sur **Steps** pour créer un pas d'analyse.
- Dans la boîte de dialogue **Create Step** Nommer ce pas **ChargeAppliquée**.
- Sélectionner **General** comme type de procédure.
- Sélectionner **Static, General** dans la liste et cliquer sur **Continue**.

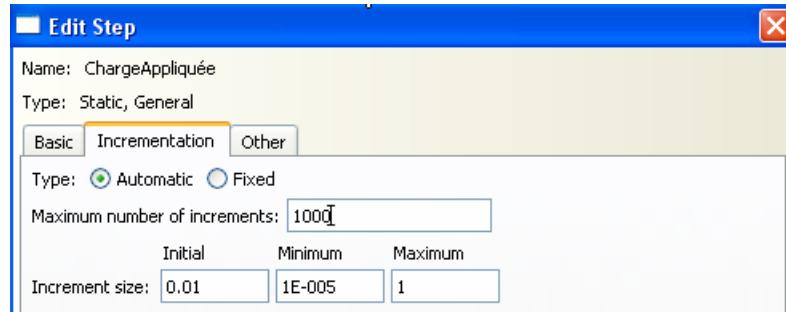


La boîte de dialogue **Edit Step** apparaît alors.

- Dans l'onglet **Basic** entrer **Charge appliquée au bout de la poutre** dans le champ **Description**
- Cochez **Nlgeom** : On



- Cliquer sur **Incrementation**.
- Choisir le nombre maximal d'incrément : **1000** par exemple
- Choisir l'incrément initial **0.01**
- Choisir l'incrément minimal et maximal
- Ensuite validez par **OK**.

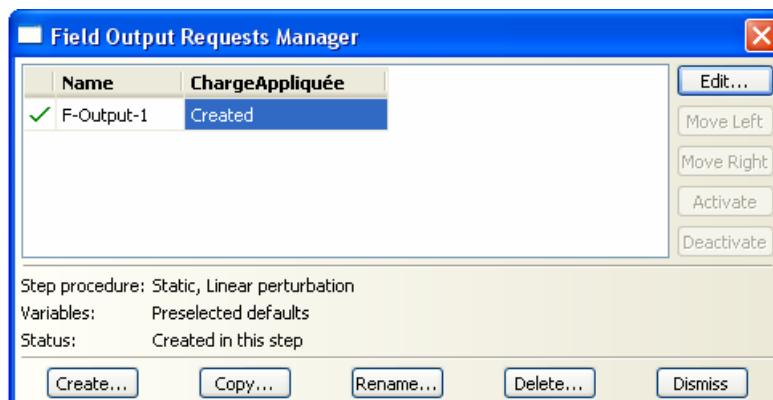


5.2. Spécification des résultats écrits dans les fichiers de sorties :

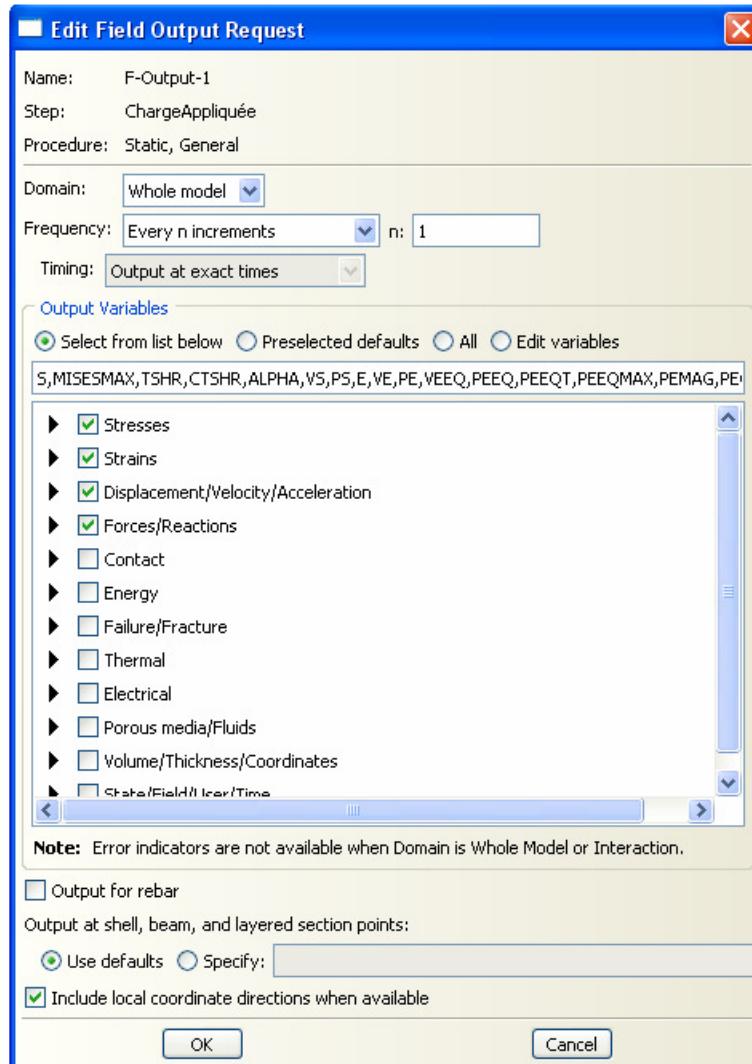
On utilisera **Field Output Requests Manager** pour spécifier les résultats qui devront être écrites dans la base de données de sortie avec des fréquences relativement basses pour le modèle entier ou pour une grande partie du modèle. On utilisera **History Output Requests Manager** pour spécifier les variables qui devraient être écrites dans la base de données à une haute fréquence d'une petite partie du modèle ; par exemple, le déplacement d'un nœud.

Pour spécifier le type de résultats qui seront écrits dans les fichiers .odb :

- Dans l'arbre du modèle, cliquer avec le bouton 3 de la souris sur **Field Output Requests** et sélectionnez **Manager** dans le menu qui apparaît. ABAQUS/CAE affiche **Field Output Requests Manager**. On y trouve la liste des tables de sorties pour chaque étape d'analyse.



- Une requête de sortie créée par défaut par ABAQUS/CAE pour l'étape nommée **ChargeAppliquée**. Cliquer sur **Created**, puis cliquez sur **Edit**, une boîte de dialogue apparaît dans laquelle il est possible de modifier les sorties désirées.

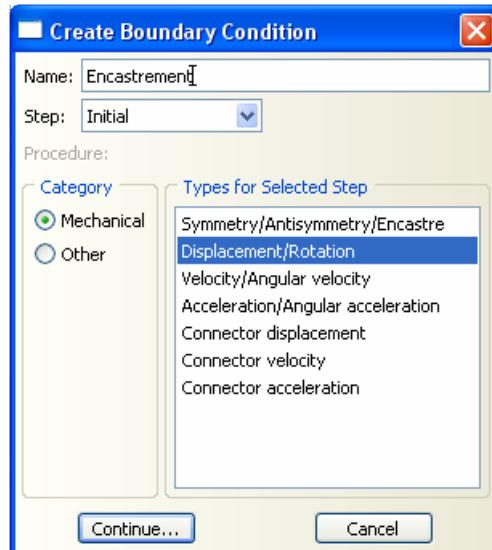


- Cliquez sur **Cancel** si vous ne voulez pas faire de changements et accepter les sorties par défaut.
- Cliquer **Dismiss** pour fermer **Field output Requests Manager**.
- Faites de même pour les sorties de l'historique en cliquant avec le bouton 3 de la souris sur **History Output Requests** pour ouvrir la boîte de dialogue **History Output Requests Manager**. Cliquer sur **Delete** si vous voulez supprimer toute sortie de l'historique ou sur **Edit** pour modifier ce type de sorties.
- Cliquez sur **Dismiss** pour fermer **History Output request Manager**.

