



# **Bachelor Chargé d'Etudes en Conception de Systèmes Mécaniques**

**Programme certifié France Compétences**

Par décision du 19/04/2021

Code RNCP : 35546

Code Diplôme : 26R22001

# **PROGRAMME DE LA FORMATION**

# CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

## Durée

8 heures

## Intervenant (s)

## Objectif

- Faire prendre conscience aux étudiants de l'importance d'établir un cahier des charges fonctionnel avant de commencer l'étude d'un produit nouveau.
- Donner le schéma de principe d'un cahier des charges et des différentes rubriques qui le composent.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Cette séquence est une introduction au module de Méthodologie de Développement de Produit, et son contenu sert de fondation à la compréhension des organisations, méthodes et outils décrits dans le cours.

## Prérequis

### **Connaissance de l'organisation de l'entreprise,**

Organisation générale de l'entreprise, connaissance et place des différentes fonctions de l'entreprise, management matriciel.

## Contenu

### 1 – Introduction :

Importance d'un document de référence dans le développement d'un produit nouveau, illustré par quelques contre exemples célèbres.

### 2 – Analyse fonctionnelle du besoin,

- D'où proviennent les informations,
- Ce pour quoi elle est faite,
- Constitution du document,
- Gestion du cahier des charges

### 3 – Analyse fonctionnelle interne,

- Comment traduire le cahier des charges fonctionnel ?
- Ce pour quoi elle est faite,
- Comment structurer les résultats ?

### 4 – Comment gérer le compromis entre AFB et AFI ?

## Répartition horaire idéale

## Méthodes pédagogiques

Le cours sur le cahier des charges est construit afin d'atteindre un double objectif :

1- la compréhension par les étudiants de la réalisation et de la gestion d'un document référence au développement de produit nouveau,

2- l'appropriation de la démarche et de sa mise en œuvre à partir d'exemples concrets. Ceux-ci permettent de faire vivre aux étudiants des situations réelles aussi proches que possible de ce qu'ils vivent durant leurs séjours dans le monde industriel et ainsi de construire des réponses adaptées aux problèmes posés.

L'enseignement se construit à partir d'apports théoriques issus des ouvrages référencés dans la bibliographie, complétés par des exemples récents du monde industriel.

Les apports sont faits à partir de transparents.

Une étude de cas servira à contrôler la bonne compréhension par les étudiants du concept.

## Mode d'évaluation

Devoir sur une étude de cas

## Bibliographie

- L'analyse de la valeur G - Lafolie
- Méthode d'organisation Industrielle "TMI" - BTE
- Qualité en conception - AFAV- AFNOR
- Normes AFNOR,
- Guide du responsable de Production - J.Vilon- Weka
- Guide du Bureau d'étude - Maucotel - Weka
- La gestion de Projet- Weka

# COTATION FONCTIONNELLE ET COTATION ISO

## Durée

<input type="checkbox"/> Technologie dimensionnelle	32h (8 séances)
<input type="checkbox"/> Cotation ISO	12h (3 séances)

## Intervenant (s)

Laurent GIRAUD

## Objectif

Apporter aux étudiants les connaissances nécessaires à l'établissement de chaînes de cotes tel qu'elles sont traitées dans l'industrie. En particulier l'accent est mis sur les liens produit/processus et sur l'analyse des positionnements. Présenter les normes et principes généraux qui régissent l'écriture des spécifications sur les plans. Mettre en avant le lien conception/cotation au travers du lien modélisation/spécification.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

En début d'alternance, cette séquence se positionne dans la même période d'apprentissage que les cours de CAO volumique et surfacique.

## Prérequis

Lecture de plans mécaniques, connaissances des processus de fabrication par enlèvement de matière, notion de gammes de fabrication, maîtrise de l'arithmétique, notions élémentaires de statistiques, notion d'analyse fonctionnelle, la connaissance d'autres processus (injection plastique, emboutissage, ferrage) est un plus.

## Contenu

Le cours de technologie des dimensions se développe sur trois axes :

- L'introduction des méthodes et méthodologies de cotation fonctionnelle dans le cycle de conception d'un mécanisme à partir d'une analyse fonctionnelle.
- La prise en compte des processus de fabrication des composants et des capacités des moyens.
- L'apprentissage des principes de tolérancement géométrique et dimensionnel des composants d'un système mécanique,

### ***1 - Cotation fonctionnelle d'un mécanisme***

- Positionnement dans le flux de conception
- Outils de construction et de calculs utilisés en cotation
- Ajustements
- Cas particuliers : assemblage conique, analyse graphique, modélisation des contraintes, mobilités internes, hyperstatisme.
- Liens produit/processus (transferts de cotations)
- Approche statistique de la cotation
- Etudes de cas

### ***2 - Principes élémentaire de tolérancement d'un mécanisme (cotation ISO)***

- Référentiel : référence et construction des référentiels
- Tolérancement géométrique de forme, d'orientation, de position et de battement
- Etats de surfaces
- Tolérancement des profils
- Symboles modificateurs : enveloppe, maximum matière...

## Répartition horaire idéale

- Technologie dimensionnelle      8 séances de 4h (sur la même alternance)

- Cotation ISO 3 séances de 4h planifiées sur une période de 1 semaine

## Méthodes pédagogiques

- Présentation des objectifs.
- Cours pseudo magistral
- Travaux dirigés
- Synthèse

## Mode d'évaluation

Evaluation en 3 parties :

- Cotation fonctionnelle (1h30)
- Transferts de côtes (1h)
- Cotation ISO (1h)

## Bibliographie

- Normes ISO 8015, 1101, 5459, 14405
- Normes ISO équivalentes aux normes françaises de NFE 04 550 à NFE 04 565
- Guide du dessinateur industriel
- DESSIN TECHNIQUE Comprendre et maîtriser la localisation de M. GEORGE Michel chez AFNOR technique

# METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE PRODUIT

(Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur)

## Durée

6 séances de 4 heures, soit 24h.

