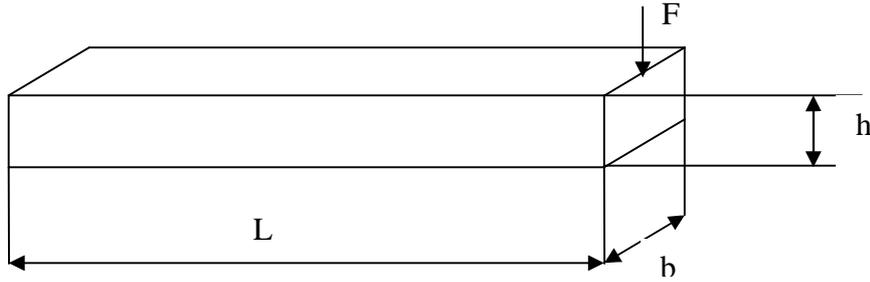


TP Flexion Poutre

Application numérique :

Soit la poutre figure suivante, encadrée à l'extrémité gauche, et soumise à un effort de flexion F sur l'extrémité droite.



Questions :

- Déterminer la contrainte maximale en fin de déformation (σ_{max}) ?
- Déterminer la flèche engendrée sur l'extrémité droite (le déplacement maximal vertical) f ?

P (Charge appliquée) =

L (longueur de la poutre) =

E (Module d'élasticité) = 200000 MPa (N/mm²)

b (largeur) =

h (Hauteur) =

I (Moment d'inertie) = $b h^3 / 12 =$

I_v (Module d'inertie) = $I_v = b h^2 / 6 =$

Résultats A N:

σ_{max} (Contrainte maximale) = $PL / I_v =$

f (Flèche) = $PL^3 / 3 EI =$

Résultats en simulation:

σ_{max} (Stress components Max Principal) = MPa

f (Spatial displacement – Magnitude U2) = mm

Variante N°	L (mm)	b (mm)	h (mm)	P (N)	σ_{max} calculée (Mpa)	f calculée (mm)	σ_{max} Simulation (MPa)	f Simulation (mm)

NB: La modélisation analytique en vue de la représentation de la courbe contraintes et de la fleche en tout point (sous) sera reprise sur Excell.

Simulation (2 séances) : 1^{ère} séance : Constitution du modèle, 2^{ème} séance : Exploration des résultats

NB : Il est vivement conseillé de disposer d'une souris mobile

Ouvrir Abaqus CAE (Démarez, Programmes, Abaqus Edition, Abaqus CAE)

Etape 1 : Créer l'objet :

1. Ouvrir Module **Part**. Aller à Part sur la barre de menu et cliquer **Create**.

2. Dans la boîte de dialogue qui s'affiche, nous allons créer une poutre déformable. Name de l'objet "**Poutre**". Cochez **3D, Deformable, Solid, Extrusion**. Choisissons taille approximative **300.**, et cliquez "Continue".

ABAQUS entre automatiquement dans la table à dessin (sketcher), et une grille apparaît (par division de 5).

3. Nous voulons créer une poutre de section rectangulaire. Si la grille en bleu n'apparaît entièrement pour contenir les dimensions de la pièce, Avancer ou Reculez la roulette de la souris, sinon cliquer sur l'icône **Magnify view**, 7^e sur la barre d'outils horizontale, aller dans la grille, maintenez le bouton gauche appuyé et avancer la souris vers la gauche. Cliquez sur l'onglet rectangle (colonne verticale à gauche, 4^e Icône) et définissons notre section, en pointant la souris sur la grille. Apparaît alors la tâche à exécuter. Placer un coin du rectangle aux coordonnées **(-L/2, -h/2)** (remarquer l'apparition des coordonnées au coin supérieur gauche de la grille) et cliquer, ensuite amener le curseur sur le coin opposé **(L/2, h/2)**, et cliquer. Le rectangle est tracé. Pour désélectionner l'icône Rectangle, Appuyez sur le bouton droit de la souris (M2), cliquer ligne 2 "Cancel". (Il vous sera souvent demandé dans ABAQUS de valider votre travail ou vos choix, dans ce cas, il vous faut cliquer sur M2 ou **Done** (en dessous de la grille). Ce bouton sert aussi à désélectionner les outils lorsque vous n'en avez plus besoin. En effet, par défaut ABAQUS garde en actif le dernier outil utilisé). Votre rectangle est alors créé.