6. Appliquer les conditions aux limites et le chargement pour le modèle

Toutes les conditions aux limites sont dépendantes du pas d'analyse, c'est-à-dire qu'elles s'activeront à un état donné et qu'elles dureront jusqu'à un autre état.

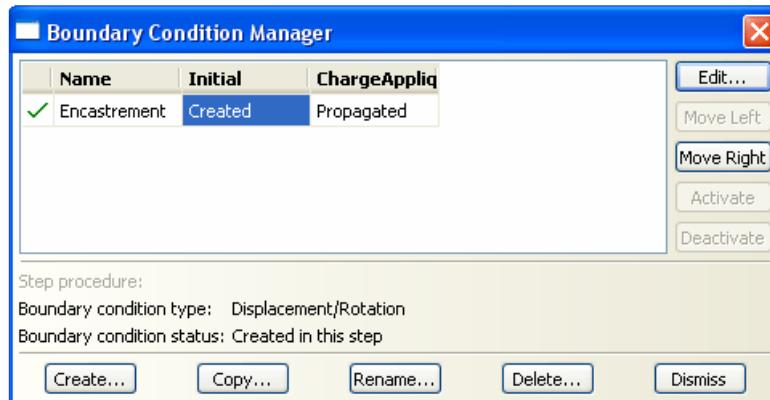
- Dans l'arbre du modèle double cliquez sur **BCs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Boundary Condition**.
 - Nommez la **Encastrement**.
 - Dans la liste des états, choisissez **Initial** pour définir l'état où la condition sera active.
 - Dans la liste des catégories, choisissez **Mechanical**.
 - Dans **Types for Selected Step**, choisissez **Displacement/Rotation** et cliquer sur **Continue**.



- Sélectionner l'arrête gauche de la poutre où la condition aux limites va être appliquée.
- Cliquer avec le bouton 2 de la souris ou cliquer sur **Done**. La boîte de dialogue **Edit Boundary Condition** apparaît.
 - Dans cette boîte, choisir **U1**, **U2** et **UR3** pour empêcher le déplacement dans les directions 1 et 2 et la rotation autour de 3.
 - Cliquer sur **OK** pour créer la condition aux limites et fermer la boîte de dialogue.



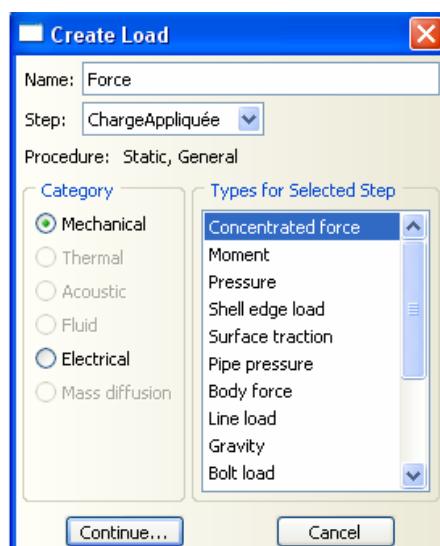
- Dans l'arbre du modèle, cliquer avec le bouton 3 de la souris sur **BCS** et sélectionner **Manager** à partir du menu qui apparaît. ABAQUS/CAE affiche la boîte de dialogue **Boundary Condition Manager**. Cette boîte de dialogue indique que la condition à la limite **Encastrement** créée dans l'état **Initial** est active dans l'étape d'analyse jusqu'à l'état **ChargeAppliquée**. En cliquant sur **Propagated from base state**, on peut éditer les conditions aux limites à l'état **ChargeAppliquée** en cliquant sur **Edit**. On peut aussi les désactiver en cliquant sur **Deactivate**.



- Cliquer sur **Dismiss** pour fermer la boîte de dialogue.

Afin d'appliquer une charge concentrée au nœud droit/haut de la poutre :

- Dans l'arbre du modèle, double cliquez sur **Loads** pour créer un chargement.
 - Nommez le **Force**.
 - Choisissez l'état **ChargeAppliquée** comme état dans lequel la force doit être appliquée.
 - Dans la liste **Category**, sélectionnez **Mechanical**.
 - Dans la liste **Types for Selected Step**, sélectionnez **Concentrated force**.
 - Cliquez sur **Continue**.



- Sélectionnez le nœud au bout droit/haut de la poutre.
- Cliquez sur **Done**. La boîte de dialogue **Edit Load** apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue :
 - Entrez la valeur de la magnitude de la force **-15000** pour **CF2**.

- Cliquer sur **OK** pour créer ce chargement et fermer la boîte de dialogue.

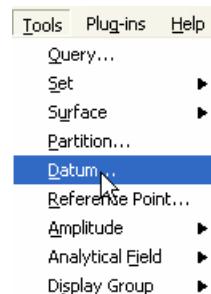


7. Maillage du modèle

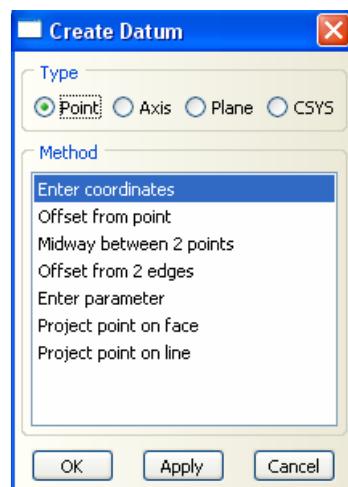
7.1. Partition de la pièce

On va partitionner la pièce pour raffiner le maillage autour du trou tout en utilisant des éléments Q4 (quadrilatère à 4 nœuds).

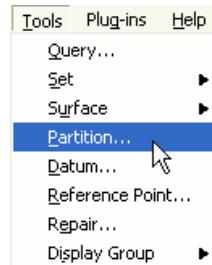
- A partir de la barre de menus choisissez **Tools→Datum**.



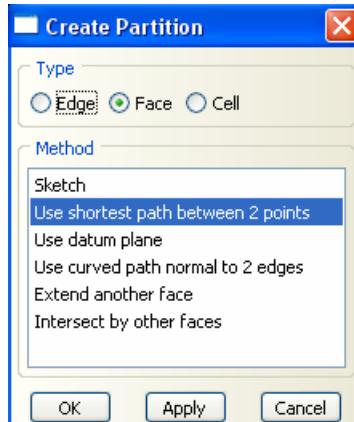
La boîte de dialogue **Create Datum** apparaît



- Sélectionnez **Point**.
- Choisissez **Enter coordinates**. Cliquez à chaque fois sur **Apply** et entrez les points (0,102) ; (102,102) ; (69.38,69.38) ; (32.62,32.62) ; (69.38,32.62) ; (32.62,69.38).
- A partir de la barre de menus choisissez **Tools→Partition**.



La boîte de dialogue **Create Partition** apparaît



- Sélectionnez **Face**.
- Choisissez **Use shortest path between 2 points**. Cliquez sur **Apply** et cliquez sur les points créés précédemment pour créer des partitions.
- Cliquer sur **Create Partition** dans la zone **prompt area**.

Partition definition complete **Create Partition**

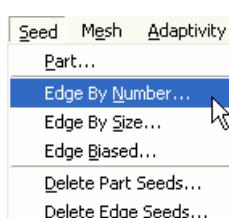
- Sélectionnez les zones à partitionner.

A la fin vous obtenez ceci :

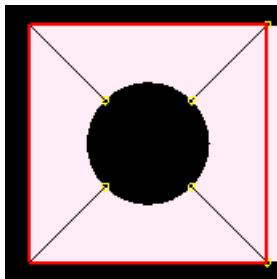


7.2 Choisir la taille des éléments

- A partir de la barre de menus choisissez **Seed→Edge By Number**.



- Sélectionnez les lignes du carré. Cliquez sur **Done** dans la zone **prompt area**.

