

## Objectifs de l'UE

**Au terme de cette UE, les étudiants seront capables de :**

Effectuer une modélisation mathématique et simulation numérique de phénomènes non-linéaires en mécanique des solides (exemples : plasticité, viscoplasticité, élasticité non-linéaire, grandes déformations, grands déplacements et rotations, endommagement, rupture, etc ...).

Identifier, simuler, et post-traiter le comportement d'un matériau, et plus particulièrement :

- S'autoformer à l'identification sur la base de tutoriels
- S'autoformer à l'utilisation d'un logiciel de simulation du comportement sur la base de tutoriels
- Définir une méthodologie d'identification et la programmer
- Calculer les coefficients de la loi
- Réaliser une simulation numérique avec la loi choisie et les identifiés en réglant les paramètres de l'algorithme non-linéaire
- Post-traiter et analyser les champs mécaniques (contrainte équivalente, déformation plastique équivalente, loi de comportement locale, loi de comportement globale)
- Analyser la qualité de l'identification et de la simulation numérique sur la base d'une comparaison essais / identification / calculs numériques
- Définir des standards / bonnes pratiques / recommandations relatifs à l'identification et à la modélisation du comportement des matériaux.

Mettre en données un problème de mise en forme, le résoudre et en analyser les résultats, et notamment :

- Choisir un procédé de mise en forme en fonction de la géométrie finale attendue et des propriétés mécaniques souhaitées
- Mettre en données le problème selon le matériau et les capacités du matériel expérimental/pédagogique à disposition
- Identifier les modes de déformations, adapter les paramètres du procédé en vue de les obtenir ou de les éviter
- Choisir le modèle de plasticité adapté à un matériau et à son mode d'élaboration
- Choisir les méthodes de résolution du problème numérique adaptées au phénomène à simuler
- Mettre en évidence numériquement ces défauts, identifier leur cause et choisir les paramètres du procédé pour les éviter/atténuer
- Mettre au point virtuellement un procédé de mise en forme grâce à un pro-logiciel donné
- A partir de la CAO, de déterminer les zones critiques en termes d'amincissement, plissement, cornes, fissures, etc. à l'aide de logiciels dédiés

Dimensionner des composants d'absorption d'énergie pour une structure en respectant le cahier des charges fonctionnelles, et plus particulièrement :

- Résoudre analytiquement un problème d'effondrement d'absorbeurs d'énergie
- Assurer une mise en données pour simuler la ruine de structure
- Visualiser/analyser une réponse structurelle soumise à un crash de type crash

- Comparer les réponses globales sous l'influence de facteurs
- Définir des solutions adaptées dans un contexte d'optimisation
- Analyser les résultats d'une simulation sur mannequins numériques en situation de crash
- Analyser un environnement véhicule/piéton et véhicule/occupant

### Description des ECUE

#### Méthodes Numériques Non-linéaires

- Rappels sur l'élasticité linéaire, la méthode des éléments finis
- Lois de comportement ((visco-)élasticité, (visco-)plasticité, forme des lois, anisotropie
- Critères de plasticité (isotropes, anisotropes, plasticité associée ou non)
- Endommagement, critères de rupture
- Schémas d'intégration numérique pour la MEF (implicite vs. explicite, Newton, Newmark, HHT- $\alpha$ , différences centrées, techniques de diagonalisation de la matrice de masse)
- Grandes déformations (Lagrange total, Lagrange réactualisé, repère corotationnel)
- Contact (méthodes de pénalité et cinématique, multiplicateurs de Lagrange, lois de frottement)

#### Comportement des Matériaux

Activité de type AP2P, d'une durée de 24 heures tutorées durant laquelle les étudiants vont apprendre l'identification et la simulation du comportement des matériaux. Il s'agit d'un AP2P global Identification/Simulation, i.e., une succession de problèmes imbriqués avec un projet en fil rouge.

Le projet est subdivisé en 3 parties :

- Avant-projet : s'auto-former sur la base de tutoriels à l'identification et à la simulation du comportement des matériaux,
- Projet : identifier, simuler et post-traiter le comportement des matériaux métalliques et comparer les résultats aux essais
- Synthèse : créer des standards/recommandations pour l'identification et la simulation du comportement des matériaux

#### Crash et sécurité

- Contexte et problématique de la sécurité au choc des véhicules de transport.
- Les grands principes de la sécurité dans le domaine automobile :
  - Sécurités primaire, secondaire « structure » et « occupants », tertiaire
  - Analyse accidentologique des conditions de survenue des accidents
  - Chronologie du comportement au choc des véhicules et évolution du dimensionnement des structures pour la sécurité secondaire « structure »

- Crash tests d'homologation

- Approche globale de pré-dimensionnement structural : modèles simplifiés multi-corps et hybrides, flambement global/local et modèles analytiques de post-effondrement des profilés à parois minces, systèmes de dissipation d'énergie cinétique.
- Mise en données de chocs frontaux, latéraux, comportement des structures de type absorbeur d'énergie

Procédés de mise en forme

- Modes de déformation en mise en forme (identification, comportement de la matière lié à ces modes de déformation, influence des différents paramètres matériaux et géométriques)
- Paramètres des procédés de mise en forme (tribologie, vitesse de mise en forme, géométrie des outillages)
- Essais mécaniques liés à la mise en forme (identification de la Courbe Limite de Formage d'une tôle métallique, identification des paramètres d'anisotropie)
- Mise au Point virtuelle d'un procédé de mise en forme sur un pro-logiciel dédié
  - Définition de la gamme d'emboutissage d'un produit simple
  - Analyse des modes de déformation rencontrés, optimisation des outillagesSimulation du retour élastique, analyse de son influence sur la géométrie finale de la pièce

**Pré-requis**

MEF Avancée 1 & 2, Méthodes numériques non-linéaires

**Bibliographie**

S. Degallaix, B. Ilchner, Traité des matériaux 2: Caractérisation expérimentale des matériaux, Presses polytechniques et universitaires romandes.  
D. François, Lois de comportement des métaux : Elasticité, Viscoélasticité; Elastoplasticité, Viscoplasticité, Techniques de l'ingénieur  
J. Lemaitre, J-L Chaboche, Mécanique des matériaux solides, Dunod  
A. Col, L'emboutissage des aciers, Dunod, 2010  
K. Saanouni, Damage Mechanics in Metal Forming, Wiley, 2012

