

UNIVERSITE TUNIS EL MANAR



المدرسة الوطنية للمهندسين بتونس

école nationale d'ingénieurs de Tunis

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

## Mastère «Matériaux, Sols et Structures » (MS<sup>2</sup>)

- **Présentation du mastère**
- **Programme des enseignements**

Université Tunis El Manar

Etablissement : ENIT

BP.37 –1002 Tunis le Belvédère

Tel :71 874 700 –Fax : 71 872 729,

<http://www.enit.rnu.tn>

Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Tél :(+216) 71 874 700 (Postes 572 & 598)

[ecole.doctorale@enit.rnu.tn](mailto:ecole.doctorale@enit.rnu.tn)

<http://www.enit.rnu.tn/ed-sti>

Coordinateur du Mastère :

**Hatem ZENZRI**

ENIT - Département de Génie Civil

Laboratoire de Génie Civil (LGC)

BP.37 –1002 Tunis le Belvédère - Tunisie

Tél : +216 71 874 700 Poste 452

Fax +216 71 872 729

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

# Présentation du Mastère Matériaux, Sols et Structures

Le mastère recherche MSS propose un cursus centré sur la mécanique des matériaux, des sols et des structures et ses applications dans le domaine 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 et les stages de recherche ciblent des sujets tels que : la prise en compte des hétérogénéités dans les matériaux, le comportement réel et dissipatif des matériaux (et géomatériaux) sous chargements complexes, les interactions et couplages, la rupture, l'optimisation des structures et les calculs sismiques.

Les débouchés naturels du mastère 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.

## Les structures de recherche tunisiennes soutenant le mastère

Le mastère MSS s'appuie fortement sur deux structures de recherche du département de Génie Civil de l'ENIT : le Laboratoire de Génie Civil (LGC) et l'Unité de Recherche en Ingénierie Géotechnique (URIG). Ainsi, la majorité des enseignements du mastère sont assurés par des membres de ces structures de recherche.

Les structures de recherche tunisiennes qui potentiellement peuvent accueillir et encadrer les étudiants du mastère en stage de recherche sont les suivantes :

- Le Laboratoire de Génie Civil (ENIT)
- L'Unité de Recherche en Ingénierie Géotechnique (ENIT)
- Le Laboratoire des Systèmes et Mécanique Appliquée (Ecole Polytechnique de Tunisie)
- Le Laboratoire de Modélisation Mathématique et Numérique dans les Sciences de l'Ingénieur (ENIT)
- L'Unité de Recherche de Mécanique Appliquée et Ingénierie d'Industrialisation (ENIT)

## Coopération Internationale

Dans le cadre de coopérations internationales établies et entretenues de longues dates, le mastère «Matériaux, Sols et Structures » bénéficie du soutien de plusieurs structures de recherche et institutions européennes par la participation aux enseignements et/ou par l'encadrement des stages de recherche :

- Le Laboratoire CESAME de l'université Catholique de Louvain, Belgique
- Le Laboratoire L3S de l'INPG, France
- Le Laboratoire LM2S de l'université Paris 6, France
- La Faculté d'Ingénierie de Ferrara, Italie
- Le Laboratoire des Matériaux et des Structures du Génie Civil, ENPC, France
- Le Laboratoire d'Analyse des Matériaux et Identification, ENPC, France
- Le Centre d'Enseignement et de Recherche en Mécanique des Sols, ENPC, France
- Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid, Espagne

## Equipements Pédagogiques et Scientifiques Disponibles

- E Equipements du Département de Génie Civil de l'ENIT :
- laboratoire pédagogique de mécanique des sols.

