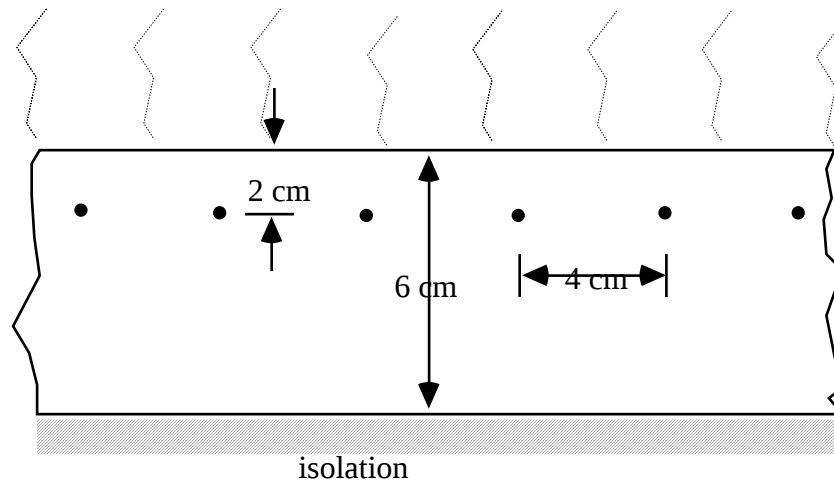


- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projet 1

Etude d'un problème de transfert de chaleur par conduction et convection avec une source de chaleur

Dans un sol, on place des câbles pour chauffer la surface du sol : par exemple dégel de la piste d'atterrissage d'un aéroport. Les câbles produisent une chaleur de q W/cm. La température de l'air est de -5°C et le coefficient de convection est de $0.0034 \text{ W/cm}^2\cdot^\circ\text{C}$. Les conductivités du sol sont : $k_x = k_y = 0.018 \text{ W/cm}\cdot^\circ\text{C}$.



Les objectifs de ce projet sont :

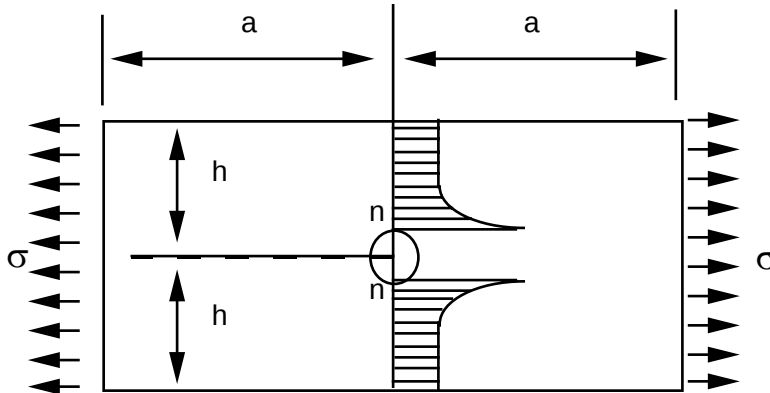
- développer un élément triangulaire à 3 nœuds pour la conduction et la convection,
- développer un élément quadrilatéral à 4 nœuds pour la conduction et la convection,
- trouver q telle que la température de la surface du sol soit supérieure à 1°C ,
- étudier l'influence du maillage sur les résultats.

- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projet 2

Contraintes dans une plaque percée d'un trou circulaire

Lorsqu'on perce un petit trou circulaire dans une plaque soumise à une contrainte de traction uniforme σ , une concentration intense de contraintes se représente aux points nn. La théorie de l'élasticité montre qu'en ces points la contrainte de traction est égale à 3σ .



Les données du problème sont :

$$\sigma = 100 \text{ MPa}, a = 100 \text{ mm}, h = 50 \text{ mm},$$

L'épaisseur de la plaque est égale à l'unité. Le rayon du trou est égal à 8 mm.

Matériau élastique: module de Young $E = 200000 \text{ N/mm}^2$
coefficient de Poisson $\nu = 0.3$

Les objectifs de ce projet sont :

- développer un élément triangulaire à 3 nœuds dans CCMEF
- développer un élément quadrilatéral à 4 nœuds dans CCMEF
- calculer les contraintes dans la plaque avec ces deux types d'élément
- comparer les résultats numériques

Remarque : considérons la symétrie de la structure.

