

Fonctionnement et évaluation des séances de TP

● Objectifs :

5 séances de 4 heures, 4 sujets, une personne par machine, pour :

- Se familiariser avec l'APDL (ANSYS Parametric Design Language) et poursuivre l'apprentissage du module "Mechanical APDL" d'ANSYS (Ex. 1, 2 et 3).
- Se perfectionner sur le module "Mechanical" sous l'interface Workbench (Ex. 3 et 4).

● Pour débiter :

- Un document intitulé "Guide d'utilisation MECHANICAL APDL" sera distribué lors de la première séance. Il contient un exercice commenté "Ex00" ET un exemple de compte rendu.
- Un document intitulé "Guide d'utilisation MECHANICAL" sera distribué lors de la 4ème séance.

● À faire avant les séances :

Chaque exercice réclame un travail préparatoire à réaliser AVANT la séance de TP :

- Calculs analytiques (RDM, MMC...) dont les résultats peuvent être tracés sous Excel.
- Analyse des fichiers de commandes fournis.

Des fichiers à compléter sont donnés au début de chaque séance.

● À rendre :

- un compte rendu de TP (la semaine suivante).
- un ou plusieurs fichiers de commandes (le nom de chaque fichier est précisé dans l'énoncé).

● Notation :

La note de TP est la moyenne d'un ensemble de notes :

- une note pour chaque séance de TP (absence = 0).
- une note pour chaque compte rendu (non rendu = 0).

Ex1 - TREILLIS 3 BARRES

| | |
|-------------------------------|--|
| finish | ! précaution |
| /CLEAR | ! initialisation de la base de données |
| /PREP7 | ! entrée dans la phase de pré-traitement ou preprocessing |
| /TITLE, Treillis | ! titre du travail |
| *afun, deg | ! angles en degrés, par défaut en radians (utile pour l'exo. 1) |
| A1 = 400E-3 | ! déclaration des paramètres |
| S1 = 20E-6 | ! longueur 400 mm (nom paramètre = choix utilisateur) |
| S2 = 10E-6 | ! section 20 mm ² , donnée en m ² pour avoir des unités cohérentes |
| EX1 = 2.E11 | ! section 10 mm ² |
| F1 = 100000. | ! module d'Young N/m ² |
| ET, 1, LINK180 | ! module de la force N |
| | ! définition du type d'élément n°1 : E.F. de barre |
| R, 1, S1 | ! "real constant" paramètres non déductibles du maillage |
| R, 2, S2 | ! "real constant" n°1 : section 20mm ² |
| | ! "real constant" n°2 : section 10mm ² |
| MP, EX, 1, EX1 | ! définition du matériau n°1 |
| | ! module d'Young, matériau 1, valeur de la constante physique |
| N, 1, 0, 0 | ! définition des nœuds : numéro, coordonnées x, y |
| N, 2, A1, A1 | ! nœud 1 : x= 0, y = 0 |
| N, 3, 2*A1, 0 | ! nœud 2 : x=a, y = a |
| | ! nœud 3 : x=2 * a, y = 0 |
| | ! création des éléments : utiliser 'en' plutôt que 'e' pour définir les |
| REAL, 2 | ! éléments, qui permet de donner explicitement un numéro à l'élément |
| EN, 1, 1, 3 | ! la "real constant" n°2 (section s2) est affectée aux EF qui suivent |
| REAL, 1 | ! élément "1" entre les nœuds 1 et 2 |
| EN, 2, 1, 2 | ! la "real constant" n°1 (section s1) est affectée aux EF qui suivent |
| EN, 3, 2, 3 | ! élément "2" entre les nœuds 1 et 2 |
| | ! élément "3" entre les nœuds 2 et 3 |
| | ! conditions aux limites et chargement |
| D, 1, ALL, 0. | ! tous les DDL du nœuds 1 sont nuls |
| D, 3, UY, 0. | ! seul le DDL UY est nul : uy = 0 au nœud 2 |
| F, 2, FY, -F1 | ! chargement sur le nœud 2 : -F suivant y de module f1 |
| FINISH | ! fin pré-traitement ou preprocessing |
| /SOLU | ! début de la phase de résolution |
| ANTYPE, static | ! calcul statique |
| SOLVE | ! résolution |
| FINISH | ! fin de la phase solution |
| /POST1 | ! début de la phase de post-traitement ou post-processing |
| PLNSOL, U, SUM, 1, 1 | ! tracé de la déformée et du maillage |
| | ! affichage du numéro des éléments |
| /PNUM, ELEM, 1 | ! activation de la numérotation des éléments |
| EPLLOT | ! affichage des éléments |
| | ! calcul de la contrainte normale : repère local |
| ETABLE, normale, LS, 1 | ! table de nom ' <u>normale</u> ' (choix utilisateur) contenant la contrainte |
| PRETAB, normale | ! liste le contenu de la table 'Normale' |
| PLETAB, normale, noav | ! trace les contraintes axiales |
| | ! les commandes suivantes pourront être exécutées en mode interactif |
| PRRSOL | ! liste des réactions |
| PRNLD | ! charges nodales |