- laboratoire pédagogique de matériaux
  - 3 salles informatiques (3x 14 PC)
- 3 Equipements du Laboratoire de Génie Civil, LGC, de l'ENIT
- Machines d'essais : Presse pour béton (300 tonnes), Presse pour mortiers (150 tonnes), Presse de flexion 3 et 4 points pour structures (15 tonnes), Presse triaxiale (cyclique) pilotée par un système GDS pour des sols saturés ou non saturés, Table vibrante, Malaxeur 120 litres à axe vertical, Enceinte climatique, Machine à ultrason
  - Centre de calcul (24 PC)
  - Logiciels de Calcul : ABAQUS, FEMLAB
  - Bibliothèque spécialisée
- B Equipements de l'Unité de Recherche en Ingénierie Géotechnique :
- Equipement triaxial quasi-statique
  - Logiciels : Plaxis et TALREN II

### Organisation des études

Conformément aux textes de loi en Tunisie, la formation dans le mastère s'étale sur trois semestres; 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 démarrent en septembre avec la rentrée des élèves ingénieurs de 3ème année ENIT et s'étalent sur le premier semestre de l'année universitaire.

Les étudiants dont le cursus passé aurait comporté des enseignements (validés) couvrant une partie substantielle de l'un des modules du mastère, pourront être dispensés de ce module sur présentation, à la commission du mastère, d'une demande écrite accompagnée des justificatifs appropriés.

### Les enseignements

Les enseignements (300h) sont organisés en modules dispensés lors du premier semestre. Ces enseignements comportent un tronc commun (210h) constitué de 6 modules (3 modules de 45h, un module de 30h et 2 modules de 22,5h) et de 2 modules au choix parmi lesquels un module est assuré en anglais (45h par module). Il est à noter que le plan d'étude du mastère comporte 2 modules communs au mastère Génie Mécanique de l'ENIT. *(Une description détaillée de tous les enseignements est fournie dans la suite de ce document pages 4-15.)*

Les enseignements sont assurés par treize (14) enseignants de l'ENIT (3 professeurs, 4 maîtres de conférences et 7 maîtres assistants) et cinq (5) professeurs visiteurs européens. Tous les enseignements ont lieu à l'ENIT, Campus Universitaire El Manar. La présence aux séances d'enseignement est obligatoire et les absences sont sanctionnées selon le système en vigueur à l'ENIT.

Des séminaires d'initiation pédagogique sont organisés durant les deux derniers semestres parallèlement à la préparation du stage de recherche, et cela pour ceux qui auront validé les enseignements du premier semestre.

### La validation des enseignements

Le système d'évaluation est celui en vigueur à l'ENIT : contrôle continu (tests et/ou mini projets), session principale d'examens et session de rattrapage (uniquement pour les modules à examens). Pour chaque module, il est calculé une moyenne résultant des notes obtenues dans les différentes épreuves de contrôle des connaissances. La validation des enseignements du mastère est déclarée pour l'étudiant ayant obtenu, en session principale ou en session de rattrapage, une moyenne générale (moyenne arithmétique des moyennes des modules) supérieure ou égale à dix (10).

### Le mémoire du stage de recherche

Le stage de recherche est réalisé, selon les textes en vigueur, après la validation des enseignements du premier semestre. Il s'étale sur deux semestres. Il consiste en un travail scientifique d'initiation à la recherche et d'approfondissement d'une problématique liée à la spécialité du mastère. Le stage s'achève par la rédaction d'un mémoire de stage qui sera soutenu devant un jury. 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 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 la commission du mastère.

**Qui peut postuler au Mastère MSS ?**

Le mastère MSS est ouvert aux Ingénieurs Diplômés en Génie Civil et aux élèves en 3ème année à l'ENIT. 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 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 programme d'enseignement du mastère MSS