## Intervenant (s)

## Objectif

Fournir les outils méthodologiques et organisationnels de conception et de re-conception (optimisation, amélioration, innovation) de produits :

- Cadrage d'un projet AV (Analyse de la Valeur)
- Analyse Fonctionnelle du Besoin
- Rédaction de CDCF (CdC Fonctionnel)
- Analyse de la Valeur et créativité
- Construction et évaluation multicritère de scénarios de solutions
- Organisation projet et travail en groupe pluridisciplinaire

Formation selon les requis du premier module (VM1 – fondamentaux du Management par la Valeur) du référentiel européen ([http://valueforeurope.com/wordpress/?page\\_id=9](http://valueforeurope.com/wordpress/?page_id=9)) pour le programme et processus de certification en AV/MV. Cette formation (par un TVM) donne la possibilité (selon résultats aux évaluations) d'obtenir un certificat « participant à projet AV » par le biais de l'AFAV (Association Française pour l'Analyse de la Valeur, organisme national de certification selon le référentiel de *Value for Europe*).

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

De par sa nature, notamment l'analyse fonctionnelle qui a pour objet l'analyse et l'expression d'un besoin et la créativité suscitée en AV pour les orientations de solutions, cette séquence est plutôt orientée en amont de projet de conception ou de re-conception.

## Prérequis

Idéalement, expérience professionnelle et connaissance du monde industriel, des organisations usuelles de l'entreprise, de ses différentes fonctions et services. Notions de gestion de projets et de management de projet appréciées.

## Contenu

Méthodologie de développement de produit et Analyse de la Valeur :

### 1 – Philosophie et culture Valeur

- Notions fondamentales en AV et MV
- Culture Valeur et différences avec culture traditionnelle
- Organisation et démarche générique d'un projet AV en 4 phases

### 2 – Phase 1 : Cadrage et préparation d'un projet AV

- Définition d'un périmètre, d'objectifs et de contraintes
- Constitution d'un groupe de travail pluridisciplinaire

### 3 – Phase 2 : Analyse Fonctionnelle

- Identification de fonctions traduisant un besoin
- Validation des fonctions et créativité amont
- Spécification fonctionnelle et rédaction de CDCF
- Hiérarchisation des fonctions

### 4 – Phase 3 : Analyse de la Valeur

- Créditivité et recherche de solutions
- Évaluation de concepts de solution
- Estimation des coûts par fonction

### 5 – Phase 4 : Aide à la décision

- Intégration de concepts de solution en scénarios globaux
- Évaluation multicritère de scénarios
- Synthèse et aide à la décision

## Répartition horaire idéale

2 jours et intersession d'une semaine avant la 3<sup>e</sup> et dernière journée.

## Méthodes pédagogiques

Apports théoriques, conceptuels et méthodologiques.

Applications participatives à exemples pédagogiques

Illustrations par études de cas issues de projets réels (en secteurs automobile, aéronautique, et nucléaire)

## Mode d'évaluation

- Application par une étude de cas en intersession (corrigée en dernière séance)
- Devoir Surveillé d'une heure sur les fondamentaux du cours en fin de programme

## Bibliographie

- Norme NF EN 1325 (Vocabulaire en AV/MV)
- Norme NF EN 16271 (Analyse Fonctionnelle et Expression de Besoin)
- Norme NF EN 12973 (Management par la Valeur)

# **PERFORMANCE INDUSTRIELLE**

## Durée

4 séances d'une durée de 4 heures, soit 16 heures.

## Intervenant

Eric LACOMBE

## Objectif

Fournir les éléments conceptuels et de principe permettant de comprendre et d'améliorer les processus de développement des produits et des procédés industriels.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance.

## Prérequis

Néant

## Contenu

- Généralités sur l'entreprise

- La personne morale
  - Les chiffres clés
  - La direction
  - Les 5M
- La qualité
- Qualité des produits et services vs. Démarche qualité
  - L'approche processus
  - Les indicateurs de pilotage
  - Le Système de Management de la Qualité
  - L'ISO 9001 et les autres normes
  - L'audit de certification
- Les outils de la qualité
- Analyse des risques produits et process

## Répartition horaire idéale

Sur une journée en continu

## Méthodes pédagogiques

Cours théorique agrémenté d'exemples concrets d'applications industrielles, de pièces de démonstration et de vidéos

## Mode d'évaluation

Examen sur table de 60 minutes maximum

## Bibliographie

- ISO 9001
- ISO 19000
- Techniques de l'Ingénieur (plusieurs modules)

# FONDERIE

(Moule permanent et non permanent)

## Durée

2 Séances d'une durée de 4 heures, soit 8 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Fournir des éléments techniques permettant aux personnes en formation de mieux appréhender les cas d'emplois et les technologies de fabrication des pièces moulées.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance.

## Contenu

- Métallurgie des alliages de moulage (bases)
- Principales techniques de mises en forme par moulage
- Exemples descriptifs

## Répartition horaire idéale

Maintenir 2 séances (4h) sur deux jours consécutifs ou très rapprochés afin d'apprécier les acquis par les élèves par un QCM en fin de deuxième séance.