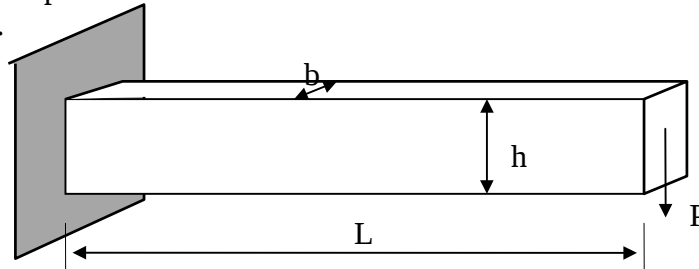
- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
- Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS

Projet 3

Analyse statique des structures de poutres

I. Poutre en flexion simple

On considère un domaine plan rectangulaire (poutre) de longueur L , de hauteur h et de largeur $b \ll h, L$. Cette poutre est encastree à une extrémité et soumise à une charge P à l'autre extrémité (voir figure).



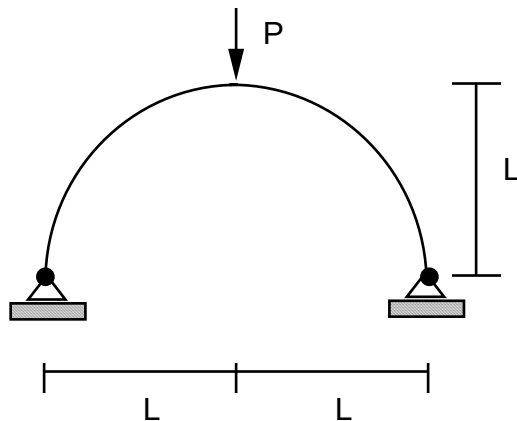
Les données du problème sont :

$L=200$ mm, $h=20$ mm, $b=2$ mm. $P = 100$ N

Matériau élastique: module de Young $E = 200000$ Mpa ; coefficient de Poisson $\nu = 0.3$

II : Poutre courbe

Une poutre courbe de faible épaisseur est articulée sur deux extrémités et supporte une charge verticale P . Sa section est uniforme dont la ligne moyenne est un demi-cercle.



$P = 200$ N
 $E = 3 \times 10^5$ MPa
 $L = 100$ mm
 Section rectangulaire
 $a = 1$ mm, $b = 2$ mm

On demande de :

- développer un élément de poutre 2D à 2 nœuds dans CCMEF
- déterminer les ddl et les contraintes et comparer les résultats numériques et théoriques
- développer un élément triangulaire à 3 nœuds dans CCMEF pour modéliser les poutres en solide 2D.

Solution RDM : (I) $\delta = \frac{PL^3}{3EI}$; (II) $\delta = \frac{PL^3}{EI} \left(\frac{3\pi}{8} - 1 - \frac{1}{2\pi} \right)$

- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
- Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS

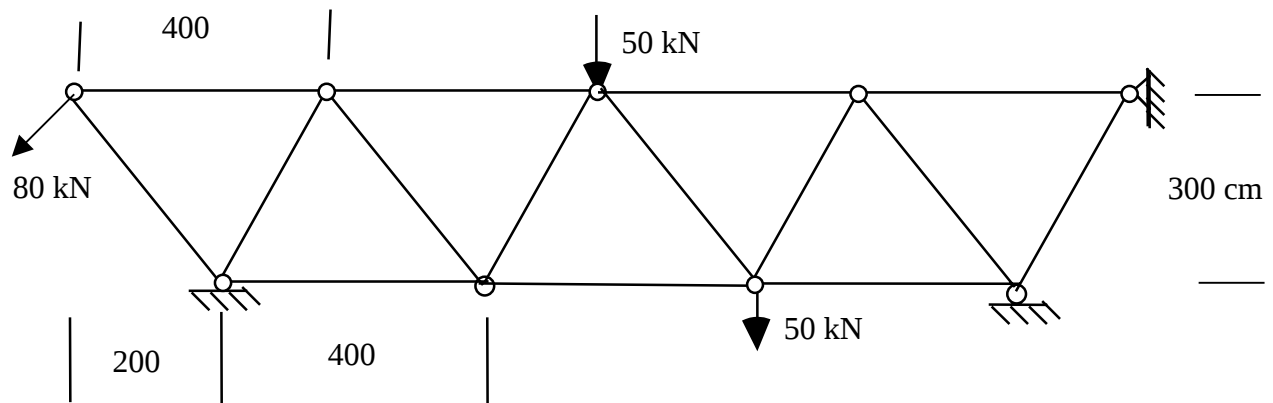
Projet 4

Structure de treillis

On demande de :

