

1 Introduction

Les objectifs de ce travail pratique sont de :

1. Se familiariser avec les essais mécaniques sur un matériau viscoélastique.
2. Obtenir les paramètres d'une loi de comportement viscoélastique à partir de donnée expérimentales.
3. Valider la loi de comportement obtenue sur un chargement indépendant.
4. Programmer la loi de comportement viscoélastique linéaire dans le code de calcul ANSYS.
5. Valider la loi de comportement sur une géométrie complexe soumise à une histoire de chargement complexe.
6. Identifier les paramètres d'une loi de comportement viscoélastique non-linéaire de type Schapery.

Il s'agira de mettre en pratique l'ensemble des notions présentées en classe concernant la viscoélasticité. Le travail pratique se déroulera en trois séances : une séance en laboratoire où on assistera à la réalisation d'un essai mécanique et deux séances en salle informatique où on réalisera le calcul par éléments finis sur l'éprouvette de géométrie complexe. Un rapport de 15 pages maximum devra être rendu vers la fin de la session. Des instructions sont données pour chacune des parties du travail pratique.

2 Essais mécaniques

Les essais mécaniques ont été conduits sur du PMMA à la salle A-110 du Laboratoire de Mécanique Multi-échelle (LM²). Pour tous les essais, la contrainte est imposée et les déformations sont mesurées à l'aide de jauges. Des rosettes mesurent les déformations dans le sens de l'essai (ε_{11}) et dans le sens transverse (ε_{22}) pour les essais sur les éprouvettes standardisées. Les données seront sauvegardées dans des fichiers Excel où une colonne donnera le temps, une colonne la contrainte et les deux autres colonnes les déformations. Les données seront accessibles sur le site web du cours. Vous êtes invités à tracer les différentes courbes afin d'identifier les histoires de contraintes appliquées ainsi que la réponse du matériau.

3 Obtention des paramètres d'une loi de comportement viscoélastique linéaire

La première étape consiste à identifier le domaine de linéarité du matériau étudié. Pour ce faire, vous utiliserez la partie « fluage » des courbes qui seront identifiées *courbes pour identification*

sur le site web du cours. Le domaine de linéarité sera caractérisé par la contrainte maximale de fluage à partir de laquelle le comportement devient non-linéaire.

Une fois cette étape accomplie, vous utiliserez **TOUTES** les courbes pour identification pour lesquelles la contrainte de fluage est dans le domaine linéaire afin d'obtenir les paramètres de la loi de comportement. Pour arriver à cela, vous devrez définir une fonction coût qui utilise toutes les données expérimentales.

Les essais ont été réalisés avec une machine réelle qui ne peut réaliser des essais de fluage – recouvrance idéaux. Vous devrez donc définir, analytiquement, l'histoire de déformation prédite par le modèle viscoélastique linéaire. Pour ce faire, vous définirez l'histoire de contrainte avec des fonctions de Heaviside et vous calculerez l'histoire de déformations résultante avec l'intégrale de convolution définissant la loi de comportement. Cette opération ressemble beaucoup à la série d'exercices 03.

Pour l'obtention des paramètres, utilisez 2 temps de retardation par décade. La plus grande décade sera celle qui suit la donnée enregistrée la dernière. Par exemple, si la dernière donnée est à 6200 secondes, la dernière décade sera 10000.

4 Validation de la loi de comportement

Avec les paramètres obtenus à l'étape précédente, vous allez simuler le comportement correspondant à l'histoire *pour validation linéaire*. Pour ce faire, vous utiliserez un schéma de Crank-Nicholson et il vous suffira d'utiliser les couples (temps, contrainte) se trouvant dans le fichier `Excel` contenant l'histoire et la réponse de validation. Comparez la réponse théorique obtenue par votre intégration numérique à celle obtenue expérimentalement.