ETABLE, energie, SENE

! calcul de l'énergie de déformation élastique

! de chaque barre : table de nom "energie"

PRETAB, energie

! affiche le contenu de la table "energie"

SSUM

! calcul de l'énergie de déformation élastique totale du treillis

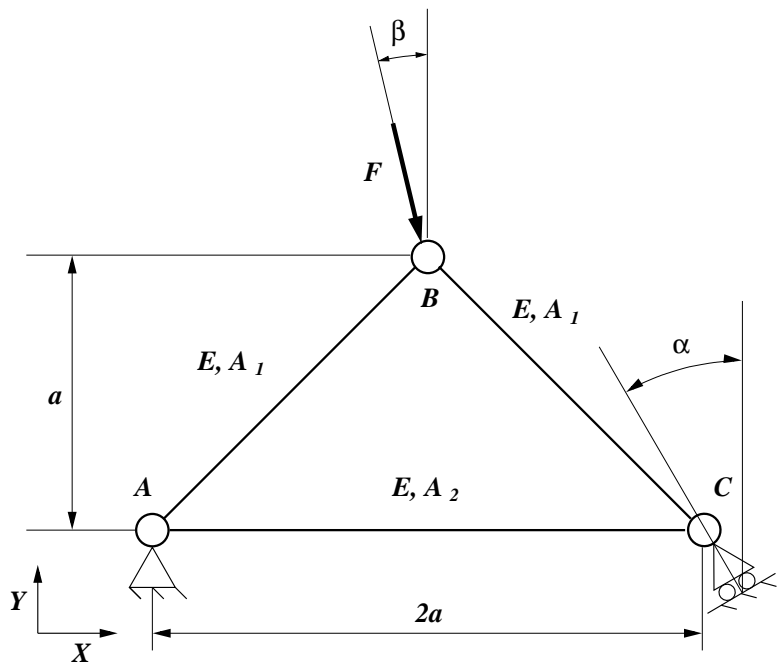
! = somme de l'énergie de déformation élastique de chaque barre

Ce fichier de commandes **ANSYS MECHANICAL APDL** (commenté) est nommé **EX10.inp**. Ce fichier peut s'utiliser dans Ansys de deux manières :

- Utiliser **read input from** dans **menu file**. Le fichier (si il n'y a pas d'erreur) est alors exécuté complètement.
- "**copier-coller**". Ouvrir le fichier avec un éditeur de texte, puis faire un "copier" à la souris d'une partie du fichier (une ou plusieurs lignes) et "coller" le morceau dans la fenêtre "**Ansys input**" : **Pick a menu item or enter Ansys command below** puis taper sur la touche return.

1. Décrire le problème correspondant à ce fichier de commandes.
2. Adapter ce fichier pour traiter le treillis plan à trois barres suivant (nom du fichier de commandes **EX11.inp**) :

$$a = 400 \text{ mm}, A_1 = 100 \text{ mm}^2, A_2 = 80 \text{ mm}^2, E = 200\,000 \text{ MPa}, F = 10^5 \text{ N}, \alpha = 30^\circ \text{ et } \beta = 10^\circ.$$



3. Définir l'appui roulant au nœud **C**. Pour cela, il faut au préalable **TROUVER** une équation entre les ddl associés à ce nœud. Cette relation sera introduite dans Ansys à l'aide de : **Preprocessor** → **Coupling/Ceqn** → **Constraint eqn**.
4. Décrire brièvement la manière employée pour modéliser dans ANSYS le chargement **F**.
5. Calculer, avec ANSYS, les déplacements aux nœuds.
6. Calculer les réactions aux appuis.
7. Calculer les contraintes internes dans les barres.
8. Déterminer la force **F** maximale que peut supporter le treillis, sachant que $\sigma_{max} = 2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$.