## Tronc Commun (210h)

Intitulé du module	Volume horaire	Equipe Enseignante
<i>Eléments Finis</i>	45h	Mohamed AIDI (Maître de Conférences-ENIT) Karim MILED (Maître Assistant –ENIT) Zied SAADA (Maître Assistant –ENIT) Hatem ZENZRI (Maître de Conférences-ENIT)
<i>Plasticité, Analyse Limite et Calcul à la Rupture</i>	45h	Malek ABDELKRIM (Maître Assistante –ENIT) Mounir BOUASSIDA (Professeur –ENIT) Oualid LIMAM (Maître Assistant –ENIT) Hatem ZENZRI (Maître de Conférences-ENIT)
<i>Dynamique des Sols et Analyse Sismique</i>	45h	Najla BOUDEN ROMDHANE (Maître de Conférences-ENIT) Hedi HASSIS (Professeur –ENIT) Mehrez JAMEI (Maître Assistant –ENIT)
<i>Modélisations des Matériaux Hétérogènes (module commun au mastère Génie Mécanique de l'ENIT)</i>	30h	Françoise LENE (Professeur- Université Pierre et Marie Curie, France) Issam DOGHRI (Professeur- Université Catholique de Louvain, Belgique) Karim MILED (Maître Assistant –ENIT)
<i>Modélisation Avancées des Comportements de Matériaux (module commun au mastère Génie Mécanique de l'ENIT)</i>	22,5h	Othman BEN MEKKI (Maître Assistant –ENIT) Gianpietro DEL PIERO (Professeur- Università di Ferrara, Italie) Hatem ZENZRI (Maître de Conférences-ENIT)
<i>Géomatériaux</i>	22,5h	Christian GEINDREAU (Professeur-Université Joseph Fourier Grenoble, France) Felix DARVE (Professeur-INPG, France) Mehrez JAMEI (Maître Assistant –ENIT) Zied SAADA (Maître Assistant –ENIT)

### Un module à choisir parmi les 2 modules suivants :

Intitulé du module	Volume horaire	Equipe Enseignante
<i>Modélisation et calcul des poutres, plaques et coques</i>	45h	Othman BEN MEKKI (Maître Assistant –ENIT) Rached El FATMI (Maître de Conférences-ENIT) Hedi HASSIS (Professeur –ENIT)
<i>Prospection Géophysique Appliquée au Génie Civil</i>	45h	Najla BOUDEN ROMDHANE (Maître de Conférences-ENIT) Essaieb HAMDY (Maître Assistant –ENIT)

### Un module à choisir parmi les 2 modules suivants :

Intitulé du module	Volume horaire	Equipe Enseignante
<i>Structural Optimisation</i>	45h	Hichem SMAOUI (Professeur –ENIT)
<i>Soil Improvement Techniques</i>	45h	Mounir BOUASSIDA (Professeur –ENIT)

**Éléments Finis**  
**Module de 2<sup>ème</sup> année Génie Civil**  
**Module du mastère Matériaux, Sols et Structures**

**Prérequis :** programme de mathématiques des classes préparatoires et 1<sup>ère</sup> année ENIT

**Equipe enseignante :** Mohamed AIDI, Karim MILED, Zied SAADA et Hatem ZENZRI

**Objectifs et contexte du module :** Présentation et application de la méthode des éléments finis qui est une méthode numérique utilisée pour le calcul de solutions approchées de problèmes définis par des équations aux dérivées partielles et des conditions aux limites. Actuellement, et dans le champ d'application des sciences de l'ingénieur, cette méthode est intégrée dans la plupart des logiciels de calcul et de conception assistée par ordinateur. Les problèmes aux limites de type elliptique, dont il est question dans ce module, apparaissent dans les études de régime stationnaire en thermique, en mécanique ou en électricité. Pour leurs intérêt et conséquences pratiques, les fondements mathématiques de la méthode des éléments finis sont rigoureusement présentés et ceci parallèlement à des applications détaillées en thermique et en calcul de structures élastiques.

