

**FORMATION MAPDL  
MODULE A4****ANSYS MAPDL DYNAMIQUE*****PUBLIC VISÉ***

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

***PRÉREQUIS***

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.

***OBJECTIFS  
PÉDAGOGIQUES***

À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de :

- Comprendre les différences entre les différents types d'analyse dynamique,
- Choisir l'analyse dynamique appropriée,
- Savoir quand et comment appliquer l'amortissement pour une analyse dynamique donnée,
- Utiliser l'analyse modale pour aider à comprendre comment une structure peut répondre à diverses sollicitations,
- Utiliser des techniques de modélisation et d'analyse efficaces pour résoudre des problèmes dynamiques complexes dans des délais raisonnables,
- Interpréter les résultats des analyses.
- Mettre en pratique les calculs dynamiques via le logiciel Ansys dans l'environnement Ansys Mechanical APDL (Classic).

***MOYENS  
PÉDAGOGIQUES  
ET TECHNIQUES***

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.

Le cours comporte des séances de travaux pratiques sur station de travail.

Le cours est illustré de nombreux exemples d'analyse vibratoire de structures industrielles (équipements électroniques embarqués, véhicules terrestres guidés, structures de génie civil, équipements nucléaires).

Les documents relatifs à la formation (cours et exercices) sont fournis sur clé USB.

***MODALITÉS  
D'ÉVALUATION***

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.

***SANCTION***

Une attestation de formation sera remise à la fin de la formation.

***DURÉE***

**4 jours, soit 28 heures**

## CONTENU

### 1 - MASSE ET AMORTISSEMENT

- Description de la masse propre des structures et de leurs équipements
- Matrice de masse cohérente et concentrée - intérêt et emploi
- Notions sur l'amortissement physique des structures
- Différents modèles d'amortissement dans Ansys et restrictions d'emploi
- Notion de module complexe
- Éléments amortisseurs discrets (dash-pots)

### 2 - EXTRACTION DES MODES RÉELS

#### 2.1 - Rappels théoriques

- Fréquences et modes propres d'un système non amorti à n degrés de liberté
- Définition des coefficients modaux, des facteurs de participation, des masses effectives et de la masse modale participante

#### 2.2 - Différentes méthodes numériques

- Méthode de Lanczos par blocs (LANB)
- Variante de la méthode de Lanczos avec solveur PCG (LANPCG)
- Méthode SuperNode (SNODE)
- Organigramme et gestion des fichiers
- Décalage en fréquence (shift)
- Élimination des modes rigides (analyse en configuration libre-libre)
- Contrôle des modes manquants

#### 2.3 - Analyse modale avec effet de précontrainte

- Intérêt pratique
- Organigramme et gestion des fichiers
- Prise en compte du "stress stiffening"
- Prise en compte de l'effet de "spin softening"
- Calcul modal sur une configuration déformée (emploi de PSOLVE, méthode de perturbation)

#### 2.4 - Comparaison des méthodes

- Ressources informatiques nécessaires dans chacun des cas
- Choix de la méthode en fonction de la taille de la structure et des modes recherchés

### 3 - EXTRACTION DES MODES COMPLEXES

#### 3.1 - Rappels théoriques

- Extraction des caractéristiques modales d'un système non symétrique sans amortissement
- Extraction des caractéristiques modales d'un système à n degrés de liberté amorti
- Signification physique et interprétation des modes complexes

#### 3.2 - Méthodologie

- Méthode de Lanczos et ses variantes : DAMP, UNSYM, QRDAMP, SNODE
- Organigramme et gestion des fichiers
- Ressources informatiques nécessaires

#### 4 - COMPLÉMENTS D'ANALYSE MODALE

- Méthode de Lanczos en interaction fluide-structure (élasto-acoustique)
- Aperçu du calcul des vitesses critiques d'arbre
- Analyse modale des structures à symétrie cyclique
- Aperçu sur la synthèse modale : méthodes de Craig et Bampton et de Mc-Neal
- Techniques de visualisation et d'animation des modes

#### 5 - ANALYSE HARMONIQUE

##### 5.1 - Rappels théoriques

- Vibrations forcées ; mise en équation
- Phénomène de résonance
- Notion de fonction de transfert

