



MASTERE GENIE MECANIQUE

Coordinateur du Mastère :**JAMEL BESSROUR**

ENIT, Département Génie Mécanique,

Unité de recherche MA2I

BP 37, Le Belvédère, 1002-Tunis

jamel.bessrou@enit.rnu.tn

1. Motivations et objectifs

La formation par la recherche scientifique et technique est actuellement dans une phase d'évolution très rapide. L'ouverture sur l'environnement socio-économique et industriel et la nécessité de suivre l'évolution rapide des technologies font de la recherche scientifique et technique dans le domaine du génie mécanique une nécessité et devrait lui conférer un rôle important dans les processus de transferts et de développements technologiques. En particulier, dans le monde actuel de libéralisation économique et d'ouverture totale, le développement des divers secteurs industriels doit s'appuyer sur des structures de recherche solides et capables de contribuer efficacement à la résolution des problématiques industrielles. En outre, les activités de recherche et développement qui créent des liens très utiles entre le monde universitaire et l'environnement industriel permettent également aux élèves de développer leur savoir et savoir-faire.

C'est dans cette perspective que veut se positionner le programme du mastère de génie mécanique de l'ENIT, avec pour objectifs une formation par la recherche en troisième cycle, pluridisciplinaire et de haut niveau couvrant une plate-forme assez large des disciplines du génie mécanique.

Les cours du Mastère sont orientés vers :

- Une approche fondamentale nécessaire pour la modélisation, la simulation numérique et la conception des systèmes mécaniques et pour le dimensionnement des structures,
- Un approfondissement des connaissances théoriques, pratiques et des phénomènes physiques mis en jeu dans les procédés classiques et automatisés de fabrication par enlèvement de matière,
- Un approfondissement en matériaux classiques et nouveaux par l'étude des comportements mécaniques, des problèmes d'endommagement et des interactions matériaux-procédés.



Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Cette formation multidisciplinaire de haut niveau autour du génie mécanique ouvre à l'étudiant un large spectre de débouchés vers l'université (préparation d'une thèse, enseignement supérieur, recherche) et vers l'industrie.

Le Mastère est destiné aux ingénieurs diplômés du génie mécanique ou équivalent et aux titulaires d'une maîtrise en sciences de l'ingénieur dont la formation est jugée compatible par la commission du Mastère **sur examen de dossier**. Les élèves ingénieurs de l'ENIT inscrits en troisième année génie mécanique peuvent également s'inscrire au Mastère après examen de leurs dossiers par la commission.

2. Organisation des études, enseignements

La formation du Mastère s'étale sur trois semestres, le premier étant consacré aux cours. Dans le cas de réussite aux examens, les deux autres sont destinés à une formation pédagogique, au mémoire d'initiation à la recherche et à une participation à des séminaires et conférences.

Certains modules de cours sont organisés en semaines bloquées.

Les enseignements comportent deux options avec notamment quelques modules communs :

- **Construction et fabrication mécanique (CFM),**
- **Comportement des matériaux et dimensionnement des structures (CMDS).**

Module	option	Nb d'heures
Mécanique des milieux continus	CFM & CMDS	30 h
Méthodes numériques – Eléments finis	CFM & CMDS	30 h
Transformations des structures des métaux	CFM & CMDS	20 h
Mécanique de la rupture et fatigue des matériaux	CFM & CMDS	20 h
Mécanique des surfaces	CFM & CMDS	16 h
Modélisations avancées des structures et des matériaux – Analyse non linéaire en mécanique	CFM & CMDS	16 h
Mécanique des vibrations	CFM	20 h
Acoustique industrielle	CFM	20 h
Procédés d'usinage I	CFM	30 h
Procédés d'enlèvement de matière II	CFM	28 h
Conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO)	CFM	15 h
Systèmes mécaniques - Robotique	CFM	20 h
Optimisation des structures	CMDS	24 h
Composites stratifiés	CMDS	24 h
Théorie de l'homogénéisation	CMDS	16 h
Matériaux avancés	CMDS	16 h
Corrosion	CMDS	21 h
Total	CFM	265 h
Total	CMDS	233 h



3. Le mémoire du stage de recherche

Le mémoire de mastère est réalisé après réussite aux examens des modules théoriques et s'étale sur deux semestres. Il relève d'un travail scientifique d'initiation à la recherche et d'approfondissement d'une problématique donnée. Le stage de recherche est réalisé au sein d'un groupe de recherche ou dans un organisme industriel.