NB : Il est possible de corriger si vous vous êtes trompés grâce à la gomme (Icône "Delete" ou "Undo")

4. Lorsque votre profil est bon, appuyez sur **Done** ou M2 pour faire apparaître la boîte de dialogue **Edit Base Extrusion** qui permet de donner les dimensions par extrusion. Dans le champ **Depth** (profondeur) entrez la dimension b. Votre pièce principale est créée.

Etape 2 : Définir les propriétés du matériau

Après avoir créé notre pièce, il faut définir le matériau qui constitue la pièce.

1. Ouvrir Module : **Proprety**. Dans la barre de menu Cliquez **Material, Create**. Dans la fenêtre **Edit Material**. Nommez le matériau **Acier**.

2. Sélectionnez **Mechanical > Elasticity > Elastic**. Faites entrer les propriétés d'élasticité du matériau, ici le module d'Young et le coefficient de Poisson, respectivement **200 000** et **0.3**. Cliquez sur **OK** pour valider votre matériau. Pour ce TP, on s'intéresse uniquement au comportement élastique. On peut revenir plus tard pour compléter d'autres comportements.

3. Créer une section et définir les propriétés en cliquant dans la barre de menu sur **Section** puis **Create**.

4. Dans la boîte de dialogue **Create Section**, nommez la section : **Section-Poutre**. Elle devra être de catégorie solide et de type homogène (ceci étant les paramètres par défaut), vous n'avez qu'à appuyer sur **Continue**.

5. Dans la fenêtre qui s'ouvre alors, sélectionnez **Acier** comme matériau et acceptez la valeur **1** pour **Plane stress/strain thickness**. Cliquez sur **OK** pour valider.

6. Ensuite, il faut affecter la section à notre poutre. Pour cela, dans la Barre de menu cliquer **Assign**, puis **Section**. Des instructions sont alors données dans la bande de dialogue (en dessous de la fenêtre). Sélectionnez la poutre en cliquant sur n'importe quelle partie de la poutre. Validez votre choix (M2 ou **Done**).

7. La boîte de dialogue **Edit Section Assignment** s'ouvre alors, choisissez **Section-Poutre** puis acceptez (**OK**).

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

Etape 3 : Assembler le Modèle.

Chaque objet que vous créez est orienté dans son propre repère d'orientation. Un modèle peut contenir plusieurs objets (Parts). Un assemblage est donc nécessaire. 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 (Parts) alors que les instances dépendantes sont maillées en association avec le maillage de la pièce originale (Assembly).

Dans cet exemple, même s'il y a pas d'assemblage à créer, on transforme la pièce en Instance. Dans la barre de menu, on clique sur **Instance**, puis **create**, cliquer sur la pièce, cocher **type Indépendent** et enfin **OK**.

Etape 4 : Définir les pas d'analyse.

Une fois que l'objet est créé, il faut définir les étapes d'analyse à effectuer (steps). Donc définir les actions à exercer sur la pièce. Dans cet exemple nous allons définir deux pas :

- Un pas initial dans lequel seront appliquées les conditions aux limites, les BC (Bondaries conditions).
- Un pas général, statique dans lequel on appliquera une force de pression sur la poutre.

1. Ouvrir Module **Step** pour créer un pas d'analyse. Cliquer **Step** (Barre de menu) puis **Create**. Nommer ce pas **Chargement**. Choisir un pas **Static, General** et **Continue**. Apparaît alors la boîte de dialogue **Edit Step**.

2. Dans **Basic-> Description** entrez **Chargement sur la poutre**. Laissez Time period 1 par défaut.

3. Dans **Incrémentation**, Abaqus donne des valeurs par défaut. comme on peut choisir un **Incrément size Initial** différent du **Maximum**, choisir **0.1** (ce qui nous permettra d'avoir jusqu'à 10 incréments). Ensuite validez par **OK**.

