

TP03 - Travaux pratiques de la formation « Initiation » : tuyau coudé sous sollicitation thermo-mécanique

Résumé :

Il s'agit d'une tuyauterie coudée, constituée d'un matériau élastique linéaire, soumise à divers chargements : pression interne, transitoire thermique.

Les modélisations utilisées dans ce TP de formation sont les suivantes :

- modélisation A : modélisation 3D, calcul thermo-mécanique
- modélisation C : éléments coques DKT, calcul mécanique sous chargement de pression interne,

Le chapitre 1 « Problème de référence » présente le problème à traiter et les données communes à toutes les modélisations ; les énoncés des Travaux Pratiques de la formation sont inclus dans ce document :

- TP3a : « 3D thermo-élastique » voir la modélisation A
- TP3b : « éléments de structure DKT mécanique » voir la modélisation C

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

L'étude concerne une tuyauterie comprenant deux tuyaux droits et un coude [Figure 1.1-a]. Les données géométriques du problème sont les suivantes :

- la longueur L_G des deux tuyaux droits est de 3 m ,
- le rayon R_c du coude est de 0.6 m ,
- l'angle θ du coude est de 90° ,
- l'épaisseur e des tuyaux droits et du coude est de 0.02 m ,
- et le rayon extérieur R_e des tuyaux droits et du coude est de 0.2 m .

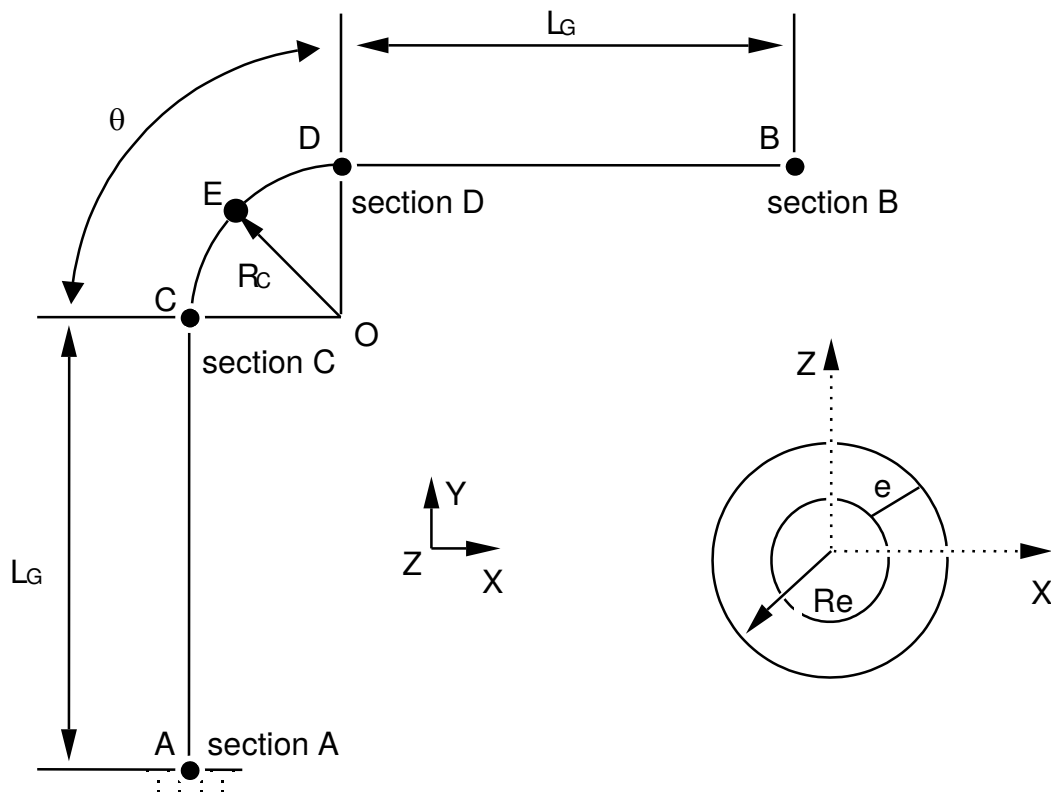


Figure 1.1-a

Remarque :

La géométrie du problème présente une symétrie par rapport au plan (A, X, Y) .

1.2 Propriétés de matériaux

Matériau élastique linéaire isotrope. les propriétés du matériau sont celles de l'acier *A42* à 20°C :

- le module d'Young $E = 204\,000 \times 10^6\text{ N/m}^2$,
- le coefficient de Poisson $\nu = 0.3$.