Ex2 - Conception d'un treillis où de l'optimisation sans le savoir

On souhaite concevoir un treillis destiné à supporter une charge verticale P . Le cahier des charges nous impose la position des points d'attache (A et D) du treillis, ainsi que le point d'application (C) de la charge P . Une première ébauche réalisée par un ingénieur débutant est représentée sur la figure 1.

On demande de calculer (fichier de commandes **EX21.inp**) :

1. Les déplacements aux nœuds.
2. Les réactions aux appuis.
3. Les contraintes internes dans les barres.
4. Déterminer la force P_1 maximale que peut supporter le treillis, sachant que $\sigma_{max} = 3 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$.

Les données du problème sont :

$a = 1 \text{ m}$,
 section : $A = 78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,
 $E = 70 \,000 \text{ MPa}$,
 $P = 5 \cdot 10^3 \text{ N}$.

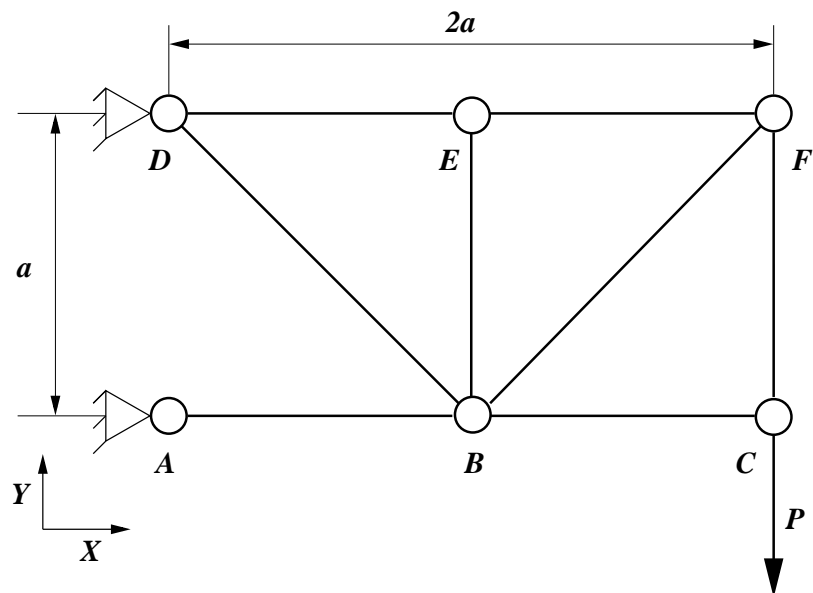


Figure 1: treillis à améliorer

Votre mission consiste, maintenant, à améliorer cette solution :

1. Trouver un nouvel agencement du treillis, en conservant les mêmes barres, de sorte que le treillis soit plus rigide (d'ailleurs quel critère permet de mesurer la rigidité) tout en pouvant supporter la même charge maximale P_1 que le précédent (**EX22.inp** pour le fichier de commandes).
2. Est-il possible de diminuer le nombre de barres ? Justifier la réponse.
3. Sachant que vous ne pouvez pas modifier certains paramètres :
 - les barres ne peuvent pas avoir une longueur inférieure à a .
 - la section des barres ne peut pas varier.
 - les propriétés du matériau doivent rester identiques.

Concevez un nouveau treillis pouvant supporter une force plus importante et qui soit encore plus rigide que les précédents treillis. Donnez les éléments de réflexion qui vous ont conduit vers cette solution (**EX23.inp** pour le fichier de commandes).

Ex3 - ÉTUDE D'UN DEMI ANNEAU PLAN AVEC MECHANICAL APDL

Il s'agit de modéliser le demi anneau décrit ci-dessous avec "Mechanical APDL".

