

Conception et sûreté nucléaire

Outils et méthodes pour la dynamique

ALMA CONSULTING

2026

Formations Dynamique des Structures

Catalogue de formation 2026 | Intra

Avant propos

Cet ensemble de mini-formations se veut à la fois minimaliste et cohérent permettant aux ingénieurs en charge de la conception ou de la justification de matériels de disposer des notions de base pour non seulement suivre les procédures mais également disposer d'un sens critique, autant sur les différentes approches possibles que sur le détail de leur mise en oeuvre. La portée et les limites des méthodes sont données, conduisant d'une part à la définition de points de vigilance, et d'autre part à développer une compréhension de ce que peut être un calcul "précis au sens de l'ingénieur".

Quel que soit le sujet abordé, l'accent est mis avant tout sur une compréhension intuitive des phénomènes, condition *sine qua non* d'une modélisation au juste nécessaire. Dans un second temps, les aspects de mise en œuvre sont traités, d'abord par des exemples minimalistes, traitables par des calculs manuels, puis sur des modèles jouets, permettant d'explorer et valider les possibilités offertes par les outils numériques.

Enfin, et tout aussi important, le lien avec les essais physiques est fait. La remontée d'informations réelles, que ce soit sur des maquettes isolées, lors du commissioning ou bien en phase d'exploitation sont la seule et unique source de progrès pour l'ingénieur, l'informant aussi bien sur la qualité de ce qu'il sait que sur l'existence de ce qu'il ne sait pas encore. Pour ce faire, les travaux pratiques seront réalisés sur des structures test dont un exemplaire physique sera disponible en salle, permettant de confronter immédiatement les résultats des calculs aux observations.

Liste des modules

Analyse modale - Fondamentaux	3
Analyse modale - approche spectrale et utilisation en sismique (nouveau 2026)	5
Analyse modale - méthodes expérimentales (nouveau 2026)	7
Interactions Fluide-structure - effets physiques et modèles équivalents	9
Impacts - effets physiques et prise en compte numérique	11
Superéléments - Principes et mise en œuvre	13
Traitement du signal - applications mécaniques	15
APDL Math - développement de procédures non-standard	16

Analyse Modale - Fondamentaux et utilisation pratique

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (exposé) + 3h (mise en œuvre pratique)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à revisiter les notions de modes propres et leur mise en œuvre à la fois pour la construction de modèles en dynamique des structures mais aussi pour l'interprétation du comportement de composants réels.

Le but visé est d'être en capacité d'analyser un problème et de décider si une approche modale (éventuellement non-linéaire) est pertinente, puis de définir et vérifier la base modale utilisée.

Un accent particulier sera mis sur l'interprétation des résultats (y compris intermédiaires), ainsi que leur sensibilité aux hypothèses.

Le lien avec les essais sera fait.

Pré-requis

- > une connaissance minimale des matériels à valider et des sollicitations qui leur seront appliquées est souhaitable.
- > option : familiarité avec un outil type Matlab/Octave, Scilab ou Python(Numpy), pour permettre la construction de modèles jouets

Contenu

- > approche intuitive : cas limite sur un système masse/ressort puis une poutre sur ressort spiral. Notions de basses, moyennes et hautes fréquences

- > approche numérique 1 : base modale, passage d'un problème physique à sa projection modale, résolution, puis expansion
- > applications pratiques : prise en compte de l'amortissement, réponse harmonique, transitoire, vibrations aléatoires, sensibilités, formules approchées.
- > Notions de masse modale, masse effective et masse apparente.
- > Distinction entre réponse en force et en déplacement
- > approche numérique 2 : modes réels, modes complexes, prise en compte de l'amortissement (concentré et réparti).
- > lien avec les essais : grandeurs accessibles expérimentalement, limitations, identification modale (Analyse modale expérimentale et opérationnelle)

Cas pratiques

- > TP numérique : réponse verticale d'un gros composant, interaction plancher matériel
- > TP expérimental : mesure de la réponse dynamique d'un système à 6ddl, identification des modes (EMA et OMA)

Analyse Modale Spectrale Evaluation de la tenue sous séisme

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (exposé) + 4h (mise en œuvre pratique)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à mettre en œuvre l'approche modale spectrale pour l'évaluation de la tenue sismique de composants puis de systèmes mécaniques.