Des variables de sorties sont choisies par défaut. Pour cet exemple, on garde les valeurs par défaut, mais il est utile de savoir comment accéder à ces données. Pour accéder, cliquez dans la barre de menu sur **Output**, ensuite **Field Output Requests** et sélectionnez **Manager Edit**, une boîte de dialogue apparaît alors dans laquelle il est possible de choisir toute variable que vous désirez avoir et visualiser les résultats). Garder les valeurs par défaut.

Etape 5 : Définir les interactions .

Pas d'assemblage, donc pas de contact entre « instances », donc pour cet exemple pas d'interactions.

Etape 6 : Appliquer une condition limite et un chargement pour le modèle.

1. Ouvrir dans Module : **Load**. Dans la barre de menu cliquez sur **BC** puis **Create** pour ouvrir la boîte de création de condition limite. Nommez la **Encastrement**. Dans le champ **Step**, choisissez **Initial** pour définir le pas où la condition sera active. Dans la liste des catégories choisissez **Mechanical** et dans **Types for Selected Step**, choisissez **Symmetry/Antisymmetry/Encastre** et enfin **Continue**.

3. Il faut à présent définir l'extrémité à encastrement, ici nous allons choisir la face de l'extrémité gauche de la poutre. Il suffit de cliquer dessus. Tourner si besoin la pièce en cliquant sur l'icône flèche (6^{ème} icône sur la barre horizontale des icônes) puis cliquer sur la pièce en maintenant le doigt sur la souris M1, mettez vous sur le cercle qui apparaît et faites tourner la pièce jusqu'à ramener la face gauche au premier plan (Ensuite, Cliquer sur la flèche pour quitter l'icône "rotate"). Cliquer sur la face gauche à encastrement (la face prend une couleur rouge). Validez votre choix en cliquant sur **Done** (ou bouton M2). Une boîte de dialogue **Edit Boundary Condition** apparaît alors. Dans cette boîte, cocher sur **Encastre**, puis **OK** pour accepter. L'encastrement apparaît sur l'extrémité gauche de la barre.

Il est possible de retrouver la position initiale en allant à "**view**" sur la barre d'outils, puis "**toolbars**", cocher "**views**" (si c'est pas déjà coché). Cliquer sur l'icône "**iso view**" (7^{ème} icône) qui apparaît dans la boîte qui s'affiche (Dans les dernières versions ces icônes sont présentées sur la deuxième ligne de la barre des icônes).

A présent appliquer un chargement (une force concentrée) sur l'autre extrémité de la poutre.

5. Dans un premier temps, on définit le point d'application de la force. Pour cela, aller à **Tools**, Cliquer **Partition**, Cocher **Edge**, choisir **Select Midpoint**, sélectionner l'arête supérieure horizontale de l'extrémité à droite (la largeur de la pièce) et choisir parmi les points proposés le point au milieu. Ensuite Cliquer **Create Partiton** (en dessous de la fenêtre).

6. Pour créer à présent un chargement, Cliquez sur **Load** (dans la barre de menu). Nommez le **Force**. Choisissez le step **Chargement**. Dans le menu **Category**, sélectionnez **Mechanical** et dans le **Types for Selected Step**, choisissez **Concentrated Force** et enfin **Continue**. Sélectionner le point d'application précédemment créé puis **Done**. Dans la boîte de dialogue qui s'affiche, entrer les valeurs (**0, -P, 0**) Cliquer **OK** (La valeur de la force est choisie négative, pour orienter le sens vers le bas).

Maintenant que les chargements et les conditions limites sont créés, il faut mailler notre modèle.

