



## MASTERE MATERIAUX, SOLS ET STRUCTURES (MSS)

**Coordinateur du Mastère :****HATEM ZENZRI**

ENIT - Département de Génie Civil

BP.37 –1002 Tunis le Belvédère - Tunisie

Tel /Fax: +216 71 871 476

Tél. : +216 71 874 700 (Poste 585-584)

Fax +216 71 872 729

[hatem.zenzri@enit.rnu.tn](mailto:hatem.zenzri@enit.rnu.tn)

Le mastère recherche MSS propose un cursus centré sur la mécanique des matériaux, des sols et des structures et ses applications dans le secteur du génie civil. L'objectif pédagogique y est de former à la recherche et par la recherche des chercheurs capables de développer des connaissances et de promouvoir l'innovation en conception, modélisation et calcul de structures et d'ouvrages en intégrant des descriptions réalistes des comportements des matériaux constitutifs et des sols supports. Les trois voies classiques d'accès à la recherche, l'approche analytique, la modélisation - simulation numérique et l'approche expérimentale y sont mobilisées dans des enseignements qui privilégient l'acquisition et la maîtrise des outils généraux de la recherche relevant des grands domaines de recherche en mécanique appliquée. Ces enseignements se veulent aussi au fait des grandes problématiques actuelles de l'industrie de la construction qui connaît un contexte de plus en plus complexe avec le rétrécissement des sites faciles, la compétition internationale et les exigences économiques, sécuritaires et environnementales. Ainsi, les enseignements du mastère ciblent des thèmes tels que : la prise en compte des hétérogénéités, les composites, le comportement réel et dissipatif des matériaux (et géomatériaux) sous chargements complexes, les nouveaux bétons, les interactions et couplages, la rupture, la stabilité, l'optimisation des structures, ...

Le mastère MSS s'appuie fortement sur deux structures de recherche du département de Génie Civil de l'ENIT (le Laboratoire de Génie Civil et l'Unité de Recherche en Ingénierie Géotechnique) et leurs partenaires universitaires et industrielles à l'échelle nationale et internationale. Ses débouchés naturels sont la préparation d'une thèse de doctorat ou la recherche et le développement en laboratoires industriels. Il constitue aussi un atout supplémentaire pour une insertion professionnelle dans les métiers de l'ingénierie et du conseil.

**Organisation des études**

La formation du Mastère s'étale sur trois semestres, conformément aux textes de loi, le premier étant consacré aux cours, et les deux autres au mémoire d'initiation à la recherche et à la formation pédagogique. Les enseignements de mastère proprement dits démarrent mi-Septembre avec la rentrée des élèves ingénieurs de 3ème année et s'étalent sur le premier semestre de l'année universitaire.



### Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Les étudiants inscrits au Mastère, dont le cursus passé aura comporté des enseignements couvrant une partie substantielle de l'un des modules proposés pourront être dispensés par la commission du Mastère sur présentation des justificatifs appropriés.

#### Les enseignements

Les enseignements sont organisés en modules (30h ou 15h) dispensés lors du premier semestre. Des séminaires d'initiation pédagogique seront organisés durant les deux semestres qui suivent et en parallèle avec la préparation du mémoire de recherche, et cela pour ceux qui auront, à la fin du premier semestre, réussi aux examens.

Les enseignements sont assurés par des enseignants permanents de l' E.N.I.T, des enseignants permanents de l'Université Tunisienne et des professeurs visiteurs européens. Tous les enseignements ont lieu à l'ENIT. Ils comportent un tronc commun de 75h et trois options de 150h chacune. Ces options sont : Modélisation et Calcul des Structures (MCS), Modélisation des Sols et des Ouvrages (MSO) et Modélisation des Matériaux et Environnement (MAE). Certains modules sont communs à deux options.

#### Le mémoire du stage de recherche

Le projet de mémoire de mastère est réalisé, selon les textes en vigueur, après la réussite des examens du premier semestre. Il s'étale sur deux semestres. Il relève d'un travail scientifique d'initiation à la recherche et d'approfondissement d'une problématique liée à la spécialité du mastère. Un intérêt particulier est donné à l'approche appliquée. De même qu'un lien avec l'environnement industriel est vivement souhaitable.

La commission du mastère, formée des enseignants intervenant dans la formation, examine chaque année, au moment opportun, les propositions de sujets de Mastère et autorise les stages. Le stage de Mastère est réalisé au sein d'une structure de recherche ou dans un organisme économique, en Tunisie ou à l'étranger, sous la supervision d'un enseignant habilité par ladite commission.