## Méthodes pédagogiques

Cours théorique agrémenté d'exemples concrets d'applications industrielles et de pièces de démonstration.

## Mode d'évaluation

Examen sur table de 30 mn

## Bibliographie

Extraits cours R. PORTALIER - ESFF

# PLASTURGIE

## Durée

2 Séance d'une durée de 4 heures, soit 8 heures.

## Intervenant

Eric LACOMBE

## Objectif

Fournir des éléments techniques permettant aux personnes en formation de mieux appréhender les cas d'emplois et les technologies de fabrication des pièces plastiques.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance.

## Prérequis

Néant

## Contenu

- Généralités sur les polymères
  - Extraction chimique
  - Structure
  - Catégorisation
    - Thermoplastiques
    - ThermoDurcissables
    - Elastomères
  - Caractéristiques thermomécaniques
    - Température d'utilisation
    - Température de changement d'état

- Procédés de transformation
  - Pour thermoplastiques et thermodurcissables
  - Avec ou sans renforts, additifs et adjuvants
- Règles de conception
  - Adéquation produit / process
  - Tolérances applicables (NF T 58000)

## Répartition horaire idéale

Sur une journée en continu

## Méthodes pédagogiques

Cours théorique agrémenté d'exemples concrets d'applications industrielles, de pièces de démonstration et de vidéos

## Mode d'évaluation

Examen sur table de 60 minutes maximum

## Bibliographie

- Procédé Technologiques industriels – Edition WEKA
- Pratique des plastiques et composites – Edition DUNOD
- Techniques de l'ingénieur « Plastiques » - Editions TI
- Fascicule de formation
- NF T 58000

# PROTOTYPAGE RAPIDE ET RECONSTRUCTION DE SURFACE

## Durée

1 séance d'une durée de 4 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Fournir des éléments techniques permettant aux personnes en formation de mieux appréhender les technologies du prototypage rapide.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance, en amont des cours de numérisation et de CAO surfacique.

## Prérequis

Maîtrise des outils de CAO

## Contenu

Techniques de Prototypage ;

Définition.

L'état de l'art.

Conception et retro conception.

Impact sur l'organisation de production.

Exemples d'application.

## Répartition horaire idéale

### 1 - Le prototypage rapide : Définition.

- Introduction. 10"
- Classement des procédés. 15"

### 2 - Le prototypage rapide : l'état de l'art.

- Procédés par ajout de matière. 30"
- Procédés par enlèvement de matière. 30"
- Le Prototypage virtuel. 10"

### 3 - Le prototypage rapide : conception et retro conception.

- Contraintes de conception. 15"
- Concevoir des copies (retro conception). 15"

### 4 - Le prototypage rapide : l'impact sur l'organisation de production.

- Gestion de la phase de développement produit. 20"
- Conception de la production. 20"
- Gains réalisés sur QCD. 20"

### 5 - Le prototypage rapide : Exemple d'application.

- Projet Taxiscope 15"
- Projet Schlumberger 15"

## Méthodes pédagogiques

Sujet traité en trois parties :

- Les moyens actuels de prototypage rapide et leurs domaines d'applications

- L'intégration du prototypage rapide dans un secteur donné et ses implications sur les méthodes de conception
- L'impact du prototypage rapide sur la chaîne de réalisation du produit

## Mode d'évaluation

Néant

## Bibliographie

- « Le prototypage rapide » - Alain BERNARD - Edition HERMES

# **SOUDAGE**

## Durée

2 séances de 4 heures, soit 8 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Acquérir le vocabulaire et les connaissances de base en soudage permettant de comprendre les mécanismes fondamentaux intervenant dans les procédés industriels.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance.

## Prérequis

Néant

## Contenu

- A. Définitions et classement des différentes technologies de soudage
- B. Soudabilité des matériaux
- C. Applications dans le monde de l'automobile (friction, magnét'arc et laser)

## Contenu du chapitre A. Définitions et classement des différentes technologies de soudage

- Définition
- Cycle thermique
- Classements :
  - Par type de liaisons : état des matériaux mis en contact
  - Par énergies mises en jeu. (Exercice)
  - Rapide descriptif des procédés :
    - Soudage à l'arc
    - Electrode enrobée
    - MIG (inerte gaz) – MAG
    - Soudage par aluminothermie
    - Soudage plasma
    - F.E.
    - Brasage
    - Soudage LASER
  - Soudage par résistance
  - Soudage en bout par étincelage
  - Soudage par induction
  - Soudage par friction
  - Soudage par ultrason
  - Soudage par diffusion
  - Soudage par explosion
  - Soudage oxyacéthylénique

## Contenu de la chapitre B : Soudabilité des matériaux :

- Soudage des aciers de construction
  - Notion de composition chimique (carbone équivalent)
  - Influence du C%
  - Notion TRC
  - Delta 700/300
  - Notion de risques métallurgiques
- Le cas des aciers inoxydables :
  - Qu'est-ce qu'un acier inoxydable ?

- Pourquoi a-t-on des difficultés à les souder ?

Bilan : le soudage compromis entre ténacité et ductilité (schéma récapitulatif)

Contenu de la chapitre C : Etude de cas : LES APPLICATIONS DANS L'AUTOMOBILE

Descriptif et comparaison entre :

- Soudage friction
- Soudage magnét'arc
- Soudage Laser

## Méthodes pédagogiques

Cours théorique agrémenté d'exemples concrets d'applications industrielles et de démonstration.

