



Nos compétences à votre service pour vos projets de simulation

CATALOGUE DE FORMATIONS

2021



FORMATIONS EN SIMULATION NUMÉRIQUE

- *MÉCANIQUE DES STRUCTURES*
 - *MÉCANIQUE DES FLUIDES*
 - *ÉLECTROMAGNÉTISME*

Spécialistes de la simulation numérique, les ingénieurs ADDL exercent leurs compétences dans de nombreux secteurs industriels : automobile, aéronautique, nucléaire, construction navale et offshore, ferroviaire, génie civil, matériaux...

Nos prestations couvrent :

- **La distribution et le support** des progiciels de la société Ansys Inc. (Ansys Mechanical, Ansys CFD, Ansys AUTODYN, Ansys LS-DYNA, Ansys HFSS et Ansys MAXWELL),
- **Les formations**
- **La sous-traitance d'études**
- **L'expertise-conseil - audit et l'assistance technique.**

Pour l'activité formation, ce sont plus de 50 sessions de formation qui sont proposées chaque année à l'intention des techniciens et ingénieurs concernés par la simulation numérique.

Nous vous proposons **une formation de qualité**, à la fois pédagogique et adaptée à la pratique industrielle du calcul par de nombreux exemples et travaux pratiques.

Votre satisfaction est assurée par :

- **Une équipe pédagogique** qui possède une connaissance approfondie des spécificités de l'utilisation des méthodes des éléments et volumes finis selon les métiers,
- **Des moyens informatiques** mis à votre disposition : stations de travail et logiciels de simulation numérique,
- **Des documents pédagogiques** : les cours et exercices seront fournis sur une clé USB,
- **Un groupe de stagiaires à effectif réduit** (4 personnes au maximum) pour une meilleure qualité d'apprentissage.

Vous avez entre les mains notre Catalogue de Formation.

Principal support de notre offre de formation, il regroupe les programmes détaillés des formations organisées à date fixe en présentiel ou en distanciel.

Il est aussi possible d'organiser des formations spécifiques, éventuellement sur site, dont le contenu, la durée et les dates sont définies directement avec nos formateurs.

PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPE PÉDAGOGIQUE

Les animateurs de nos sessions de formation sont des ingénieurs praticiens spécialistes de l'analyse numérique par la méthode des éléments et volumes finis. Ils ont une longue expérience de l'enseignement de cette discipline tant dans le cadre de la formation complémentaire et continue des cadres en activité que dans celui de la formation initiale des élèves-ingénieurs des Grandes Ecoles.

Leur expérience professionnelle est constamment enrichie et actualisée par les activités de consultant qu'ils mènent au sein de la société ADDL et par les relations privilégiées qu'ils entretiennent avec des sociétés à la pointe de la technologie dans le développement de progiciels de simulation numérique.

Julien BARNERIAS

Ingénieur Polytech Paris Sud
Formateur sur les outils Ansys Mechanical et Ansys LS-DYNA
Ingénieur d'études

Manuel DUBUISSON

Ingénieur de l'INSA Hauts de France (ENSIMEV) à Valenciennes
Diplôme d'Études Approfondies en mécanique des solides - UVHC
Formateur sur les outils Ansys Mechanical et Ansys LS-DYNA
Président

Anithamary KANNAYAN

Ingénieur Polytech Paris Sud
Formateur sur les outils Ansys Mechanical
Ingénieur d'études

Attibaud KOUASSI

Ingénieur Génie Mathématique et Modélisation Polytech Clermont-Ferrand
Docteur en Electromagnétisme de l'Université Clermont Auvergne
Formateur sur les outils Ansys Electronics HF et LF
Ingénieur d'études

François LE SOURD-THÉBAUD

Master 2 en mécanique des fluides – UPMC
Diplôme d'Études Approfondies en mécanique des Fluides - UPMC
Formateur sur les outils Ansys CFD
Ingénieur d'études

Gildas VAULOU

Ingénieur énergétique de Polytech Orléans
Formateur sur les outils Ansys Mechanical et Ansys CFD
Ingénieur d'études

LES DIFFÉRENTS TYPES DE FORMATIONS

Nos formations reprennent les rappels théoriques nécessaires à la compréhension du sujet abordé et vous proposent leur application immédiate.

ANSYS Workbench Mechanical Modules W1 à W14

Ces formations s'adressent aux ingénieurs et techniciens désirant s'initier ou se perfectionner à la pratique de la simulation en mécanique des solides et thermique avec le logiciel Ansys Mechanical (Workbench).

ANSYS Mechanical APDL (Classic) Modules A1 à A10

Ces formations s'adressent aux ingénieurs et techniciens désirant s'initier ou se perfectionner à la pratique de la simulation en mécanique des solides, thermique, acoustique... avec l'interface Ansys Mechanical APDL (Classic).

ANSYS FLUENT & CFX Modules F1 à F8

Ces formations s'adressent aux ingénieurs et techniciens désirant s'initier ou se perfectionner à la pratique de la simulation en mécanique des fluides et thermique avec le logiciel Ansys Fluent ou Ansys CFX.

ANSYS HFSS & Maxwell Modules E1 à E2

Ces formations s'adressent aux ingénieurs et techniciens désirant s'initier ou se perfectionner à la pratique de la simulation en électromagnétisme avec le logiciel Ansys HFSS (haute fréquence) ou Ansys Maxwell (basse fréquence).

LES FORMATIONS SUR MESURE

Ces formations s'adressent à tous ceux dont le besoin particulier ne peut être satisfait par la forme ou le contenu de nos formations standards.

Vous souhaitez un programme adapté, aborder un autre sujet, organiser ces stages sur votre site...

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

● CALENDRIER ET TARIFS

Voir le planning et les tarifs sur notre site internet <https://www.addl.fr>.

Les tarifs indiqués comprennent les déjeuners, la mise à disposition de l'équipement informatique nécessaire et les supports de cours remis aux stagiaires.

● INSCRIPTIONS

Pour vous inscrire, veuillez nous contacter par e-mail à formation@addl.fr ou par téléphone au 01 46 15 71 11.

Nous vous ferons parvenir en retour une confirmation d'inscription. La convocation sera envoyée environ deux semaines avant le stage. Notre facture tiendra lieu de convention simplifiée de formation sauf demande contraire.

ADDL est enregistrée sous le n° 11940342094 auprès du Service Régional de Contrôle de la Formation Professionnelle et référencée sur le Datadock.

● ANNULATION

En cas d'annulation notifiée moins de huit jours avant la date de début du stage, il sera facturé une indemnité forfaitaire égale à 30% (trente pour cent) du montant de la formation. Si l'annulation se fait au démarrage ou durant le stage, l'intégralité du montant sera facturée.

ADDL se réserve, dans tous les cas, la possibilité d'annuler les stages pour des raisons d'organisation ou de force majeure.

● LIEU

Ces formations seront organisées en présentiel dans nos locaux à Cachan (94) ou en distanciel via TEAMS. Il est cependant possible de prévoir des formations sur site. N'hésitez pas à nous consulter.

La convocation précisera le lieu exact, les modalités d'accès et les éventuelles possibilités d'hébergement.

PROGRAMMES DÉTAILLÉS DES FORMATIONS

MODULE W1	Ansys DesignModeler.....	7
MODULE W2	Ansys SPACECLAIM.....	9
MODULE W3	Introduction à Ansys Mechanical.....	11
MODULE W4	Ansys Workbench Introduction aux Non Linéarités.....	14
MODULE W5	Ansys Workbench Non Linéarités de Contacts Avancées.....	16
MODULE W6	Ansys Workbench Non-Linéarités Matériaux avancées.....	18
MODULE W7	Ansys Workbench Dynamique.....	21
MODULE W8	Ansys Workbench Thermique.....	24
MODULE W9	Ansys Workbench Composite PrePost.....	26
MODULE W10	Ansys Workbench DesignXplorer.....	29
MODULE W11	Ansys Workbench Dynamique des rotors.....	31
MODULE W12	Ansys Workbench LS-DYNA.....	33
MODULE W13	Ansys Workbench Explicit STR.....	36
MODULE W14	Ansys Workbench Utilisation de l'APDL.....	39
MODULE F1	Introduction à Ansys Fluent.....	41
MODULE F2	Ansys FLUENT Écoulements Turbulents.....	45
MODULE F3	Ansys FLUENT Échanges Thermiques.....	48
MODULE F4	Ansys FLUENT Écoulements Multiphasiques.....	50
MODULE F5	Ansys FLUENT User Defined Functions (UDF).....	53
MODULE F6	Introduction à Ansys CFX.....	55
MODULE F7	Ansys CFX Écoulements Turbulents.....	59
MODULE F8	Ansys CFX Écoulements Multiphasiques.....	62
MODULE A1	La Pratique d'Ansys MAPDL.....	66
MODULE A2	Ansys MAPDL Non Linéarités.....	69
MODULE A3	Ansys MAPDL Thermique.....	74
MODULE A4	ANSYS MAPDL Dynamique.....	78
MODULE A5	Ansys MAPDL Super-éléments, Synthèse modale et Submodeling.....	83
MODULE A6	Ansys MAPDL LS-DYNA.....	85
MODULE A7	Ansys MAPDL Dynamique des rotors.....	89
MODULE A8	Ansys MAPDL Vibroacoustique et Interactions Fluide-Structure.....	91
MODULE A9	ANSYS MAPDL Customisation APDL.....	93
MODULE A10	Ansys MAPDL Modélisation et calculs avancés en génie civil.....	95
MODULE E1	Introduction à Ansys HFSS.....	99
MODULE E2	Introduction à Ansys Maxwell.....	101

En cas de besoin spécifique, n'hésitez pas à nous consulter !

*Ansys, Ansys DesignModeler, Ansys SpaceClaim, Ansys WORKBENCH,
Ansys CFX, Ansys FLUENT, Ansys HFSS et Ansys MAXWELL
sont des marques déposées d'Ansys, Inc., Canonsburg PA, USA*

FORMATION WORKBENCH MODULE W1

ANSYS DESIGNMODELER

PUBLIC VISÉ

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

Aucune connaissance préalable dans le domaine de la CAO ou de la simulation numérique avec les logiciels d'Ansys n'est requise.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

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

- Naviguer dans l'interface utilisateur graphique,
- Créer, modifier et/ou nettoyer ses géométries en vue de leurs analyses,
- Générer des croquis 2D et les convertir en modèles 2D ou 3D,
- Modifier la géométrie 2D et 3D,
- Importer une géométrie CAO existante dans Ansys DesignModeler,
- Créer des corps linéaires et leurs sections en vue de l'analyse FE des poutres,
- Créer des corps surfaciques en vue de l'analyse FE des coques,
- Modéliser des assemblages,
- Utiliser les paramètres.

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. 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

1 jour, soit 7 heures

CONTENU

1 - INTRODUCTION - CONCEPTS DE BASE

- A propos d'Ansys
- Présentation de l'environnement Ansys Workbench
- Module de CAO dans Ansys Workbench : DesignModeler
- Page de projet Ansys Workbench
- Présentation de l'interface graphique
- Options d'importation de géométries
- Notions de corps et de pièces
- Bloquer et débloquer des corps
- Sélection nommée
- Partage de topologie

2 - CRÉATION DE GÉOMÉTRIES ET MODÉLISATION

- Notion d'esquisse et de plan
- Création de plans
- L'interface graphique du mode Esquisse
- Outils d'esquisse : dessin, modification, cotation, contrainte
- Outils d'esquisse avancés : duplication, projection
- Outils de création et de modification de géométries 3D
- Création de courbes 3D par fichier de points

3 - NETTOYAGE ET RÉPARATION DE GÉOMÉTRIES

- Outils de réparation
- Outils de mesure et d'analyse géométrique
- Destruction de faces / de lignes
- Fusion de faces / d'arêtes
- Opération de corps « couture »

4 - PARAMÉTRISATION

- Importation de CAO, bidirectionnalité
- Importation de paramètres
- Création de paramètres
- Gestion des paramètres

5 - POUTRES ET COQUES

- Création de corps filaires
- Mise en place et orientation de sections sur corps filaire
- Création de corps surfaciques : par esquisse, extraction de fibre neutre...
- Outil de liaison
- Connexion de poutres et coques

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W2****ANSYS SPACECLAIM****PUBLIC VISÉ**

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

Aucune connaissance préalable dans le domaine de la CAO ou de la simulation numérique avec les logiciels d'Ansys n'est requise.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Créer une nouvelle géométrie à partir de zéro dans Ansys SpaceClaim,
- Réparer une géométrie importée dans Ansys SpaceClaim,
- Extraire le volume de fluide des corps solides,
- Créer et modifier une enceinte autour d'un corps,
- Créer des soudures par points pour une analyse FEA dans Ansys Mechanical,
- Utiliser l'outil Midsurface pour réaliser des extractions de fibres neutres (coques),
- Extraire des poutres à l'aide de l'outil Beam Extract,
- Créer des sélections nommées et des paramètres dans Ansys SpaceClaim,
- Exporter la géométrie vers Workbench avec sélections nommées et paramètres.

**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. 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

1 jour, soit 7 heures

CONTENU**1 – INTRODUCTION**

- Présentation de l'environnement Ansys Workbench
- Module de CAO dans Ansys Workbench : SpaceClaim
- Présentation de l'interface graphique
- Manipulation d'une CAO et mode de sélection géométrique
- Importation et compatibilité de fichier CAO

2 - CRÉATION DE GÉOMETRIES

- Notion d'esquisse et de plan
- Création de plans
- Outils de création d'esquisses 2D
- Outils de création et de modification de géométries 3D
- Travail en mode de section

3 – ASSEMBLAGE

- Notion de corps et de pièce
- Activation et désactivation de pièces
- Isoler et modifier une pièce
- Affichage et organisation des pièces
- Mesure et création de plans de conception

4 - NETTOYAGE ET RÉPARATION DE GÉOMÉTRIES

- Importation de CAO extérieure
- Outils de réparation et de simplification
- Option d'importation de maillage surfacique (fichiers *.STL)
- Outils de rétroconception

5 - PRÉPARATION D'UN MODÈLE EN VUE D'UNE ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS

- Création de points de soudure (« Spot Weld »)
- Création de corps surfaciques par extraction de fibre neutre
- Création de corps filaires
- Outils de connexion de poutres et coques
- Extraction de volume et méthode d'englobement
- Partage de topologie et visualisation de connexion de maillage
- Sélection nommée et paramétrage
- Transfert de SpaceClaim vers Workbench Mechanical

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W3****INTRODUCTION À ANSYS MECHANICAL*****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 est requise. Aucune connaissance préalable dans le domaine de la simulation numérique avec le logiciel Ansys n'est requise.

***OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES***

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

- Manipuler et naviguer dans l'interface graphique de Mechanical,
- Mettre en place des matériaux et les affecter au modèle,
- Générer et gérer des éléments d'interface (contacts, poutres...),
- Créer et utiliser des sélections nommées,
- Créer et utiliser des repères locaux,
- Mettre en place un maillage,
- Définir les conditions aux limites et chargements d'un calcul statique structural,
- Réaliser diverses opérations de post-traitements,
- Aborder une analyse modale (extraction de fréquences propres),
- Mettre en données et analyser un calcul thermique stationnaire,
- Réaliser une analyse de flambement linéaire,
- Mettre en œuvre la technique de zoom structural.

***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. 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

3 jours, soit 21 heures

CONTENU

1 - INTRODUCTION

- À propos d'Ansys
- Présentation de l'environnement Ansys Workbench
- Gestion des licences
- Procédure de base d'une analyse
- Présentation de l'interface graphique, menus et barres d'outils
- Notion d'arbre de construction du modèle
- Application des chargements et conditions aux limites
- Manipulation d'un modèle
- Mise en place et gestion des matériaux

2 - PRÉ-TRAITEMENT

- Utilisation de la branche géométrie
- Contacts et options de contact
- Systèmes de coordonnées
- Création de groupes d'entités (sélections nommées)
- Générateur d'objets
- Informations sur les entités géométriques

3 - ANALYSE STATIQUE LINÉAIRE

- Spécificité géométrique : type de géométrie, masse ajoutée...
- Matériaux et contacts
- Paramètres d'analyse
- Chargements et supports dans Simulation
- Résultats et post-traitement
- Spécificités de l'analyse non linéaire

4 - TRAITEMENT DES RÉSULTATS - CAO ET PARAMÈTRES

- Visualisations des résultats
- Configurer les vues et la légende
- Utilisation des sections, sondes et graphiques
- Animation des résultats
- Systèmes de coordonnées et résultats
- Utilisation des chemins et surfaces de projection
- Linéarisation de contraintes sur des chemins
- Exportation des résultats
- Estimation d'erreur
- Point de singularité
- Outil de convergence
- Associativité avec la CAO, importation de paramètres...
- Définition et utilisation des paramètres
- Mise à jour de la géométrie

5 - MAILLAGE

- Paramètres généraux de contrôle du maillage
- Paramètres locaux de contrôle du maillage
- Échec de maillage et résolution
- Topologie virtuelle
- Maillage ordonné
- Critères de qualité des éléments
- Assemblage de modèles

6 - CONNEXIONS ET POINTS DISTANTS

- Mise en place de contacts
- Contrôle du contact : sphère de contact...
- Post-traitement des contacts
- Point de soudure
- Connexion de maillages
- Feuille de travail « contact »
- Liaisons cinématiques : mise en place et configuration, options
- Ressorts et poutres
- Définition des points distants, description et cas d'emploi
- Options de contrôle
- Partage de points distants
- Options d'affichage
- Options avancées de liaisons cinématiques
- Equations de contraintes

7 - ANALYSE MODALE, THERMIQUE ET MULTI-ÉTAPE

- Rappels théoriques sur l'analyse modale
- Spécificités de l'analyse modale : géométrie, contacts, matériaux, calcul et post-traitement
- Procédure de mise en place d'une analyse modale avec effet de précontrainte
- Rappels théoriques sur les analyses thermiques
- Comportement des contacts : conductivité...
- Chargements et conditions aux limites thermiques
- Paramètres de calcul de l'analyse thermique
- Post-traitement spécifique de l'analyse thermique
- Principe d'une analyse à cas de charges multiples
- Options de calcul des analyses multi-étapes
- Définitions des chargements multi-étapes
- Post-traitement des analyses multi-étapes
- Combinaison de solutions

8 - ANALYSE DE FLAMBEMENT - TECHNIQUE DE SOUS-MODÈLES

- Rappels théoriques sur l'analyse de flambement linéaire
- Spécificités de l'analyse de flambement linéaire : géométrie, matériaux, contacts...
- Chargements et conditions aux limites de l'analyse de flambement linéaire
- Post-traitement de l'analyse de flambement linéaire
- Principes de la technique de sous-modèles
- Procédure de mise en place
- Application des conditions de coupure et chargements internes

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W4****ANSYS WORKBENCH
INTRODUCTION AUX NON-LINÉARITÉS****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Comprendre la technologie sous-jacente et maîtriser les algorithmes de solutions utilisés pour mettre en œuvre des solutions non linéaires dans Ansys Mechanical,
- Décrire les trois types de non-linéarités dans Ansys Mechanical : géométrique, contact (changement de statut) et matériaux,
- Mettre en œuvre des redémarrages de calculs,
- Réaliser des calculs de flambage non linéaire,
- Utiliser les fonctions d'adaptabilité non linéaire du maillage,
- Reconnaître et corriger les causes les plus courantes de non-convergence dans les solutions non linéaires,
- Apprécier l'importance de la validation du modèle et plusieurs techniques qui peuvent être utilisées pour y parvenir.

**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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 – GÉNÉRALITÉS**

- Les non-linéarités en simulation par éléments finis
- Résolution par la méthode de Newton-Raphson
- Critères de convergence
- Obtention de la convergence, algorithmes d'aide à la convergence

2 – MISE EN DONNÉES ET CONTROLE D'UNE ANALYSE NON LINÉAIRE

- Spécificités d'un modèle non linéaire : maillage, chargement...
- Contrôle du solver
- Options de non-linéarité géométrique
- Contrôle des pas de temps
- Analyse des résultats

3 - CONTROLES DE RESTART

- Finalité des points de restart
- Contrôle des points de restart
- Sauvegarde des points de restart
- Visualisation des points de restart
- Utilisation des points de restart

4 - INTRODUCTION AU CONTACT

- Concept de base
- Description des différentes formulations disponibles
- Méthode de détection
- Limitation des surfaces contactantes
- Contrôle de raideur, tolérance de pénétration et de glissement
- Sphère de contact
- Contact symétrique et asymétrique
- Contact entre différents types de géométrie
- Post-traitements spécifiques

5 - PLASTICITÉ

- Rappels théoriques
- Critères de plasticité
- Différents modes d'écrouissage : isotrope, cinématique
- Particularités du calcul avec plasticité : définition du matériau, options de calcul et post-traitement

6 - ANALYSE DE FLAMBEMENT

- Rappels théoriques
- Analyse de flambement eulérien fondée sur une analyse linéaire
- Analyse de flambement eulérien fondée sur une analyse non-linéaire
- Analyse de flambement non-linéaire
- Outils de stabilisation numérique

7 - OUTILS DE DIAGNOSTIC

- Informations sur la solution
- Force de convergence
- Traceurs
- Résidus de Newton-Raphson

8 - MAILLAGE ADAPTATIF

- Introduction
- Description des critères d'adaptation
- Génération d'un nouveau maillage
- Procédures, limitations

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W5****ANSYS WORKBENCH
NON-LINÉARITÉS DE CONTACT AVANCÉES****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench et une connaissance basique des calculs non-linéaires (idéalement module W4 de ce catalogue ou équivalent) sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Comprendre la technologie sous-jacente et maîtriser les algorithmes de solution utilisés pour implémenter le contact surface-surface dans Ansys Mechanical,
- Démontrer une compréhension générale de plusieurs applications de contact spécialisées (précontrainte des boulons, joints d'étanchéité, usure de surface, etc...),
- Reconnaître et corriger les causes les plus courantes de non-convergence dans les solutions de contact,
- Apprécier l'importance de la validation du modèle et plusieurs techniques qui peuvent être utilisées pour y parvenir.

**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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - CONTACTS - RAPPELS ET OPTIONS AVANCÉES**

- Généralités
- Options de détection automatique du contact
- Outil contact
- Les liaisons cinématiques
- Liaisons par ressorts et poutres
- Les points de soudure
- Feuille de travail relative aux connexions

2 - TRAITEMENT DES INTERFACES

- Ajustement numérique des jeux et des interfaces
- Amortissement numérique des contacts
- Formulation MPC
- Contrôle des pas de temps
- Prise en compte du frottement

3 - SERRAGE DE VIS

- Généralités, éléments spécifiques
- Options de mise en place du serrage de boulon
- Mise en données alternative supportant les grandes rotations
- Prise en compte de la forme du filetage

4 - MODÉLISATION DES JOINTS MÉTALLIQUES

- Généralités
- Eléments spécifiques
- Contrôles du maillage
- Définition du matériau
- Post-traitement

5 - UTILISATION DE L'APDL POUR LES CONTACTS

- Traduction en éléments-finis de l'objet contact
- Documentation des éléments de contact
- Syntaxe des commandes APDL
- Procédures de mise en place

6 - CONTACT GÉNÉRAL

- Rappel sur la traduction des contacts dans Ansys Mechanical APDL
- Description de la fonctionnalité
- Utilisation des commandes GCGEN et GCDEF
- Adaptation des caractéristiques de contact

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W6****ANSYS WORKBENCH
NON-LINÉARITÉS MATÉRIAUX AVANCÉES****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench et une connaissance basique des calculs non-linéaires (idéalement module W4 de ce catalogue ou équivalent) sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Mettre en œuvre les lois élastoplastiques complexes d'Ansys,
- Comprendre les formulations élémentaires disponibles et quand les employer,
- Traiter des problématiques de fluage,
- Utiliser les lois hyper-élastiques pour la modélisation d'élastomères,
- Implémenter une loi visco-élastique ou visco-plastique.

**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.

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. de la formation.

DURÉE

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - RAPPELS SUR LA PLASTICITÉ - PLASTICITÉ AVANCÉE**

- Ecouissage non-linéaire
- Modèle de Chaboche
- Définition du matériau
- Ratchetting et Shakedown
- Détermination des coefficients de Chaboche
- Procédure de curve-fitting de la loi de Chaboche dans Mechanical APDL

2 - TECHNOLOGIES ÉLÉMENTAIRES DISPONIBLES

- Formulation conventionnelle en déplacement
- Phénomènes de Shear et Volumetric Locking
- Formulation intégration réduite sélective (B-Bar)
- Formulation intégration réduite (URI)
- Formulation Enhanced Strain (ES)
- Formulation Simplified Enhanced Strain (SES)
- Formulation Mixte u-P
- Formulation coque-solide

3 - FLUAGE

- Définition du fluage, terminologie
- Les différents modèles de fluage
- Spécificités du calcul avec fluage (définition du matériau, options de calcul et post-traitement)
- Procédure de curve-fitting des lois de fluage dans Mechanical APDL
- Combinaison avec les lois de plasticité

4 - VISCOPLASTICITÉ

- Définition de la viscoplasticité
- Modèle d'Anand
- Particularités du calcul avec viscoplasticité : options de calcul et post-traitement

5 - HYPER-ÉLASTICITÉ

- Définition de l'hyper-élasticité : élastomères, introduction à la théorie...
- Modèles disponibles :
 - * Loi polynomiale
 - * Loi d'Ogden et loi d'Ogden compressible
 - * Modèle de Blatz-Ko
 - * Loi d'Arruda-Boyce
 - * Modèle Extended tube
 - * Loi de Mooney Rivlin
 - * Loi de Yeoh
 - * Modèle de Gent
 - * Loi Neo Hockéenne
- Critère de choix d'une loi
- Formulation « mixed U-P »
- Récupération de données par essais
- Curve-fitting des lois hyper-élastiques
- Modalités des calculs hyper-élastiques : options de calcul, problèmes d'instabilité...

6 – TESTS POUR LES ELASTOMÈRES

- Généralités sur les tests : instrumentation, mesures, tester le bon matériau, température...
- Tests usuels pour les élastomères
- Questions/réponses

7 - VISCO-ÉLASTICITÉ

- Définition de la viscoélasticité
- Séries de Prony
- Comportement thermo-rhéologique simple
- Fonctions de décalage
- Modalités des calculs viscoélastiques : options de calcul...
- Procédure de curve-fitting des lois viscoélastiques dans Mechanical APDL

8 – PROPRIÉTÉS PHYSIQUES HYPERÉLASTIQUES AVANCÉES

- Effet Mullins
- Hyper-élasticité anisotropique
- Modèle hyper-élastique de Bergström Boyce
- Déformation permanente dans les élastomères

9 - MODÈLES MÉTALLIQUES AVANCÉS

- Généralités sur les alliages à mémoire de forme
- Super-élasticité
- Matériaux à mémoire de forme

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W7****ANSYS WORKBENCH 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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench 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.

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.