#### Qui peut postuler au Mastère MSS ?

Le Mastère est ouvert aux Ingénieurs Diplômés du Génie Civil. Toutefois, d'autres candidatures en maîtrise et/ou en sciences de l'ingénieur, dont la formation est jugée compatible par la Commission du Mastère, seront examinées.

#### Recrutement et déroulement des études

Le recrutement se fait, pour les élèves de 3ème année ENIT - Génie Civil en fonction de leurs résultats durant les années précédentes, et pour les étudiants titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou d'une maîtrise, sur examen de dossier.

#### Le contrôle des connaissances.

Le système d'évaluation est celui en vigueur à l'ENIT : contrôle continu, session principale d'examens et session de rattrapage.

#### Effectifs prévisionnels

La Commission de Mastère fixera l'effectif de la promotion selon la capacité d'encadrement réelle disponible.



## Les programmes des Cours

*Tronc Commun (75h)*

Intitulé du module et éléments du programme	Intitulé court	Vol. hor.
<p><b>Modélisation des matériaux à comportement dissipatif</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamique des milieux continus et lois de comportement</li> <li>• Le comportement élastique endommageable</li> <li>• Le comportement élastoplastique : plasticité parfaite, écrouissage isotrope, écrouissage cinématique, plasticité non associée</li> <li>• Le problème d'évolution en élastoplasticité parfaite</li> <li>• Aperçu sur l'analyse limite</li> </ul>	MMCD	30h
<p><b>Théorie de l'Homogénéisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Approche ingénieur du comportement des matériaux hétérogènes.</li> <li>• Etude théorique et modélisation numérique des problèmes d'homogénéisation périodique.</li> <li>• Cas des matériaux stratifiés.</li> </ul>	TH	15h
<p><b>Théorie du Calcul à la Rupture</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principes fondamentaux. Notion de domaine des chargements potentiellement supportables</li> <li>• Approche statique par l'intérieur, critères de résistance usuels pour le milieu continu 3D</li> <li>• Approche statique par l'extérieur</li> <li>• Dualisation par le principe des puissances virtuelles ; Approche cinématique par l'extérieur. Fonctions « <math>\pi</math> » pour les critères de résistance usuels</li> </ul>	CR	15h
<p><b>Méthodes Variationnelles et Numériques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaces de Sobolev- Théorème de Lax-Milgram.</li> <li>• Problème de Dirichlet; Problème de Neumann ; Problème de l'élasticité linéaire ; Pénalisation, multiplicateurs de Lagrange.</li> <li>• Les techniques classiques d'éléments finis.</li> <li>• Convergence de la méthode des Eléments finis. Erreur d'approximation et erreur d'interpolation.</li> </ul>	MVN	15h