## Mode d'évaluation

QCM et questions ouvertes

## Bibliographie

# TRAITEMENTS THERMIQUES

## Durée

2 séances de 4 heures, soit 8 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Acquérir le vocabulaire et les connaissances de base en métallurgie de l'acier, des alliages d'aluminium et des cuivreux permettant de comprendre les mécanismes fondamentaux intervenant dans les procédés industriels.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance.

## Prérequis

Néant

## Contenu

### I. ACIERS

- A – Notion métallurgie (diagramme de phase, normalisation des aciers, élaboration)
- B – Traitements dans la masse (les recuits et la trempe, notion de trempabilité et courbe TRC)
- C – Traitements superficiels (Intérêt des traitements superficiels, notion de contraintes résiduelles, présentation de l'induction, de la cémentation, de la nitruration...)

## II. ALUMINIUM

- A – Métallurgie de l'aluminium (élaboration, normalisation, mise en forme, avantages et inconvénients)
- B – Mécanisme de durcissement (écrouissage et précipitation)
- C – Description des grandes familles et exemple d'utilisation (Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn, Al-Mn)

## III. CUIVREUX

- A – Métallurgie de base des cuivreux (élaboration, normalisation, mise en forme, avantages et inconvénients)
- B – Descriptions des grandes familles et exemples et exemples d'utilisation (Bronzes, Laitons, Maillechort, Cuproalu...)
- C – Exemples d'utilisation du cuivre (analyse de cas : le tube)

### Méthodes pédagogiques

Cours théorique agrémenté d'exemples concrets d'applications industrielles et de démonstration

### Mode d'évaluation

QCM et questions ouvertes de 30 minutes maximum lors de la dernière séance.

# TRIBOLOGIE ET TRAITEMENTS DE SURFACES

## Durée

1 séance de 4 heures

## Intervenant (s)

## Objectif

Acquérir le vocabulaire et les connaissances de base en tribologie et traitements de surface voie sèche permettant de comprendre les mécanismes fondamentaux intervenant dans les procédés industriels

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Milieu d'alternance.

## Prérequis

Néant

## Contenu

A – Notion de base en tribologie (frottement, coefficient de frottement, 3<sup>ème</sup> corps, lubrification)

B – Description des mécanismes d'usure (abrasion, adhésion, érosion, fretting, fatigue de contact, comment remédier à chaque difficulté rencontrée...)

C – Traitements de surface voie sèche : Description PVD, CVD, projection thermique

## Méthodes pédagogiques

Cours théorique agrémenté d'exemples concrets d'applications industrielles et de démonstration

## Mode d'évaluation

QCM et questions ouvertes

# USINAGE

## Durée

2 séances de 4 heures, soit 8 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Fournir aux étudiants quelques rappels sur les technologies d'usinage et des apports, limites et contraintes que ces technologies introduisent dans l'industrialisation et l'élaboration des produits.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Cette séquence est à la fois un rappel et une découverte des caractéristiques économiques de l'usinage pour mieux en maîtriser les contours. A ce titre ce cours est indépendant des autres modules.

## Prérequis

Bases de mécanique

## Contenu

- Rappels sur les différentes techniques d'usinage,
- L'UGV principe et domaine d'application,
- Le Contrôle Non Destructif, les différentes techniques.

## Méthodes pédagogiques

Le cours d'atelier d'usinage est construit à partir d'un enseignement didactique étayé par des exemples concrets.

## Mode d'évaluation

Etude de cas en fin de module

## Bibliographie

- Cours et polycopié

# Rappels de Mathématiques

## Durée

4 séances de 4 heures, soit 16 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Voir ou revoir les notions de base et apprendre à manipuler les outils mathématiques qui sont utilisés dans les enseignements de mécanique des milieux continus et du solide indéformable.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Cette séquence se positionne en début d'alternance.

- 2 séances en préambule de la Mécanique du solide
- 2 séances en préambule de la Mécanique des milieux continus

## Prérequis

## Contenu

- Calcul matriciel
- Déterminant
- Valeurs propres, vecteurs propres
- Dérivation de fonction à une ou plusieurs variables et de fonctions vectorielles
- Calcul vectoriel

## Méthodes pédagogiques

Cours magistraux + nombreux exercices pratiques  
Un support de cours est fourni.

## Mode d'évaluation

Aucune évaluation

## Bibliographie

# MECANISMES

## Durée

4 Séances d'une durée de 4 heures, soit 16 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Fournir une méthode d'analyse d'un mécanisme existant donné par un dessin d'ensemble ou une maquette numérique : Le but est d'expliquer les choix de solutions techniques retenues.

Une méthode de conception d'un mécanisme de transmission de puissance (réducteur à engrenage par exemple) ou de transformation de mouvement (système bielle manivelle par exemple). A partir du modèle cinématique fonctionnel, on propose des modifications pour arriver au choix de la solution technique définitive.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Ce cours se positionne après la mécanique du solide indéformable et précède les cours de dimensionnement qui finalisent le module de mécanique.

## Prérequis

Mécanique des solides indéformables. Spécifications géométriques des pièces mécaniques.

