

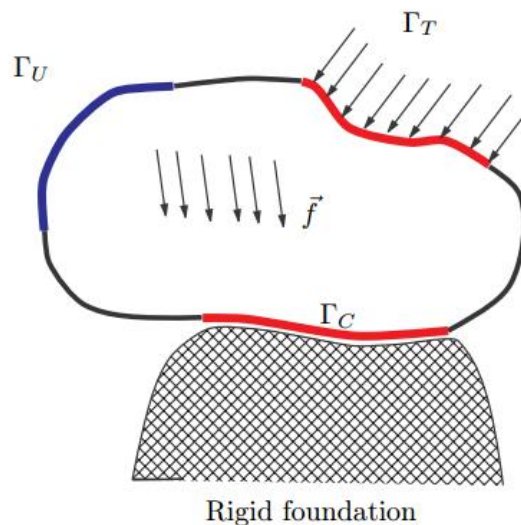
MQ52 – EXAMEN FINAL

N.B. : Tous les documents (cours, TD et TP) sont autorisés, à l'exception des documents sur support électroniques (ordinateurs portables, téléphones portables ...).

Le final peut être rédigé en anglais ou en français, à la convenance de l'étudiant.

PROBLÈME 1 – MÉCANIQUE DU CONTACT – 5 POINTS

Dans ce problème, nous étudions le contact entre un corps élastique et une fondation rigide immobile. Un corps élastique Ω est susceptible de se déformer sous l'action de forces de volume et de surface, mais ne doit pas pénétrer l'obstacle rigide (figure 1): c'est le problème de Signorini.



1. Donner les principales hypothèses de ce problème :
 - a. Concernant l'aspect mécanique. Rappeler rapidement les équations de ce problème.
 - b. Concernant les conditions de contact.

2. Nous supposons maintenant que le gap initial est égal à 0.
 - a. Expliquer les principales étapes pour obtenir les conditions aux limites de contact.
 - b. Quelles différences majeures notez-vous par rapport à des conditions aux limites classiques ?
 - c. Est-ce un problème linéaire ou non-linéaire ? Justifier.
 - d. Ce problème est dit non-différentiable. Pourquoi ?

3. Formulation faible (Formulation variationnelle)
 - a. Expliquer les principales étapes nécessaires pour obtenir la formulation faible de ce problème de contact.
 - b. Quelle en est la principale originalité ?

PROBLÈME 2 – BIOMÉCANIQUE – 5 POINTS

Etude de cas :

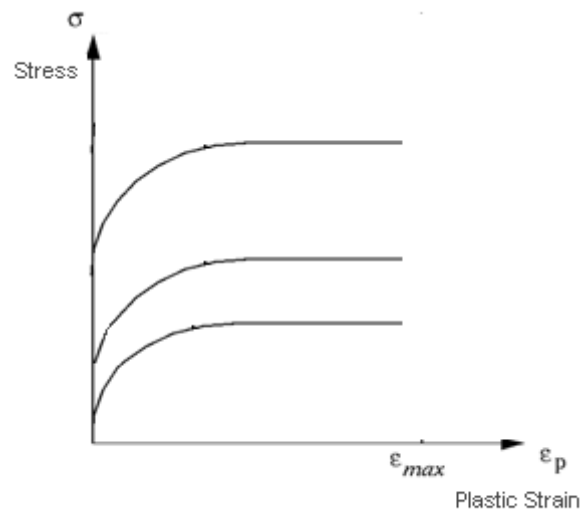
Dans l'industrie automobile, et pour la conception de sièges, les ingénieurs souhaitent utiliser de nouveaux types de mousses, et souhaitent donc caractériser leurs propriétés mécaniques pour les implémenter dans un code par éléments finis dédiés à la dynamique rapide.

Quel sont les types de lois de comportement fréquemment utilisées pour modéliser ce type de matériaux dans les codes éléments finis?

Lorsqu'il y a un accident de la route, le corps du conducteur impacte la mousse du siège.