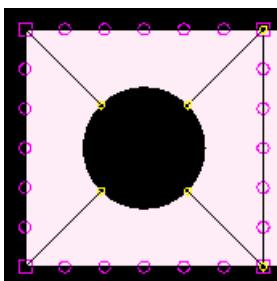


- Entrez le nombre d'éléments sur ces lignes. 6 par exemple.

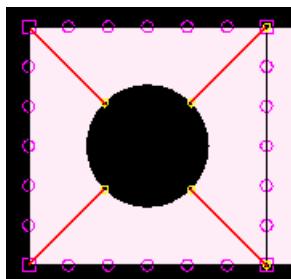
Number of elements along the edges:

- Appuyez sur Entrée de votre clavier.

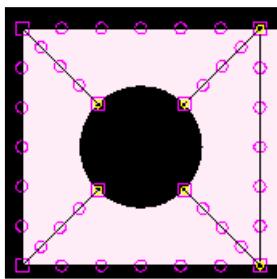
ABAQUS/CAE distribue les nœuds sur ces lignes



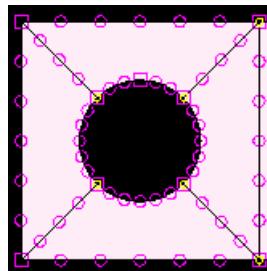
Faites de même pour les lignes médianes :



- Choisissez un nombre d'éléments égal à 4 sur ces lignes.



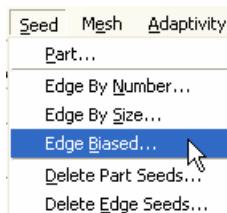
- Faites de même pour les lignes du cercle et choisissez le même nombre d'éléments que les lignes du carré qui leurs sont opposées. C.a.d. 6 :



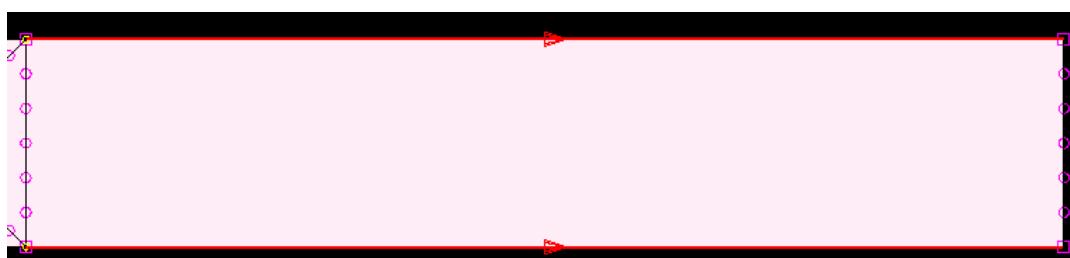
- De même pour la ligne à droite de la poutre :



On va définir une distribution non uniforme des éléments le long des lignes qui restent en haut et en bas de la poutre. Pour cela, à partir de la barre de menus choisissez **Seed→Edge Biased**.

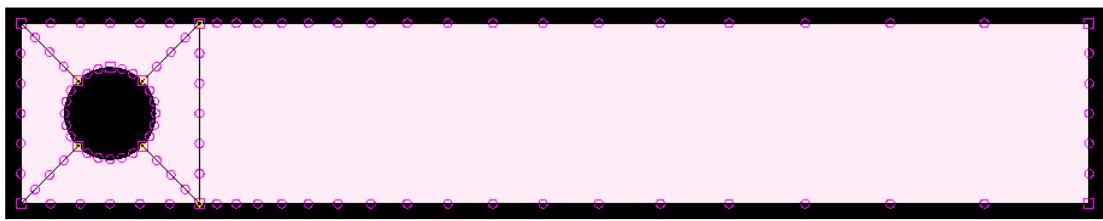


- Sélectionnez les deux lignes. Deux flèches indiquent un sens. Ainsi le premier élément est à gauche et le dernier élément est à droite.



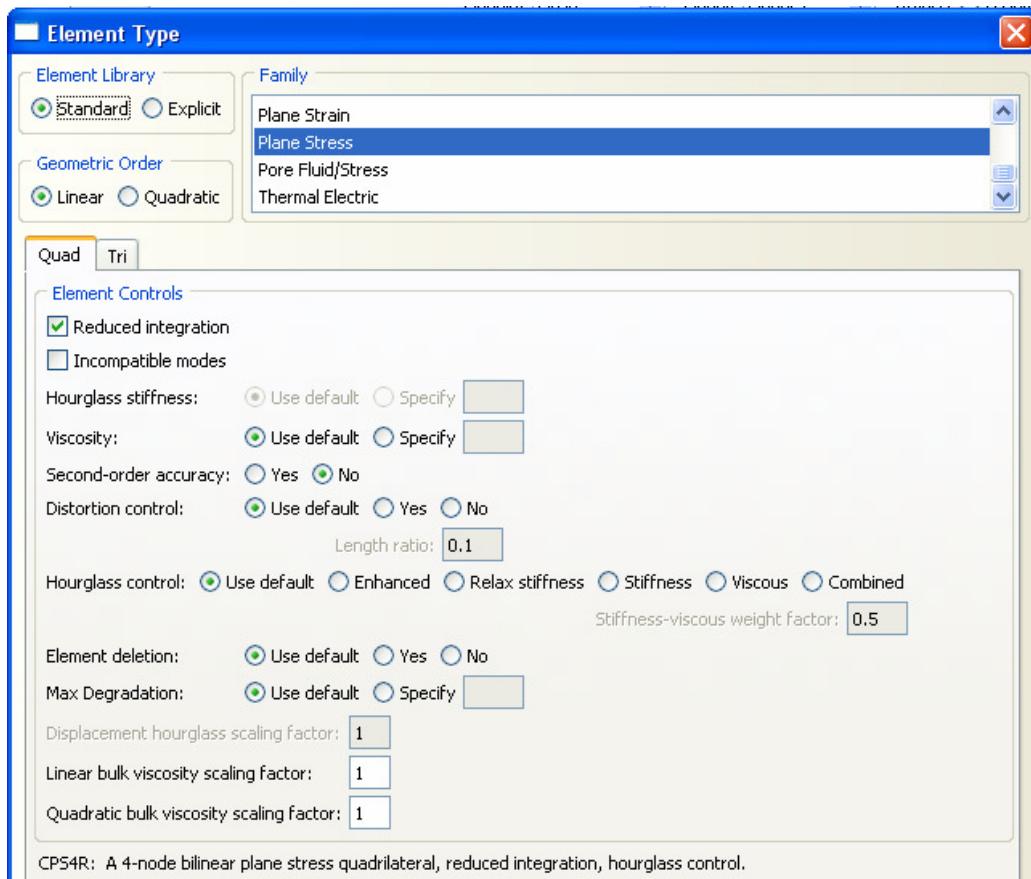
- On va choisir un coefficient qui représente la taille du premier élément sur celle du dernier élément. Tapez 6.0 par exemple. Car ABAQUS/CAE n'accepte pas des valeurs inférieures à 1.0
- Choisir le nombre d'éléments. 18 par exemple.

Vous remarquez que ce n'est pas ce qu'on cherche. Il faut refaire la distribution des nœuds cette fois-ci avec un sens de droite à gauche.



7.3. Affecter le type d'élément

- A partir de la barre de menus choisissez Mesh→Element type.
- Sélectionnez toute la géométrie en cliquant en haut à gauche de la fenêtre, déplacer le curseur en créant une boîte autour de la poutre, puis relâcher la souris.
- Cliquer sur Done. La boîte de dialogue Element type apparaît.
- Dans cette boîte de dialogue sélectionnez :
 - Standard pour la bibliothèque d'éléments (Element Library).
 - Linear comme ordre géométrique (Geometric Order).
 - Plane Stress comme famille d'éléments (Family) car c'est un problème en contraintes planes.
 - Laissez les options par défaut : Reduced integration : car en flexion l'intégration réduite donne de bon résultats.