## Contenu

Chapitre :	Connaissances apportées :	Compétences attendues :
Liaisons cinématiques	<p>Les liaisons cinématiques : Schématisation, mobilité, caractéristiques géométriques, torseur des actions transmissibles sans frottement et domaine d'invariance de la forme du torseur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer un modèle de liaison simple à des contacts entre solides</li> <li>- Décrire les caractéristiques géométriques du modèle de liaison (axe, centre, direction, ...)</li> </ul>
Liaisons équivalentes	<p>Concept de graphe des liaisons, association en parallèle ou en série des liaisons, Analyse des mobilités.</p> <p>Mobilité utile (ou fonctionnelle) et mobilité interne.</p> <p>Notion d'hyperstatisme et relation des mobilités.</p> <p>Réalisation des liaisons « à contact non surfacique » en contact surfacique.</p> <p>Méthodologie pour obtenir une solution technique dont le modèle est isostatique.</p> <p>Méthodologie de recherche de solutions techniques par association de liaisons.</p>	<p>Pour une fonction technique « Guider en rotation ou en translation » :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer des modèles de liaisons composées à des réalisations de solutions techniques par contact ou par éléments roulants</li> <li>- Rechercher des familles de solutions techniques pour réaliser une fonction technique donnée (guider en rotation ou en translation,...) en utilisant des associations de liaisons simples.</li> </ul> <p>Pour une solution technique existante :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retrouver la liaison équivalente réalisée par une association de liaisons simple, en déduire la fonction technique</li> <li>- Savoir écrire une contrainte géométrique (d'orientation et de position) sur le modèle qui permet l'obtention de la fonction souhaitée,</li> <li>- A partir des contraintes géométriques précédentes, écrire les spécifications géométriques (non chiffrée) de position et d'orientation.</li> </ul>

	<p>Concept de graphe des liaisons, Nombre cyclomatique.</p> <p>Mobilité utile (ou fonctionnelle) et mobilité interne.</p> <p>Notion d'hyperstatisme et relation des mobilités.</p> <p>Méthodologie pour obtenir une solution technique dont le modèle est isostatique.</p>	<p>Pour une fonction technique « Transmettre une puissance » ou « Transformer un mouvement ».</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire la fonction technique du mécanisme et en déduire la mobilité fonctionnelle du mécanisme,</li> <li>- A partir du modèle cinématique fonctionnel, écrire les contraintes géométriques de fonctionnement (d'orientation et de position),</li> <li>- Calculer l'hyperstatisme du modèle par une relation de mobilité,</li> <li>- Identifier l'origine de l'hyperstatisme et proposer une modification du modèle pour le rendre isostatique (lorsque cela est possible).</li> </ul>
Mécanismes		

## Répartition horaire idéale

## Méthodes pédagogiques

- Cours magistraux : Les méthodes et les relations sont illustrés par des exemples.
- Travaux dirigés : Etudes de cas sur des mécanismes existants pour mettre en œuvre les compétences attendues.

## Mode d'évaluation

Contrôle sur table de 1h30 en fin de formation : Etude de cas qui abordent l'intégralité des compétences du module et qui permettent l'évaluation de leur acquisition.

## Bibliographie

- P. AGATI – M. ROSSETTO/ *Liaisons et mécanismes* / DUNOD, 1996

# MECANIQUE DU SOLIDE

## Durée

6 Séances d'une durée de 4 heures, soit 24 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Apporter les bases indispensables pour l'analyse des systèmes rigides soumis à des efforts (en statique et en dynamique). En particulier, l'alternant doit être capable de déterminer les torseurs cinématique, cinétique et dynamique d'un solide dans un repère correctement choisi et d'appliquer le principe fondamental et la dynamique à un ensemble de solides.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Ce cours doit nécessairement précéder la mécanique des milieux continus, et l'étude des liaisons et mécanismes.

## Prérequis

Notions de base de mathématiques (dérivée, intégrale...), mécanique du point (vecteur, calcul matriciel...)

## Contenu

- Rappels de mathématiques et de cinématique

- Calcul vectoriel - Systèmes de coordonnées
- Cinématique du point
- Cinématique du solide
  - Torseur distributeur des vitesses
  - Composition de mouvements
- Statique
  - Contact entre deux solides – Loi de Coulomb
  - Principe fondamental de la statique
- Cinétique
  - Centre d'inertie – Opérateur d'inertie d'un solide
  - Torseur cinétique – Energie cinétique
  - Torseur dynamique
- Dynamique
  - Principe fondamental de la dynamique
  - Equilibrage dynamique
- Energétique
  - Puissance - Travail
  - Théorème de l'énergie cinétique

## Répartition horaire idéale

## Méthodes pédagogiques

- Cours magistraux
- Travaux dirigés permettant d'illustrer sur des exemples simples la démarche de modélisation et d'étudier des systèmes mécaniques concrets.

## Mode d'évaluation

Evaluation sur table en fin de formation (1h30 maximum).

## Bibliographie

- P. AGATI – Y. BREMONT – G. DELVILLE / Mécanique du solide / DUNOD, 1996
- J.C. BÔNE / Mécanique Générale – Cours et applications / DUNOD, 1994

# MECANIQUE DES MILIEUX CONTINUS

## Durée

6 Séances d'une durée de 4 heures, soit 24 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

En tant qu'une "Introduction à la Mécanique des Milieux Continus (MMC)" ce cours établira le champ d'application et de mise en œuvre de la Mécanique des Milieux Continus.

Ses objectifs fondamentaux sont de familiariser les étudiants avec la notion des tenseurs et leur introduire des grandeurs fondamentales telles que :

- Tenseur des contraintes de Cauchy et ses propriétés
- Tenseur des déformations
- Equations de l'élasticité linéarisée de problèmes élémentaires
- Lois de comportement élastiques isotropes des matériaux...

L'étudiant doit être capable, à la suite du cours de poser correctement les équations gouvernantes d'un problème de solide déformable élastique (équations d'équilibre, loi de comportement, conditions aux limites, etc....)