1. développer un élément de barre 2D à 2 nœuds dans CCMEF
2. développer un élément de barre 3D à 2 nœuds dans CCMEF
3. Calculer les déplacements des nœuds, les forces internes dans les barres et les réactions d'appuis.
4. Vérifier les résultats de votre code par ceux du code ANSYS

I) Treillis 2D à 15 barres

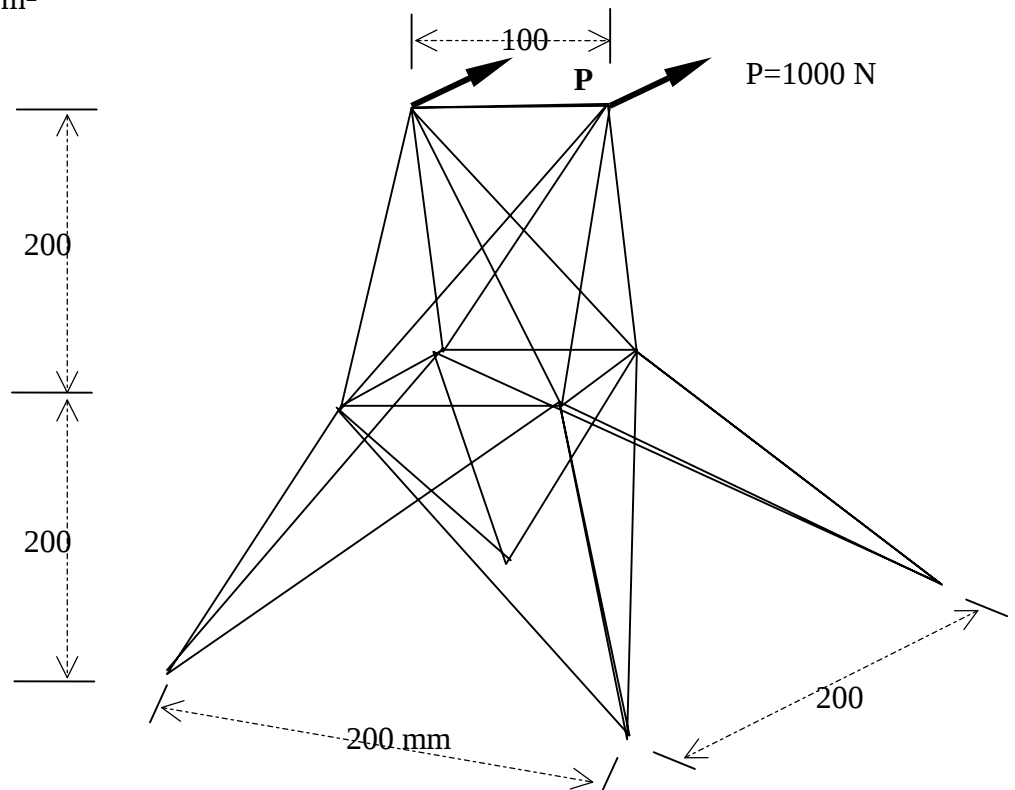


$$A=10 \text{ cm}^2, E = 2 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$$

III) Treillis 3D

Matériau : Aluminium

On demande de dimensionner les barres pour que la contrainte axiale ne dépasse pas 150 MPa



- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projet 5

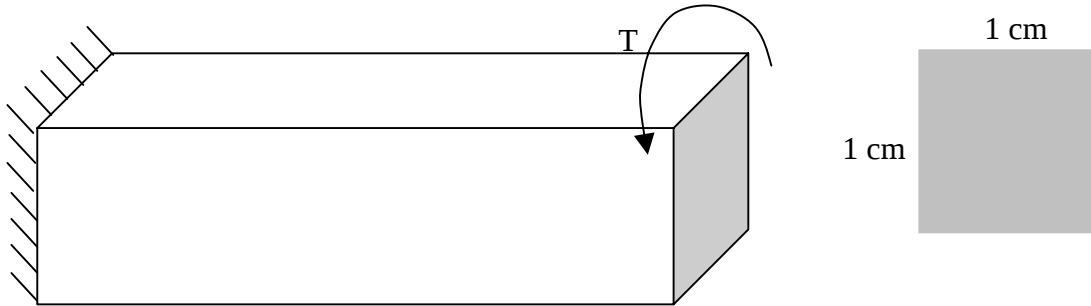
Problème de torsion

L'équation régissant un problème de torsion est

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} + \frac{d^2\phi}{dy^2} + 2g\theta = 0$$

avec $\phi = 0$ sur les contours

Considérons un arbre de section carrée, soumis à un couple T.