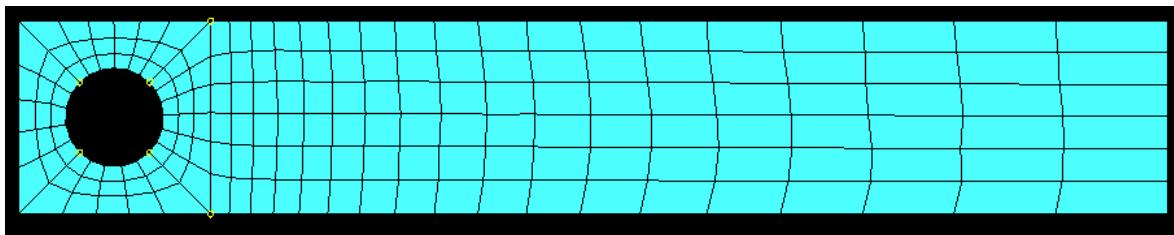


- Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, examinez les options qui concernent la forme de l'élément. Une courte description du choix de l'élément par défaut est disponible en bas de chaque page. Une description du type d'élément **CPS4R** apparaît en bas de la boîte de dialogue. ABAQUS/CAE associera maintenant les éléments **CPS4R** aux éléments du maillage.

- Cliquer sur **OK** pour affecter ce type d'éléments au maillage de la poutre et fermer la boîte de dialogue.
- Cliquer sur **Done**.

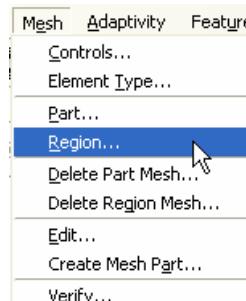
7.4. Créer le maillage

- A partir de la barre de menu sélectionnez **Mesh→Part**.
- Pour mailler la pièce et cliquez sur **Yes**.

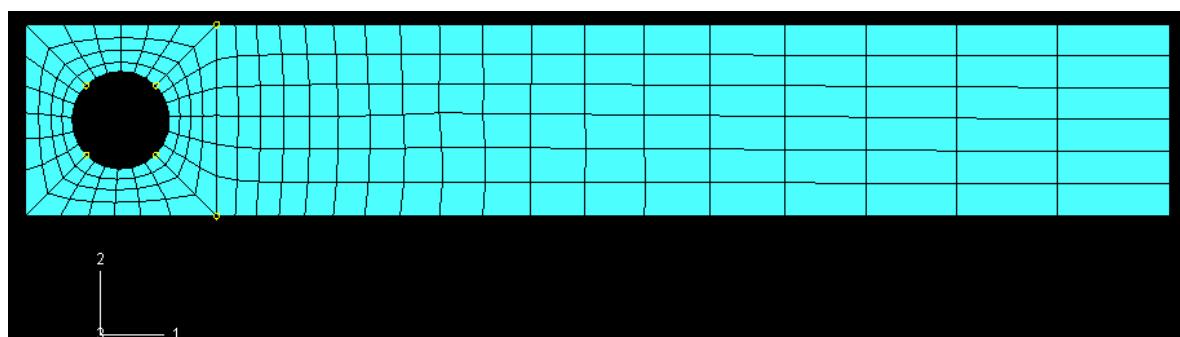


Ce maillage n'est pas bon car on a choisi 4 éléments sur les lignes à 45° alors que le maillage contient que 3 éléments sur ces lignes. On va mailler partie par partie :

- A partir de la barre de menu sélectionnez **Mesh→Region**.



- Sélectionnez les régions une à une et maillez les.

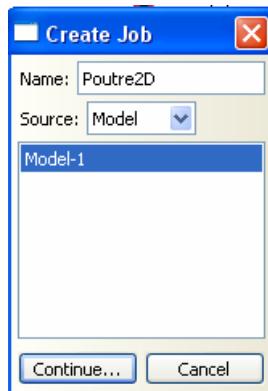


8. Création et lancement d'un calcul

8.1. Création d'un calcul (job)

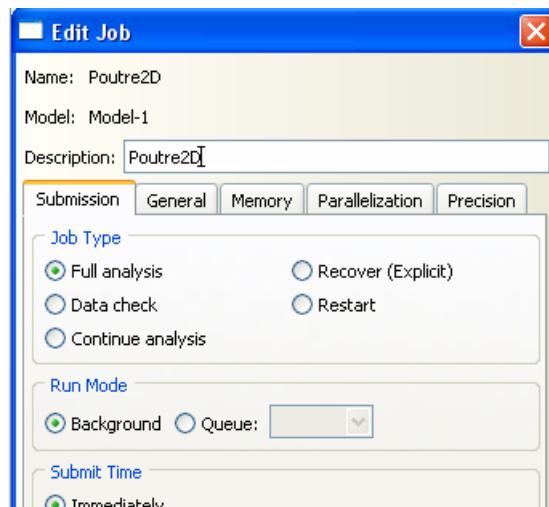
Pour créer un travail :

- Dans l'arbre du modèle, double-cliquer sur **Jobs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Job**.
- Nommez le travail **Poutre2D** et cliquer sur **Continue**.



La boîte de dialogue **Edit Job** apparaît alors.

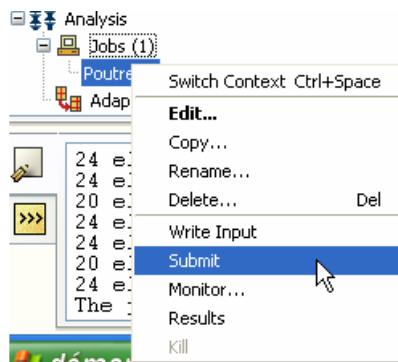
- Dans la zone de description tapez **Poutre2D**.
- Choisir **Full Analysis** : Faire une analyse complète.
- Cliquez **OK** pour valider.



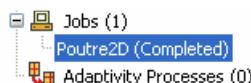
8.2. Soumettre le calcul

Pour soumettre le travail :

- cliquer avec le bouton 3 de la souris sur le nom du travail dans l'arbre du modèle puis cliquer sur **Submit**.

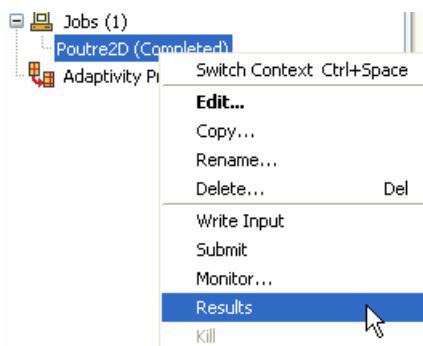


- A la fin de l'analyse du modèle (ABAQUS marque **Completed** à côté du travail demandé).

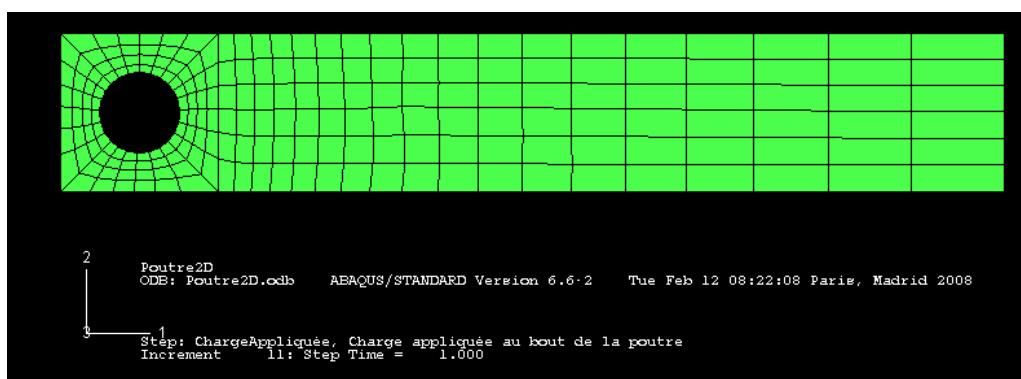


9. Visualiser les résultats de l'analyse

Quand le travail est accompli avec succès, vous pouvez visualiser les résultats de l'analyse avec le module **Visualization**. Dans l'arbre du modèle, cliquez avec le bouton 3 de la souris sur le travail appelé **Poutre2D** et choisissez **results** à partir du menu qui s'affiche pour entrer dans le module de visualisation.