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Ce cours devrait débuter légèrement en amont du cours Modélisation par Eléments Finis afin d'introduire les notions fondamentales nécessaires à son assimilation (cf. fiche pédagogique du cours en question) et tout particulièrement la cinématique des MMC et la notion de tenseur des contraintes. Une coordination et une articulation dans le temps entre ces deux enseignements deviennent dès lors fondamentales.

## Prérequis

Notions de base de :

- L'algèbre linéaire
- Espaces vectoriels normés
- Dérivées partielles.
- Intégrales et maîtrise des opérations élémentaires dans ces domaines
- Mécanique du point et Mécanique des solides indéformables

## Contenu

- Rappels mathématiques, opérations matricielles, notation indicelle.
- Statique des Milieux continus :
- Rappels : Force. Moment. Couple
- Hypothèse des Milieux Continus
- Equilibre global d'un solide
- Principe de la coupe
- Le tenseur des contraintes et ses propriétés
- Etat plan des contraintes
- Déplacement. Notion de déformation
- Tenseur gradient de déformation & Propriétés
- Tenseur des déformations
- Tenseur des dilatations
- Variation des longueurs et des angles
- Tenseur des Déformations linéarisé
- Equations de l'élasticité linéarisée
- Généralités sur les Lois de Comportement
- Grandes classes de comportement et critères associés.
- L'élasticité : Loi de Hooke.
- Equations de compatibilité.
- Mise en équations de problèmes simples (compression, cisaillement etc ...), conditions aux limites.
- Pratique de la mise en équation des problèmes élémentaires d'élasticité.

## Répartition horaire idéale

Deux à trois séances par semaine, sans interruptions prolongées entre les cours.

## Méthodes pédagogiques

Ce module est conçu pour fournir les notions fondamentales de la MMC et d'introduire les différentes classes du comportement des matériaux. Pour ce faire il sera construit autour de cours qui introduiront les concepts de base et les TD qui permettront d'illustrer ces concepts. On favorisera la réflexion et l'analyse ainsi que l'esprit critique des étudiants.

## Mode d'évaluation

Evaluation sur table à la fin du module (1h30 maximum).

## Bibliographie

- M.F ASHBY et DRH Jones "Matériaux" Dunod, 1992
- D. ARTUS "Elasticité linéaire", Cepadus Editions
- D. BELLET et JJ Barreau "Cours d'élasticité", Cepadus Editions
- G. DUVAUT : "Mécanique de Milieux Continus" Masson, 1992
- P. GERMAIN, P. MULLER : " Introduction à la mécanique des milieux continus" Masson 1992.

# ELEMENTS FINIS EN CONCEPTION

## Durée

- Cours éléments finis 2,5 jours (20h)
- Prise en main outil MEF 2,5 jours (20h)
- Travaux dirigés 1,5 jours (12h)
- Projet 2,5 jours (20h)

## Intervenant (s)

## Objectif

Fournir les notions de bases du calcul de structures par la méthode des éléments finis tant sur le plan théorique que sur l'aspect pratique, pour permettre une utilisation plus intelligente et plus pertinente des progiciels du marché.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Cette séquence est une introduction à l'utilisation des techniques de calcul et de dimensionnement utilisées dans les bureaux d'études mécaniques. Elle vient en complément de la formation aux outils de CFAO. Elle est complétée par des TD et un projet éléments finis.

## Prérequis

### 1 - Mécaniques des milieux continus

Notion de facette et de contrainte.... Cercle de Mohr. Contraintes principales. Critères de limite élastique. Déformations. Equations d'équilibre. Relations

Contraintes/Déformations. Problèmes d'élasticité. Problèmes particuliers : contraintes planes, déformations planes.

## 2 - Algèbre linéaire et calcul matriciel (notions)

Matrices. Déterminants. Changement de base. Diagonalisation. Triangularisation. Résolution des systèmes linéaires

### Contenu

#### La méthode des éléments finis

##### 1 – Concepts de bases

Notion de problème discret. Principes d'approximation. Définition et formulation d'un élément fini. Analyse statique linéaire. Processus de résolution. Notions d'analyse dynamique. Classification des problèmes.

##### 2 - Approche Pratique

Apprentissage et manipulation d'un logiciel commercial. Importation de la géométrie. Abstraction géométrique et maillage. Définition de cas d'étude : conditions aux limites, chargements et définition de l'analyse. Post traitement et exploitation des résultats. Vérification du modèle. Réalisation de modèles simples mais réels. Calcul statique, adaptatif, modal.

### Répartition horaire idéale

- 5 demi-journées de 3.5H (approche théorique et pratique)
- 3 journées de 7h (prise en main d'un outil de simulation numérique)
- 3 demi-journées de 3.5H (travaux dirigés)
- 2,5 jours en continu (projet)

### Méthodes pédagogiques

Le cours d'introduction à la méthode des éléments finis présenté est construit afin d'atteindre un double objectif :

1- la compréhension de la méthode elle-même, ses limitations, son champ d'application, son utilisation dans le milieu industriel, ...

2- une démarche de modélisation à partir d'objets mécaniques concrets. La technique pédagogique est basée sur la notion d'études de cas. Ceux-ci permettent d'aborder en premier lieu les aspects de modélisation de pièces mécaniques, de leur « schématisation » éléments finis, du support théorique utilisé, puis d'analyser les résultats numériques avec une vision critique par rapport aux hypothèses formulées initialement.

L'apprentissage de base du code « éléments finis » sera effectué le plus tôt possible, même sans acquisition complète des fondements de la méthode, ceci afin d'obtenir une certaine rapidité de traitement des exemples. Les parties pratiques se présenteront sous la forme d'exercices guidés. La quasi-totalité du cours sera effectué dans le cadre des hypothèses de la statique linéaire.