Données : module de cisaillement $g = 8 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$; angle de torsion $\theta = 0,01 \text{ } ^\circ/\text{cm}$.

Les objectifs de ce projet sont :

1. développer un élément triangulaire à 3 nœuds dans CCMEF
2. développer un élément quadrilatéral à 4 nœuds dans CCMEF
3. calculer la valeur de la fonction de contrainte et les contraintes de cisaillement.
4. Calculer le couple T.
5. Modéliser un huitième de la section avec 4 éléments T3.
6. Modéliser un quatrième de la section avec 100 éléments Q4.

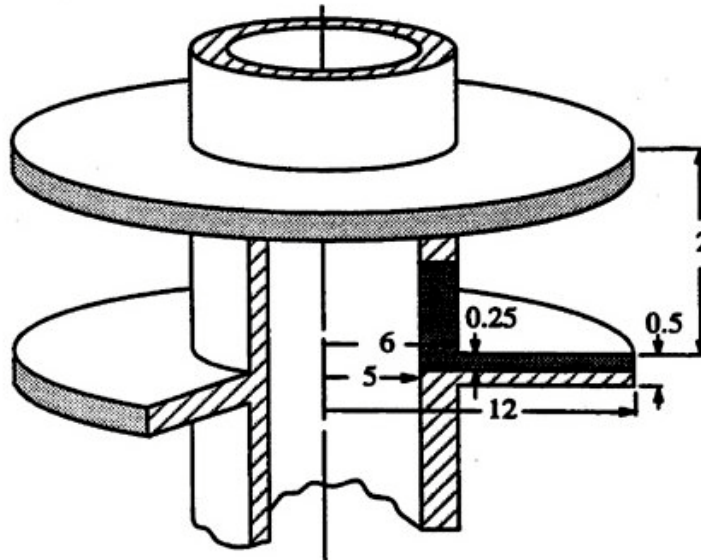
Remarque : Par analogie, utiliser l'élément de type thermique (plane55 dans ANSYS).

- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projets 6 et 7

Calcul du champ de températures et des contraintes thermomécaniques

Un liquide chauffé à la température de 500 °C passe dans un système de refroidissement tubulaire illustré ci-dessous.



Les données du problème sont :

Conductivité de l'acier inoxydable : $K_{XX} = 1.25 \text{ W/mm} \cdot ^\circ\text{C}$

Module de Young $E_X = 2.8 \times 10^5 \text{ MPa}$

Coefficient de Poisson $\nu_{XY} = 0.3$

Coefficient d'expansion thermique $\alpha_{PX} = 0.9 \times 10^{-5} \text{ mm/mm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Pression du fluide : 100 MPa

Coefficient de convection intérieure : $1.0 \text{ W/mm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Coefficient de convection extérieure : $0.25 \text{ W/mm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Température ambiante : 20.0 °C

Les objectifs de ce projet sont :

- développer un élément triangulaire à 3 nœuds et un élément quadrilatéral à 4 nœuds pour la conduction et un élément linéaire à 2 nœuds pour la convection dans CCMEF pour calculer le champ de température dans la structure (**Projet 6**)
- développer un élément triangulaire à 3 nœuds et un élément quadrilatéral à 4 nœuds dans CCMEF pour calculer les contraintes thermique et/ou mécanique dans la structure (**Projet 7**)