ABAQUS/CAE ouvre la base de données des résultats créée par le travail et affiche la forme du modèle non déformée.



Vous pouvez également entrer dans le module **Visualization** en sélectionnant **Visualization** à partir de la liste des modules. Sélectionner **File→Open** à partir de la barre de menu. Choisir

Poutre2D.odb à partir de la liste des fichiers de base de données des résultats disponibles, puis cliquer sur **OK**.

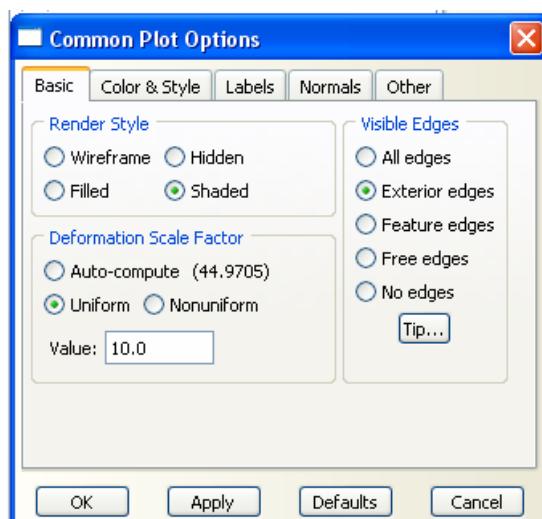
9.1. Afficher et Personnaliser l'état déformé du modèle

À partir de la barre de menu principale, sélectionnez Plot **Deformed→Shape**; ou utilisez l'outil  dans la boîte à outils. ABAQUS/CAE affiche la déformée du modèle.

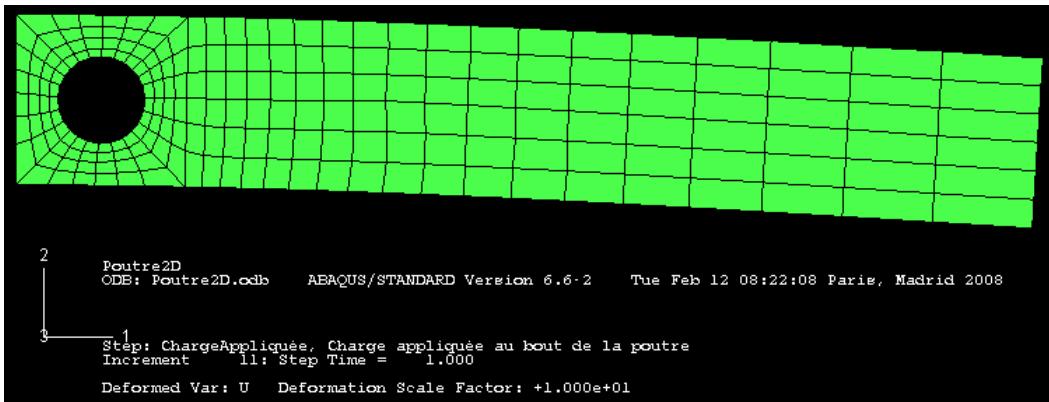


Pour changer le facteur multiplicateur de la déformation :

- À partir de la barre de menu principale, choisissez **Options→Common** ; ou utilisez l'outil  dans la boîte à outils.
- Dans l'onglet **Basic** de la boîte de dialogue **Common Plot Options**, Choisissez **Uniform** dans la zone **Deformation Scale Factor**.
- Entrez la valeur **10.0** dans le champ **value**.

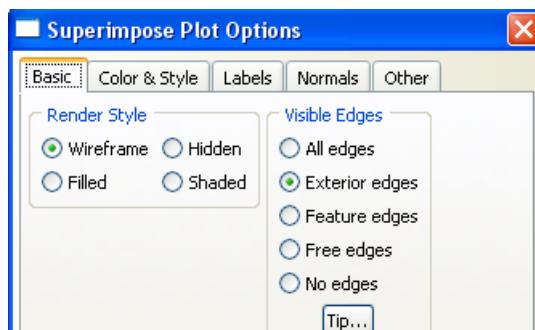


- Cliquez sur **Apply** pour réafficher la déformée.

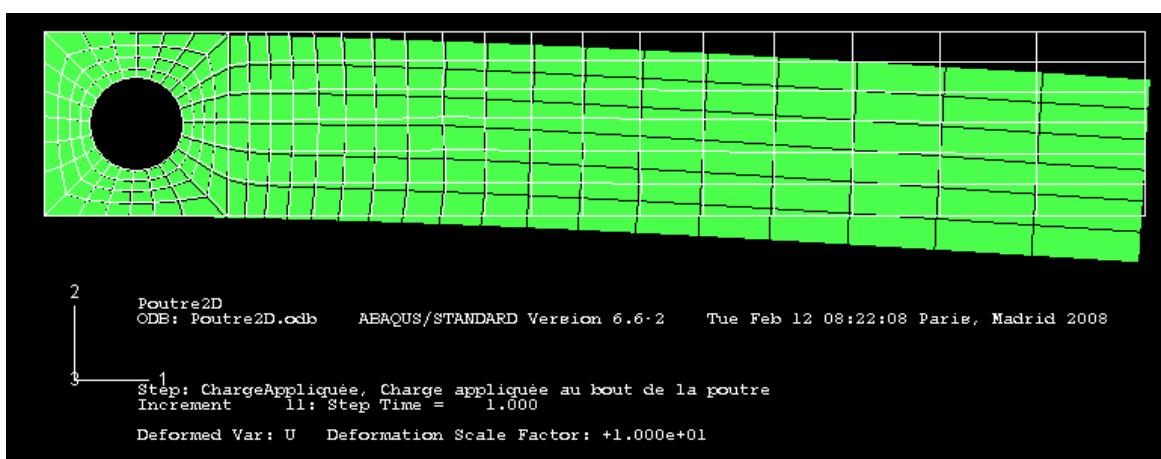


Pour Superposer la déformée et la forme initiale du modèle :

- Cliquez sur l'outil dans la boîte à outils; cliquez alors sur l'outil ou sélectionnez **Plot→Undeformed** pour ajouter la forme initiale du modèle à la déformée déjà affichée. Par défaut, ABAQUS/CAE trace la forme déformée en vert et la forme initiale (superposée) avec blanc translucide (qui apparaît gris).
- Les options de la forme superposée sont commandées séparément de ceux de la forme affichée en premier. À partir de la barre de menu principale, choisissez **Options→Superimpose**; ou utilisez l'outil dans la boîte à outils pour supprimer la translucidité de la forme superposée (c.-à-d., état initiale).
- A partir de la boîte de dialogue **Superimpose Plot Options**, cliquez sur l'onglet **Basic**.
- Cocher **Wireframe**.