Pour le calcul thermo-élastique :

- le coefficient de dilatation thermique $\alpha = 1.096 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,
- la conduction thermique $\lambda = 54.6\text{ W/m}^\circ\text{C}$,
- la chaleur volumique $\rho C_p = 3.71 \times 10^6\text{ J/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$,

1.3 Conditions aux limites et chargements

Les conditions aux limites pour toutes les modélisations sont les suivantes :

- encastrement au niveau de la section A et de la section B .

Les chargements appliqués sont de trois types :

- (modélisation `coques` ou 3D) pression interne (sur la face interne) $P=15.10^{+6} N/m^2$
- (modélisation 3D) chargement thermo-mécanique avec un transitoire de température imposée sur la face interne de la tuyauterie (montée de $20^{\circ}C$ à $70^{\circ}C$ en 10s), et une condition d'échange nul sur la face externe de la tuyauterie (calorifuge) .

2 Solution de référence

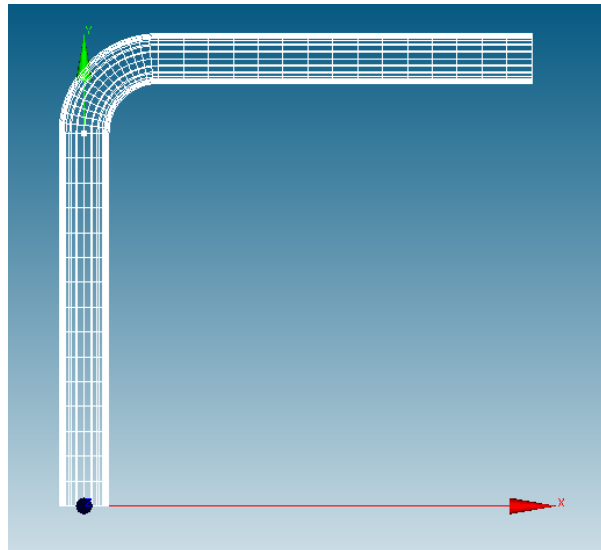
2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est obtenue numériquement, il s'agit donc uniquement des tests de non régression.

2.2 Résultats des différentes modélisations :

Les valeurs testées sont :

- pour le chargement de pression, le déplacement en sortie supérieure de coude à **la surface moyenne** (comme dans la figure en dessous, au point C marqué en blanc, le déplacement ΔX à $-4.52e-4$ m) ;
- pour le chargement thermo-mécanique, la température **en paroi interne** au pied du tube (point B), (70°C) ainsi que la contrainte Von Mises maximale de l'ordre de 200 MPa.



3 Modélisation A

3.1 Déroulement du TP

Il s'agit de mener à bien le calcul thermo-mécanique en générant la géométrie, le maillage et le fichier de commandes AsterStudy à l'aide de la plate-forme salome_meca.

La modélisation est 3D élastique. Le tuyau entier est modélisé. On définira également les commandes nécessaires au dépouillement (pour tracer des courbes et post-traitements graphiques).

3.1.1 Géométrie et maillage

On charge le script TP03a.py présent dans le dossier de TP, menu File/Load Script. On analyse le maillage Tuyau pour vérifier sa qualité et contrôler sa conformité par rapport à la modélisation envisagée :

- **Vérifier la qualité du maillage** Tuyau dans le module Mesh :

Pour ce faire on accède aux informations sur le maillage, soit par le menu Mesh/Mesh Information soit par clic droit sur le maillage et Mesh Information.

| Nombre d'éléments | Nombre de nœuds | Type d'éléments | Nœuds doubles | Aspect ration maximum |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| | | | | |

Pour obtenir une meilleure précision, on va faire passer le maillage de linéaire à quadratique, grâce à l'outil « Modification -> Convert to/from quadratic ». Les plus curieux peuvent comparer les différences de résultats entre les deux types d'éléments.

Remarques :

Avec une autre finesse de maillage, il est possible d'obtenir des résultats sensiblement différents. En particulier, pour obtenir une solution correcte, il est souhaitable d'utiliser des éléments quadratiques.