Etape 7 : Mailler le modèle

- Ouvrir Module **Mesh** pour atteindre le module de maillage. A ce stade vous allez générer le maillage de structure en éléments finis. Il est possible de choisir la technique de maillage, le type d'éléments et leur forme.
Il faut savoir que dans le module **Mesh**, ABAQUS montre s'il est possible ou non de mailler notre pièce. Si la pièce est en vert, pas de problèmes, sinon, il y aura quelques ajustements à faire.
Pour créer le maillage il faut tout d'abord choisir le nombre de noeuds sur chaque arrête puis mailler la pièce.
- Dans la barre de menu, choisissez **Seed->Instance**. Dans **Global Seed**., choisir la taille approximative des éléments **10** puis **OK**. (On peut choisir un maillage fin et plus utile en choisissant moins de 10 (5 par exemple).
- Dans la barre de menu, sélectionnez **Mesh->Element Type** pour ouvrir la boîte de dialogue. Dans cette boîte, choisissez **Standard** pour la bibliothèque d'éléments, **Linear** comme ordre géométrique et **3D Stress** comme famille d'éléments. Dans la partie du dessous, on choisit un maillage hexagonal, avec **Reduced Integration** dans la liste **Element Controls** (Comme on peut choisir **Incompatible modes**, selon le type d'éléments)
ABAQUS va choisir le type de mailles C3D8R et donner quelques informations dans le bas de la boîte de dialogue. Dans ABAQUS il existe un nombre important de types de mailles possibles. Et enfin validez avec **OK**.
- Sélectionnez **Mesh->Instance** pour mailler la pièce et cliquez sur **Yes** pour valider. Votre objet est donc maillé.

Etape 8 : Créer et soumettre un travail d'analyse

- Une fois que toutes données ont été entrées, il faut créer et soumettre le travail :
- Ouvrir Module : **Job** . Aller à **Job Create** (Boite de menu) et créer un Job. Nommez le **Flexion-Poutre**. Ensuite **Continue** pour créer le travail. L'**Edit Job** apparaît alors, et dans **Description**, notez **Deformation de la poutre**.
 - Cliquez **OK** pour valider.
 - Pour soumettre le travail, Cliquez sur **Job** (Barre de menu) puis **Manager**. Dans la boite de dialogue **Job Manager**, cliquer **Submit**. Le calcul démarre, vous pouvez visualiser l'avancement en cliquant sur **Monitor**
 - A la fin de l'analyse du modèle, ABAQUS signale la fin du calcul dans la fenêtre **Job Manager**, par **Completed** dans "**Status**". Si **Aborted** apparaît à la place, revoyez toutes les étapes et corriger les erreurs. Vous pouvez visualiser les résultats en cliquant sur **Results**. ABAQUS rentre alors dans le module de visualisation.

Etape 9 : Visualiser les résultats de notre analyse

- Il est possible de visualiser une variété de résultats dans ce module.
- Par exemple on peut visualiser la forme extérieure non déformée en allant dans la barre de menu : **Plot-> Undeformed Shape**, la déformée du modèle grâce à **Plot-> Deformed Shape**.
 - Ensuite il est possible de visualiser les Contraintes Von Mises grâce à **Plot-> Contour>Deformed shape**.
 - Pour retrouver les différents résultats, allez dans **Result-> Field Output**. Les 2 variables qui nous intéressent pour le moment sont la Contrainte "S" (Stress) et le déplacement "U" (Displacement). Cliquez pour voir les résultats.
Le tableau joint à la figure donne les valeurs correspondant aux différents éléments. Agrandissez pour mieux lire ;
Allez à Viewport>**viewport annotations options>Legend>Set Font>Size=12>Cochez Apply To...**
 - Pour visualiser la séquence de la déformation, allez à **Animate>Time History**. Il est conseillé de réduire la vitesse de l'animation en cliquant sur **Options>Animation**.

NB : Résultats à inclure dans le compte rendu. Voir Questions TP 1 : La Flexion

TP 1 : Flexion Poutre
(A présenter sous forme de brochure)

Questions :