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

3 jours, soit 21 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION A LA DYNAMIQUE**

- Définition et types d'analyse en dynamique
- Concepts de base

2 - AMORTISSEMENT

- Définition et types d'amortissement
- Matrice d'amortissement selon les types d'analyse dynamique
- Amortissement numérique

3 - ANALYSE MODALE

- Rappels théoriques : description, définition des fréquences et modes propres, coefficients modaux et facteurs de participation, masses effectives et masse modale participante...
- Solvers disponibles, prise en compte des contacts
- Procédure d'une analyse modale : pré-traitements, options de solution et post-traitements
- Mise en données d'une analyse modale avec prise en compte de l'amortissement

4 - ANALYSE MODALE EN SYMÉTRIE CYCLIQUE

- Définition et présentation de la méthode de symétrie cyclique
- Terminologie, architecture
- Spécifier les symétries
- Options d'analyse
- Post-traitement

5 - ANALYSE AVEC PERTURBATION LINÉAIRE

- Définition et présentation de la méthode
- Application à l'analyse modale, introduction de précontraintes

6- ANALYSE HARMONIQUE

- Rappels théoriques : description, théorie et terminologie, phénomène de résonance...
- Prise en compte des contacts
- Méthode de calcul direct
 - * Amortissement, options de calcul
 - * Chargements et conditions aux limites
 - * Post-traitement
- Méthode de calcul par superposition modale
 - * Amortissement, options de calcul
 - * Chargements et conditions aux limites
 - * Post-traitement
- Avantages et limitations des deux méthodes
- Prise en compte de la précontrainte par méthode de perturbations linéaires

7 - ANALYSE SPECTRALE

- Rappels théoriques : spectre de réponse, méthodes de combinaison...
- Procédure d'une analyse spectrale "simple point"
- Méthodes de combinaison : SRSS, CQC, ROSE
- Réponse rigide : méthode Gupta et Lindley-Yow
- Prise en compte de la masse manquante
- Post-traitement
- Procédure d'une analyse spectrale "points multiples"

8 - VIBRATIONS ALÉATOIRES (DSP)

- Rappels théoriques :
 - * Définitions et hypothèses
 - * Construction d'un spectre PSD
 - * Fonction de transfert
- Amélioration de spectre (curve-fitting)
- Mise en données de l'analyse, options de calcul
- Chargement et conditions aux limites
- Post-traitement (1σ , 2σ , 3σ)
- Spectre de réponse

9 - DYNAMIQUE TRANSITOIRE

- Rappels théoriques
- Analyse modale préliminaire
- Les types d'analyse transitoire disponibles
- Prise en compte des non-linéarités
- Rappels sur les méthodes de Newton-Raphson
- Mise en données de l'analyse complète
 - * Options de calcul : solver, gestion des pas de temps, algorithme de convergence
 - * Prise en compte d'étape(s) statique(s) initiale(s)
 - * Amortissement
 - * Chargements en fonction du temps
- Mise en place de conditions initiales
- Mise en données de l'analyse par superposition modale
 - * Avantages et limitations
- Post-traitements spécifiques

10 – TECHNIQUE DE SOUS-STRUCTURATION PAR SYNTHÈSE MODALE

- Définitions et but
- Intérêt de la sous-structuration
- Équations
- Déroulement de la méthode de synthèse modale
- La méthode de synthèse modale dans Mechanical
- Pièce condensée
- Phase d'expansion de résultats
- Prise en compte de l'amortissement
- Exemple d'utilisation

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W8****ANSYS WORKBENCH THERMIQUE**

PUBLIC VISÉ	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
PRÉREQUIS	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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Comprendre les différents modes de transfert de chaleur, • Appréhender les spécificités (matériaux, contacts, maillage) de l'analyse thermique, • Choisir les conditions aux limites et chargements adéquats, • Conduire une analyse linéaire en régime permanent, • Mettre en œuvre une analyse non-linéaire, • Réaliser un calcul transitoire, • Utiliser le langage de commande APDL dans le cadre d'une analyse thermique.
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. 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	2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 -GÉNÉRALITÉS**

- Nomenclature et unités usuelles
- Les modes de transfert de la chaleur
- Conditions aux limites et chargements
- Particularité d'une analyse thermique en éléments finis

2 – MODÉLISATION ET POST-TRAITEMENT

- Propriétés matériaux
- Géométries et éléments thermiques associés
- Contact thermique
- Maillage
- Résultats

3 - CONDITIONS AUX LIMITES

- Conditions aux limites et chargements
 - * Température imposée, surface adiabatique, couplages
 - * Débit et flux de chaleur, génération interne de chaleur
 - * Convection
 - * Rayonnement vers l'ambient et rayonnement de cavité
- Conditions aux limites et chargements variables, prise en compte des symétries du modèle
- Options de calcul

4 - ANALYSE THERMIQUE EN RÉGIME PERMANENT

- Théorie du calcul permanent
- Etapes d'une mise en données par l'exemple
- Post-traitement et analyse multi-étape

5 - ANALYSE THERMIQUE NON-LINÉAIRE

- Théorie du calcul non-linéaire
- Méthode de Newton-Raphson en thermique
- Options spécifiques de calcul : gestion des pas de temps, critères de convergence
- Analyse de convergence

6 - ANALYSE THERMIQUE EN RÉGIME TRANSITOIRE

- Théorie du calcul transitoire
- Gestion des incréments de temps
- Chargement en fonction du temps, définition des conditions initiales
- Post-traitements spécifiques
- Changement de phase

7 - INSERTION DE COMMANDES APDL

- Extension ACT
- Qu'est-ce que l'APDL ?
- Utilisation des blocs-commandes sous Mechanical
- Interprétation des sélections nommées d'un point de vue éléments-finis
- Exemples

8 - ANALYSES COUPLÉES

- Définition, couplage faible / couplage fort
- Mise en place d'une analyse thermomécanique sous Workbench (couplage faible)
- Analyse multi-étape
- Maillages dissimilaires
- Post-traitement

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W9****ANSYS WORKBENCH COMPOSITE PREPOST****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises. Une connaissance des problématiques liées aux composites est un plus.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Appréhender les spécificités de la mise en œuvre des composites,
- Utiliser l'environnement spécifique d'ACP pour la mise en donnée et le post-traitement des composites,
- Gérer les orientations élémentaires,
- Mettre en œuvre les fonctionnalités de drapage,
- Réaliser un modèle composite volumique,
- Utiliser les divers critères de défaillance disponibles pour le post-traitement.

**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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION GÉNÉRALE**

- Introduction générale aux composites
- Classification
- Matrice et fibre
- Formes des renforcements
- Méthode de fabrication
- Drapage
- Absence de couche
- Approches numériques

- Cas d'une couche
- Loi de mélange
- Matériaux anisotrope, orthotrope ou transversalement isotrope
- Modélisation coque, transformation géométrique
- Eléments composites d'Ansys
- Mesure des caractéristiques d'une couche
- Modes de défaillance et critères numériques

2 - INTRODUCTION À ANSYS COMPOSITE PREPOST (ACP)

- Ce que fait ACP
- Intégration dans Workbench
- Définition des matériaux
- Génération de maillage
- Sélection nommée
- Présentation de l'interface graphique
- Mise en données des composites
- Calcul
- Post-traitement
- Critères de défaillance
- Visualisation des résultats

3 - ROSETTE ET OUTILS DE MISE EN PLACE DES ORIENTATIONS

- Définition de la notion de rosette
- Rosette parallèle
- Rosette cylindrique
- Rosette radiale
- Rosette sphérique
- Rosette linéique
- Point et direction d'orientation
- Méthodes de sélection : distance minimum et angle minimum
- Synthèse

4 - RÈGLE ET JEUX D'ARÊTES

- Règle parallèle
- Règle cylindrique
- Règle sphérique
- Règle tube
- Modèle de règle
- Combinaison de règles
- Jeux d'arêtes

5 - DRAPAGE

- Définition générale
- Capacités d'ACP

6 - MODÉLISATION VOLUMIQUE

- Généralités
- Extrusion de modèle surfacique
- Prise en compte des interruptions de couche

7 - PARAMÈTRES

- Paramètres dans Ansys Workbench
- Paramètres d'entrée
- Paramètres de sortie
- Etude paramétrique

8 - CRITÈRES DE DÉFAILLANCE

- Modes de défaillance : tension, compression et cisaillement
- Critères de défaillance

9 - DOMMAGE PROGRESSIF

- Délamination et évolution de fissure
- Approche VCCT
- Approche Zone Cohésive

10 - COMPLÉMENTS

- Numérotation de couches
- Point d'échantillonnage

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W10****ANSYS WORKBENCH DESIGNXPLORER**

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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Appréhender la notion de corrélation de paramètres, • Définir un plan d'expérience, • Créer et utiliser de surfaces de réponse, • Mettre en œuvre une optimisation paramétrique, • Réaliser une analyse 6 sigma.
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. 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	1 jour, soit 7 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION**

- Présentation de DesignXplorer dans l'environnement Ansys Workbench
- Outils et méthodes d'optimisation proposés par le module

2 - CORRÉLATION DE PARAMÈTRES

- Notion d'échantillonnage de paramètre et de matrice de corrélation
- Présentation de diverses méthodes et algorithmes de corrélation de paramètres
- Pertinence de résultats et courbes de régression

3 - PLAN D'EXPÉRIENCES

- Objectifs des plans d'expériences
- Présentations de différentes méthodes de plans d'expériences : composite centré, box Behnken, grille creuse, hypercubes latins...

4 - SURFACE DE RÉPONSE

- Définition des types de surface de réponse disponibles sous DesignXplorer
- Coefficient de détermination et qualité des surfaces de réponse
- Exploitation des résultats

5 - OPTIMISATION

- Présentation des deux modules d'optimisation : directe et par surface de réponse
- Objectifs, contraintes et domaines d'optimisation
- Méthodes d'optimisation : screening, objectif simple, objectif multiple, non-linéaire...
- Convergence de la courbe d'optimisation
- Post-traitement des données d'optimisation et classement des « conceptions candidates »

6 - MÉTHODE SIX-SIGMA

- Définition d'une analyse six-sigma
- Choix de la distribution des paramètres : uniforme, normale, triangulaire, Weibull...
- Facteurs de sécurité
- Tables de probabilité « quantile-centile »

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W11****ANSYS WORKBENCH
DYNAMIQUE DES ROTORS****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Comprendre les principes et théories relatifs à la dynamique des rotors,
- Mettre en place une analyse modale rotor dynamique,
- Extraire et analyser les résultats correspondant (diagrammes de Campbell...),
- Mettre en œuvre une analyse harmonique pour obtenir une réponse au balourd,
- Utiliser les éléments axisymétriques généralisés pour la modélisation des rotors,
- Prendre en compte le stator dans la modélisation rotor dynamique.

**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. 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

1 jour, soit 7 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION**

- Généralités
- Analyse et théorie
 - * Référentiels stationnaires et tournant
- Eléments et solveurs disponibles
- Principe de mise en données

2 - ANALYSE MODALE

- Rappels théoriques : description, définition des fréquences et modes propres, coefficients modaux et facteurs de participation, masses effectives et masse modale participante...
- Solveurs disponibles
- Prise en compte des contacts
- Procédure d'une analyse modale : pré-traitement, options de solution, post-traitement

- Mise en données d'une analyse modale avec prise en compte de l'amortissement

3 - VITESSE CRITIQUE

- Généralités
- Rotor de Jeffcott
- Effets gyroscopiques
- Orbite, diagramme de Campbell, vitesse critique
- Analyse modale avec amortissement
- Modélisation des roulements
- Critical Speed Map par utilisation de la macro APDL "CRITSPEEDMAP.MAC"
- Stabilité vibratoire, notion de décrément logarithmique

4 - ANALYSE HARMONIQUE

- Rappels théoriques : description, théorie et terminologie, phénomène de résonance...
- Prise en compte des contacts
- Méthode de calcul direct
 - * Amortissement, options de calcul
 - * Chargements et conditions aux limites
- Méthode de calcul par superposition modale
 - * Amortissement, options de calcul
 - * Chargements et conditions aux limites
 - * Avantages et limitations des deux méthodes
- Post-traitement

5 – RÉPONSE AU BALOURD

- Caractéristiques
- Procédure de mise en données des charges tournantes
- Post-traitement

6 - ÉLÉMENTS AXISYMÉTRIQUES GÉNÉRAUX

- Introduction
- Les éléments axisymétriques généraux
 - * Terminologie
 - * Plan nodal
 - * Fonction d'interpolation
 - * Section, commande NAXIS
 - * Chargements aux nœuds et aux éléments
- Exemple de mise en données sous Mechanical
- Extension ACT

7- PRISE EN COMPTE DU STATOR

- Modélisation
- Liaison avec le rotor
- Modélisation simplifiée
- Utilisation des assemblages de modèles

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W12****ANSYS WORKBENCH LS-DYNA****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Comprendre les principes et théories du calcul explicite,
- Mettre en place les options d'analyse et chargements d'un calcul explicite,
- Gérer les contacts dans un modèle LS-DYNA,
- Mettre en œuvre une analyse quasi-statique,
- Choisir une loi matériau adaptée à la simulation dynamique,
- Générer un maillage adéquat,
- Choisir les types d'éléments adaptés à sa simulation,
- Enrichir sa mise en données à l'aide d'insert de commandes LS-DYNA.

**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.

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

3 jours, soit 21 heures

CONTENU**1 – CALCUL EXPLICITE ET WORKBENCH LS-DYNA**

- Présentation de LS-DYNA
- Échelle de temps : domaines d'application des schémas implicites et explicites
- Applications typiques de LS-DYNA
- Objectifs du cours
- Rappels généraux sur le calcul transitoire
- Schémas d'intégration temporelle implicite et explicite
- Pas de temps de stabilité, masse scaling et propagation des ondes
- Intégration de LS-DYNA sous Workbench

2 – MISE EN DONNÉES, CONDITIONS AUX LIMITES ET CORPS RIGIDES

- Options d'analyse : contrôles d'étapes, contrôles d'Hourglass...
- Conditions aux limites et chargements
 - * Conditions initiales
 - * Chargements inertiels
 - * Forces et pressions
 - * Conditions aux limites
- Corps rigides : définitions, chargements et conditions aux limites...
- Masse ponctuelle
- Masse distribuée

3 – TRAITEMENT DES CONTACTS

- Contact et interaction de corps : deux objets pour gérer les interactions entre corps
- Prise en compte du frottement
- Contact collé
- Gestion de la raideur de contact
- Propriétés additionnelles des contacts : gestion de l'érosion, birth/death time...
- Gestion des résultats
- Ajout d'option par commandes
- Guide des bonnes pratiques

4 – ANALYSE QUASI-STATIQUE ET VÉRIFICATION DES RÉSULTATS

- Définition de l'analyse quasi-statique
- Mise en place de chargements quasi-statiques
- Vérification de la validité de l'hypothèse quasi-statique
- Équilibre énergétique et ratio d'énergie
- Vérification du bilan d'énergie sous Workbench
- Vérification du bilan d'énergie sous LS-PREPOST
- Analyse du bilan en énergie

5 – MATÉRIAUX

- Propriétés matériaux implémentées
 - * Propriété physique : densité et coefficients d'amortissement de Rayleigh
 - * Propriétés élastiques
 - * Loi hyper-élastiques
 - * Matériau composite
 - * Équation d'état
 - * Critères de défaillance : érosion...
 - * Mousse
 - * Matériau eulérien
 - * Lois élasto-plastiques : plasticité multilinéaire à écrouissage isotrope, modèle de plasticité de Cowper-Symonds, etc.
- Affectation des matériaux
- Modification de matériau par commande
- Présentation de la base de matériaux LS-DYNA (LS-DYNA Keyword Manual Volume 2)

6 - MAILLAGE

- Contraintes sur le maillage liées au schéma d'intégration explicite
- Simplification et préparation géométrique
- Paramètres généraux de contrôle de maillage
- Paramètres locaux de contrôle de maillage
- Exemples
- Outils de simplification du maillage

7 - ÉLÉMENTS

- Hourglass
 - * Définition
 - * Outils de contrôle numérique
 - * Règles d'usage pour limiter l'apparition du phénomène
 - * Outils d'analyse et de vérification post-calcul
- Éléments solides
 - * Différentes formulations
 - * Cas particulier des éléments pyramidaux
- Éléments coques
 - * Contrôles d'Hourglass
 - * Différentes formulations
 - * Quand les utiliser plutôt que des éléments solides
- Éléments poutres
 - * Section et orientation
 - * Différentes formulations
- Éléments de connexion
 - * Ressorts/amortisseurs discrets
 - * Liaisons poutres
 - * Liaisons cinématiques