Pour les informations sur le maillage quadratiques :

| Nombre d'éléments | Nombre de nœuds | Type d'éléments | Nœuds doubles | Aspect ration maximum |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| | | | | |

- **Vérifier que tous les groupes nécessaires à l'application des chargements, conditions aux limites et post-traitement sont bien présents et repérer leur noms :**

| Groupes pour les conditions aux limites d'encastrement | Groupe pour le chargement | | Groupe pour les post-traitements |
|--|---------------------------|---------------------|----------------------------------|
| | Pression | Température imposée | |
| | | | |

3.1.2 Création et lancement du cas de calcul via AsterStudy

On utilise un assistant de calcul pour initialiser l'étude. On y accède dans le module AsterStudy dans l'onglet Case View via Operation/Add Stage with Assitant ou par clic droit sur le CurrentCase et Add Stage with Assitant.

Assistant de calcul Thermo-mechanical analysis :

* **Partie thermique**

- Choix du maillage :

On sélectionne le maillage Tuyau disponible dans le module Mesh

- Choix de la modélisation :

Question 1 : Quelle modélisation doit-on choisir et pourquoi ?

- Propriété des matériaux :

Question 2 : Quelle unité doit-on utiliser ?

- Définition des conditions aux limites :

On souhaite imposer un transitoire de température montant linéairement de 20°C à 70°C en 10s. Néanmoins, l'assistant de calcul ne le permet pas. A ce stade, définir sur la face interne une température constante de 20°C, dans l'objectif d'y revenir plus tard hors assistant.

Question 3 : serait-il possible, dans un calcul transitoire, de se dispenser de conditions aux limites de température imposée ? Et dans un calcul stationnaire ?

Question 4 : Doit-on définir des flux normaux ? Pourquoi ?

- Définition des conditions initiales :

Renseigner la température initiale.

Question 5 : A votre avis, pourquoi est-elle obligatoire dans l'assistant thermo-mécanique, même en cas de calcul thermique stationnaire ?

- Définition la discrétisation temporelle :

Rentrer la liste d'instant suivante : 0s, 5s, 10s.

* Partie mécanique :

- Choix de la modélisation :

Question 6 : Quelle modélisation doit-on choisir pour la partie mécanique et pourquoi ?

- Définition des conditions aux limites :

Définir les conditions aux limites d'encastrement et le chargement de pression.

- Définition du fichier de sortie des résultats au format MED :

On choisit un fichier de sortie pour le résultat au format MED (par exemple TP1_resu.rmed)

(Remarque : attention pour donner l'extension .rmed)

Une fois l'assistant de calcul exécuté, une mise en donnée correspondant aux valeurs renseignées est générée. La mise en donnée est un enchaînement de commande que le code exécutera pour réaliser l'étude. Les commandes sont classées en catégorie Mesh, Model Definition, Material, BC and Load etc... pour faciliter la lecture de l'étude. L'ordre des commandes est géré automatique grâce aux dépendances inter-commandes et aux catégories.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

Modification du fichier de commande généré, onglet Case View:

Dans cette section, nous allons parcourir l'étude pour vérification puis modifier la condition limite en température pour qu'elle corresponde effectivement à une montée en température.

Question 1 : Quelles commandes d'analyse sont utilisées pour la partie thermique et la partie mécanique ?

Question 2 : Pourquoi il y a deux AFFE_MATERIAU ? Quelle différence entre eux ?

Question 3 : La normale aux faces est-elle dans le bon sens pour la définition du chargement de pression ? Si non, quelle commande pourrait-on utiliser pour y remédier ?

Identifier la commande définissant le chargement thermique.

Question 4 : Est-il possible de modifier cette commande pour prescrire une température variable en temps ? Quelle autre commande faut-il utiliser à la place ?

Définir la fonction du temps donnant ce chargement : ajouter une commande DEFI_FONCTION via la catégorie Functions and Lists. Choisir INST comme nom de paramètre (dans NOM_PARA), ce qui indique qu'on a affaire à une fonction du temps. Rentrer dans le mo-clé VALE la fonction temporelle correspondant à la température à imposer. Vérifier à l'aide de l'icône Plot function. Valider la commande.

Définir alors le chargement de température imposée en temps à l'aide de cette fonction et de la commande identifiée à la Question 4. Supprimer l'ancienne commande AFFE_CHAR_THER.

Question 5 : pourquoi certaines commandes apparaissent-elles alors en rouge ? Que faut-il faire pour y remédier ?