##### 5.2 - Différentes méthodes de calcul par Ansys

- Méthode directe sans condensation de Guyan
- Méthode directe avec condensation de Guyan
- Méthode de superposition modale sans condensation de Guyan
- Méthode de superposition modale avec condensation de Guyan
- Organigramme et gestion des fichiers pour chaque méthode
- Limitations propres à chaque méthode
- Ressources informatiques nécessaires, précision et efficacité
- Analyse harmonique avec état de précontrainte

##### 5.3 - Techniques de post-traitement en analyse harmonique

- Utilisation de POST26
- Traitement en parties réelle et imaginaire
- Traitement en amplitude et phase
- Calcul et mode de représentation des fonctions de transfert
- Calcul des vitesses et accélérations
- Construction de diagrammes de Nyquist
- Utilisation de POST1
- Recherche des maxima par balayage sur les phases

#### 6 - DYNAMIQUE TRANSITOIRE

##### 6.1 - Rappels théoriques

- Équation fondamentale de la dynamique
- Méthodes d'intégration pas à pas
- Algorithmes implicite et explicite
- Stabilité des schémas
- Méthode d'intégration de Newmark, variante de Hilber-Hughes-Taylor
- Prise en compte des non-linéarités
- Couplage avec l'algorithme itératif de Newton-Raphson
- Calcul sur base modale et problème de troncature

## 6.2 - Différentes méthodes de calcul par Ansys

- Méthode directe sans condensation de Guyan
- Méthode directe avec condensation de Guyan
- Méthode de superposition modale sans condensation de Guyan
- Méthode de superposition modale avec condensation de Guyan
- Critères de choix des pas de temps
- Optimisation automatique des pas de temps
- Prise en compte de conditions de contact (GP)
- Organigramme et gestion des fichiers pour chaque méthode
- Limitations propres à chaque méthode : amortissement, charge, non linéarités, prise en compte d'une précontrainte
- Calcul sous sollicitation de type accélérogramme via les tables APDL
- Ressources informatiques nécessaires, précision et efficacité

## 6.3 - Techniques de post-traitement en analyse transitoire

- Utilisation de POST26
- Visualisation d'un histogramme
- Calcul des vitesses et accélérations
- Recherche des maxima
- Construction d'un spectre de réponse à partir d'un accélérogramme
- Utilisation de POST1
- Établissement d'un bilan énergétique

# 7 - ANALYSE SPECTRALE

## 7.1 - Rappels théoriques

- Construction d'un spectre à partir d'un histogramme temporel
- Spectre de réponse simple point
- Spectre de réponse multipoint
- Spectre de force
- Spectre de choc DDAM du Naval Research Laboratory

## 7.2 - Mise en œuvre

- Description des spectres
- Procédure de calcul en excitation simple point
- Procédure de calcul en excitation multipoint
- Méthodes de combinaison par mode et direction
- Méthodes CQC, GRP, DSUM, SRSS, ROSE
- Problème de troncature de la base modale, mode pseudo-statique
- Précautions à prendre pour le calcul des réactions d'appui

# 8 - DYNAMIQUE ALÉATOIRE (PSD)

## 8.1 - Rappels théoriques

- Notions essentielles de probabilité : courbes de Gauss, variance, écart type...
- Définitions : fonction d'autocorrélation, fonctions aléatoires stationnaires, processus ergodiques, densité spectrale de puissance, dB/Oct.
- Intérêt et applications pratiques des PSD
- Excitation des appuis et excitation nodale

## 8.2 - Analyse en PSD via une analyse harmonique

- À partir d'une analyse harmonique directe avec ou sans degrés de liberté maîtres
- À partir d'une analyse harmonique par superposition modale
- Technique de la grosse masse en superposition modale
- Organigramme et gestion des fichiers
- Efficacité et précision des différentes méthodes
- Utilisation de POST26

## 8.3 - Calcul des PSD suivant la méthode dédiée

- Cas d'une excitation simple point
- Cas d'une excitation multipoint
- Matrice spectrale
- Différents types prédéfinis de corrélation : spatiale ou de type propagation d'onde
- Les sources d'erreur potentielle
- Différentes unités des PSD
- Obtention de résultats en valeur relative ou absolue
- Construction de cartes d'iso-valeurs à 1-sigma
- Calcul et visualisation d'un diagramme PSD de la réponse en un point
- Obtention des covariances
- Aperçu sur les calculs en fatigue aléatoire (méthode des trois bandes, méthodes avancées)