Laboratoires et unités de recherche d'accueil :

- UR : Mécanique appliquée, ingénierie et industrialisation (ENIT),
- UR : Corrosion et protection des métalliques (ENIT),
- UR : Génie des matériaux (ENIT),
- UR : Photovoltaïque et céramiques (ENIT),
- UR : Energétique et environnement (ENIT),
- UR : Mécanique des solides, structures et développement technologique (ESSTT),
- UR : Mécanique, matériaux et procédés (ESSTT),
- Labo. : Génie mécanique (ENIM),
- Labo. : Génie civil (ENIT),
- Labo : Systèmes et mécanique appliquée (EPT),
- Groupe de recherche : Vibro-acoustique (IPEIM),
- Groupe de recherche : Dynamique des structures (IPEIN),

4. Les programmes des modules

Mécanique des milieux continus

Cinématique des milieux continus – Déformations – Dynamique des milieux continus – Tenseur des contraintes de Cauchy – Thermodynamique des milieux continus – Elasticité linéaire – Thermo-élasticité – Modélisation du comportement des matériaux – Comportement réversible – Comportement dissipatif – Elastoplasticité à écrouissage cinématique et isotrope.

Méthodes numériques – Eléments finis

Les espaces de Sobolev – Résolution dans le cas de l'élasticité linéaire : problèmes statiques et dynamiques – Formulation variationnelle en mécanique des solides – Maillage – Fonctions d'interpolation – Eléments finis – Méthode de semi discrétisation – Discrétisation en temps.

Transformations des structures des métaux

Structure et géométrie cristallines des métaux – Principales structures cristallines des métaux – Imperfections dans les matériaux métalliques – Solutions solides – Diagramme d'équilibre des alliages – Transformations à l'état solide.



Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Mécanique de la rupture et fatigue des matériaux

Généralités sur la mécanique de la rupture – Mécanique linéaire de la rupture - Détermination expérimentale du facteur critique d'intensité de contraintes – Analyse des ruptures en service – Rupture à propagation lente ou fatigue des matériaux – Amorçage des fissures par fatigue – Lois de propagation des fissures de fatigue – Détermination de la vitesse de fissuration.

Mécanique des surfaces

Mécanique des surfaces : objectifs – Origines des contraintes superficielles – Relation microstructure / mécanique des matériaux – Etude de cas - Relaxation des contraintes résiduelles – Durabilité des pièces mécaniques – Traitements superficiels : mécaniques, thermiques et thermochimiques – Analyse des contraintes résiduelles : méthodes diffractométriques et méthodes mécaniques – Etude de cas : nitruration.

Modélisations avancées des structures et des matériaux – Analyse non linéaire en mécanique

Méthodes sans maillage : état de l'art et motivation, méthodes basées sur les moindres carrés mobiles, méthodes basées sur la partition de l'unité, application à la vibroacoustique.

Lois constitutives non linéaires pour les solides – Stratégies de résolution des problèmes non linéaires en mécanique des solides – Application à deux types de formulations constitutives (mécanique de l'endommagement et plasticité) – Lois constitutives non locales – Méthode d'homogénéisation (lois de mélanges, méthodes d'homogénéisation numérique) –

Eléments finis pour grands déplacements et grandes déformations – Modélisation du contact unilatéral Etudes de cas.

Mécanique des vibrations

Vibrations linéaires des systèmes mécaniques discrets à un et à plusieurs degrés de liberté – Isolation des systèmes – Vibrations des arbres et des poutres – Vibrations des plaques – Méthodes expérimentales en mécanique des vibrations.

Acoustique industrielle

Problèmes des bruits industriels – Equations des ondes acoustiques dans un fluide en écoulement ou au repos : les équations de conservation, hypothèses de l'acoustique linéaire dans un écoulement uniforme ou au repos, équation des ondes acoustiques dans un fluide au repos, équation d'Helmholtz dans un écoulement uniforme, conditions aux limites : paroi d'un solide, conditions non réfléchissantes à l'infini – Formulation variationnelle par équations intégrales des problèmes de propagation et de rayonnement acoustique : représentation intégrale de la pression et de sa dérivée normale – Formulation variationnelle par équations intégrales des problèmes de propagations et de rayonnement des ondes acoustiques par des structures élastiques : équation locale, conditions de couplage élastoplastique, formulation variationnelle et discrétisation de la structure, applications.

Procédés d'usinage I

Les phénomènes relatifs à la coupe des matériaux – Les matériaux à outils – La géométrie de l'outil – Les mécanismes de formation du copeau – Les efforts de coupe en tournage, fraisage et perçage – l'usure de l'outil de coupe et modélisation – L'optimisation de la coupe : durée de vie à production maximale et à coût minimal – Les nouvelles technologies en usinage : usinage à grandes vitesses UGV, tournage et fraisage durs – Méthode des plans d'expériences appliquée à la recherche: mise en œuvre, les interactives, variance et orthogonalité, degrés de liberté, application et détermination d'un modèle mathématique.

Procédés d'enlèvement de matière II

Partie 1 : Modélisation et optimisation des processus de fabrication :

Tolérancement des pièces par analyse des dispersions en usinage : modélisation géométrique des moyens de production, dispersions dimensionnelles, dispersions systématiques, dispersions aléatoires, intervalle de tolérance, analyse des dispersions, modélisation des dispersions, réglage des machines.