- Calculer :
 - la contrainte maximale en fin de déformation ($\sigma_{max} = \dots\dots\dots$ MPa) ?
 - la flèche (le déplacement vertical) sur l'extrémité droite ($f = \dots\dots\dots$ mm)?
- Sur Excel, déterminer :
 - La courbe Variation de la Contrainte (σ_{max}) en fonction de la longueur L (variation chaque 10 mm) $\sigma_{max} = f(L)^\circ?$
 - La courbe Variation de la flèche f en fonction de la longueur L (variation chaque 10 mm) $f=f(L) ?$
- Réaliser la simulation sur le logiciel Abaqus, en suivant les étapes décrites dans le TP
Déterminer la contrainte maximale et le lieu appliqué en fin de déformation : σ_{max} (Stress Max Principal)= $S_M = \dots\dots\dots$ MPa
Déterminer la fleche (le déplacement vertical engendré : f (Spatial displacement, Magnitude U_2) = $\dots\dots\dots$ mm
- Dans le module Visualisation, en fin de déformation, Imprimer :
 - l'image correspondant à la répartition des contraintes sur les différents éléments (Stress components Max Principal S_M)
 - l'image correspondant à la répartition de la flèche sur les différents éléments (Spatial displacement – Magnitude U_2)
- Repérer la ligne des nœuds centraux en surface, et déterminer XY Data des contraintes et des flèches correspondantes.
- Reporter les valeurs sur Excel des 2 tableaux sur une même feuille (3 Colonnes : Longueur, Déplacement U_2 et Contrainte S_M).
NB : Les valeurs décimales rapportées à partir d'abaqus avec point (.) sont à convertir sur Excel avec virgule (,)
- Tracer sur Excel :
 - la courbe Contrainte S_M en fonction de la Longueur L.
 - la courbe Déplacement U_2 en fonction de la Longueur L.
- Conclusion :
 - Comparer les résultats Calcul et Simulation en déterminant l'erreur entre :
La contrainte calculée et la contrainte en simulation
La flèche calculée et la flèche en simulation
Commenter

Annexe :**Tracer Courbe Contrainte = f (Déformation) sur Abaqus :**

Le TP1 est un exemple de la détermination des contraintes et des déformations par calcul et par simulation sur une poutre soumise à un effort de flexion. Les résultats du calcul et de la simulation seront comparés avec détermination de l'erreur entre les deux démarches.

La structure soumise à un chargement sur l'extrémité à droite engendre des contraintes et des déformations variables selon la position des nœuds (ou des éléments). Chaque nœud de la structure est soumis à une contrainte dont la valeur peut être déterminée à partir du tableau de valeurs qui accompagne l'image dans le module **Visualisation** (chaque couleur correspond à une valeur).

En vue de déterminer la variation des contraintes et des déformations sur les différents nœuds en fonction de la distance du nœud au point de l'encastrement, on doit d'abord identifier la position de ces nœuds par des numéros affectés par défaut à ces nœuds.

Dans le module **Mesh**, Aller à **View > Assembly Display Options**. Dans la fenêtre qui s'affiche, ouvrir **Mesh**, puis cochez **Show node labels**. Relevez les nœuds de la ligne centrale, de l'extrémité gauche à l'extrémité droite, en les repérant sur un intervalle de la manière suivante :

[1^{er} noeud : dernier noeud : le pas]. Exemple Traction Barre cylindrique : [4 : 124 : 6]

On va créer à présent une ligne de nœuds laquelle servira à la détermination de la courbe.

1- Dans le Module **Visualisation**, Aller à **Tools, Path, Create : Path1**, Cochez **Node list** puis **Continue**

Dans la fenêtre qui s'affiche "**Edit Node**"

Soit :

- mettre la série des noeuds comme on les a repéré précédemment [1^{er} noeud : dernier noeud : le pas].

Soit

- Cliquer sur **Add Before** et cliquer sur la série des nœuds à étudier (Nœuds sur la ligne médiane , sur la face supérieure, de l'extrémité gauche à l'extrémité droite), ensuite **Done, OK**

2- Aller à **Tools, XY Data, Create**, dans Source, Cocher **Path, Continue**.

Dans la fenêtre qui s'affiche "**XY Data from Path** ", aller à **Field output**, choisir la variable et Sauvegarder :

Choisir dans **Field Output** la variable S et Cliquer sur **Save as**, et sauvegarder sous le nom : **XY-Stress**

Ensuite choisir dans **Field Output** la variable **U2** et Cliquer sur **Save as**, et sauvegarder sous le nom : **XY-U2**

On peut déjà visualiser la courbe en fonction de la longueur **d** (distance à l'extrémité) en tapant **Plot**.

NB : Les courbes qu'on obtient sur « plot » sont en fonction d'une variable par défaut (longueur d). Pour tracer les courbes en combinant les variables qu'on veut, on peut faire ça sur Excel en transférant ces résultats sur une page Excel :

Aller à **Tools, XY Data, Manager, Edit**, copier tableau et coller dans Excel

Tracer les courbes :

$S = f(d)$

$U_2 = f(d)$