Le but visé est d'être en capacité d'analyser un problème et de décider si une approche modale spectrale est pertinente, puis d'en définir les modalités pratiques : approche intégrée ou en cascade, niveau de détail du modèle, sélection de la base modale et des taux d'amortissement, méthode de sollicitation (mono ou multi appuis), méthode de combinaison. L'approche sera volontairement pragmatique et progressive et permettra de passer progressivement de cas d'école vers des cas industriels.

Un accent particulier sera mis sur l'interprétation des données d'entrée et des résultats (y compris intermédiaires), ainsi que leur sensibilité aux hypothèses.

Le lien avec les essais sera fait par une maquette et des instruments de mesure disponibles en salle.

Pré-requis

- > une connaissance minimale des matériels à valider et des sollicitations qui leur seront appliquées est souhaitable.
- > option : familiarité avec un outil type Matlab/Octave ou Python(Spyder), pour permettre la construction de modèles jouets

Contenu

- > approche intuitive : cas limite sur un système masse/ressort, notion de spectre de réponse.
- > approche numérique 1 : calcul pratique d'un spectre de réponse, interprétations physiques de la zone amplifiée.
- > applications pratiques : prise en compte de l'amortissement
- > applications pratiques : niveau de détail requis, utilisation de sous-modèles
- > applications pratiques : critères de sélection des modes significatifs.
- > approche numérique 2 : structure complexe : base modale à 1 puis 2 modes, passage d'un problème physique à sa projection modale, résolution, puis expansion
- > applications pratiques : approche intégrée ou en cascade, transfert de spectres
- > lien avec les essais : grandeurs accessibles expérimentalement, limitations, identification modale

Cas pratiques

- > TP numérique : réponse tridimensionnelle d'un gros composant
- > TP expérimental : sollicitation d'une maquette en séance, enregistrement des signaux d'entrée et de sortie, comparaison avec les prévisions et discussion

Analyse Modale - Aspects expérimentaux

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	6h (alternance de rappels théoriques et de mise en œuvre pratique)
Lieu	sur site

Objectifs

Cette formation vise à donner une vue d'ensemble des procédures expérimentales permettant la construction d'un modèle modal à partir de mouvements observés, soit sous excitation contrôlée (analyse modale expérimentale AME) ou bien naturelle (analyse modale opérationnelle AMO).

Pour ce faire, une série de cas d'application pratiques seront proposés, en séparant autant que faire se peut les difficultés. Toutes les mesures seront réalisées par les participants, qui auront donc l'opportunité de toucher du doigt les conséquences des .

La formation sera assurée par des outils génériques, et l'accent sera mis sur les principes, la portée et les limites de ces techniques.

Le local proposé pour la formation mesure devra être mis à disposition du formateur au moins 2h avant le début du cours et devra pouvoir accueillir les moyens d'essai (table de dimensions minimales 120x90cm, supportant une masse totale de 50kg, hauteur standard). Le nombre de participants est limité à 4..

Pré-requis

- > les notions de mode et de réponse en fréquence doivent impérativement être acquises.
- > une connaissance minimale des matériels à valider et des sollicitations qui leur seront appliquées est souhaitable.
- > option : familiarité avec un outil type Matlab/Octave, Scilab ou Python(Spyder), pour permettre la construction de modèles jouets

Contenu

Les cas d'application suivants sont proposés.

- > Système 1ddl : plaque sur supports élastiques (pompage vertical)
 - > cas linéaire faiblement amorti
 - > cas linéaire fortement amorti
 - > cas faiblement non-linéaire (ajout d'une butée progressive)
- > Système 6ddl puis 12ddl : plaque(s) sur colonnettes
 - > cas linéaire faiblement amorti
 - > cas faiblement non-linéaire (comportement hyperstatique / ajout d'une butée progressive)
- > Limites pratiques :
 - > Accessibilité
 - > Bruit instrumental
 - > Interactions avec l'environnement support
 - > Couplage inter-modal

Pour chaque cas de figure, l'identification sera réalisée par analyse modale expérimentale puis opérationnelle, illustrant les avantages comparés des deux approches.