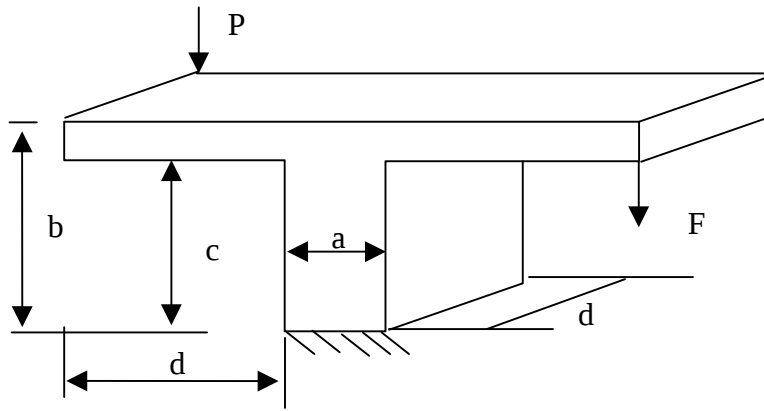
- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projet 8 : Contraintes dans une structure 3D

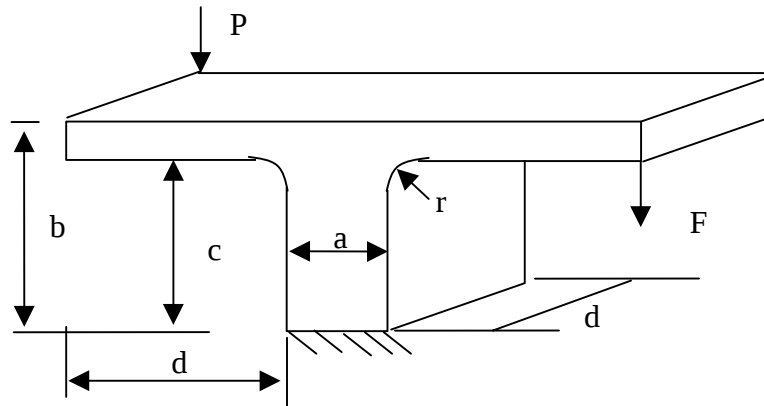
Considérons une structure en T soumise à deux forces concentrées P et F . Les objectifs de ce projet sont :

1. Développer un élément tétraédrique à 4 nœuds dans CCMEF,
2. Comparer deux solutions I et II en effectuant des calculs par éléments finis,
3. Trouver la contrainte de von Mises maximale.

Solution I



Solution II



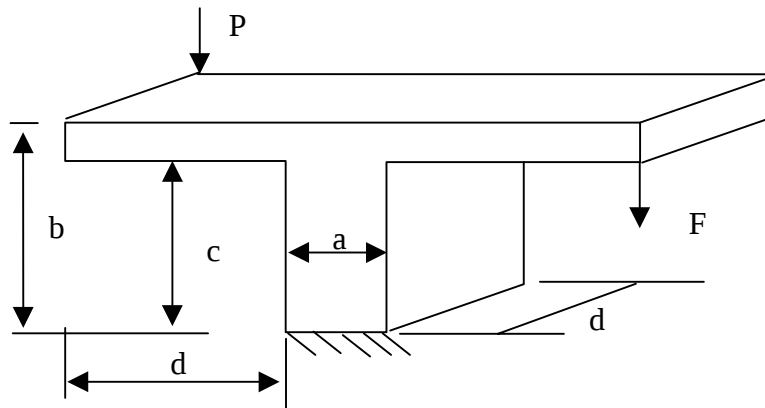
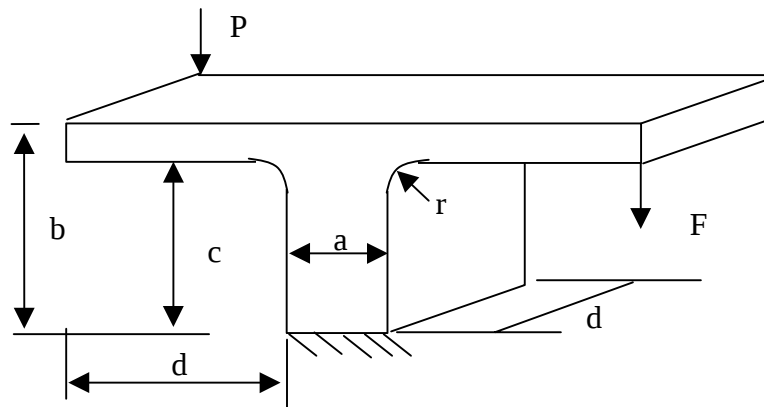
Données du problème :

- **Géométrie** : $a = 120 \text{ mm}$; $b = 300 \text{ mm}$; $d = 250 \text{ mm}$; $c = 240 \text{ mm}$; $r = 40 \text{ mm}$
- **Matériau** : Module de Young $E = 200000 \text{ Mpa}$; Coefficient de Poisson $\nu = 0.3$
- **Sollicitations** : $P = \pm 100 \text{ N}$, $F = \pm 150 \text{ N}$
- **Conditions aux limites** : la structure est encastree sur sa base.