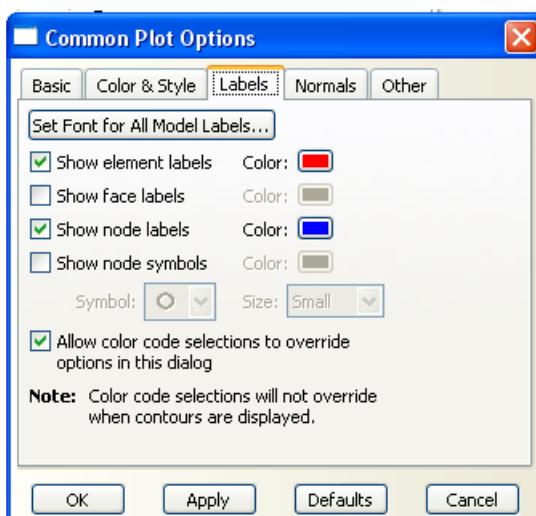
- Cliquez sur **OK** de pour fermer la boîte de dialogue **Superimpose Plot Options** et pour appliquer les changements.



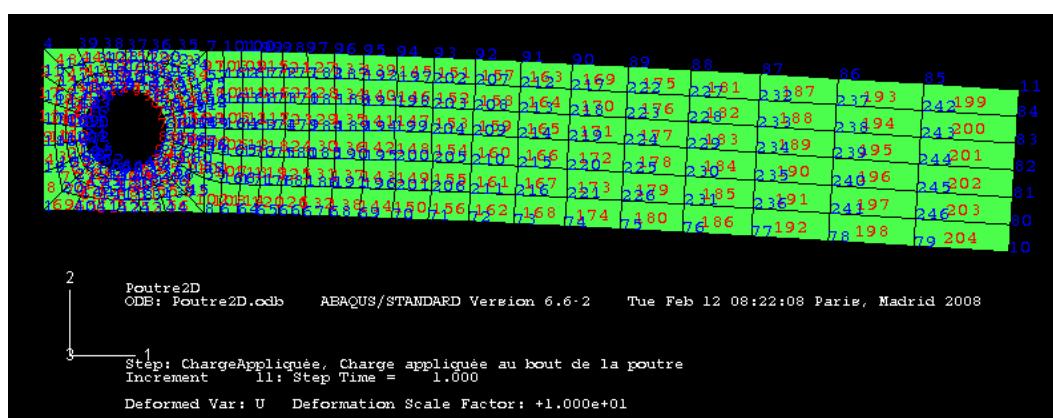
9.2. Afficher les numéros des nœuds et ceux des éléments

Pour afficher les numéros des nœuds :

- À partir de la barre de menu principale, choisissez **Options→Common** ; ou utilisez l'outil  dans la boîte à outils. La boîte de dialogue **Common Plot Options** apparaît.
- Cliquez l'onglet **Labels**.
- Choisissez **Show node labels**. Vous pouvez choisir la couleur de ces numéros en cliquant sur le bouton **Color**. Par défaut cette couleur est jaune.
- Choisissez **Show element labels**. Vous pouvez choisir la couleur de ces numéros en cliquant sur le bouton **Color**.
- Cliquez sur **Apply**.

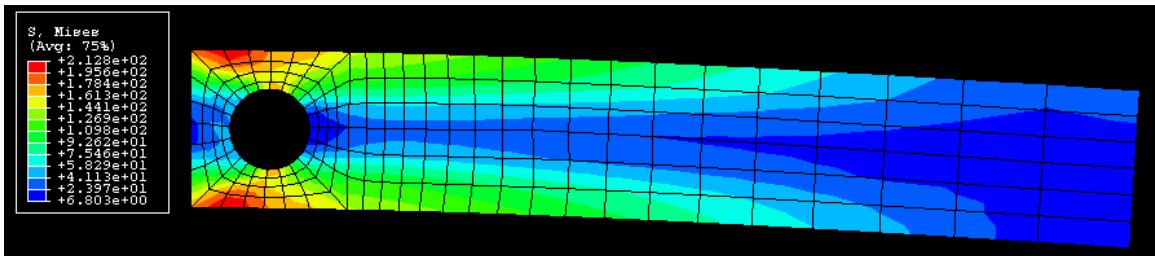


ABAQUS/CAE applique le changement et maintient la boîte de dialogue ouverte. Vos numéros de nœuds peuvent être différents selon l'ordre dans lequel vous avez maillé les différentes parties de la pièce.

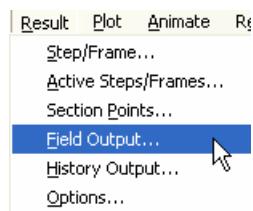


9.3. Afficher des champs

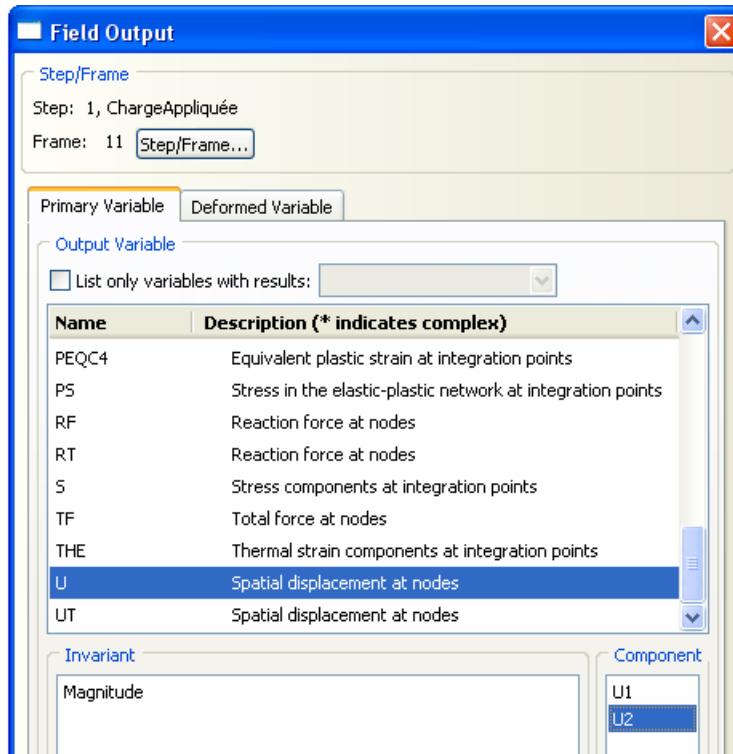
- cliquez sur le bouton **Plot contours on Deformed Shape**  de la barre d'outils



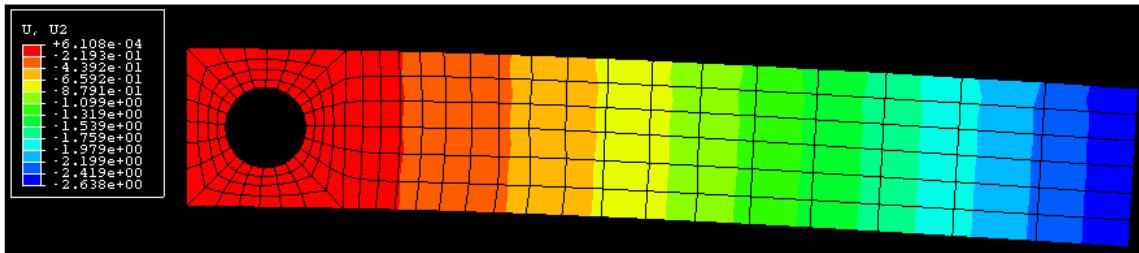
- on peut changer de variable en cliquant sur **Field Output** à partir du menu **Result** de la barre des menus.