L'interface graphique AsterStudy possède un outil de vérification graphique d'analyse permettant d'accéder à un résumé des modèles, matériaux, conditions aux limites et chargements utilisés. Cet outil est accessible par clic droit sur la commande d'analyse `Analysis Summary`. Vérifier votre mise en donnée avec cet outil.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

Enrichissement des résultats en sortie :

Dans cette section, on va enrichir le résultat en utilisant un opérateur de post-traitement permettant de calculer des champs supplémentaires, `CALC_CHAMP` :

- Ajouter une commande `CALC_CHAMP` via la catégorie `Post Processing`.
- On souhaite enrichir un résultat déjà existant. On coche donc `reuse the input object` et on vérifie que le mot-clé `RESULTAT` est bien défini avec les résultats suivant le calcul mécanique.
- On souhaite calculer les champs de contrainte mot clé `CONTRAINTE` suivant :
 - * `SIEF_ELNO` Quel est le support géométrique de ce champ?
 - On souhaite calculer les champs de contrainte mot clé `CRITERES` suivant :
 - * `SIEQ_ELNO` Quel est le support géométrique de ce champ?
 - Valider la commande
 - Dans la commande `IMPR_RESU`, vérifier que `RESU/RESULTAT` est bien renseigné aux résultats thermique (issu de `THER_LINEAIRE`) et mécanique (issu de `CALC_CHAMP` pour l'enrichissement).

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

Exécution du calcul, onglet `History View` :

L'exécution et le suivi de calcul sont réalisés dans l'onglet `History View`. Seul le `CurrentCase` est exécutable les `RunCase_X` sont uniquement des sauvegardes d'exécution qui peuvent être rechargées dans le `CurentCase`.


- Sélectionner le `CurrentCase`
- Sélectionner l'unique stage à exécuter
- Définition des paramètres de calcul dans les onglets `Basic` et `Advanced` de `Run Parameters`. On utilisera la version stable de `code_aster` en local.
- Exécuter le calcul en cliquant sur `Run`
- Fixer l'`Auto Refresh` à 5 second ou surveiller l'état du calcul manuellement avec le bouton `Refresh`
- Vérifier dans l'onglet `Message` qu'aucune alarme et/ou erreur n'ont été émises.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

3.1.3 Post-traitements

Pour visualiser les résultats au format `Med`, deux choix sont actuellement disponibles : onglet `Results` dans AsterStudy ou directement dans le module `Paravis`. On abordera uniquement l'onglet `Results` dans ce TP.

Pour aller à l'onglet `Results` dans AsterStudy :

- Importer le fichier de résultats (`Case Case View` → `Data Files`, cliquer droite sur le fichier de sortie et choisir `Post-process`. Par défaut, la coloration de la plaque par le champ de déplacement `DEPL`, une amplification automatique est appliquée à la déformée de la plaque. Pour visualiser bien la différence entre la forme initiale et la déformée, cliquer droit à la fenêtre et choisir `Show as / Wireframe`.
- Double cliquer sur le champ souhaité, utiliser le bouton `Probe values on one or more points or cells` (symbole croix, ) afin de vérifier les valeurs au point C pour `DX` et au point B pour la température.

Question : Quel champ de contrainte doit-on regarder pour Von Mises ?

- Compléter le tableau ci-dessous :

| Localisation | Identification | Référence numérique | Résultat numérique |
|------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| Nœud <i>C</i> | Déplacement <i>DX</i> | -4.52e-4 | |
| Nœud <i>B</i> | Température | 70,0 | |
| Tout le maillage | Von Mises maximale | ~ 210.e6 | |

Post-traitements avancés avec des commandes :

Les principales étapes de la **seconde** exécution avec Aster_Study seront :

- Ajouter un nouveau stage, nommé par exemple `post-traitement`
-
- Extraire les valeurs du champ `SIEF_ELNO` pour un azimuth au niveau de l'entrée de coude (point *C*) pour le cas de charge correspondant à F_y dans une table : Commande `MACR_LIGN_COUPE`. Avec l'option de type `SEGMENT`, l'azimut est défini par le chemin d'extrémités $(0.18, 3.0, 0.)$ et $(0.2, 3.0, 0.)$, par exemple avec 11 points.
- Imprimer la table produite au format `XMGRACE` pour la composante `NOM_PARA=SIYY` avec la commande `IMPR_TABLE` : utiliser `Filtre` → pour l'instant `NOM_PARA=INST` à 10s, et déterminer les données à extraire par `NOM_PARA`, par exemple, `COOR_X` (pour l'abscisse *X*) et `SIYY` (pour la composante de contrainte).

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

Lancer seulement le 2ème stage, et visualiser la figure de courbe.