

**FORMATION MAPDL  
MODULE A10****ANSYS MAPDL MODÉLISATION  
ET CALCULS AVANCÉS EN GÉNIE CIVIL**

<b>PUBLIC VISÉ</b>	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens du génie civil.
<b>PRÉREQUIS</b>	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des solides et de la méthode des éléments finis, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys dans l'environnement Ansys Mechanical APDL (Classic) sont requises.
<b>OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES</b>	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : <ul style="list-style-type: none"><li>• Mettre en place un modèle éléments-finis orienté Génie Civil, en particulier sur la modélisation de l'interaction sol-structure,</li><li>• Gérer les aspects non-linéaires d'un calcul, en particulier sur les lois matériaux (acier, béton, sols),</li><li>• Traiter des problèmes dynamiques couramment rencontrés en Génie Civil (charge roulante, séisme, interaction fluide-structure...).</li></ul>
<b>MOYENS PÉDAGOGIQUES ET TECHNIQUES</b>	La formation se déroule dans une salle dédiée équipée d'un écran, un vidéoprojecteur, des stations de travail et des écrans pour chacun des stagiaires. Celle-ci sera donnée en Français, sur la base de supports de cours en Anglais. Le cours comporte des séances de travaux pratiques sur station de travail. Les documents relatifs à la formation (cours et exercices) sont fournis sur clé USB.
<b>MODALITÉS D'ÉVALUATION</b>	En cours de formation par des exercices pratiques individuels sur le logiciel et à la fin de la formation par le biais d'un questionnaire.
<b>SANCTION</b>	Une attestation de formation sera remise à la fin de la formation.
<b>DURÉE</b>	<b>5 jours, soit 35 heures</b>

**CONTENU****1 – RAPPELS ET GÉNÉRALITES SUR LES ANALYSES NON-LINÉAIRES**

## 1.1 - Définitions

- Classification des différents types de non-linéarité
- Non-linéarités géométriques
- Non-linéarités du comportement des matériaux
- Élément non linéaire
- Systèmes conservatif et non-conservatif

## 1.2 - Algorithmes de résolution

- Découpage d'un chargement en load-steps et substeps
- Utilisation de tables
- Rôle des itérations d'équilibre
- Résolution non linéaire par la méthode de Newton-Raphson
- Différentes variantes : raideur initiale, méthode de Newton-Raphson modifiée
- Critères et normes de convergence
- Conditions de convergence
- Notion de rayon de convergence
- Difficultés de convergence - classification des causes de divergence
- Outils algorithmiques d'amélioration de la convergence
- Méthode de « descente adaptative »
- Technique du « Line-search »
- Méthode de stabilisation
- Procédure d'incrémentation automatique de la charge
- Utilisation des prédicteurs
- Procédure automatique SOLCONTROL

## 2 - MODÉLISATION DES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉLÉMENTS STRUCTURAUX

### 2.1 - Principales catégories d'éléments porteurs en génie civil

- Poutre et poteau
- Voile
- Dalle et radier
- Semelle filante et isolée
- Pieu et micropieu

### 2.2 - Différentes échelles de modélisation

### 2.3 - Eléments finis de poutre

- Examen pratique des modèles de flexion et de torsion
- Cas particulier des poutres courtes
- Prise en compte des excentrement (déports rigides)
- Poutres sur appuis élastiques continus

### 2.4 - Eléments finis de plaque et coque

- Présentation des modèles de Kirchhoff et de Mindlin ; critères de choix
- Intérêt des éléments de coque à topologie volumique

### 2.5 - Eléments finis pour les structures massives

### 2.6 - Types d'éléments finis disponibles dans Ansys

- Formulation et précision des différents éléments
- Compatibilité entre éléments, précautions à prendre
- Techniques de connexion des éléments incompatibles : MPC, contact, etc.

### 3 - LOIS DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX

#### 3.1 - Modélisation du comportement des aciers

- Différents modèles d'écrouissage
- Sensibilité des lois à la vitesse de déformation, viscoplasticité
- Comportement cyclique des métaux
- Différents critères pratiques de rupture
- Modèle avancé d'endommagement de Gurson

#### 3.2 - Modélisation du béton et du béton armé

- Généralités sur le traitement de la fissuration, de la plasticité et du crushing
- Modèle de William et Warnke
- Modèle d'endommagement Microplane de Bazant et Gambarova
- Modèle de béton Drucker Prager
- Modèle de MenetreyWilliam
- Techniques d'appréciation de l'endommagement en post-traitement
- Modélisation des armatures, différentes approches : renforts répartis et discrets
- Modélisation de la précontrainte interne et externe

#### 3.3 - Modélisation des sols et des roches

- Sensibilité du matériau à la pression hydrostatique
- Lois simples Mohr-Coulomb et de Drucker-Prager
- Modèles avancées : Drucker-Prager étendu, Cap model, Cam-Clay
- Comportement poroélastique, calcul en contraintes effectives

### 4 - ÉTUDE DE PROBLÈMES PARTICULIERS

#### 4.1 - Structures métalliques

- Modélisation des assemblages boulonnés, rivetés et soudés
- Instabilités : flambage, voilement, déversement, comportement post-critique

#### 4.2 - Structures en béton

- Modélisation de la précontrainte
- Modélisation des effets du retrait

#### 4.3 - Modélisation de l'interaction sol-structure

- Ressorts de sol linéaire et non-linéaire
- Éléments de contact
- Modélisation des pieux, micropieux et des massifs de pieux
- Modélisation des appareils d'appui en élastomère fretté

#### 4.4 - Charges mobiles (ponts routier et ferroviaire)

- Technique d'application de surfaces de charge indépendantes du maillage
- Construction de lignes ou de surfaces d'influence
- Modélisation des charges mobiles en statique et dynamique
- Interaction dynamique entre un pont et un modèle éléments finis de convoi
- Modélisation des charges dynamiques sur les passerelles pour piétons

#### 4.5 - Modélisation des actions sismiques

- Méthode du spectre de réponse
- Méthode d'analyse transitoire (accélérogramme)
- Méthodes de construction des spectres de plancher
- Méthode de la densité spectrale de puissance (dynamique aléatoire)
- Méthode de mise en charge de type push-over
- Interactions fluide-structure (modélisation du sloshing)

#### 4.6 - Modélisation des actions du vent

- Procédures APDL de génération des pressions du vent
- Prise en compte du vent aléatoire par densité spectrale de puissance
- Couplage mono ou bidirectionnel avec un solveur Navier-stokes

#### 4.7 - Modélisation des effets thermiques et hydriques

- Modélisation d'une variation de température uniforme ou d'un gradient
- Enchaînement des calculs thermiques et mécaniques sur deux maillages distincts
- Modélisation des effets du retrait

#### 4.8 - Modélisation des chocs et des explosions

- Différentes approches possibles
- Traitement avec Ansys Mechanical APDL (Classic) - limitations
- Techniques de contrôle des résultats

#### 4.9 - Ferrailage des structures en béton armé

- Méthodes d'obtention des efforts généraux
- Principe de calcul du ferrailage à partir d'un tenseur d'efforts provenant d'un calcul élastique
- Cas des voiles, dalles, radiers et coques : méthodes de Gupta, Wood, Capra-Maury, etc.
- Cas des structures massives (méthode de Bisch)