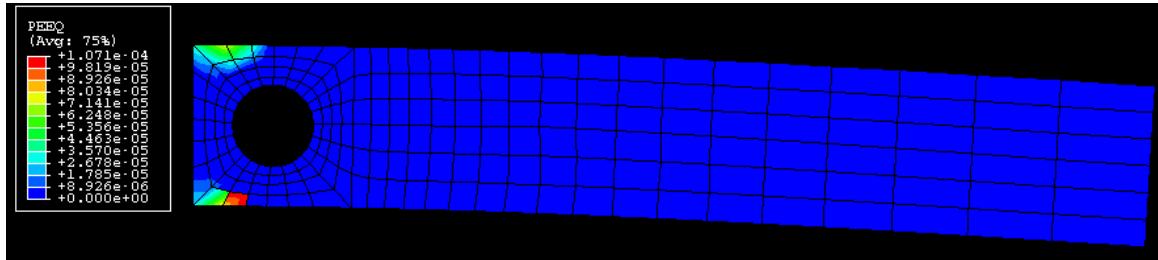
La boîte de dialogue **Field Output** apparaît :



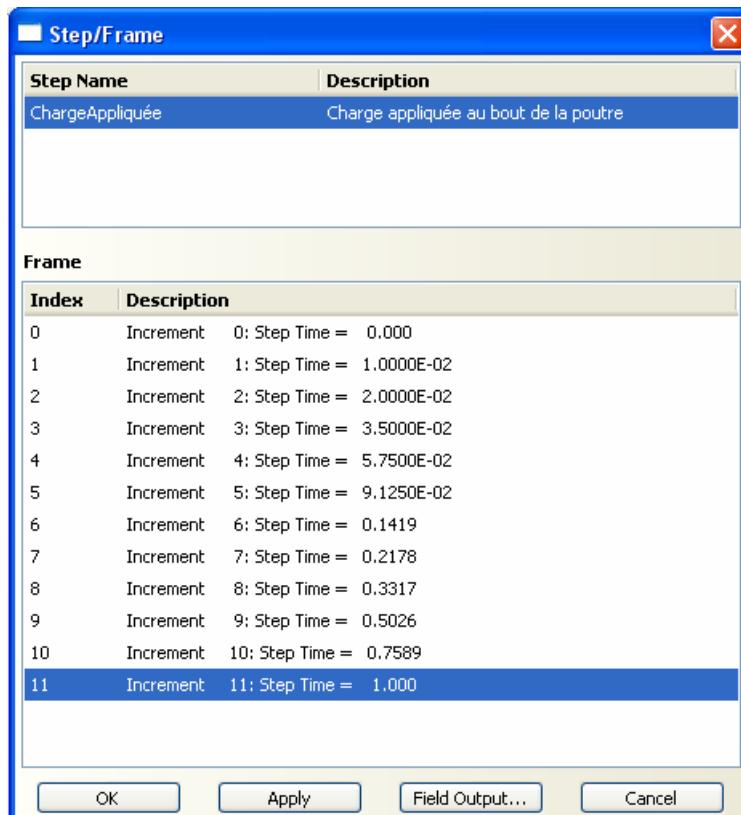
- Cliquez sur **U** par exemple et sur **U2** pour afficher le déplacement suivant 2.
- Cliquez sur **Apply**.



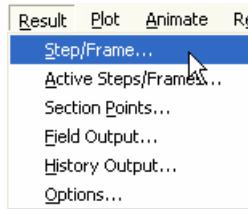
- Cliquez sur **PEEQ** pour afficher la déformation plastique équivalente.
- Cliquez sur **Apply**.



- Vous pouvez afficher les résultats de chaque incrément. Pour faire cliquez sur **Step/Frame**.
- Choisissez l'incrément dont vous voulez afficher les résultats.
- Cliquez sur **Apply**.



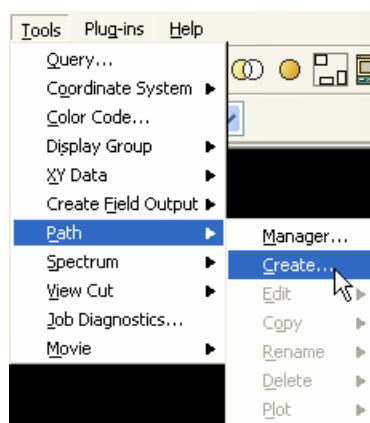
- Vous pouvez faire la même chose à partir de la barre des menus **Result→Step/Frame...**



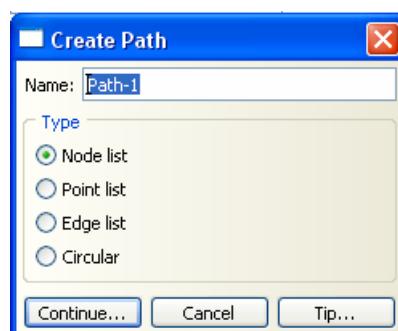
9.4. Variation d'une quantité le long d'un chemin

Pour connaître par exemple l'évolution de la contrainte équivalente de Von Mises suivant une ligne :

- commencer par créer le chemin (**path**) sur lequel suivre l'évolution : aller dans le menu **Tools→Path→Create**.

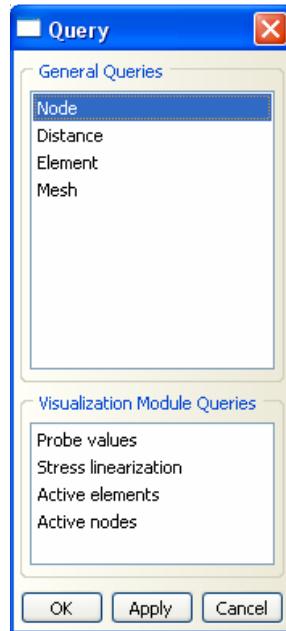


La boîte de dialogue **Create Path** apparaît :



Il y a deux manières de créer un chemin :

- soit en donnant une liste de numéros de nœuds définissant le chemin (**Node List**), ces nœuds étant soit entrés au clavier, soit sélectionnés à la souris sur l'écran.
- soit en donnant des coordonnées de points (**Point List**). Cette option peut être plus rapide s'il on souhaite considérer un chemin droit entre deux points. Pour obtenir les coordonnées des nœuds entre lesquels on veut créer le chemin, on utilise la commande **Query** accessible par le menu **Tools→Query**.



Sélectionner **Node** dans la boîte de dialogue qui apparaît, cliquer sur **Apply**, cliquer ensuite sur le nœud choisi : les coordonnées de ce nœud dans les configurations non déformées et déformées apparaissent dans l'espace d'affichage en bas de la fenêtre. Relever ainsi les coordonnées des deux nœuds extrémités du chemin souhaité, les entrer au clavier dans la boîte de dialogue de création du chemin, valider.

Node: POUTRE2D-1.17

1 2 3 Magnitude

Base coordinates: 0.00000e+000, 5.49158e+001, 0.00000e+000, -

No deformed coordinates for current plot.

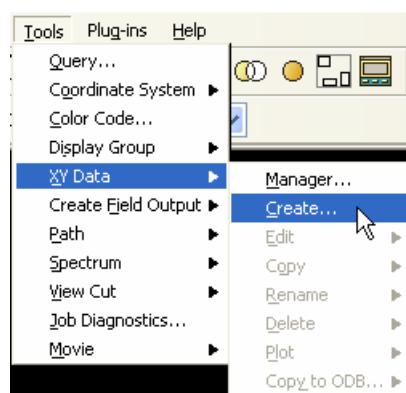
Node: POUTRE2D-1.82

1 2 3 Magnitude

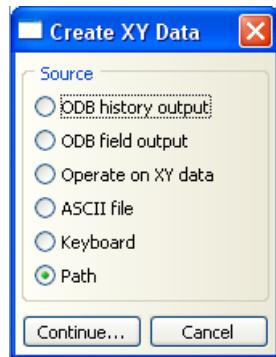
Base coordinates: 6.10000e+002, 5.14223e+001, 0.00000e+000, -

No deformed coordinates for current plot.