## Mode d'évaluation

- Questionnaire d'une heure, comportant 20 questions directement extraites du cours.
- Questionnaire sur études de cas (TDs)
- Compte rendu de projet (projet)

## Bibliographie

- La Méthode des Eléments Finis - O.C. ZIENKIEWICZ – Pluralis
- Introduction aux Eléments Finis - R.H.GALLAGHER – Pluralis
- Eléments Finis - K.C.ROCKEY –
- Analyse des structures par Eléments finis - J.F.IMBERT – CEPADUES
- Une présentation de la méthode des Eléments finis - DHATT TOUZOT – HERMES
- Modélisation des structures – Calcul par Eléments Finis - J.C. CRAVEUR – Masson
- La méthode des éléments finis – Approche théorique et approche pratique - F. CHABAS,
- Documentation NX NASTRAN – UGS corp

# DIMENSIONNEMENT

## Durée

6 Séances d'une durée de 4 heures, soit 24 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Être sensibilisé à l'activité de dimensionnement telle que pratiquée en BE.

Acquérir des compétences techniques et théoriques dans les domaines suivants :

RDM :

- Connaissance des paramètres dimensionnant en mécanique des structures
- Connaître les principales sollicitations extérieures.
- Être capable de dimensionner une poutre soumise à un chargement simple (traction ; torsion ; flexion).

Guidage en rotation :

- Être capable de dimensionner et de choisir une solution constructive
- Être capable d'estimer la durée de vie du guidage (roulements).

Organes de transmission de puissance : les engrenages

- Être capable de dimensionner un réducteur de vitesse par engrenage. C'est à dire de définir toutes les caractéristiques des roues et pignons assurant la transmission de puissance.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

## Prérequis

Notions de base de mécanique du point et mécanique des solides indéformables

## Contenu

Généralité sur l'activité de dimensionnement et son intérêt dans le cycle de conception.

### Les engrenages à axes parallèles

- Les engrenages à denture droite
- Présentation fonctionnelle
- Caractéristiques principales d'une roue
- Caractérisation d'un engrenage
- Principales relations
- Conditions de résistance
- Application

### Les engrenages à denture hélicoïdale

- Présentation
- Caractéristiques principales
- Relations principales
- Application

### Résistance des matériaux

- Généralités
- Types de problèmes à résoudre
- Mise en évidence des contraintes
- Caractéristiques mécaniques
- Les principales sollicitations : traction ; flexion simple ; torsion ; cisaillement.
- Présentation d'un logiciel de calcul de structure (RDM5)

### Guidage en rotation

- Modélisation
- Expression fonctionnelle du besoin
- Solutions constructives
- Guidage par roulements
- Application

## Répartition horaire idéale

Généralités : 1,5 heures

Les engrenages à axes parallèles : 6 heures

Résistance des matériaux : 10 heures

Guidage en rotation : 5 heures

Evaluation : 1,5 heures

## Méthodes pédagogiques

Ce module est conçu pour fournir les notions fondamentales de dimensionnement mécanique et d'introduire les différentes classes de comportement des matériaux. Pour ce faire il sera construit autour de cours qui introduiront les concepts de base et les TD qui permettront d'illustrer ces concepts. On favorisera la réflexion et l'analyse ainsi que l'esprit critique des étudiants.

## Mode d'évaluation

Contrôle sur table à la fin des cours.

## Bibliographie

- P.Agati – N. Materra : Mécanique appliquée (DUNOD)
- F. Esnault : Construction mécanique (T1 et T2) (DUNOD).

# CAO en conception mécanique

## Durée

42 séances de 4 heures, soit 168 heures.

## Intervenant (s)

## Objectif

Appréhender les outils usuels de CAO et la modélisation 3D en conception mécanique.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Séquence répartie sur les périodes 1, 2 et 4 de la formation au centre de formation. L'alternance avec les périodes en entreprise permettra de mettre en pratique les connaissances acquises.

## Prérequis

Maîtrise du dessin industriel  
Cotation fonctionnelle

## Contenu

### 1 - Introduction à la CAO, Méthodologie (Cours, TD)

Introduction à l'utilisation d'un modeleur volumique 3D

- Présentation générale d'un modeleur.
- Création de courbes définissant un contour.
- Définition de primitives volumiques 3D.
- Construction d'objets volumiques simples : prismes, volumes par balayage ou de révolution.
- Utilisation de fonctions de modification topologique (congé, chanfrein, dépouille, coque, épaisseur...)
- Création de volumes complexes (opérations booléennes)
- Méthodes de modifications de volumes complexes.

Introduction aux outils mathématiques pour la représentation de courbes et de surfaces

- Courbes et surfaces paramétrées.
- Courbes et Surfaces de Bézier.
- Courbes et Surfaces B-splines

## 2 - Pratique (TD, TP)

- |  |       |   |
|--|-------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Prise en main et utilisation d'un d'apprentissage (3D Expérience,</li> <li><input type="checkbox"/> Conception et modélisation de assemblage, mise en plan et</li> </ul> | 104 h | logiciel CAO de l'entreprise<br>CATIA, Créo, NX, SolidWorks...).<br>systèmes mécaniques (pièces,<br>cotation tridimensionnelle) |
|--|-------|---|

## Répartition horaire idéale

- |  |         |                      |
|--|---------|----------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> TD Base/solide/paramétrage</li> <li><input type="checkbox"/> TD Surfacique</li> <li><input type="checkbox"/> Pratique en projet de conception</li> </ul> | } 104 h | 56 h<br>48 h<br>64 h |
|--|---------|----------------------|

## Méthodes pédagogiques

- Cours magistraux concernant la méthodologie
- Travaux dirigés et pratiques sur station Windows

## Mode d'évaluation

Une note globale sera donnée en fin de formation regroupant :

- 4 Examens de réalisation technique (volume simple, volume complexe, mise en plan, surfacique), 1h30 chacun.