Elaboration et optimisation des avant-projets de fabrication : données de base, inventaire non hiérarchisé des différents critères d'élaboration, critères principaux à considérer, démarche proposée, méthodologie d'élaboration des avant-projets d'étude de fabrication.

Partie 2 : Eléments d'approfondissement sur la coupe :

Interactions matériau-procédés d'enlèvement de matière par outil coupant – Analyse des développements les plus récents dans les techniques d'usinage – La pression de l'usinage – La lubrification – Surveillance de l'usinage – Bases théoriques de l'enlèvement de copeau par cisaillement.



Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO)

L'ingénierie coopérante et les logiciels intégrés en CFAO : organisation de la production dans les systèmes CIM, les préparations et l'usinabilité – Les fonctions générales des logiciels de FAO : principales fonctions, utilisation en 2D en tournage 2 axes, 3D en fraisage 2 et 3 axes, fraisage 5 axes – Théorie et usinage des surfaces complexes : courbes de Bézier, courbes B spline, courbes rationnelles, génération de surfaces, calcul de chemin d'outils – Les principes et les fonctions des MOCN : principes de l'usinage sur MO, diverses classes de MOCN, fonctions principales d'un DCN, asservissement et commande d'axes, cinématique des MO, l'interpolation, applications industrielles, exemples – Aspects vibratoires : modèle mécanique global, modèle associé à la coupe, motorisation de la commande.

Systèmes mécaniques – Robotique

Modélisation d'un système mécanique : géométrie, cinématique et dynamique – Les types de systèmes mécaniques : élémentaires, mécanisés et automatisés – Paramétrage des mécanismes : angles d'Euler, angles nautiques – Etude des mécanismes iso et hyperstatiques: graphe, chaîne ouverte, fermée, complexe – Liaisons mécaniques en parallèle – Liaisons en série : étude statique, étude cinématique, application à la robotique.

Optimisation des structures

Introduction : démarches classiques de la conception, conception automatique, classes de problèmes d'optimisation de structures – Approches d'optimisation des structures : approche classique, approche par critère d'optimalité et approche par programmation mathématique – Eléments de programmation mathématique : minimisation avec et sans contraintes : conditions d'optimalité et approche par programmation mathématique, problèmes discrets – Analyse de sensibilité : différences finies, méthodes analytiques en statique et en dynamique, méthode adjointe – Méthodologie d'optimisation des structures : concepts d'approximations, méthodes d'approximations successives – Thèmes spéciaux : optimisation de forme, optimisation de la topologie, optimisation sous contraintes de fiabilité.

Composites stratifiés

Matériaux composites : définition, caractéristiques générales, classification – Les éléments constitutifs : résines, charges et additifs, fibres et tissus – Mise en œuvre, procédés et architecture ;
Eléments sur la mécanique des matériaux : éléments mathématiques, description des contraintes, déformations.
Comportement mécanique des matériaux composites : comportement élastique d'un matériau composite unidirectionnel, d'un composite orthotrope, matériau composite en dehors de ses axes principaux.
Modélisation du comportement mécanique des stratifiés et des sandwichs : généralités sur la théorie des stratifiés, théorie classique des stratifiés, relations fondamentales et formulation énergétique de la théorie classique des stratifiés, prise en compte du cisaillement transverse, théorie des plaques sandwichs.
Mécanisme de rupture et endommagement des matériaux composites : critères de rupture, endommagement.

Théorie de l'homogénéisation

Approche ingénieur du comportement des matériaux hétérogènes – Etude théorique et modélisation numérique des problèmes d'homogénéisation périodique – Cas des matériaux stratifiés – Exemple de problèmes d'homogénéisation périodique.

Matériaux avancés

Modélisation du changement de phase dans les solides : la barre d'Erickson, minima locaux de l'énergie, branches d'équilibre métastables, application aux alliages à mémoire de forme, application aux ballons en caoutchouc, théorie tridimensionnelle de Ball et James.
Modèles raffinés : théorie du gradient de Cahn et Hiliard, le modèle de Truskinovsky et Zanzotto.
Transition du discret au continu : chaînes d'atomes, modèle de rupture de Truskinovsky, la transition au continu.

Corrosion

Corrosion à haute température : thermochimie et corrosion, oxydation des métaux et alliages, propriétés et cinétiques des oxydes, corrosion dans un environnement industriel, protection des matériaux métalliques, corrosion des matériaux non métalliques.
Corrosion aqueuse : diagramme de Pourbaix, mécanismes de la corrosion électrochimique, protection des matériaux métalliques contre la corrosion aqueuse, corrosion humide en milieu industriel, choix des matériaux.
Corrosion et comportement mécanique : corrosion sous contrainte, fragilisation par l'hydrogène.