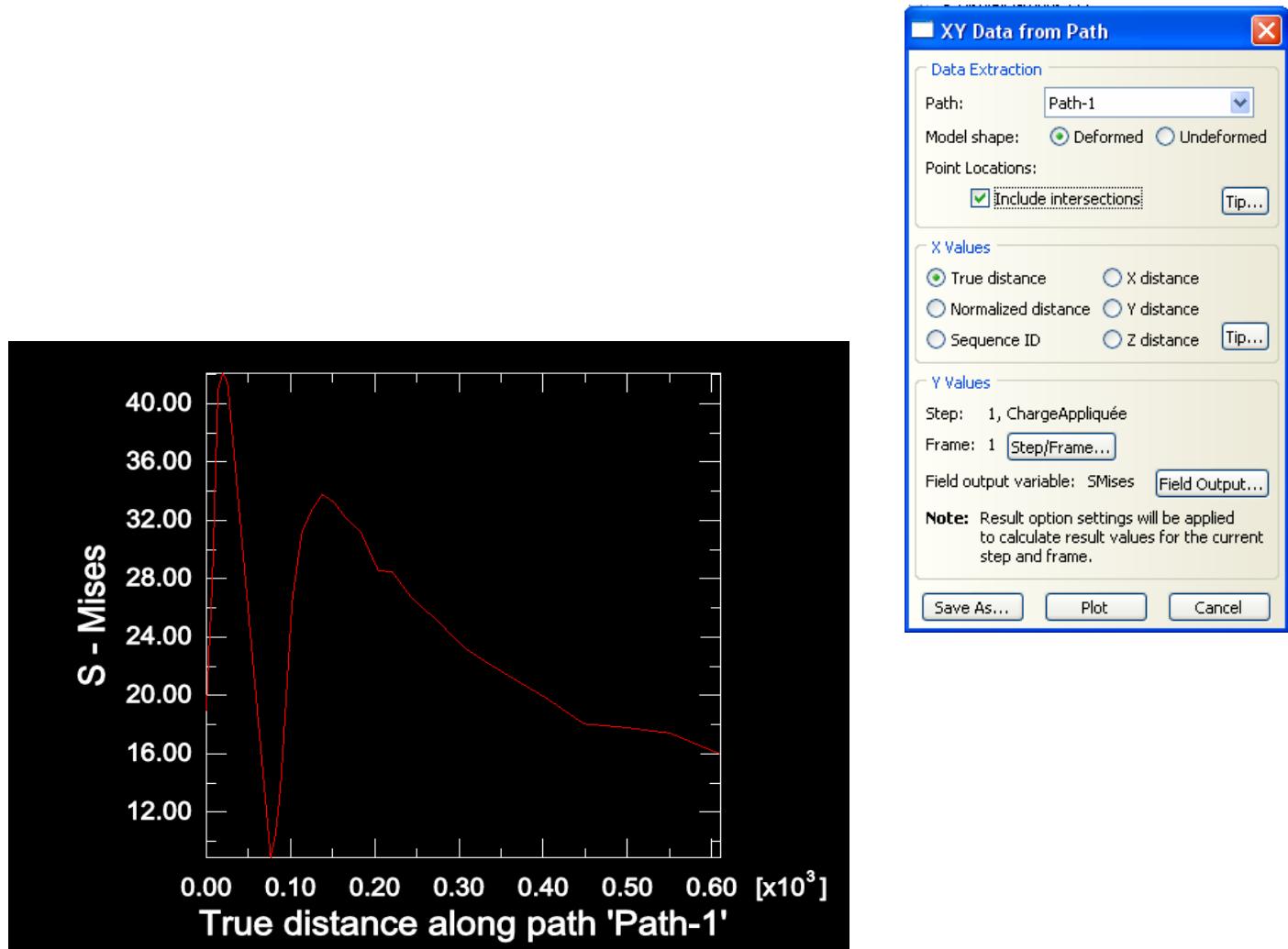
- créer le tableau de valeurs décrivant l'évolution de la quantité souhaitée le long du chemin créé :
 - aller dans le menu **Tools**→**XY Data**→**Create**



- sélectionner l'option **Path**, cliquer sur **Continuer**



- dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, sélectionner le chemin créé sur lequel on veut tracer la courbe.
Important : il faut sélectionner l'option **Include intersections** pour que l'outil calcule les valeurs en toutes les intersections du chemin (sans cela, on n'obtiendra que les deux valeurs aux extrémités).
- choisir ensuite les valeurs qu'on souhaite avoir en X, et celles qu'on souhaite en Y. Cliquer pour ces dernières sur **Field Output** pour aller sélectionner le champ, et la composante de ce champ que l'on veut récupérer.
- on peut sauvegarder ce tableau de valeurs pour le visualiser plus tard (cliquer sur **Save As**),
- on peut tracer la courbe directement en cliquant sur **Plot**.



Annexe

LE CALCUL D'INCERTITUDE

Le calcul d'incertitude permet d'évaluer correctement les erreurs qui se produisent lors de mesures liées à la vérification d'une relation entre différentes grandeurs physiques. Les instruments de mesure n'étant pas de précision infinie, les mesures faites pendant une expérience ne sont pas exactes. Il faut donc évaluer ces incertitudes pour répondre à la question : "la relation n'est pas vérifiée exactement parce qu'elle est fausse ou parce que les mesures sont incertaines ?" On en déduit des marges d'erreurs, en dehors desquelles la relation sera invalidée. Cela fait partie intégrante de la méthode scientifique

Définitions

Le calcul de l'incertitude sur une grandeur obtenue à partir de grandeurs mesurées dont on peut estimer l'erreur peut être présenté simplement et sans démonstration de la façon suivante : Soit les grandeurs mesurées a et b , on note Δa et Δb les incertitudes absolues,

Si a est une grandeur mesurée, Δa est l'incertitude absolue (même unité que a) et $\frac{\Delta a}{a}$ est l'incertitude relative (en %).

La calcul de l'erreur e s'effectue très simplement à partir de la relation

$$e = \frac{A - B}{A}$$

où A est la valeur exacte et B la valeur approchée. L'erreur s'exprime donc en %. Ce calcul bien que très simplifié, est très utilisé dans l'ingénierie et la recherche pour déterminer et quantifier simplement une erreur de mesure ou de calcul.

Incertitude sur une somme ou une différence

Si la grandeur c est définie telle que

$$c = a \pm b$$

où a et b sont deux grandeurs mesurées, alors l'incertitude absolue Δc a pour expression

$$\Delta c = \Delta a + \Delta b.$$

L'incertitude absolue de la somme ou de la différence de deux grandeurs est égale à la somme des incertitudes absolues de ces grandeurs.

Incertitude sur un produit ou un rapport

Si la grandeur c est définie telle que

$$c = ab \quad \text{ou} \quad c = \frac{a}{b}$$

alors l'incertitude relative $\frac{\Delta c}{c}$ a pour expression

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}.$$

Ainsi, l'incertitude relative sur un produit ou un rapport de deux grandeurs est égale à la somme des incertitudes relatives de ces grandeurs.

Différentielle logarithmique

Si la grandeur c est définie telle que

$$c = a^m b^n$$

le logarithme de cette expression est :

$$\log c = m \log a + n \log b.$$

On en déduit que l'incertitude relative $\frac{\Delta c}{c}$ a pour expression

$$\frac{\Delta c}{c} = |m| \frac{\Delta a}{a} + |n| \frac{\Delta b}{b}.$$

Référence

zoubir Ayadi, Mohamed LOUIL, Abdellah SALAHOUELHADJ, 'Polycopie des elements finis', 2009,
Ecole Europenne d'Ingnieurs en Gnie des Matriaux, Institut Jean Lamour-SI2M, Groupe de Mcanique
des Matriaux, Lulea University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering,
Division of Polymer Engineering.

Jean-Patrick Plassiard, Bao Bui, Mathieu Eymard, Travaux pratiques, 'Environnement -Batiment-Energie-
Conception et modelisation des structures', 2012, Polytech Annecy-Chambry, Universite Annecy-Chambry de Savoie.