## Bibliographie

- Eléments de CAO, matériels et logiciels de base - Y. GARDAN – HERMES
- Introduction à la CAO - N. GIAMBIASI – HERMES
- Modélisation et construction de surfaces pour la CFAO - J.C. LEON - HERMES
- L'utilisation des courbes et des surfaces en CAO - P. BEZIER - HERMES
- Les métiers et la CAO - E. GALLAIS - HERMES
- Cotation tridimensionnelle des systèmes mécaniques - A. CLEMENT - HERMES

# PROJET DE CONCEPTION SIMULTANEE

## Durée

16 séances de 4 heures, soit 64 heures.

## Intervenant (s)

1 formateur - Support dimensionnement et CAO dans un rôle de Resp. BE

1 formateur - Chef de projet.

## Objectif

Proposer aux étudiants une application réaliste de leurs connaissances de conception d'organes mécaniques dans un environnement simulant au plus près la réalité industrielle et tout particulièrement le fonctionnement des relations sous-traitant / donneur d'ordres.

Perfectionner les apprentis dans la pratique d'un outil CAO, dans un environnement projet.

## Positionnement dans l'ensemble du cursus

Ce projet sanctionne la fin de la formation des alternants d'une part à l'utilisation d'un logiciel de CAO et d'autre part aux méthodes de développements de produits.

## Prérequis

- Première alternance réalisée en entreprise par les étudiants.
- Formation au dimensionnement réalisée.
- Maîtrise globale d'un logiciel de CAO et de ses principaux modules : Modélisation, assemblage, mise en plan et interfaces d'échange de données.

## Contenu

Les étudiants sont rassemblés par groupe de 3 à 5 personnes utilisant un même logiciel de CAO. Chaque groupe est considéré comme un bureau d'études distinct. La conception de l'ensemble mécanique à réaliser est effectuée à l'aide d'un cahier des charges fonctionnel élaboré par le formateur. La recherche d'autres sources pour compléter les informations fournies est encouragée.

Des procédures standardisées, définies dans le cadre de ce projet, doivent être impérativement respectées par les apprentis : Nomination des fichiers, planification des activités, tracé chronologique, comptes-rendus des réunions entre bureaux d'études ...

Trois étapes sont planifiées afin de simuler au mieux la réalité industrielle et en particulier l'ingénierie simultanée :

### **Etape 1 : Modélisation (6 séances)**

Chaque bureau d'études conçoit et modélise sur son logiciel CAO le lot d'éléments qui lui est confié. Les alternatives de solutions et les choix retenus sont discutés au cours d'une revue de projet. Les plans cotés et habillés des différents modèles sont réalisés.

→ *Revue de projet avec chacun des groupes*

### **Etape 2 : Intégration (4 séances)**

Chaque bureau d'études réalise les conversions au format IGES ou STEP des modèles qu'il a réalisés.

Les fichiers reçus par les différents groupes sont convertis au format natif du logiciel utilisé et éventuellement réparés.

La nomenclature, le plan coté et habillé de l'assemblage sont réalisés.

→ *Revue de projet avec chacun des groupes*

### **Etape 3 : Modification (5 séances)**

Chaque bureau d'études sous-traitants réalise les modifications, notifiées en début de la troisième phase, sur ses modèles natifs.

Une pièce globale est modélisée par chacun des bureaux d'études en contexte d'assemblage.

Les plans cotés et habillés sont modifiés. Les résultats sont analysés conformément au cahier des charges clients.

→ *Revue de projet avec chacun des groupes*

### **Répartition horaire idéale**

Les séances doivent être planifiées de préférence en fin de période de formation permettant à l'étudiant de s'appuyer sur toutes les connaissances acquises en formation.

### **Méthodes pédagogiques**

3 phases composées d'une séance de lancement et de revues de projet qui sanctionnent la réalisation des tâches, l'atteinte des objectifs techniques et valide le lancement de la phase suivante.

Le but est d'impliquer les alternants dans un projet stimulant qui simule au plus près la réalité industrielle, tant au niveau du contenu technique que des relations entre les différents intervenants d'un projet partagé complexe (client, sous-traitant, autre BE, ...).

### **Mode d'évaluation**

Une note individuelle établie par le formateur Support dimensionnement et CAO (Responsable BE) :

- La qualité technique du travail individuel réalisé sur le logiciel utilisé,
- La motivation et le dynamisme démontrés,
- La qualité de la communication interne ou externe au groupe.
- L'organisation dans le cadre d'un travail en groupe.

Une note de bureau d'étude établie par le chef de projet :

- La qualité du travail collaboratif réalisé sur le projet.
- La validité et justification des choix techniques effectués,
- L'originalité des solutions retenues,
- Le respect des procédures et la qualité du tracé chronologique,
- La qualité de la présentation orale en groupe.

## Bibliographie

- « Le moteur à essence » - Christian LECHON – ETAI
- « Mécanique appliquée » - P. AGATI, N. MATTERA – DUNOD
- <http://mlsofts.dyndns.org:8080/ressorts/compression>