8 - LE LANGAGE DE COMMANDES LS-DYNA

- Présentation
 - * Notion et format des « cartes » LS-DYNA
 - * Structure d'un modèle LS-DYNA
 - * Le fichier k
- Insertion de commandes LS-DYNA sous Workbench
- Inclusion de fichiers externes
- Interprétation des sélections nommées

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W13****ANSYS WORKBENCH EXPLICIT STR**

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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Comprendre les principes et théories du calcul explicite, • Mettre en place les chargements et conditions aux limites d'un calcul explicite, • Générer un maillage adéquat, • Choisir une loi matériau adaptée à sa simulation, • Gérer les contacts et interactions dans un modèle Explicit STR, • Mettre en place les options d'analyse d'un calcul Explicit STR.
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. 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	2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION À WORKBENCH**

- Présentation de la page projet
- Gestion des fichiers, unités et préférences de licences
- Organisation du module de données matériaux, bibliothèque et création de matériaux
- Présentation de l'environnement Mechanical
 - * Menus et barres d'outils
 - * Notion d'arbre de construction du modèle, fenêtre de détails
 - * Fenêtre graphique et feuille de travail
 - * Géométrie et système de coordonnées

2 – INTRODUCTION AU CALCUL EXPLICITE

- Domaines d'application, rappels sur les formulations implicites et explicites
- Schéma d'intégration numérique
- Pas de temps de stabilité, masse scaling et propagation des ondes
- Ondes élastique, plastique et de choc
- Mise en données
 - * Contact / interaction de corps
 - * Maillage
 - * Conditions initiales
 - * Conditions aux limites et chargements
 - * Options de calcul / suivi des calculs
 - * Post-traitement
 - * Cas particulier du calcul 2D

3 – MAILLAGE ET TRAITEMENT DES RÉSULTATS

- Spécificités du maillage explicite
- Contrôle de forme des maillages
- Contrôle de taille des maillages
- Simplification de géométrie et topologie virtuelle
- Utilisation de DesignModeler/SpaceClaim pour la préparation de modèle
- Récupération de maillage par FE Modeler
- Visualisations des résultats
- Configurer les vues et la légende
- Coupe et chemin
- Utilisation de sonde et tracker
- Résultats dans le temps, filtrage
- Résultats utilisateurs
- Visualisation vectorielle des résultats
- Animations de résultats
- Exportation de résultats
- Systèmes de coordonnées et résultats

4 - MODÈLES DE MATÉRIAUX

- Rappels théoriques
- Types de matériaux disponibles
- Élasticité, viscoélasticité
- Hyper-élasticité
- Plasticité, écrouissage cinématique ou isotrope
- Prise en compte de la vitesse de déformation : Johnson-Cook, Cowper-Symonds, Steinberg-Guinan, Zerilli-Armstrong
- Matériaux fragiles : Drucker Prager, lois de Johnson-Holmquist, Béton RHT, loi MO
- Equations d'état : gaz idéal, polynomial, choc, explosion...
- Prise en compte de la porosité : lois de compaction...
- Critères de défaillance : déformation, contrainte, loi stochastique, Johnson-Cook, Grady-Spall
- Prise en compte des composites : module additionnel ACP

5 – MAILLAGE ET INTERACTION DES CORPS

- Formulation élémentaire et recommandation de maillage
- Interaction de "trajectoire"
- Interaction de "proximité"
- Auto-interaction
- Interaction collée avec arrachement possible
- Interaction avec ou sans frottement
- Interaction de renforcement
- Contact face/face
- Point de soudure (« Spot Weld »)
- Ressort et amortisseur

6 - OPTIONS D'ANALYSE ET PARAMÈTRES

- Contrôle de temps
- Contrôle de convergence
- Mise en place de « mass scaling »
- Contrôle des éléments
- Amortissement et viscosité artificielle
- Contrôle d'Hourglass
- Contrôle d'érosion
- Stockage des résultats et point de restart, mise en place de traceur
- Paramétrisation et plan d'expérience
- Surface de réponse
- Optimisation paramétrique

**FORMATION WORKBENCH
MODULE W14****ANSYS WORKBENCH
UTILISATION DE L'APDL****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 module de simulation Mechanical dans l'environnement Ansys Workbench sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Manipuler un modèle Ansys dans l'interface MAPDL,
- Comprendre le principe de définition d'un élément-fini sous Ansys,
- Comprendre les principes de sélection d'entités et de repère,
- Utiliser des commandes APDL, des paramètres, boucles et conditions,
- Insérer des commandes APDL à divers niveaux de l'arborescence de Mechanical pour modifier la mise en données.

**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.

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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - PRÉSENTATION D'ANSYS MECHANICAL APDL (CLASSIC)**

- Introduction au logiciel
- Organisation des fichiers
- Prise en main de l'interface graphique et manipulation d'un modèle

2 - PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

- Les différents modules : PREP7, SOLU, POST1, POST26...
- Notion d'élément attribut : TYPE, MAT, REAL, SECNUM et ESYS
- Différents types d'élément disponibles
- Méthode de sélection
- Les systèmes de coordonnées dans Ansys Mechanical APDL

3 - LES COMMANDES APDL

- Généralités
- Utilisation des commandes APDL
- Enregistrement des commandes par le *Log File*
- Paramètres (scalaires et tableaux) et opérations
- Boucle et condition en APDL (*IF et *DO)

4 - UTILISATION DE L'APDL DANS MECHANICAL

- Dans la branche "géométrie"
- Les systèmes de coordonnées dans Ansys Mechanical
- Intervention sur les points distants
- Modification des contacts, ressorts... (branche "connexion")
- Équivalence des "sélections nommées" en APDL
- Utilisation des commandes de sélection
- Modification du schéma de calcul : utilisation dans la branche "analyse"
- Post-traitements additionnels : utilisation dans la branche "solution"
- Utilisation des paramètres

**FORMATION FLUENT
MODULE F1****INTRODUCTION À ANSYS FLUENT**

PUBLIC VISÉ	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
PRÉREQUIS	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides et de la méthode des volumes finis est requise.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Créer et modifier un domaine de calcul CFD avec Ansys SpaceClaim, • Créer un maillage de qualité avec Ansys Fluent, • Mettre en données une étude CFD typique avec Ansys Fluent, • Conduire un calcul avec Ansys Fluent, • Post-traiter les résultats avec Ansys Fluent.
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. 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. de la formation.
DURÉE	4 jours, soit 28 heures

CONTENU**1 – INTRODUCTION À LA CFD**

- Qu'est-ce que la CFD ?
- Les différentes étapes d'un calcul CFD bien mené

2 – INTRODUCTION À WORKBENCH

- Présentation de l'environnement Workbench
 - * Modules de géométrie SpaceClaim et DesignModeler
 - * Modules de maillage Meshing, ICEM CFD et Fluent Meshing
 - * Fluent dans l'environnement Workbench
 - * Autres modules relatifs aux autres domaines de la physique
- Fluent au sein d'un projet multiphysique

3 – INTRODUCTION À SPACECLAIM DANS LE CADRE D'UN CALCUL AVEC FLUENT

- Présentation de l'interface graphique
- Visualiser, manipuler et sélectionner
- Créer une géométrie
- Réparer une géométrie
- Obtenir le domaine fluide

4 – INTERFACE GRAPHIQUE DE FLUENT

- Présentation de l'interface graphique
- Visualiser, manipuler et sélectionner
- Les différentes étapes d'un calcul CFD avec Fluent

5 – FLUENT MESHING

- Le processus « watertight geometry »
- Les formats de CAO supportés
- L'interface graphique de Fluent Meshing
 - * Visualiser, manipuler et sélectionner
 - * Les outils disponibles
- Importer une géométrie CAO
- Regrouper certains éléments géométriques, définir les zones pour les futures conditions limites
- Les différents types de maille
- Mailler les surfaces
- Mailler les volumes
- Mailler les zones en proche paroi
- Imposer des tailles de maille
- Interfaces entre différents maillages
- Visualiser le maillage

6 – MISE EN DONNÉES DU CALCUL

- Calculs stationnaire / instationnaire
- Propriétés des matériaux
- Écoulement turbulent
- Écoulement avec échange de chaleur
- Interface entre maillages
- Milieu solide, milieu poreux
- Conditions limites, de périodicité et initiales
- Méthodes de calcul « pressure-based » et « density based »
- Conseils pratiques
 - * Erreurs d'arrondis : pression et densité de référence
 - * Domaine de calcul et choix des conditions aux limites
 - * Etc.

7 – CONDUITE DU CALCUL

- Calculs stationnaire / instationnaire
- Méthodes de résolution des équations
 - * « pressure-based »
 - * « density-based »
- Schéma d'interpolation
- Initialisation du calcul
- Suivi de la convergence
- Autoadaptation du maillage
- Calculs en série / en parallèle
- Conseils pratiques
 - * Résoudre les problèmes de convergence
 - * Accélérer la convergence
 - * Convergence et précision des résultats

8 – POST-TRAITEMENT D'UN CALCUL

- Dans Fluent
- Avec le logiciel CFD-Post
 - * Supports de visualisation : (nuages de) points, (poly)lignes, plans, surfaces, volumes...
 - * Objets visualisés : scalaires, vecteurs, expressions
 - * Observations qualitatives : contours, lignes de courant, tourbillons...
 - * Observations quantitatives : tableaux, graphiques...
 - * Animation
 - * Comparaison des résultats de plusieurs calculs réalisés dans une même géométrie
 - * Enregistrement du processus de post-traitement
 - * Rapport de calcul

9 – CONSEILS PRATIQUES

- Les différentes sources d'erreurs
 - * Erreurs numériques : d'arrondi, d'itération, de maillage...
 - * Erreurs de modélisation : choix des modèles, choix des conditions limites, choix du domaine de calcul...
- Conseils sur la création de maillage

10 – TURBULENCE

- Nombre de Reynolds et critère d'identification d'un écoulement turbulent
- Quelques rappels sur les approches de modélisation
 - * Direct numerical simulation (DNS)
 - * Large eddy simulation (LES)
 - * Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS)
- Les modèles RANS disponibles dans Fluent et leur utilisation
 - * Modèles de viscosité turbulente à 1 et 2 équations
 - * Modèles des contraintes de Reynolds (RSM)
- Quelques rappels sur la couche limite turbulente
- Les traitements de la couche limite turbulente dans Fluent et leur utilisation
 - * Fonction de paroi
 - * Résolution de la sous-couche visqueuse
- Condition limite en entrée : données relatives à la turbulence
- Conseils pratiques et méthodes
 - * Positionner le 1^{er} nœud du maillage dans la couche limite

11 – TRANSFERTS THERMIQUES

- Quelques rappels sur les modes de transfert de chaleur :
 - * Conduction
 - * Convection
 - * Rayonnement
 - * Changement de phase
- Les conditions aux limites disponibles dans Fluent
- Transfert de chaleur conjugué (dans le fluide ET DANS le solide)
- Post-traitement des échanges de chaleur
- Calculs couplés : transfert d'un résultat de calcul thermique depuis Fluent vers un autre logiciel Ansys, via Workbench

12 – CALCUL INSTATIONNAIRE

- Choix de l'intervalle de temps à considérer
- Choix du pas de temps
- Choix des conditions initiales
- Convergence d'un calcul instationnaire
 - * Convergence numérique
 - * Convergence physique
- Schémas numériques pour calcul instationnaire dans Fluent
- Conseils pratiques

**FORMATION FLUENT
MODULE F2****ANSYS FLUENT
ÉCOULEMENTS TURBULENTS****PUBLIC VISÉ**

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys FLUENT sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Créer et modifier un domaine de calcul CFD avec Ansys SpaceClaim,
- Choisir une stratégie de modélisation adaptée à son besoin,
- Utiliser les modèles « Reynolds Averaged Navier-Stokes » (RANS),
- Utiliser les modèles « Large Eddy Simulation » (LES),
- Utiliser les modèles hybrides RANS – LES,
- Utiliser les modèles de transition laminaire – turbulent de couche limite.

**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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 – INTRODUCTION À LA MODÉLISATION DE LA TURBULENCE**

- Mise en évidence de la turbulence
- Caractéristiques physiques des écoulements turbulents
- Pourquoi modéliser la turbulence lors des calculs de Mécanique des fluides
- Panorama des modélisations
 - * DNS
 - * LES
 - * RANS
- Conséquences d'un choix de modélisation

2 – MODÉLISATION RANS

2.1 - Modèles de viscosité turbulente

- Concept de viscosité turbulente
- Modèles à 1 équation
- Modèles à 2 équations
 - * Modèle $k-\epsilon$
 - * Modèle $k-\omega$
 - * Autres modèles : BSL, SST, GEKO...
- Interprétation physique des termes des équations
- Avantages / inconvénients comparés des modèles

2.2 – Modèles de contraintes de Reynolds (RSM)

- Présentation de la modélisation RSM
- Interprétation physique des termes des équations
- Modèles
 - * fondés sur ϵ
 - * fondés sur ω
- Avantages / inconvénients
- Dans quels cas utiliser ces modèles

3 – MODÉLISATION DE LA TURBULENCE EN PROCHE PAROI

- Caractéristiques physiques des écoulements turbulents en proche paroi
- Quelques rappels théoriques : structure de la couche limite turbulente, y^+ , U^+ ...
- Principe des modélisations
 - * Méthode « wall function »
 - * Méthode « low-Reynolds-number »
- Conséquences sur le maillage et position du 1^{er} nœud
- Conseils pour positionner le 1^{er} nœud en fonction de y^+
- Cas des parois rugueuses

4 – MODÉLISATION DE LA TRANSITION LAMINAIRE - TURBULENT

- Principaux mécanismes de transition
 - * Natural transition
 - * Bypass transition
 - * Separation induced transition
 - * Crossflow transition
- Modèles de transition
 - * Modèle $\gamma-Re_\theta$
 - * Modèle γ
- Conséquences sur le maillage
- Cas des parois rugueuses

5 – MODÉLISATION LES

- Principe de la modélisation LES
- Modèles :
 - * Smagorinsky : description et limites
 - * WALE
 - * Wall modeled LES (WMLES)
- Avantages / inconvénients et limitations
- Condition limite en entrée
- Conseils de mise en pratique

6 – MODÉLISATION HYBRIDE RANS – LES

- Principe de la modélisation hybride RANS - LES
- Modèles : SAS, DES, DDES, SDES, SBES
- Avantages / inconvénients et limitations

7 – CONSEILS PRATIQUES

- Questions à se poser avant la simulation
- Modèles RANS
 - * Lequel choisir
 - * Options de la famille des modèles $k-\omega$
- Méthodes hybrides : laquelle choisir
- Applications industrielles
 - * Aérodynamique externe en aéronautique
 - * Aérodynamique externe en automobile
 - * Turbomachines
 - * Chambre de combustion
 - * Autres applications industrielles
- Résolution de la couche limite
- Transition laminaire - turbulent