1. Est-on obligé de mailler entièrement la structure ? Peut-on simplifier le maillage ? Si oui, pourquoi et comment.
2. Compléter le fichier de commandes ANSYS (**EX30.inp** qui permet de traiter ce problème sous "Mechanical APDL").
3. On souhaite connaître la valeur maximale du déplacement vertical qui sera comparée au déplacement obtenu par un calcul RDM.
4. Sur un même graphique, tracer l'évolution, le long de l'axe de symétrie, de $\sigma_{yy}(x)$ obtenue par la méthode des éléments finis, par un calcul de RDM et par un calcul de Mécanique des Milieux Continus (MMC).
5. Analyser l'évolution des contraintes lorsque le chargement augmente. Si l'on change les caractéristiques du matériau, est-il utile de refaire les calculs ? Justifier votre réponse

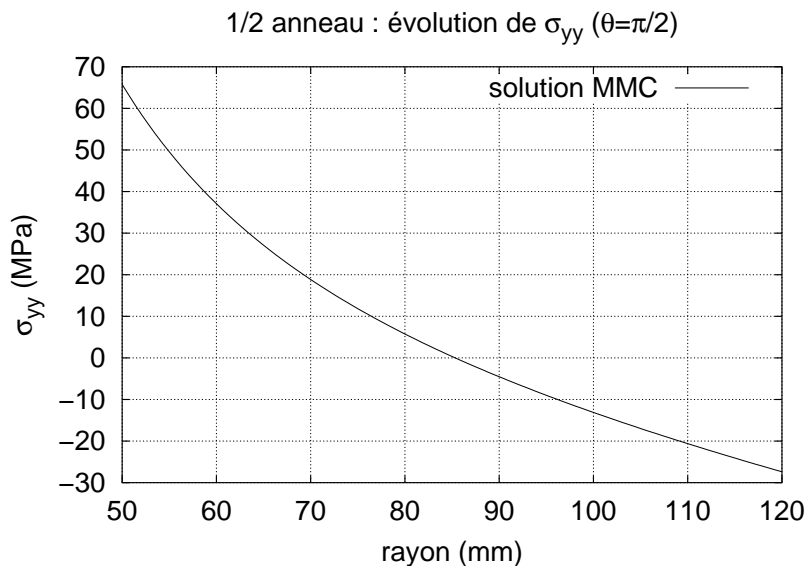
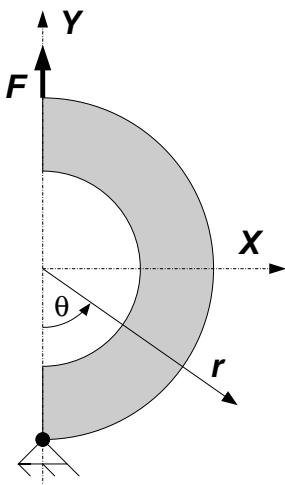
Solution MMC :

Chargement de traction : $F = 2\,000\text{ N}$.
 Rayon intérieur : $R_i = 0,05\text{ m}$.
 Rayon extérieur : $R_e = 0,12\text{ m}$.
 épaisseur : $e = 0,005\text{ m}$.
 Module d'Young = $7 \cdot 10^{10}\text{ Pa}$.
 Coefficient de Poisson = $0,3$.

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}(r, \theta) &= \left(-A r + \frac{C}{r} + \frac{D}{r^3}\right) \sin \theta, \\ \sigma_{yy}(r, \theta) &= \left(-3 A r + \frac{B}{r} - \frac{D}{r^3}\right) \sin \theta, \\ \sigma_{xy}(r, \theta) &= \left(A r - \frac{B}{r} - \frac{D}{r^3}\right) \cos \theta, \end{aligned}$$

avec :

$$\begin{aligned} A &= \frac{F}{e \left((R_i^2 - R_e^2) + (R_i^2 + R_e^2) \ln(R_e/R_i) \right)}, \\ B &= C = A (R_i^2 + R_e^2), \quad D = -A R_i^2 R_e^2. \end{aligned}$$



$$\sigma_{yy}(r = r_i, \theta = \pi/2) \approx 65.75\text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{yy}(r = r_e, \theta = \pi/2) \approx -27.40\text{ MPa}$$

Ex4 - ÉTUDE D'UN DEMI ANNEAU PLAN AVEC MECHANICAL

1. Refaire cette étude en utilisant **Solidworks** pour la modélisation géométrique et **ANSYS Mechanical** pour les calculs.