Formation Interactions Fluide-Structure

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (notions de base) + 3h (cas pratiques)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à doter les participants d'une compréhension solidement établie des différents effets que peuvent avoir la présence d'un fluide entourant une structure en mouvement. Le but visé est d'être en capacité - lorsque cela se justifie- de remplacer le fluide par des équivalents mécaniques (masses hydrodynamiques, amortisseurs, raideurs) suffisants pour représenter la rétroaction du fluide sur la structure. L'exposé sera général mais l'accent sera mis sur les problématiques rencontrés dans les analyses de durée de vie et de sûreté de fonctionnement des réacteurs de puissance. A l'issue de la formation, les stagiaires sauront interpréter et anticiper les effets du fluide sur la réponse vibratoire ou sismique de leurs installations, ouvrant la voie vers des conceptions pertinentes, des calculs rapides et/ou une résolution efficace des problèmes rencontrés.

Nota : la prévision de la réponse vibratoire sous écoulement est traitée dans un module dédié.

Pré-requis

- > indispensable : notions de base en dynamique des structures linéaires (notion d'oscillateur généralisé, de base modale, et d'impédance mécanique)
- > option : familiarité avec ANSYS MAPDL ou Matlab/Octave/Python(Numpy), pour permettre la construction de modèles jouets

Contenu

- > approche intuitive : Cas limites de fluide parfait en conduits, en espace infini puis confiné, effet de la compressibilité, origines et prise en compte de la dissipation, modélisation simplifiées.

- > approche numérique : développement du modèle fluide et connexion avec la mécanique dans le cas général, application à un ensemble de cavités et de communications, validations.

Cas pratiques

- > TP expérimental : cas d'une plaque percée oscillant dans un fluide au repos. Analyse du problème, modélisation analytique, prévision de la réponse en force (réponse sous écoulement) et en déplacement (réponse sismique), comparaison avec les observations expérimentales. NB : le dispositif ainsi qu'une instrumentation seront disponibles en salle.
- > TP numériques : cas géométriquement simples (tubes, viroles, blocs, cavités) ou le cas échéant cas d'applications soumis par les stagiaires.

Formation Impacts

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (notions de base) + 3h (cas pratiques)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à doter les participants d'une compréhension solide des différents effets des non-linéarités de contact sur la réponse dynamique des systèmes mécaniques.

Le but visé est d'être en capacité d'analyser correctement les problèmes, d'en prévoir les caractéristiques principales (durée et fréquence des impacts, écarts par rapport à la solution linéaire, ordres de grandeurs et cas-limites), avant d'en faire une évaluation par des moyens numériques du type calculs transitoires, au juste nécessaire.

A l'issue de la formation, les stagiaires sauront interpréter et anticiper les effets des impacts sur la réponse vibratoire ou sismique de leurs installations, ouvrant la voie vers des conceptions pertinentes, des calculs rapides et/ou une résolution efficace des problèmes rencontrés.

L'accent sera mis sur les sollicitations de type impulsif, le cas des vibrations entretenues (dynamique stochastique) ne sera pas traité.

Pré-requis

- > indispensable : notions de base en dynamique des structures linéaires (notion d'oscillateur généralisé et de base modale)
- > option : familiarité avec ANSYS MAPDL ou Matlab/Octave/Python(Numpy), pour permettre la construction de modèles jouets

Notions abordées

- > approche intuitive : cas limites sur un oscillateur élastique venant impacter une butée unilatérale. Calculs analytiques et semi-analytiques. Notion de Spectre de Réponse au Choc, de coefficient de restitution.
- > approche numérique : choix de la méthode, des formulations d'éléments, réglage optimal des paramètres numériques et informatique. Rôle et apports des méthodes de condensation.
- > approche pratique : développement efficace de modèles, procédure de montage et de validation, limites intrinsèques.