**FORMATION FLUENT
MODULE F3****ANSYS FLUENT
ÉCHANGES THERMIQUES**

PUBLIC VISÉ	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
PRÉREQUIS	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys FLUENT sont requises.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Choisir une stratégie de modélisation adaptée à son besoin, • Modéliser la conduction, • Modéliser les convections naturelles et forcée, • Utiliser les modèles de rayonnement.
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. 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	2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION**

- Rappels des phénomènes physiques et théoriques
 - * Conduction
 - * Convection (naturelle et forcée ; couche limite)
 - * Rayonnement
 - * Changement d'état
 - * Nombres adimensionnels, unités et ordres de grandeur
- L'équation de l'énergie
- Conditions aux limites

2 - CONDUCTION

- Équation de l'énergie dans les solides
- Modélisation du transfert thermique dans les parois solides délimitant un écoulement fluide
 - * Le modèle « Shell conduction » et ses limites
- Conductivité anisotropique
- Cas des solides en mouvement
- Paramètres du solver
 - * Résolution des problèmes de convergence
 - * Conséquence des choix de paramètre sur le comportement de la solution

3 – CONVECTION FORCÉE

- Coefficient de transfert thermique
 - * Ordres de grandeurs
- Couches limites dynamiques et thermiques, en écoulements laminaires et turbulents
 - * Structure et phénoménologie
 - * Conseils pratiques pour la simulation numérique
- Outils spécifiques de post-traitement

4 – CONVECTION NATURELLE

- Phénoménologie
- Brefs rappels théoriques
- Conseils pratiques pour la simulation numérique
 - * Couche limite
 - * Traitement de la pression
 - * Traitement de la densité

5 – RAYONNEMENT

- Quelques rappels théoriques
 - * Equation de transfert radiatif
 - * Propriétés radiatives des matériaux
- Quand inclure le calcul du rayonnement dans la simulation numérique
- Modèles de rayonnement dans Fluent : théorie et conseils
 - * Discrete transfer (DTRM)
 - * Surface to surface (S2S)
 - * Discret Ordinates (DO)
 - * P1
 - * Rosseland
 - * Monte Carlo (MC)
- Comment choisir son modèle de rayonnement
- Outils spécifiques de post-traitement

6 – OPTIONNEL : SIMULATIONS NUMERIQUES DANS LES ECHANGEURS DE CHALEUR

7 – OPTIONNEL : CAS DU RAYONNEMENT SOLAIRE

8 – OPTIONNEL : CAS DES MILIEUX POREUX

**FORMATION FLUENT
MODULE F4****ANSYS FLUENT
ÉCOULEMENTS MULTIPHASIQUES**

PUBLIC VISÉ	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
PRÉREQUIS	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys FLUENT sont requises.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Situer son écoulement dans la large gamme des écoulements multiphasiques, • Choisir une stratégie de modélisation adaptée à son besoin, • Utiliser les modèles « Volume of Fluide », • Utiliser les modèles eulériens, • Utiliser les modèles lagrangiens.
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. 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	3 jours, soit 21 heures.

CONTENU

.....

1 - INTRODUCTION

- Exemples et applications
- Classification des écoulements multiphasiques
- Définitions et concepts fondamentaux

2 – MODÉLISATION « VOLUME OF FLUID » (VOF)

- Principe du modèle VOF
 - * Suivi de l'interface
- Utilisation du modèle VOF dans Fluent
 - * Schémas numériques
 - * Conditions limites et initiales
- Conseils pratiques
- Extensions du modèle VOF
 - * Modèle « multi-fluid VOF »
 - * Modèle « VOF to PDM »

3 – MODÉLISATION « DISCRETE PHASE » (DPM)

- Exemples d'application
- Modélisation DPM
 - * L'approche lagrangienne
 - * Interactions entre les différentes phases
 - * Transfert de masse et changement de phase
 - * Transfert de quantité de mouvement
 - * Transfert d'énergie
 - * Suivi des particules
 - * Injection de particules dans le domaine de calcul
 - * Conditions limites : traitement des particules en proche paroi
 - * Conditions initiales
- Post-traitement
- Modèles spécifiques
 - * Dense Discrete Phase Model (DDPM)
 - * Discrete Element Model (DEM)
 - * Macroscopic Particle Model (MPM)
 - * Érosion

4 – MODÉLISATION EULÉRIENNE

- Exemples d'application
- L'approche eulérienne
 - * Description
 - * Interactions entre les différentes phases
 - * Transfert de masse et changement de phase
 - * Transfert de quantité de mouvement
 - * Transfert d'énergie
- Modèles spécifiques
 - * Modèle eulerian – granular

5 – OPTIONNEL : MODÈLES DE « POPULATION BALANCE » : COALESCENCE - FRAGMENTATION

6 – OPTIONNEL : MODÉLISATION DE L'ÉROSION

7 – OPTIONNEL : MODÈLES DE « WALL BOILING »

8 – OPTIONNEL : MODÉLISATION « EULERIAN WALL FILM » (EWFEM)

9 – OPTIONNEL : UDF APPLIQUÉES AUX ÉCOULEMENTS MULTIPHASIQUES

10 – OPTIONNEL : MODÉLISATION D'ÉCOULEMENTS EN CANAL OUVERT (« OPEN CHANNEL »)

11 – OPTIONNEL : MODÉLISATION DU REMPLISSAGE ET OUTIL « 6DOF »

**FORMATION FLUENT
MODULE F5****ANSYS FLUENT
USER DEFINED FUNCTION (UDF)****PUBLIC VISÉ**

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys FLUENT sont requises.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Connaître la structure basique d'une UDF,
- Connaître les différents types de macros utilisées pour accéder aux variables du solver,
- Lier une UDF à presque tous les modèles d'Ansys Fluent,
- Ecrire une UDF pour personnaliser une condition limite, un terme source ou une propriété matérielle,
- Ecrire une UDF pour définir un paramètre d'entrée ou de sortie,
- Composer une UDF en vue d'un calcul parallèle,
- Créer une UDF pour un écoulement multiphasique.

**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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION**

- Généralités
- Rappels sur le langage C
- Programmation d'UDF et macros en C

2 – COMPILER / INTERPRÉTER

- Interpréter une UDF
- Compiler une UDF
- Exemples

3 – COMPOSER SON UDF

- Analyse de la composition d'une UDF étape par étape
- Utilisation des « DEFINE »
- Exemples

4 – USER DEFINED MEMORY (UDM) ET USER DEFINED SCALARS (UDS)

- UDM
 - * Construction
 - * Exemples
- UDS
 - * Construction
 - * Exemples

5 – UTILISATION DES UDF EN PARALLÈLE

- Quelle UDF nécessite un calcul en parallèle ?
- Calculer une UDF en parallèle
- Résoudre les problèmes de parallélisation d'une UDF

6 – CAS PARTICULIER D'UTILISATION DES UDF

- Cas des paramètres de Workbench
- Cas des modèles multiphasiques
 - * Volume of fluid (VOF)
 - * Eulérien
 - * Mélange
 - * Discret phase model (DPM)
- Exemples

7 – TEMPS DE DISCUSSION SUR LES BESOINS SPÉCIFIQUES

- Conseils pratiques
- Propositions de trames d'UDF

**FORMATION CFX
MODULE F6****INTRODUCTION À ANSYS CFX**

PUBLIC VISÉ	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
PRÉREQUIS	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides et de la méthode des volumes finis est requise.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Créer et modifier un domaine de calcul CFD avec Ansys SpaceClaim, • Créer un maillage de qualité avec Ansys Meshing, • Mettre en données une étude CFD typique avec Ansys CFX, • Conduire un calcul avec Ansys CFX, • Post-traiter les résultats avec Ansys CFD-Post.
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. 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 – INTRODUCTION À LA CFD**

- Qu'est-ce que la CFD ?
- Les différentes étapes d'un calcul CFD bien mené

2 – INTRODUCTION À WORKBENCH

- Présentation de l'environnement Workbench
 - * Modules de géométrie SpaceClaim et DesignModeler
 - * Modules de maillage Meshing et ICEM CFD
 - * CFX dans l'environnement Workbench
 - * Autres modules relatifs aux autres domaines de la physique
- CFX au sein d'un projet multiphysique

3 – INTRODUCTION À SPACECLAIM DANS LE CADRE D'UN CALCUL AVEC CFX

- Présentation de l'interface graphique
- Visualiser, manipuler et sélectionner
- Créer une géométrie
- Réparer une géométrie
- Obtenir le domaine fluide

4 – INTRODUCTION À MESHING DANS LE CADRE D'UN CALCUL AVEC CFX

- Présentation de l'interface graphique
- Visualiser, manipuler et sélectionner
- Choisir un type de mailles : prisme, tétraèdre, hexaèdre et pyramide
- Choisir une méthode de maillage
 - * Maillages tétraédriques : « patch conforming » et « patch independant »
 - * Maillages hexaédriques : « balayage », « multizone » et « hexa dominant »
 - * Mailler plusieurs corps et interfaces entre maillages
- Imposer une taille de maille
- Mailler les couches limites
- Vérifier la qualité du maillage

5 – INTRODUCTION À CFX

- Présentation de l'interface graphique de CFX
- Les différentes étapes d'un calcul avec CFX
- Les fichiers d'entrée et de sortie de CFX
- Visualiser, manipuler et sélectionner

6 – MISE EN DONNÉES DU CALCUL

- Domaine de calcul
 - * Les différents types de domaine de calcul
 - * Créer et choisir un matériau
 - * Écoulements incompressible / compressible
 - * Pression et densité de référence
 - * Flottabilité
- Conditions aux limites
 - * Conseils pratiques : bien positionner les conditions aux limites
 - * Conseils pratiques : bien choisir le type de conditions aux limites
- Sources

7 – CONDUITE DU CALCUL

- L'interface graphique
- Lancer un calcul
 - * Initialisation du calcul
 - * Schémas numériques : précision de la solution / stabilité du calcul
 - * (Pseudo-) Pas de temps
 - * Calculs en série / en parallèle
- Suivre la convergence
 - * Les outils
 - * Imposer un critère d'arrêt du calcul
 - * Modifier un paramètre en cours de calcul
- Fichiers résultats
 - * Choisir leur contenu
 - * Savoir lire le fichier .out

8 – POST-TRAITEMENT D'UN CALCUL

- L'interface graphique
- Les différentes étapes d'un post-traitement usuel
- Supports de visualisation : (nuages de) points, (poly)lignes, plans, surfaces, volumes...
- Objets visualisés : scalaires, vecteurs, expressions
 - * Observations qualitatives : contours, lignes de courant, tourbillons...
 - * Observations quantitatives : tableaux, graphiques...
- Animation
- Comparaison des résultats de plusieurs calculs réalisés dans une même géométrie
- Enregistrement du processus de post-traitement
- Rapport de calcul

9 – COMPLÉMENTS SUR LE DOMAINE DE CALCUL : INTERFACE ENTRE DOMAINES, DOMAINE EN MOUVEMENT

- Interface entre domaines de calcul
 - * Modèle d'interfaces
 - * Raccordement de maillages
- Domaine en mouvement
 - * Référentiel unique
 - * Référentiels multiples
 - * Approches stationnaire et instationnaire
- Déformation de maillage

10 – TRANSFERTS THERMIQUES

- Quelques rappels sur les modes de transfert de chaleur
 - * Convection
 - * Conduction
 - * Rayonnement
 - * Dissipation visqueuse
 - * Changement de phase
- Application à CFX
 - * Cas du domaine fluide
 - * Cas du domaine solide
- Conditions aux limites
- Transfert de chaleur conjugué : dans le fluide ET DANS le solide
- Post-traitement des échanges de chaleur

11 – TURBULENCE

- Nombre de Reynolds et critère d'identification d'un écoulement turbulent
- Quelques rappels sur les approches de modélisation
 - * Direct numerical simulation (DNS)
 - * Large eddy simulation (LES)
 - * Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS)
- Les modèles RANS disponibles dans CFX et leur utilisation
 - * Modèles de viscosité turbulente à 1 et 2 équations
 - * Modèles de contraintes de Reynolds (RSM)
- Quelques rappels sur la couche limite turbulente
- Les traitements de la couche limite turbulente dans CFX et leur utilisation
 - * Fonction de paroi
 - * Résolution de la sous-couche visqueuse
- Condition limite en entrée : données relatives à la turbulence
- Conseils pratiques et méthodes
 - * Positionner le 1^{er} nœud du maillage dans la couche limite

12 – CALCUL INSTATIONNAIRE

- Choix de l'intervalle de temps à considérer
- Choix du pas de temps
- Choix des conditions initiales
- Convergence d'un calcul instationnaire
 - * Convergence numérique
 - * Convergence physique
- Schémas numériques pour calculs instationnaires dans CFX
- Conseils pratiques

13 – CONSEILS PRATIQUES

- Les différentes sources d'erreur
 - * Erreurs numériques : d'arrondi, d'itération, de maillage...
 - * Erreurs de modélisation : choix des modèles, choix des conditions limites, choix du domaine de calcul...
- Conseils sur la création de maillage

14 – PERSONNALISATION DE CFX

- Variable additionnelle (AVs)
 - * Équation d'évolution
 - * Exemple
- Langage pour les expressions dans CFX (CEL)
 - * Syntaxe
 - * Exemple
- Langage pour les commandes dans CFX (CCL)
 - * Syntaxe
 - * Exemple

**FORMATION CFX
MODULE F7****ANSYS CFX
ÉCOULEMENTS TURBULENTS****PUBLIC VISÉ**

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys CFX sont requises.

OBJECTIFS**PÉDAGOGIQUES**

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

- Choisir une stratégie de modélisation adaptée à son besoin,
- Utiliser les modèles « Reynolds Averaged Navier-Stokes » (RANS),
- Utiliser les modèles « Large Eddy Simulation » (LES),
- Utiliser les modèles hybrides RANS – LES,
- Utiliser les modèles de transition laminaire – turbulence de couche limite.