Quel type d'entité est-il nécessaire de créer pour simuler l'interaction entre le corps humain et la mousse? Quel est le paramètre principal à implémenter dans le code pour ce type d'entité ?

Plusieurs tests expérimentaux sont réalisés sur la mousse nommé FOAM_A. Les différents cas de tests sont illustrés sur la figure suivante:



- Sachant que la température n'est pas prise en compte ni dans les tests expérimentaux ni dans les simulations réalisées par les ingénieurs, que pourraient représenter les différentes courbes de la figure précédente ?
- D'après les courbes précédentes, le matériau utilisé peut-il être considéré comme un matériau fragile ? comme un matériau ductile ? justifier la réponse.

Les ingénieurs veulent étudier le comportement mécanique de la mousse jusqu'à rupture.

- Quelle entité doit être ajoutée à la loi de comportement classique, pour simuler le phénomène de rupture ?

Les ingénieurs souhaitent étudier l'impact d'une sphère sur un cylindre de FOAM_A.

- Afin de réduire le nombre d'éléments et le temps de calcul, quel type de simulation les ingénieurs peuvent-ils réaliser ?
- Quels types d'erreurs peuvent apparaître pour des simulations en très grandes déformations?

Questions de cours :

- Pour des simulations "extrêmes" de type explosion, la formulation lagrangienne est-elle appropriée?
- Comment peut-on s'assurer qu'un modèle biomécanique est réaliste?

PROBLÈME 3 – MÉCANIQUE – 5 POINTS**Choisir une bonne réponse**

1. En analyse géométriquement non linéaire, pour un élément de barre, la déformation axiale contient
 - A. seulement les termes linéaires des gradients des déplacements
 - B. les termes linéaires et quadratiques des gradients des déplacements
 - C. les termes linéaires et cubiques des gradients des déplacements

2. L'approximation des déplacements pour la poutre non linéaire est
 - A. linéaire
 - B. quadratique
 - C. cubique

3. Dans le système local de coordonnées, l'élément de poutre non linéaire possède
 - A. deux degrés de liberté
 - B. six degrés de liberté
 - C. quatre degrés de liberté

4. Dans le cas général, pour l'analyse géométriquement non linéaire, la matrice de rigidité tangente est composée de
 - A. trois matrices
 - B. deux matrices
 - C. une matrice

5. Pour le problème d'analyse de stabilité initiale, problème de flambement, les matrices nécessaires à disposer sont les suivantes
 - A. matrice \mathbf{K}_U des déplacements initiaux ou matrice de grands déplacements
 - B. matrice \mathbf{K}_E de rigidité linéaire et matrice \mathbf{K}_U des déplacements initiaux ou matrice de grands déplacements
 - C. matrice \mathbf{K}_E de rigidité linéaire et matrice \mathbf{K}_σ des contraintes initiales ou matrice géométrique

PROBLÈME 4 – REVÊTEMENTS ABRADABLES – PROPRIÉTÉS EFFECTIVES DE MATÉRIAUX COMPOSITES – 5 POINTS

Généralités:

1. Définir en quelques mots les fonctionnalités des matériaux abrasables dans les moteurs d'avions (1 pt)
2. Est-il possible d'utiliser des revêtements de type AlSi/polyester comme matériau abrasable dans la turbine HP d'un moteur? Expliquer pourquoi. (1 pt)

Estimation des propriétés effectives de matériaux composites à partir d'images de leur microstructure:

En considérant que les relations contraintes/déformations supposées pour un revêtement composite soient les suivantes :

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix}$$

où x désigne la direction parallèle à la surface du substrat, et y désigne la direction perpendiculaire,

3. Décrire une méthode permettant l'estimation de E_x (i.e., type de calcul, conditions aux limites, simplifications occasionnées et expression finale de E_x) (2 pts)
4. Indiquer en quelques mots les différentes étapes de calcul nécessaires pour estimer ν_{xy} (i.e., séquence de 3 calculs consécutifs avec leurs objectifs) (1 pt)