Cas pratiques

- > TP expérimental : cas d'une poutre uniforme pivotant sur un axe et venant impacter une butée élastique. NB : le dispositif ainsi qu'une instrumentation seront disponibles en salle, permettant notamment de faire varier la hauteur de chute, la raideur de l'impacteur ainsi que son emplacement, et de relever instantanément les signaux d'effort et de réponse vibratoire.
- > TP numériques : cas géométriquement simples (impacts axiaux, transverse), pour lesquels des solutions analytiques existent.

Formation Superéléments

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (exposé et mise en œuvre pratique)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à doter les participants d'une compréhension solide des concepts et techniques de mise en œuvre pour la condensation de modèles en dynamique des structures.

Le but visé est d'être en capacité d'analyser un problème et de décider si -et le cas échéant quel type- de méthode de condensation (statique ou dynamique) seraient pertinentes.

Un accent particulier sera mis concernant les difficultés éventuelles et les vérifications indispensables lors de la mise en œuvre.

A l'issue de la formation, les stagiaires sauront interpréter et anticiper l'effet d'une condensation d'une partie de leur modèles sur sur la réponse vibratoire ou sismique de leurs installations, ouvrant la voie vers des conceptions pertinentes, des calculs rapides et/ou une résolution efficace des problèmes rencontrés.

Pré-requis

- > indispensable : notions de base en dynamique des structures linéaires (raideur et masse, notions de modes propres, masse et raideur apparentes).

Contenu

- > approche intuitive : cas limite sur une poutre alvéolée.
- > approche numérique : condensation statique (Guyan) et dynamique (Craig-Bampton), critères d'équivalence entre modèle d'origine et condensé

- > cas particulier des chargements : load vectors (efforts internes, pressions, expansion thermique, gravité)
- > cas particulier des sorties : où la condensation ne dispense pas d'être parcimonieux

Cas pratiques

- > TP numérique 1 : condensation d'une structure élancée
- > TP numérique 2 : condensation d'une structure industrielle (internes supérieurs EPR, conversion d'un modèle détaillé utilisé pour l'analyse des contraintes vers un modèle condensé.

Formation Traitement du Signal

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (notions de base et cas pratiques)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à doter les participants d'une compréhension élémentaire mais solide des différents outils de traitement de signal pertinents pour les études dynamiques. L'approche sera plus pratique que théorique, l'idée étant d'illustrer les notions par des cas d'application au fur et à mesure de leur introduction.

Pré-requis

- > requis : familiarité avec Matlab/Octave/Python(Numpy), pour permettre la réalisation de cas-test au fur et à mesure de l'exposé
- > option : notions de base en dynamique des structures linéaires (modes et de transmissibilité)

Contenu

- > notion de spectre d'amplitude et de spectre de puissance
- > notions de densité spectrale, variance cumulée
- > moments spectraux, distribution des extrêma
- > intégration et dérivation de signaux

Cas pratiques

- > TP 1 : estimation de transmissibilité (amplification spectres sismiques)
- > TP 2 : analyse modale opérationnelle 'à la main' (identification)

Formation APDL Math

Catalogue de formation 2026 | Intra

Public Visé	Ingénieurs (débutants à confirmés)
Domaine	Mécanique avec applications en dynamique
Durée	3h (exposé et mise en œuvre pratique)
Lieu	sur site

Objectifs

La formation vise à donner une vision d'ensemble des fonctionnalités mises à disposition par l'outil APDL Math, un ensemble de fonctionnalités incluses dans ANSYS/Mechanical APDL. A terme, il s'agit de pouvoir intervenir directement au niveau du modèle numérique, soit en le modifiant, soit en créant des fonctionnalités indisponibles en base.

Pré-requis

- > maîtrise de l'environnement ANSYS et du langage APDL
- > option : avoir suivi la formation Superéléments

Contenu

- > vision d'ensemble : fonctionnalités disponibles, similitudes et différences avec APDL
- > en pratique : import et export d'information entre le workspace APDL et APDLMath.
- > applications : récupération de matrices assemblées et / ou de superéléments
- > utilisation des solver (statique, modal, harmonique) depuis APDL Math.

Contenu - Cas pratiques

- > TP numérique 1 : calcul de sensibilité sur une base modale
- > TP numérique 2 : condensation de résultats transitoires par SVD