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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 – INTRODUCTION À LA MODÉLISATION DE LA TURBULENCE**

- Mise en évidence de la turbulence
- Caractéristiques des écoulements turbulents
- Panorama des modélisations
 - * DNS
 - * LES
 - * RANS
- Conséquences d'un choix de modélisation

2 – MODÉLISATION RANS

2.1 - Modèles de viscosité turbulente

- Concept de viscosité turbulente
- Modèles à 1 équation
- Modèles à 2 équations
 - * Modèle $k-\epsilon$
 - * Modèle $k-\omega$
 - * Autres modèles : BSL, SST, GEKO...
- Interprétation physique des termes des équations
- Avantages / inconvénients comparés des modèles

2.2 - Modèles de contraintes de Reynolds (RSM)

- Présentation de la modélisation RSM
- Interprétation physique des termes des équations
- Modèles
 - * fondés sur ϵ
 - * fondés sur ω
- Avantages / inconvénients
- Dans quels cas utiliser ces modèles

3 – MODÉLISATION DE LA TURBULENCE EN PROCHE PAROI

- Caractéristiques physiques des écoulements turbulents en proche paroi
- Quelques rappels théoriques : structure de la couche limite turbulente, y^+ , U^+ ...
- Principe des modélisations
 - * Méthode « wall function »
 - * Méthode « low-Reynolds-number »
- Conséquences sur le maillage et position du 1^{er} nœud
- Conseils pour positionner le 1^{er} nœud en fonction de y^+
- Cas des parois rugueuses

4 – MODÉLISATION DE LA TRANSITION LAMINAIRE - TURBULENT

- Principaux mécanismes de transition
 - * Natural transition
 - * Bypass transition
 - * Separation induced transition
 - * Crossflow transition
- Modèles de transitions
 - * Modèle $\gamma-Re_\theta$
 - * Modèle γ
- Conséquences pour le maillage
- Cas des parois rugueuses

5 – MODÉLISATION LES

- Principes de la modélisation LES
- Modèles :
 - * Smagorinsky : description et limites
 - * WALE
 - * Wall Modeled LES (WMLES)
- Avantages / inconvénients et limitations
- Condition limite en entrée
- Conseils de mise en pratique

6 – MODÉLISATION HYBRIDE RANS – LES

- Principes de la modélisation hybride RANS - LES
- Modèles : SAS, DES, DDES, SDES, SBES
- Avantages / inconvénients et limitations

7 – CONSEILS PRATIQUES

- Questions à se poser avant la simulation
- Modèles RANS :
 - * Lequel choisir
 - * Options de la famille des modèles $k-\omega$
- Méthodes hybrides : laquelle choisir
- Applications industrielles
 - * Aérodynamique externe en aéronautique
 - * Aérodynamique externe en automobile
 - * Turbomachines
 - * Chambre de combustion
 - * Autres applications industrielles
- Résolution de la couche limite
- Transition laminaire - turbulent

**FORMATION CFX
MODULE F8****ANSYS CFX
ÉCOULEMENTS MULTIPHASIQUES**

PUBLIC VISÉ	Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.
PRÉREQUIS	La connaissance des bases théoriques de la mécanique des fluides, ainsi qu'une première expérience de l'utilisation du logiciel Ansys CFX sont requises.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Situer son écoulement dans la large gamme des écoulements multiphasiques, • Choisir une stratégie de modélisation adaptée à son besoin, • Utiliser les modèles « Volume of Fluide », • Utiliser les modèles eulériens, • Utiliser les modèles lagrangiens.
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. 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	3 jours, soit 21 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION**

- Exemples et applications
- Classification des écoulements multiphasiques
- Définitions et concepts fondamentaux
- Couplages fluide porteur-phase dispersée
- Les phénomènes physiques à modéliser

2 – LES APPROCHES DE MODÉLISATION

- L'approche eulérienne
 - * Modélisation « non homogène »
 - * Modélisation « homogène »
- L'approche lagrangienne
- Comparaison avantages / inconvénients des deux approches

3 – APPROCHE EULÉRIENNE : ÉCHANGES INTER-PHASES

3.1 - Quantité de mouvement

- Trainée
 - * Cas des particules sphériques
 - * Cas des particules non sphériques (gouttes et bulles)
- Portance
- Lubrification de paroi
- Masse virtuelle
- Dispersion turbulente

3.2 - Chaleur

- Coefficient d'échange thermique

3.3 - Masse

- Mécanismes de changement de phase
 - * Thermique
 - * Mécanique
- Changement de phase en équilibre thermodynamique local (instantané)
 - * Propriétés des matériaux à saturation
 - * Conseils pratiques
- Changement de phase hors équilibre thermodynamique local (non instantané)
 - * Modèle de changement de phase thermique
 - Modèle RPI wall boiling
 - Etc.
 - * Modèle de changement de phase mécanique
 - Modèle de Rayleigh Plesset (cavitation)
 - Modèle de condensation de gouttelettes

4 – APPROCHE EULÉRIENNE : ÉCOULEMENT DE SURFACE LIBRE

- Classification des écoulements de surface libre
- 2 approches
 - * Modèle Volume of fluid (VOF) (homogène)
 - * Modèle de mélange (non homogène)
- Modélisation de la tension de surface
- Conditions limites
- Schémas numériques
- Conseils pratiques

5 – APPROCHE EULÉRIENNE : MÉTHODES DE « POPULATION BALANCE »

- Modèle multi size group (MUSIG)
 - * Modèles de dislocation
 - * Modèles de coalescence
 - * Discrétisation des tailles
 - * Post-traitement
 - * Approche homogène
 - * Approche « non homogène »
- Modèle direct quadrature method of moments (DQMOM)
 - * Principe
- Comparaison des modèles MUSIG et DQMOM

6 – APPROCHE LANGRANGIENNE : ÉCHANGES INTER-PHASES

6.1 - Quantité de mouvement

- Trainée
- Flottabilité
- Masse virtuelle
- Gradient de pression
- Autres : électrostatique, magnétique, thermo phorétique, adhésion de Van der Waals, portance et trainée en proche paroi, etc.

6.2 - Chaleur

- Convection
- Rayonnement
- Changement d'état

6.3 - Masse

- Diffusion
- Convection
- Évaporation
- Réaction chimique (écoulements multiphasiques multi composants)

7 – APPROCHE LANGRANGIENNE : SUIVI DE PARTICULES

- Algorithme de suivi des particules
- Types de particule
- Dispersion turbulente en approche lagrangienne
- Conditions limites
 - * Injection de particules dans le domaine de calcul
 - * Traitement en proche paroi
- Modélisation de l'érosion
- Cas des écoulements instationnaires
- Contrôle de l'affichage sur le maillage des variables attachées aux particules
- Modélisation des collisions entre particules
- Modélisation de la dislocation et de la coalescence
- Écoulements « particle wall film »

8 – CHANGEMENT DE PHASE DANS LES ÉCOULEMENTS MULTIPHASIQUES MULTICOMPOSANTS

- Modélisation des transferts d'espèce
- Puits et source d'espèce
- Effets de l'enthalpie
- Modèle de condensation à la paroi

9 – TRUCS ET ASTUCES

- Conditions limites
- Conséquences d'une forte densité de particules
- Modélisation de la turbulence pour les écoulements multiphasiques
- Turbulence induite par les particules
- Modélisation de la surface interfaciale
- Problèmes de convergence
- Paramètres avancés et paramètres des CCL
- Problèmes lors des calculs en parallèle

FORMATION MAPDL MODULE A1

LA PRATIQUE D'ANSYS MAPDL

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 est requise. Aucune connaissance préalable dans le domaine de la simulation numérique avec le logiciel Ansys n'est requise.
OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	À l'issue de la formation, le stagiaire sera capable de : • Manipuler et créer un modèle Ansys dans l'interface MAPDL, • Mettre en place un modèle géométrique, • Créer un modèle éléments-finis, • Appliquer des conditions aux limites et chargements, • Post-traiter les résultats obtenus, • Utiliser des commandes APDL, des paramètres, boucles et conditions, • Aborder des thèmes tels que l'analyse modale, le zoom structurel...
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. 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	5 jours, soit 35 heures

CONTENU

1 - ARCHITECTURE ET ORGANISATION D'ANSYS

1.1 - Généralités et interface graphique

- Présentation des deux modes d'utilisation d'Ansys : "interactif" et "batch"
- Lancement d'Ansys : utilisation du Launcher
- Gestion de la mémoire utilisée par Ansys : mémoire réelle, mémoire virtuelle...
- Interface graphique (GUI) : menus, positionnement des fenêtres, personnalisation...
- La base de données Ansys et son fichier *.db
- Les principaux fichiers (hors *.db)
- Quitter l'interface
- Accès à la documentation en ligne

1.2 - Les bases d'Ansys

- Aperçu des menus de visualisation : PLOT et PLOTCTRLS
- Manipulations graphiques : pan, zoom, rotate, picking
- Systèmes de coordonnées
- Philosophie du module de sélection : listes des commandes, technique de sélection croisée...
- Création et utilisation de composants components

1.3 - Procédure générale d'une analyse statique linéaire par l'exemple

- Les différents niveaux : begin et processor levels
- Mise en données, calcul et post-traitement simplifié

2 - GÉNÉRATION DE MODÈLE

2.1 - Avant la génération du modèle

- Quels sont les détails à conserver ?
- Différents types de symétrie
- Qu'est-ce qu'un point de singularité

2.2 - Importation d'une géométrie

- Importation d'un IGES
- Méthodes de transfert standards et alternatives
- Interfaces Catia, Parasolid, Pro-Engineer, SAT et Unigraphics

2.3 - Création d'une géométrie

- Présentation du module de Solid Modeling (deux approches pour la création de géométrie)
- Intérêt et emploi du plan de travail (Working Plane)
- Utilisation des systèmes de coordonnées dans le Solid Modeling
- Pratique de la création de géométries : création des entités, utilisation des opérations booléennes, déplacer une géométrie...

2.4 - Modélisation éléments finis

- Description et définition des attributs : TYPE, REAL, MAT et SECN
- Définition et gestion des attributs
- Contrôle des maillages global et local : utilisation du MESHTOOL, technique du smart sizing...
- Maillage automatique : ordre de maillage, création ou modification de maillage...
- Maillage avancé : "mappé", libre guidé, par "sweeping", de transition "tet-hex"

2.5 - Définition des matériaux

3 - CHARGEMENT ET CALCUL DES MODÈLES

3.1 - Conditions aux limites et chargement

- Application sur le maillage ou la géométrie
 - * Avantages et inconvénients des deux méthodes
- Système de coordonnées nodales et charges ou conditions aux limites ponctuelles
- Autres types de chargement en mécanique et en thermique : réparti, volumique, inertie...
- Vérification par listing ou visualisation

3.2 - Organisation du module de chargement et d'analyse

- Différents types de solver : sparse, gradients conjugués PCG...
 - * Critères de choix
- Cas de charges multiples par création de fichiers (LSSOLVE) ou par succession de calculs (SOLVE)

4 - POST-TRAITEMENT DES RÉSULTATS

- Récupération directe des résultats aux nœuds (Query Picking)
- Système de coordonnées pour les résultats (RSYS)
- Projection des résultats sur une courbe (PATH) et opérations
- Estimation d'erreur sur le maillage : valeurs moyennées, non moyennées...
- Combinaison de cas de charge
- Utilisation du « Results Viewer »
- Présentation du « Variable Viewer »
- Génération de rapport

5 - OPTIMISER L'UTILISATION D'ANSYS

- Création de boutons de raccourci personnalisés dans l'interface
- Introduction au langage d'Ansys APDL : création et utilisation de paramètres...
- Création d'un fichier de données d'entrée
- Emploi du « Session editor » : récupération des noms de commande des actions en cours

6 - COMPLÉMENTS DE COURS

- Tableaux
 - * Différents types
 - * Définition
 - * Opérations
 - * Utilisation
- Couplage de nœuds et « constraint equations » : intérêt et définition
- Systèmes de coordonnées élémentaires
- Utilisation des éléments de « surface effects et application particulière de la pression
- Création d'un tableau de résultats sur les éléments (element table) et visualisation
- Modélisation d'une poutre
- Deux types d'analyse de champs couplés
 - * Exemples d'une analyse thermomécanique
- Principe du « submodeling »
- Introduction à l'analyse modale
- Introduction à l'analyse non linéaire
- Introduction au contact collé
- Quelques bases pour la création de macro

**FORMATION MAPDL
MODULE A2****ANSYS MAPDL NON-LINÉARITÉS****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 la technologie sous-jacente et maîtriser les algorithmes de solution utilisés pour mettre en œuvre des solutions non linéaires dans Ansys Mechanical,
- Décrire les trois types de non-linéarités dans Ansys Mechanical : géométrique, contact (changement de statut) et matériaux,
- Mettre en œuvre de manière approfondie la non-linéarités de contact,
- Comprendre les formulations élémentaires disponibles et quand les employer,
- Mettre en œuvre les lois matériaux non-linéaires d'Ansys : plasticité, fluage, hyper-élasticité, visco-élasticité, visco-plasticité...,
- Réaliser des calculs de flambage non linéaire,
- Reconnaître et corriger les causes les plus courantes de non-convergence dans les solutions non linéaires,
- Apprécier l'importance de la validation du modèle et plusieurs techniques qui peuvent être utilisées pour y parvenir.