Projet 9**Contraintes dans une structure 3D**

Considérons une structure en T soumise à une force P . Les objectifs de ce projet sont :

1. Développer un élément hexaédrique à 8 nœuds dans CCMEF,
2. Comparer deux solutions I et II en effectuant des calculs par éléments finis,
3. Trouver la contrainte de von Mises maximale.

Solution I**Solution II**Données du problème :

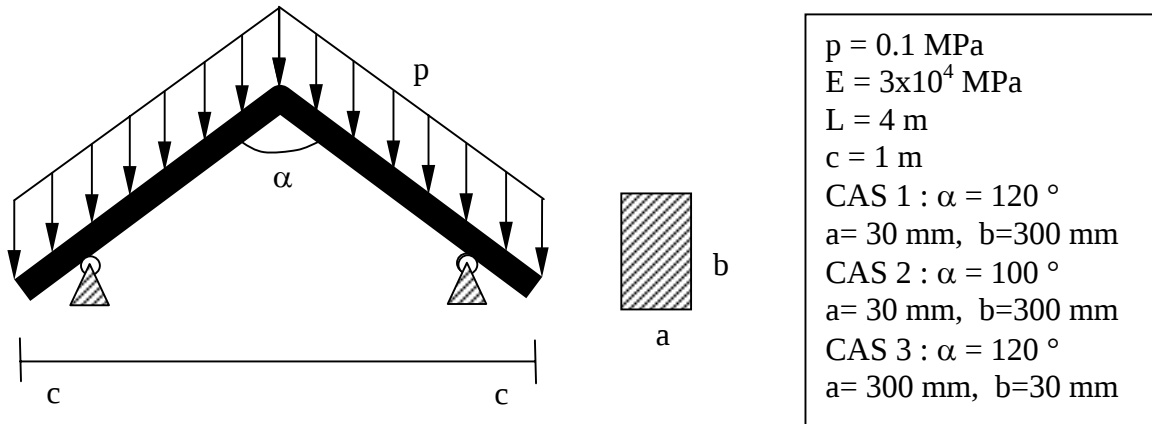
- **Géométrie** : $a = 120 \text{ mm}$; $b = 300 \text{ mm}$; $d = 250 \text{ mm}$; $c = 240 \text{ mm}$; $r = 40 \text{ mm}$
- **Matériau** : Module de Young $E = 200000 \text{ Mpa}$; Coefficient de Poisson $\nu = 0.3$
- **Sollicitations** : $P = \pm 100 \text{ N}$, $F = \pm 150 \text{ N}$
- **Conditions aux limites** : la structure est encastree sur sa base.

- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
- Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS

Projet 10

Calcul des contraintes dans une charpente

Une charpente d'une section rectangulaire est soumise à une charge répartie p (voir figure).



On demande de :

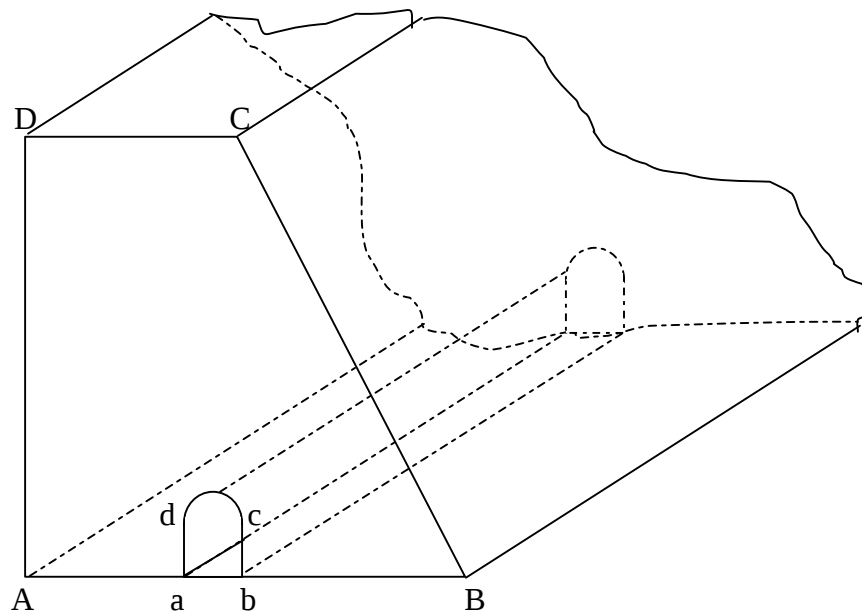
- développer un élément de poutre 2D (modèle M+N) à 2 nœuds dans CCMEF
- développer un élément triangulaire à 3 nœuds dans CCMEF pour modéliser la charpente en solide 2D.
- déterminer les DDLs et les contraintes dans la charpente.
- comparer les résultats numériques obtenus par les deux types d'élément au cas 1.
- comparer les résultats numériques obtenus avec l'élément de poutre aux différents cas.

- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projet 11

Contraintes dans un barrage

Considérons un barrage dont la section est constante (ABCD avec $AB \perp AD$, $AB \parallel CD$ et $AB = AD = 3CD$). Une pression uniforme p exerce sur le côté AD et le barrage est soumis à son poids propre. La base du barrage est encastrée. Un tunnel de passage (abcd avec $ab = cd$) est placé dans le barrage.



Les données du problème sont :

$$p = 50 \text{ MPa}, AB = 30 \text{ m}, Aa = 10 \text{ m}, ab = 3 \text{ m}$$

Matériau élastique: module de Young $E = 20000 \text{ N/mm}^2$

coefficient de Poisson $\nu = 0.3$

masse volumique $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

Les objectifs de ce projet sont :

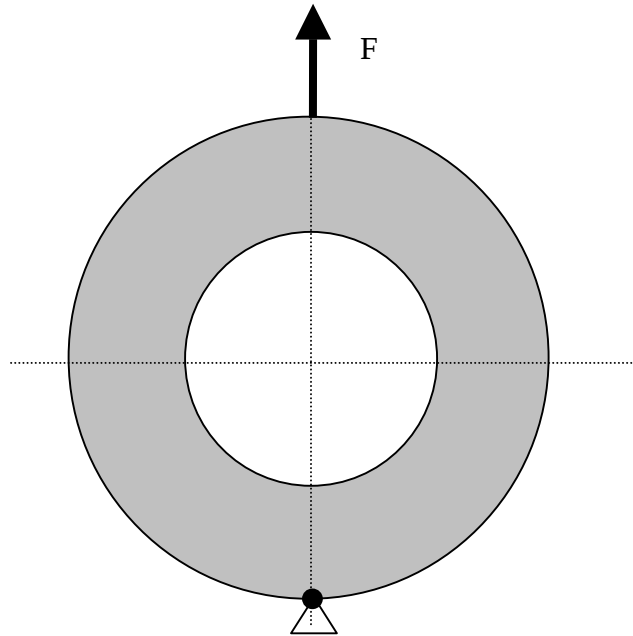
- développer un élément triangulaire à 3 nœuds dans CCMEF
- développer un élément quadrilatéral à 4 nœuds dans CCMEF
- calculer les contraintes dans le barrage avec ces deux types d'élément
- comparer les résultats numériques
- refaire le calcul avec 1) $Aa = 5 \text{ m}$; 2) $Aa = 15 \text{ m}$ et commenter les résultats

- Réaliser un code de calcul des structures en C++ par la méthode des éléments finis (CCMEF)
 - Valider le code CCMEF avec le code industriel ANSYS
-

Projet 12

Contraintes dans un anneau

Considérons un anneau soumis à un chargement de traction F .



Les données du problème sont :

Rayon intérieur: 0.05 m; Rayon extérieur: 0.12 m; Epaisseur: 0.005 m

Chargement de traction : $F = 4000 \text{ N}$

Matériau élastique: module de Young $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
coefficient de Poisson $\nu = 0.3$

Les objectifs de ce projet sont :

- développer un élément triangulaire à 3 nœuds dans CCMEF
- développer un élément quadrilatéral à 4 nœuds dans CCMEF
- calculer les contraintes dans l'anneau avec ces deux types d'élément
- comparer les résultats numériques

Remarque : considérons la symétrie de la structure.