5 Implémentation de la loi de comportement dans ANSYS

Les étapes précédentes permettent d'obtenir la souplesse de fluage. Toutefois, les codes de calculs nécessitent le module de relaxation. Vous devrez donc obtenir le module de relaxation de votre matériau à partir de la souplesse de fluage. Vous effectuerez cela à l'aide de l'algorithme d'interconversion présenté en classe. Une fois le module de relaxation obtenu, la prochaine étape est de définir les constantes nécessaires pour l'implémentation dans ANSYS.

6 Validation sur géométrie complexe

Il s'agit ici de simuler par éléments finis l'éprouvette de géométrie complexe instrumentée et comparer les simulations aux données expérimentales. Un fichier `APDL` de ANSYS vous sera fourni. Ce fichier comprend toutes les commandes pour modéliser l'éprouvette, mailler et solutionner. Toutefois, il vous faudra entrer les paramètres matériau. La solution éléments finis vous donnera la réponse de l'éprouvette aux endroits où les jauges auront été collées, et ce, pour chaque pas de temps. De plus, une jauge fait un certain angle et il sera nécessaire d'utiliser les formules de changement de base. Vous pourrez donc comparer, pour chaque jauge, les réponses prévues par le modèle et les données expérimentales.

7 Obtention des paramètres en viscoélasticité non linéaire

Il s'agira ici d'obtenir les paramètres d'une loi de comportement de type Schapery en s'appuyant sur la méthodologie vue en classe. Les essais de fluage-recouvrance pour différents niveaux de contrainte seront utilisés à cet effet. La souplesse de fluage sera celle obtenue en viscoélasticité linéaire. Les valeurs de fonctions non-linéarisantes seront obtenues pour les valeurs discrètes de contraintes de fluage.

8 Travail à rendre

Le produit de ce travail sera un rapport avec un texte continu et agréable à lire. Le rapport devra comporter les sections suivantes :

1. Introduction : Très courte, 5-6 lignes.
2. Obtention des paramètres viscoélastiques linéaires.
 - (a) Détermination du domaine de linéarité : explication succincte, graphique à l'appui.
 - (b) Détermination des paramètres viscoélastiques : explication de votre démarche, équations essentielles, résultats sous forme de graphiques et d'équations, vue d'ensemble des performances du modèle.
3. Validation de la loi de comportement : explication brève de la démarche, graphe montrant la comparaison entre données expérimentales et simulées.
4. Implémentation dans ANSYS et validation : démarche, valeurs numériques entrées dans ANSYS. Comparaison entre les lectures des jauges théoriques et expérimentales.
5. Viscoélasticité non linéaire : Méthode pour obtenir les paramètres, valeurs des paramètres non-linéaires, graphes montrant l'adéquation de la loi de comportement, graphe de la réponse à l'histoire utilisée pour valider le modèle.
6. Discussion : Interprétation des résultats, ce qui a marché, pas marché, pourquoi ? Ce qui pourrait être fait pour améliorer, etc.
7. Conclusion

Le rapport ne devra pas dépasser 15 pages (15 feuilles de papier recto ou 7.5 feuilles recto-verso). Utiliser une police de taille 12 points et des marges d'au-moins 2cm tout le tour. Voici certains guides :

- Le rapport devra être direct et concis. Toute répétition ou information superflue sera pénalisée.
- Assurez-vous que les figures soient claires, numérotées, référencées dans le texte, que la légende soit explicite, que les axes et courbes soient bien identifiées.
- Numérotez les sections, pages et tableaux (si nécessaire).

Dates à retenir

- ⊙ **Vendredi 28 Octobre** : 1ère séance de laboratoire. On vous montrera comment implémenter une loi de comportement viscoélastique linéaire dans ANSYS. Pour bien se préparer à cette séance, vous devez avoir complété les parties 3, 4 et 5 du présent syllabus.

- ⊙ **Vendredi 25 Novembre** : 2ème séance de laboratoire. Il s'agit d'une séance libre où on vous aidera à « débbuger » vos programmes.
- ⊙ **Mercredi 7 Décembre** : Remise du rapport de laboratoire. Vous devez remettre le rapport sous forme électronique ainsi que tous les programmes que vous avez utilisés dans le cadre de ce laboratoire.