**Option Modélisation et Calcul des Structures –MCS (150h)**

<b>Intitulé du module et éléments du programme</b>	<b>Intitulé court</b>	<b>Vol. hor.</b>
<b>Optimisation des structures</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulation de problèmes d'optimisation de structures.</li> <li>• Optimisation Classique.</li> <li>• Approche par critères d'optimalité.</li> <li>• Eléments de programmation mathématique.</li> <li>• Analyse de sensibilité.</li> <li>• Approximations et Réanalyse.</li> <li>• Méthodologies d'optimisation des structures.</li> <li>• Problèmes discrets et optimisation de topologie.</li> </ul>	OS	30h
<b>Modélisation des structures minces : poutres, plaques et coques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les modèles cinématiques de poutres (Euler-Bernouilli, Timoshenko, Vlassov)</li> <li>• Les plaques et les coques de Love-Kirchhoff.</li> <li>• Les plaques épaisses de Reissner Mindlin.</li> <li>• Les théories d'ordre supérieur : Théorie de Lo - Théorie de Reddy - Théorie de gauchissement.</li> <li>• Les plaques multicouches.</li> </ul>	MSM	30h
<b>Calcul à la rupture appliqué aux structures de poutres et de plaques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcul à la rupture pour les structures composées de barres articulées</li> <li>• Calcul à la rupture pour les poutres en flexion</li> <li>• Calcul à la rupture pour les portiques</li> <li>• Calcul à la rupture pour les plaques en flexion</li> </ul>	CRSP	15h
<b>Approche micro-macro</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Approche macro : Algorithmes de simulation numérique pour: - l'élasto-plasticité et l'élasto-visco-plasticité, - l'élasticité en grandes déformations, la plasticité en grandes déformations, la plasticité cyclique, - l'endommagement, approches non - locales.</li> <li>• Approche micro/macro et homogénéisation : Modélisation et simulation numérique: matériaux renforcés par des inclusions, - résultat d'Eshelby et inclusion isolée, - schémas d'homogénéisation de Voigt, Reuss, auto- cohérent, Mori-Tanaka , etc, élasticité linéaire et élasto-plasticité, matériaux polycristallins élasto-plastiques.</li> </ul>	AMM	30h
<b>Matériaux avancés</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation du changement de phase dans les solides : La barre d'Ericksen, Minima locaux de l'énergie, Branches d'équilibre métastables, Application aux alliages à mémoire de forme, Application aux ballons en caoutchouc, La théorie tridimensionnelle de Ball et James</li> <li>• Modèles raffinés : La théorie du gradient de Cahn et Hilliard, Le modèle de Truskinovsky et Zanzotto</li> <li>• Transition du discret au continu : Chaînes d'atomes, Le modèle de rupture de Truskinovsky, La transition au continu</li> </ul>	MA	30h
<b>Un module au choix parmi :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Interaction fluide-structure</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rappel de la dynamique des milieux continus (applications pour les structures et les fluides)</li> <li>• Interaction fluide structure : cas de fluide incompressible et sans viscosité</li> <li>• Interaction fluide structure : cas de fluide compressible et sans viscosité</li> </ul> </li> <li>- <b>Stabilité élastique des structures</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation des systèmes instables (instabilité statique et dynamique)</li> <li>• Critères de stabilité</li> <li>• Instabilités paramétriques</li> </ul> </li> </ul>	IFS  SES	15h



**Option Matériaux Avancés et Environnement – MAE (150h)**

Intitulé du module et éléments du programme	Intitulé court	Vol. hor.
<b>Comportement des matériaux composites</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notion de composite et d'homogénéisation de composite</li> <li>• Comportement thermoélastique des composites</li> <li>• Composite isotropes</li> <li>• Composite à renforts unidirectionnels</li> <li>• Composite stratifiés</li> <li>• Composite tissés</li> </ul>	CMC	30h
<b>Les nouveaux bétons</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulation du béton</li> <li>• Béton à hautes performances (BHP)</li> <li>• Béton à fibres</li> <li>• Béton renforcé (lamelles, billes polystyrènes, ...)</li> <li>• Béton composite</li> <li>• Essais de caractérisation du béton</li> </ul>	NB	30h
<b>Géomatériaux : comportement et rupture</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principes généraux ;</li> <li>• Application aux matériaux non visqueux ;</li> <li>• Anisotropie et non homogénéité ;</li> <li>• Les classes des lois de comportement à paramètres indépendants ;</li> <li>• Analyse des surfaces de rupture ;</li> <li>• Instabilité et bifurcations des matériaux granulaires ;</li> </ul>	GCR	30h
<b>Approche micro-macro</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Approche macro : Algorithmes de simulation numérique pour: - l'élasto-plasticité et l'élasto-visco-plasticité, - l'élasticité en grandes déformations, la plasticité en grandes déformations, la plasticité cyclique, - l'endommagement, approches non - locales.</li> <li>• Approche micro/macro et homogénéisation : Modélisation et simulation numérique: matériaux renforcés par des inclusions, - résultat d'Eshelby et inclusion isolée, - schémas d'homogénéisation de Voigt, Reuss, auto-cohérent, Mori-Tanaka , etc, élasticité linéaire et élasto-plasticité, matériaux polycristallins élasto-plastiques.</li> </ul>	AMM	30h
<b>Matériaux avancés</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation du changement de phase dans les solides : La barre d'Ericksen, Minima locaux de l'énergie, Branches d'équilibre métastables, Application aux alliages à mémoire de forme, Application aux ballons en caoutchouc, La théorie tridimensionnelle de Ball et James</li> <li>• Modèles raffinés : La théorie du gradient de Cahn et Hilliard, Le modèle de Truskinovsky et Zanzotto</li> <li>• Transition du discret au continu : Chaînes d'atomes, Le modèle de rupture de Truskinovsky, La transition au continu</li> </ul>	MA	30h