**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. 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

5 jours, soit 35 heures

CONTENU

1 - GÉNÉRALITÉS

1.1 - Définitions

- Classification des différents types de non-linéarité
- Non-linéarité géométrique
- Non-linéarité de 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
- Critère et norme de convergence
- Condition 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 - NON-LINÉARITÉ DE CONTACT

2.1 - Les éléments de contact de type "gap" (contact nœud à nœud)

- Principe de fonctionnement
- Critères de choix des raideurs
- Prise en compte du frottement
- Éléments CONTAC12, CONTAC52, CONTAC178
- Génération automatique des éléments
- Précautions d'emploi et limitations intrinsèques à ces éléments
- Que faire en cas de difficulté de convergence
- Contrôle des résultats et post-traitements spécifiques

2.2 - Éléments de contact

- Élément de contact nœud-surface (CONTAC175)
- Élément de contact entre surfaces (TARGET169, 170, 171, CONTA172, 173, 174)
- Élément de contact entre lignes (CONTAC176)
- Élément de contact entre lignes et surfaces (CONTA177)
- Description des différentes formulations théoriques des éléments
- Formulation par pénalisation
- Formulation par pénalisation et multiplicateurs de Lagrange
- Importance et choix de la raideur de contact et des tolérances de pénétration
- Formulation lagrangienne pure

- Formulation par MPCs pour connexion automatique des maillages
- Régionalisation de l'espace et algorithme « pinball »
- Contact Manager et Contact Wizard
- Génération automatique des éléments de contact
- Principe de la génération manuelle
- Traitement spécifique des plaques et poutres (offsets)
- Techniques d'ajustement préalable des maillages
- Traitement des surfaces rigides, notion de nœud pilote, imposition d'une cinématique
- Prise en compte du frottement
- Formulation symétrique et non symétrique du contact : principe, intérêt, limite et choix
- Traitement des interférences et gaps initiaux
- Conduite des calculs, outils algorithmiques
- Débogage des modèles
- Contrôle des résultats et post-traitements spécifiques

2.3 - Aperçu sur la prise en compte des conditions de contact en thermomécanique couplée

2.4 - Examen de cas usuels

- Modélisation des assemblages boulonnés
- Modélisation du frettage
- Impact entre corps déformables

3 - ÉLÉMENT NON-LINÉAIRE

3.1 - Bibliothèque d'éléments

- Élément combinaison (COMBIN40)
- Élément COMBIN14 (en tant que dash-pot non linéaire)
- Élément de ressort non linéaire (COMBIN39)
- Élément rotule (COMBIN7)
- Élément de contrôle (COMBIN37)
- Élément de pré-tension (PRETS179)
- Élément de liaison pour la cinématique (MPC184)

3.2 - Modélisation des systèmes absorbeurs d'énergie

- Principe d'assemblage en série et/ou parallèle d'éléments non linéaires
- Obtention de lois rhéologiques particulières

3.3 - Option de vie et mort ("birth and death") des éléments

- Mise en œuvre
- Application à la modélisation du soudage
- Application aux constructions par phases en génie civil

3.4 - Modélisation des assemblages boulonnés

- Principe
- Élément PRETS179
- Mise en œuvre

4 - NON-LINÉARITÉ GÉOMÉTRIQUE

4.1 - Classification des types de non-linéarité géométrique

- Principales définitions
- Stress stiffening
- Grands déplacements
- Grandes rotations
- Grandes déformations

4.2 - Classification des instabilités élastiques et aspects phénoménologiques

- Terminologie et classification de la résistance des matériaux
- Flambage
- Voilement
- Cloquage
- Déversement

4.3 - Phénoménologie

- Bifurcation
- Post-flambage
- Snap-through
- Importance des imperfections géométriques
- Rôle et importance des non-linéarités de matériaux

4.4 - Description matérielle et spatiale du mouvement

- Description de la cinématique d'un corps solide déformable
- Tenseur gradient de la déformation
- Décomposition polaire
- Différentes mesures de la déformation : Green-Lagrange, Cauchy-Green, Hencky, Almansi
- Différentes mesures des contraintes : Cauchy, Piola-Kirchoff
- Conséquences pratiques
- Descriptions lagrangienne totale, actualisée et augmentée

4.5 - Traitement du stress-stiffening

- Intérêt et domaine de validité
- Forme de la matrice des contraintes initiales
- Processus itératif de calcul
- Validation des résultats

4.6 - Grands déplacements et grandes déformations

- Stratégie de modélisation
- Chargements suiveurs et non suiveurs
- Comparaison des différents éléments coques (SHELL63, 181, 281, SOLSH190)
- Eléments câbles (LINK10) et membranes (SHELL41)
- Processus itératif et incrémental de calcul
- Technique du « line search »
- Critères de convergence
- Détection d'une instabilité physique (flambage)
- Instabilité numérique
- Validation des résultats

4.7 - Instabilité élastique

- Flambement eulérien sur géométrie initiale
- Flambement eulérien sur géométrie déplacée
- Flambement en grands déplacements
- Pilotage en déplacement
- Pilotage en force avec stabilisation par ressorts
- Pilotage par la méthode de la longueur d'arc (Riks-Wempner)
- Stabilisation par calcul pseudo-dynamique
- Prise en compte des imperfections géométriques
- Critères de choix des éléments et de la finesse de maillage
- Analyse de cas tests classiques

5 - NON-LINÉARITÉ DES MATÉRIAUX

5.1 - Lois de comportement disponibles dans Ansys

- Élasticité non linéaire
- Hyper-élasticité (élastomères)
 - * Loi polynomiale
 - * Loi de Mooney-Rivlin
 - * Loi de Blatz-Ko
 - * Loi d'Ogden
 - * Loi d'Arruda-Boyce
- Plasticité
 - * Critère de plasticité
 - * Critère de von Mises
 - * Critère orthotrope de Hill
 - * Critère de Drucker-Prager
 - * Critère avancée pour les sols (cap-models)
 - * Lois d'écoulement de Prandtl-Reuss
 - * Différents modes d'écrouissage (isotrope, cinématique, mixte)
 - * Écrouissage complexe et loi de Chaboche
 - * Loi pour la fonte grise
 - * Alliage à mémoire de forme
 - * Importation d'un champ de contraintes initiales
- Modèles de béton et béton armé
 - * Plasticité
 - * Fissuration
 - * Transfert de cisaillement dans les fissures
 - * Écrasement en compression
- Viscoélasticité
 - * Aperçu sur les modèles physiques proposés
 - * Chaînes de Maxwell et loi de Prony
 - * Curve-fitting à partir d'essai de relaxation
 - * Effet de la température
 - * Domaine de validité
 - * Conduite des calculs
 - * Post-traitements spécifiques
- Viscoplasticité
 - * Modèle d'Anand et de Perzyna
 - * Types de problème : sensibilité à la vitesse de déformation, approche couplée du fluage
- Fluage
 - * Fluage primaire, secondaire et tertiaire
 - * Algorithmes d'intégration temporelle en schéma explicite et implicite
 - * Lois de fluage disponibles en standard
 - * Détermination des paramètres du matériau par curve-fitting à partir de résultats d'essai
 - * Introduction d'un modèle utilisateur
 - * Post-traitements spécifiques
- Gonflement sous irradiation (swelling) - Nature du phénomène et traitement numérique

5.2 - Algorithmes de calcul

- Stratégie de conduite des calculs
- Critères de convergence
- Post-traitements spécifiques dans POST1 et POST26
- Examen critique des résultats obtenus et critères de validation

**FORMATION MAPDL
MODULE A3****ANSYS MAPDL THERMIQUE****PUBLIC VISÉ**

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

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.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Comprendre les différents modes de transfert de chaleur,
- Appréhender les spécificités (matériaux, contacts, maillage) de l'analyse thermique,
- Mettre en place les conditions aux limites et chargements adéquats,
- Conduire une analyse linéaire en régime permanent,
- Mettre en œuvre une analyse non-linéaire,
- Réaliser un calcul transitoire,
- Traiter des problèmes de changement de phase ainsi que de couplage.

**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.

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

3 jours, soit 21 heures

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)

**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)

**FORMATION MAPDL
MODULE A5****ANSYS MAPDL SUPER-ÉLÉMENTS
SYNTHESE MODALE ET SUBMODELING**

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 : • Mettre en œuvre la technique de condensation de Guyan et d'en apprécier les limites d'emploi, • Utiliser l'une des méthodes de synthèse modale disponible dans Ansys, • Pratiquer une analyse de zoom structurel.
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. 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	2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 - TECHNIQUE DES SUPER-ÉLÉMENTS****1.1 - Généralités**

- Principe et intérêt de la méthode
- Bases théoriques
- Méthode de condensation statique
- Condensation de Guyan en dynamique
- Choix des degrés de liberté maîtres
- Exemples typiques d'utilisation
- Implications dans l'organisation des études d'un projet
- Limitations de la technique

1.2 - Super-éléments à niveau unique

- Enchaînement des différentes phases
- Génération des super-éléments (Génération Pass)
- Assemblage des super-éléments (Use Pass)
- Calcul des résultats à l'intérieur des super-éléments (Stress Pass)
- Implications sur la gestion des différents fichiers et des bases de données
- Conséquences sur la largeur de front
- Constitution d'une bibliothèque de composants
- Symétrisation, translation, rotation et répétition des super-éléments
- Différentes techniques de connexion des super-éléments
- Gestion des cas de charges multiples
- Visualisation des super-éléments

1.3 - Stratégie d'utilisation des super-éléments

- Différentes approches possibles
 - * Approche "top-down"
 - * Approche "bottom-up"
- Critères de choix de la méthode en fonction du type de structure

1.4 - Super-éléments en analyse dynamique modale

- Nécessité de prévoir des degrés de liberté maîtres internes
- Analyse en symétrie cyclique

1.5 - Techniques particulières

- Super-éléments à niveaux multiples
- Super-éléments avec précontrainte
- Super-éléments en grands déplacements
- Super-éléments en calcul de champs : thermique, électrostatique, etc.

2 - TECHNIQUE DE SYNTHÈSE MODALE

- Principe et intérêt de la méthode
- Méthode avec interfaces fixes (Craig et Bampton)
- Méthode avec interfaces libres (McNeal-Rubin)
- Méthode avec interfaces libres et flexibilités résiduelles
- Mise en œuvre par un script de commande
- Mise en œuvre par wizard spécialisé
- Application à l'analyse modale, harmonique, spectrale et transitoire
- Prise en compte de la précontrainte

3 - TECHNIQUE DU ZOOM STRUCTUREL

- Rappels concernant le principe de Saint-Venant
- Bases théoriques du zoom dans Ansys
- Précautions d'emploi et contrôle des résultats
- Gestion des fichiers et bases de données
- Zoom effectué sur des modèles 2D ou 3D volumiques
- Zoom d'un modèle 3D coques à un modèle 3D volumique

**FORMATION MAPDL
MODULE A6****ANSYS MAPDL LS-DYNA****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 principes et théories du calcul explicite,
- Mettre en place un modèle via l'interface Ansys MAPDL,
- Choisir les types d'éléments adaptés à sa simulation,
- Choisir une loi matériau adaptée à la simulation dynamique,
- Mettre en place les options d'analyse et chargements d'un calcul explicite,
- Gérer les contacts dans un modèle LS-DYNA,
- Utiliser LS-Prepost pour vérifier ou compléter sa mise en donnée et post-traiter les résultats de calculs.

**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.

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

3 jours, soit 21 heures

CONTENU**1 - APERÇU DES APPLICATIONS INDUSTRIELLES**

- Crash-test
- Drop-test
- Simulation de certains processus de mise en forme (emboutissage)
- Perforation de blindages
- Simulations des explosions
- Scénario de rupture de pale de turboréacteur
- Structures de génie civil (béton armé)

2 - RAPPELS THÉORIQUES CONCERNANT LA MÉTHODE EXPLICITE

- Équation fondamentale de la dynamique sous forme discrétisée
- Discrétisation spatiale : lagrangienne, eulérienne, eulérienne multi-matériaux, ALE et SPH
- Formes associées des tenseurs des déformations et des contraintes
- Schéma d'intégration temporelle des différences centrées
- Conditions de stabilité (CFL)
- Comparatif explicite/implicite (domaines d'emploi respectifs)
- Différents systèmes d'unités usuels

3 - ORGANISATION ET STRUCTURE DU LOGICIEL

- Fonctionnement dans l'interface Ansys Mechanical APDL (Classic) - PREP7, POST1, POST26
- Fonctionnement dans l'interface Ansys Workbench
- Utilisation de LS-PrePost
- Structure du fichier .k
- Fichiers spécifiques à LS-DYNA : d3plot, d3thdt, ASCII, etc.
- Enchaînement des différentes phases et transfert des données

4 - BIBLIOTHÈQUE D'ÉLÉMENTS

- Élément barre LINK160
- Élément poutre BEAM161
- Élément bidimensionnel PLANE162
- Élément coque SHELL163
- Élément volumique brique à 8 nœuds SOLID164
- Élément volumique tétraèdre à 10 nœuds SOLID168
- Élément ressort COMBI165
- Élément masse MASS166
- Élément câble LINK167
- Principe de la sous-intégration et contrôle des modes parasites de type Hourglass
- Précautions d'usage
- Compatibilité avec les éléments implicites d'Ansys Mechanical APDL (Classic)
- Autres éléments : coques à topologie volumique, tétraèdres à formulation mixte, etc.

5 - LOIS DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX

- Comportement élastique-linéaire
- Comportement visco-élastique
- Comportement élasto-plastique
- Comportement visco-plastique
- Cas spécifique de la loi de Johnson-Cook
- Introduction de l'endommagement et de la rupture
- Cas particulier des composites
- Élastomères : Mooney-Rivlin, Blatz-Ko, Ogden...
- Matériaux compressibles de type mousse
- Béton, roches et sols
- Différents modèles d'explosifs

6 - GESTION ET UTILISATION DES "PARTS"

- Intérêt des "parts"
- Création, édition et modification des "parts"
- Groupement de "parts"
- Sélection des "parts"

7 - APPLICATION DES CHARGES ET CONDITIONS AUX LIMITES

- Principes généraux
- Définition de liaisons extérieures
- Imposition de vitesses initiales
- Traitement des corps rigides
- Liaisons internes (cas particulier des points de soudure)
- Imposition d'un historique de chargement en force et/ou pression

8 - MODÉLISATION DES EXPLOSIONS

- Différentes approches
- Analyse des différents phénomènes physiques
- Chargement de type analytique : Brode, Conwep et Blast-enhanced
- Modélisation eulérienne multi matériaux des explosifs et du milieu de propagation
- Cas des explosions aériennes
- Cas des explosions sous-marines
- Traitement de l'interaction avec les structures

9 - TRAITEMENT DU CONTACT

- Présentation des différents algorithmes disponibles : AG, ASSC, SS, etc.
- Critères de choix
- Contact avec érosion et application à la perforation
- Cas particulier du contact sur les arêtes des coques
- Options avancées

10 - OUTILS DE CONTRÔLE DE LA SOLUTION

- Contrôle graphique des pas de temps de stabilité
- Contrôle du nombre de points d'intégration
- Intérêt et usage des différents fichiers outputs
- Gestion du volume des résultats
- Messages d'erreur
- Technique du mass-scaling : utilisation pour les analyses en quasi-statique
- Technique de maillage adaptatif
- Édition manuelle et modification du fichier .k
- Techniques de restart

11 - POST-TRAITEMENT

- Utilisation de POST1 et de POST26
- Utilisation de LS-PrePost
- Tracé d'isovaleurs
- Utilisation des systèmes de coordonnées
- Création d'histogrammes
- Techniques d'animation
- Établissement d'un bilan énergétique et de quantité de mouvement
- Obtention des forces de contact

12 - ENCHAÎNEMENT DE SÉQUENCES EXPLICITES/IMPLICITES

- Intérêt, principe et applications pratiques
- Séquence explicite-implicite (retour élastique)
- Correspondance entre éléments LS-DYNA et Ansys
- Importation des contraintes résiduelles
- Mise à jour de la géométrie (UPGEOM)
- Séquence implicite-explicite
- Application au calcul des structures précontraintes : réservoir, assemblage boulonné, structure en rotation
- Calcul implicite dans l'environnement LS-DYNA

13 - EXEMPLES

- Emboutissage
- Crash-test
- Drop-test
- Perforation d'une plaque
- Flambement élasto-plastique
- Scénario de rupture de pale de turboréacteur
- Explosion

**FORMATION MAPDL
MODULE A7****ANSYS MAPDL
DYNAMIQUE DES ROTORS****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 principes et théories relatifs à la dynamique des rotors,
- Mettre en place un modèle de rotor et de ces liaisons avec le stator,
- Réaliser des calculs en repère stationnaire ou tournant :
 - ✓ Analyses modales complexes,
 - ✓ Analyses harmoniques directe ou MSUP,
 - ✓ Analyses transitoire directe ou MSUP,
- Mettre en œuvre des charges synchrones ou asynchrones en analyse harmonique,
- Extraire et analyser les résultats (diagrammes de Campbell, orbites...),
- Prendre en compte le stator dans la modélisation (intérêt de la sous-structuration).

