

**FORMATION MAPDL  
MODULE A3****ANSYS MAPDL THERMIQUE**

<b>PUBLIC VISÉ</b>	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
<b>PRÉREQUIS</b>	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des solides, de la thermique 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>• Comprendre les différents modes de transfert de chaleur,</li><li>• Appréhender les spécificités (matériaux, contacts, maillage) de l'analyse thermique,</li><li>• Mettre en place les conditions aux limites et chargements adéquats,</li><li>• Conduire une analyse linéaire en régime permanent,</li><li>• Mettre en œuvre une analyse non-linéaire,</li><li>• Réaliser un calcul transitoire,</li><li>• Traiter des problèmes de changement de phase ainsi que de couplage.</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>3 jours, soit 21 heures</b>

**CONTENU****1 - TROIS MODES DE TRANSFERT DE LA CHALEUR****1.1 - Conduction**

- Définition et origine physique
- Loi de Fourier
- Équation de conservation de l'énergie sous forme intégrale
- Équation de diffusion
- Conductivité de quelques solides, liquides et gaz usuels
- Cas des matériaux orthotropes
- Conductivité non linéaire

## 1.2 - Convection

- Définition et origine physique
- Convection naturelle, forcée et mixte
- Définition et intérêt des nombres adimensionnels usuels : Reynolds, Prandtl, Nusselt, Grashof, Rayleigh
- Différentes approches possibles de la convection en éléments finis
- Utilisation d'éléments de type mécanique des fluides
- Prise en compte du transport de masse
- Utilisation de liens convectifs
- Conditions aux limites
- Aperçu sur la détermination pratique du coefficient d'échange
- Expression du coefficient d'échange pour quelques cas simples
- Références bibliographiques (handbooks)

## 1.3 - Rayonnement

- Définition et origine physique
- Corps noirs : lois de Wien et de Stefan-Boltzmann
- Corps gris, émissivité
- Échange par rayonnement entre surfaces
- Loi d'échange entre deux facettes, entre n facettes
- Définition du facteur de vue
- Valeurs pratiques du facteur de vue pour quelques géométries simples
- Données pratiques concernant l'émissivité de quelques matériaux usuels
- Notions sur les milieux semi-transparentes

## 1.4 - Unités usuelles

- Température
- Débit de chaleur
- Flux de chaleur
- Sources
- Etc.

# 2 - TECHNIQUES DE MODÉLISATION

## 2.1 - Définition des propriétés des matériaux en régime permanent

- Conduction isotrope
- Conduction orthotrope
- Conduction non linéaire sous forme polynômiale
- Conduction non linéaire sous forme de tables
- Émissivité

## 2.2 - Modélisation des solides conductifs

- Emploi, précision et limitations des éléments LINK32 et 33, PLANE55, 35 et 77, SHELL57, SHELL131, SHELL132, SOLID70, 87 et 90
- Critères de maillage

## 2.3 - Modélisation de la convection

- Par le biais de conditions aux limites : commandes SF, SFE, etc.
- Cas particulier où le coefficient d'échange dépend de la température
- Par des liens convectifs (LINK34) en utilisant des formules semi-empiriques
- Par les éléments "surface effects" 2D ou 3D
- Par des éléments thermo-hydrauliques
- Par prise en compte du transport de masse dans les éléments conductifs
- Condition de stabilité numérique, nombre de Péclet local des mailles

#### 2.4 - Modélisation du rayonnement - cas simples

- Approches simples dans le cas où le facteur de vue est connu
- Éléments LINK31
- Éléments SURF151 et SURF152

#### 2.5 - Modélisation du rayonnement à l'aide de l'auxiliaire AUX12

- Définition des surfaces rayonnantes dans PREP7
- Utilisation des commandes de AUX12
- Principe de l'algorithme de Ray-tracing
- Précision de la méthode en fonction de la discrétisation retenue : 2D, 2D-axi et 3D
- Réduction des volumes de calcul dans le traitement des parties cachées

#### 2.6 - Modélisation du rayonnement à l'aide du solver fondée sur les radiosités

- Éléments SURF251, SURF252
- Paramètres algorithmiques : convergence, relaxation, etc.
- Méthode quasi-statique
- Prise en compte des symétries
- Technique de décimation : éléments SURF251, 252
- Post-traitements spécifiques
- Comparaison avec la méthode précédente

#### 2.7 - Chargements et conditions aux limites

- Température imposée
- Paroi adiabatique et condition de symétrie
- Flux et flux unitaires de chaleur
- Source de chaleur
- Source de chaleur dépendant de la température (élément MASS71)
- Condition aux limites tabulée
- Visualisation des conditions aux limites et des sources de chaleur

#### 2.8 - Méthodes de résolution et algorithmes en régime stationnaire

- Méthodes directes (sparse solver) et itératives (gradients conjugués) - intérêt et emploi
- Méthode de Newton-Raphson en thermique
- Choix des températures initiales
- Critères de convergence
- Stratégie de mise en charge incrémentale automatique (AUTOTS)
- Outils numériques : prédicteurs, line-search

#### 2.9 - Post-traitement et validation des résultats

- Établissement de bilans énergétiques globaux - conservation
- Contrôle de la discrétisation par les normes d'erreur - limitations
- Tracé de ligne et de surface isothermes
- Tracé de vecteur gradient thermique et flux thermique
- Manipulation des items
- Intégration des flux unitaires sur un contour curviligne
- Utilisation de POST26 pour le contrôle du processus de convergence

### 3 - LES CALCULS EN RÉGIME TRANSITOIRE

#### 3.1 - Aspects théoriques

- Établissement de l'équation de la chaleur en régime transitoire
- Formulation éléments finis
- Méthodes d'intégration temporelles : Euler, Crank-Nicholson

### 3.2 - Mise en œuvre

- Définition d'un historique de chargement
- Load-steps et substeps
- Détermination des pas de temps initiaux
- Utilisation des nombres de Fourier et de Biot
- Calcul à pas de temps fixe
- Calcul à pas de temps variable
- Gestion automatique des pas de temps
- Technique des prédicteurs
- Définition des conditions initiales
- Prise en compte des non-linéarités
- Notion d'itération d'équilibre
- Utilisation de POST26

## 4 - CHANGEMENT DE PHASE

- Définitions
- Chaleur latente de changement d'état
- Formulation enthalpique
- Construction de la courbe enthalpie en fonction du temps
- Implantation dans Ansys
- Procédures et recommandations
- Technique d'animation graphique de la propagation du front de solidification

## 5 - CALCUL THERMO-ÉLECTRIQUE

- Équations de l'électro-conduction
- Effet Joule
- Couplage électrothermique
- Élément thermoélectrique
- Procédures de résolution
- Analyse des résultats

## 6 - CALCUL THERMO-MÉCANIQUE

- Définition du coefficient d'expansion thermique moyen et effectif
- Calcul en deux passes (couplage faible)
- Calculs sur deux maillages distincts avec interpolation
- Calcul en une passe (couplage fort)