**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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU

1 - MODÉLISATION DES ROTORS PAR ÉLÉMENTS FINIS

- Spécificités, prise en compte des effets gyroscopiques
- Différentes approches
 - * Modèles poutres
 - * Modèles axisymétriques
 - * Modèles volumiques
- Modélisation des arbres
- Modélisation des disques
- Modélisation spécifique des paliers à raideur variable

2 - CALCUL DANS UN REPÈRE FIXE (STATIONNAIRE) ET DANS UN REPÈRE TOURNANT

- Hypothèses propres et limitations
- Types d'élément supporté
- Traitement des corps fixe et tournant
- Traitement des corps multiples tournant à des vitesses différentes
- Applications des conditions aux limites
- Différents types d'analyse
 - * Analyse modale complexe avec détermination des vitesses critiques
 - * Analyse harmonique directe ou par superposition modale avec forces excitatrices synchrones ou asynchrones
 - * Analyse transitoire directe ou par superposition modale

3 - POST-TRAITEMENTS SPÉCIFIQUES

- Tracé des diagrammes de Campbell
- Visualisation des orbites
- Impression des paramètres d'orbite
- Autres types de visualisation

4 - COMPLÉMENTS

- Utilisation des techniques de synthèses modale
- Sous-structuration des structures de supportage

Nota : Le cours est illustré de nombreux exemples dont les fichiers d'input sont fournis.

**FORMATION MAPDL
MODULE A8****ANSYS MAPDL VIBROACOUSTIQUE
ET INTERACTIONS FLUIDE-STRUCTURE****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 principes et théories relatifs à la vibroacoustique et l'IFS,
- Mettre en place un modèle et des chargements vibroacoustiques,
- Appliquer des conditions de frontière absorbante,
- Réaliser des calculs modaux, harmoniques et transitoires,
- Extraire et analyser les résultats,
- Mettre en œuvre un calcul d'Interaction Fluide Structure sous Ansys MAPDL.

**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.

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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU**1 – GÉNÉRALITÉS SUR L'INTERACTION FLUIDE-STRUCTURE**

- Classification des problèmes d'interaction-fluide-structure (IFS) du point de vue géométrique et physique
- Présentation des problématiques d'IFS dans différents secteurs industriels
- Types de description spatiale : formulation lagrangienne, eulérienne, ALE et SPH
- Domaines supportés par les produits de la gamme Ansys
- Hypothèses et formulations propres à la vibroacoustique
- Approches d'Ansys Mechanical APDL en vibroacoustique et IFS

2 – MISE EN ŒUVRE DE LA VIBROACOUSTIQUE DANS ANSYS

- Hypothèses et domaine de validité des éléments acoustiques
- Equation des ondes en temporel et fréquentiel
- Formulation matricielle des éléments acoustiques
- Eléments finis de milieu continu 2D plans, 2D axisymétriques et 3D (FLUID29, FLUID30, FLUID220, FLUID221)
- Différentes conditions aux limites : Dirichlet, Neumann, Robin, condition périodique de Floquet
- Modélisation des différentes sources d'excitation
 - * Application de pressions aux frontières
 - * Sources massiques
 - * Ondes incidentes de forme analytique
- Modélisation des matériaux absorbants (impédance complexe)
- Prise en compte du rayonnement acoustique (condition de Sommerfeld), notion de frontière absorbante
 - * Application d'une condition de type BGT-0
 - * Application d'une condition de type BGT-1
 - * Fondements théoriques et mise en œuvre des éléments de frontière FLUID129 et FLUID130 : formulation, conditions d'emploi
 - * Formulation et mise en œuvre des zones PML (Perfectly Matched Layers)
 - * Evaluation des performances de ces différentes approches sur des cas tests
- Traitement des surfaces libres, prise en compte des effets de ballonnement (sloshing)
- Construction des maillages, règles de l'art, précautions à prendre, positionnement des surfaces de troncature
- Types d'analyses supportées : modale, harmonique, transitoire
- Choix des solvers
- Post-traitement : pression, vitesses, intensité acoustique, puissance rayonnée, etc.

3 – MODÉLISATION DE L'IFS DANS L'HYPOTHÈSE ACOUSTIQUE

3.1 – Couplage bidirectionnel fort

- Types d'éléments structuraux supportés : volumique, coque à topologie volumique, coque surfacique
- Traitement numérique de la condition d'IFS, formulations symétrique (u-p) et non-symétrique (u-p- ϕ)
- Conséquences pratiques du choix d'une formulation particulière : ressources informatiques, temps de calcul, conditionnement numérique
- Application pratique des conditions d'IFS au niveau du maillage
 - * IFS avec des maillages conformes
 - * IFS avec des maillages non conformes via des éléments de contact

3.2 – Couplage monodirectionnel faible

- Principe
- Domaine de validité de cette approche
- Passage des champs de vitesses particulières entre le modèle structural et le modèle acoustique

4 – COMPLÉMENTS SUR LES MODÈLES AVANCÉS

- Milieux acoustiques non uniformes
- Milieux visco-thermiques
- Modèle de Johnson-Chapoux-Allard
- Modèle de Delany-Bazley et Miki

**FORMATION MAPDL
MODULE A9****ANSYS MAPDL
CUSTOMISATION APDL****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 :

- Utiliser les paramètres et tableaux de manière optimale,
- Créer des programmes (macros),
- Récupérer et utiliser des informations dans les modèles,
- Interagir avec le GUI,
- Mettre en œuvre des boucles et conditions.

**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.

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

1 jour, soit 7 heures

CONTENU**1 - PRÉSENTATION**

- Intérêt
- Fonctionnement

2 - PERSONNALISATION DE LA BARRE D'OUTILS

- Utilisation
- Modification
- Sauvegarde
- Réseau de barres d'outils

3 - UTILISATION DE PARAMÈTRES

- Types
- Déclaration et libération
- Règles à respecter
- Utilisation en dynamique
- Opérations mathématiques

4 - UTILISATION DE TABLEAUX

- Types
- Définition
- Création
- Commandes de remplissage
- Opérations mathématiques
- Exemples d'utilisation

5 - CRÉATION DE MACROS

- Définition
- Arguments
- Règles à respecter
- Méthodes de création

6 - RÉCUPÉRATION D'INFORMATIONS

- Méthodes de récupération
- Gestion de fichiers
- Format d'enregistrement

7 - INTÉRACTION AVEC LA GUI

- Demande de valeurs
- Affichage de messages
- Barre de progression
- Fenêtre de sélection

8 - OPÉRATIONS DE BOUCLE ET DE TEST

- Commandes de renvoi
- Commandes de condition
- Commandes de boucle
- Variables de vérification

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

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens du génie civil.

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 :

- Mettre en place un modèle éléments-finis orienté Génie Civil, en particulier sur la modélisation de l'interaction sol-structure,
- Gérer les aspects non-linéaires d'un calcul, en particulier sur les lois matériaux (acier, béton, sols),
- Traiter des problèmes dynamiques couramment rencontrés en Génie Civil (charge roulante, séisme, interaction fluide-structure...).

**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.

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

5 jours, soit 35 heures

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'incrément automatique de la charge
- Utilisation des prédictors
- 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
- Pieux et micropieux

2.2 - Différentes échelles de modélisation

2.3 - Éléments 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 - Éléments 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 - Éléments 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 avancés : 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 freiné

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
- Enchainement 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)

FORMATION HFSS
MODULE E1**INTRODUCTION À ANSYS HFSS****PUBLIC VISÉ**

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

Aucune connaissance préalable dans le domaine de la CAO ou de la simulation numérique avec les logiciels d'Ansys n'est requise.

**OBJECTIFS
PÉDAGOGIQUES**

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

- Utiliser l'interface graphique et le modèleur 3D, à travers l'environnement global Ansys Electronics Desktop (AEDT),
- Mettre en œuvre le workflow HFSS : construction de géométrie ; définition du domaine de calcul, des ports, du maillage et des conditions aux limites ; configuration des simulations, du balayage fréquentiel et du post-traitement,
- Configurer des simulations HFSS, incluant des excitations, des conditions aux limites, des paramètres (force, matrices, etc.), des opérations de maillage et des scénarios d'analyses,
- Configurer des calculs Haute Performance (HPC), des calculs paramétriques, et processus d'optimisation dans HFSS Optimetrics,
- Représenter les résultats de simulation HFSS à travers des graphes 2D/3D et des cartographies de champ électromagnétique visible sur la géométrie.

**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. 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

3 jours, soit 21 heures

CONTENU**1 - INTRODUCTION**

- A propos d'Ansys
- Présentation de l'environnement Ansys Electronics Desktop (AEDT)
- Présentation de HFSS dans l'environnement AEDT
- Présentation de l'interface graphique
- CAO dans HFSS (MCAD et ECAD)
- Présentation des solveurs
- Présentation du processus de résolution
- Workflow d'une simulation HFSS (HFSS Project Manager)

2 - DOMAINE DE CALCUL ET FRONTIÈRES

- Différents types de domaines de calcul
- Différents types de frontières (conditions aux limites)
 - * PEC (Perfect Electric Conductor)
 - * PML (Perfect Matched Layer)
 - * ABC (Absorbing Boundary Condition), etc.
- Création de domaine de calcul
- Application des conditions aux limites

3 - CONFIGURATION DE LA SIMULATION

- Configuration automatique
- Configuration avancée
- Génération et adaptation de maillage
- Convergence de la solution
- Analyse multi fréquentielle
- Différents types de simulation (ou solution)

4 - POST-TRAITEMENT

- Différents types de résultats
- Différents types de représentation de résultats
- Création et Modification de graphes
- Manipulations (annotations, copies, exportation, etc.) de graphes
- Création de cartographie de champs
- Superposition de cartographies de champs sur la géométrie

5 - CONSTRUCTION DE GÉOMETRIE

- Création de formes
- Paramétrisation, utilisation de variables
- Coordonnées absolues
- Coordonnées relatives
- Fonctionnalités d'apparence
- Modifications de forme

6 – PORTS ET EXCITATIONS

- Différents types de ports et d'excitation
- Notion de « Lumped Ports »
- Notion de « Wave Ports »
- Ports et types de simulation (ou solution) associés
- Critères de choix du type de port

7 – CALCUL HAUTE PERFORMANCE ET OPTIMISATION

- Méthode de Décomposition de Domaine
- Méthode de Décomposition Spectrale
- Calcul parallèle
- Calcul distribué
- Introduction au module « Optimetrics » dans HFSS
 - * Analyse paramétrique
 - * Optimisation
 - * Analyse de sensibilité, etc.

FORMATION MAXWELL MODULE E2

INTRODUCTION À ANSYS MAXWELL

PUBLIC VISÉ

Cette formation s'adresse à des ingénieurs et techniciens.

PRÉREQUIS

Aucune connaissance préalable dans le domaine de la CAO ou de la simulation numérique avec les logiciels d'Ansys n'est requise.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

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

- Utiliser l'interface graphique Maxwell, comprendre la structure de fichiers, mettre en œuvre le maillage, les conditions aux limites et les différents modes d'excitation,
- Configurer des simulations Maxwell 2D et 3D, incluant les excitations, les conditions aux limites, les paramètres (force, matrices, etc.), les opérations de maillage et les scénarios d'analyses,
- Comprendre les différences entre les solveurs statiques AC/DC Conduction, Fréquentiel Magnétique, Magnétostatique et Électrostatique,
- Comprendre l'utilisation du solveur Électrique/Magnétique Transitoire incluant le mouvement, les excitations, les paramètres et les modèles de pertes,
- Configurer des modèles paramétriques pour des études de variation,
- Représenter les résultats de simulation Maxwell à travers des graphes 2D/3D et des cartographies de champ électromagnétique visible sur la géométrie.

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. 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

2 jours, soit 14 heures

CONTENU

1 – CONCEPTS DE BASE

- A propos d'Ansys
- Présentation d'Ansys Maxwell
- Présentation de l'interface graphique (AEDT)
- Présentation des solveurs
- Génération et adaptation de maillage
- Présentation du solveur magnétostatique
- Définition des propriétés matériaux
- Définition des conditions aux limites
- Définition des sources (excitations)
- Calcul d'inductance
- Configuration de la simulation
- Analyse paramétrique
- Bases du post-traitement
- Création, modification et importation de géométrie

2 – SOLVEURS QUASI-STATIQUES

- Solveur Magnétique Fréquentiel (« Eddy Current Solver »)
 - * Prise en compte et Calcul des Pertes Fer
- Solveur Electrostatique
- Solveur pour la Conduction AC
- Solveur pour la Conduction DC

3 – SOLVEURS TRANSITOIRES

- Solveur Magnétique Transitoire
- Solveur Electrique Transitoire
- Calcul des pertes fer et des effets dus au courant de Foucault
- Définition des sources (excitations)
- Circuit externe
- Différentes opérations sur le maillage
 - * Maillage basé sur les effets de peau, etc.
 - * Notion de liaison de maillage

4 - POST-TRAITEMENT ET ANALYSE PARAMÉTRIQUE

- Présentation du post-traitement dans Maxwell
- Représentation 2D et 3D de résultats
- Calcul de champs
- Cartographie de champs
- Superposition de cartographie de champs sur la géométrie
- Présentation du module « Optimetrics » dans Maxwell
 - * Analyse paramétrique
 - * Optimisation
 - * Analyse de sensibilité, etc.

5 – ANALYSE MULTIPHYSIQUE

- Introduction à Ansys Workbench
- Workflow de base
- Partage de données entre différents solveurs de différentes physiques
- Intégration d'Ansys Maxwell dans Ansys Workbench
- Présentation des technologies de couplage de données
- Couplage Maxwell – Mechanical (Simulation électromécanique)
- Couplage Maxwell – Fluent (Simulation électrothermique)
- Couplages monodirectionnel et bidirectionnel (« One-Way » and « Two-Way » coupling)