**Programme**

- 1) Introduction de la méthode des éléments fini : Exemples 1D et 2D en thermique et en élasticité
- 2) Problèmes variationnels abstraits, Théorème de Lax-Milgram et espaces de Sobolev.
- 3) Etude de quelques problèmes elliptiques : Problème de Dirichlet; Problème de Neumann ; Problème de l'élasticité linéaire ; Pénalisation, multiplicateurs de Lagrange.
- 4) Quelques éléments finis usuels : Définition d'un élément fini et propriété d'unisolvançe, Eléments finis de Lagrange, Eléments finis de Hermite, Classe d'un élément fini.
- 5) Convergence de la méthode des Eléments finis

Mini-projets :

- Résolution d'un problème 1D elliptique en utilisant la méthode des éléments finis et le calcul formel (Maple)
- Résolution d'un problème de thermique (régime stationnaire) en utilisant un logiciel de calcul par éléments finis (RDM6)
- Résolution d'un problème d'élasticité en utilisant un logiciel de calcul par éléments finis (ABAQUS)

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h ;

50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen.

**Documents pédagogiques et autres références :**

- 1)H. Zenzri , La Méthode des Éléments Finis Appliquée aux Problèmes Elliptiques. Polycopié de cours et d'exercices. ENIT, 2008
- 2)P.G. Ciarlet, The finite element method for elliptical problems. Studies in mathematics and its applications. Volume 4. Editors: J. L. Lions, G. Papanicolaou, R. T. Rockafellar. North-Holland Publishing Company, 1978.
- 3)J.L. Batoz et G. Dhatt, Modélisation des structures par éléments finis, Hermes 1990.
- 4)O.C. Zienkiewicz, La méthode des éléments finis appliquée à l'art de l'ingénieur. Ediscience, Paris, 1973.

## Plasticité, Analyse Limite et Calcul à la Rupture

Module optionnel de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année Génie Civil

Module du mastère Matériaux, Sols et Structure

**Prérequis :** Mécanique des Milieux Continus et Théorie des Structures.

**Equipe enseignante :** Malek ABDELKRIM, Mounir BOUASSIDA, Oualid LIMAM et Hatem ZENZRI

**Objectifs et contexte du module :** Ce module présente la théorie de l'élasto-plasticité statique, les théorèmes d'analyse limite, les méthodes du calcul à la rupture et leurs applications aux dimensionnements des structures et ouvrages. La prise en compte du comportement plastique des matériaux est aujourd'hui très présente dans la pratique du dimensionnement des structures et ouvrages :

- les logiciels de calcul utilisés dans le domaine du génie civil incluent des modules de calcul en élasto-plasticité ;
- les normes actuelles de la construction (Eurocodes) font constamment référence aux calculs aux états limites ultimes qui trouvent leurs justifications dans la théorie de la plasticité et de l'analyse limite ;
- les méthodes du calcul à la rupture, étroitement liées aux théorèmes de l'analyse limite, ont fait leur preuves dans l'étude de la stabilité des sols et ouvrages en terme de compatibilité entre l'équilibre et les critères de résistance.

### Programme

1. Calcul élastoplastique des structures à barres réticulées. Calcul élastoplastique des poutres et portiques en flexion.
2. Le comportement élastoplastique 3D : Critère de plasticité, principe de Hill, loi d'écoulement plastique, exemples de calcul 3D analytiques et numériques par éléments finis (ABAQUS).
3. Analyse limite : Approche (statique) par l'intérieur de l'ensemble des chargements supportables, Approche (cinématique) par l'extérieur, Le théorème de Ahmed Friaa, Le théorème d'association et Exemples d'applications (structures à barres réticulées, poutres en flexion, tube et sphère sous pression..)
4. Les méthodes du calcul à la rupture : Domaine de résistance, Chargement potentiellement supportable; Chargement extrême, Problèmes en déformations planes, Exemples d'applications (Poinçonnement d'un demi-espace. Stabilité d'une fouille verticale...) et Initiation au logiciel STARS II.
5. Illustration expérimentale : Essai sur poutre.

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h ;  
50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen.

### Documents pédagogiques et autres références :

- 1- Mounir Bouassida. *Cours de calcul à la rupture. Polycopié de cours, ENIT, 1998.*
- 2- Ahmed Friâa et Hatem Zenzri. *Mécanique des Milieux Continus : Modélisation des comportements non linéaires et Calcul des structures anélastiques - ENIT, 1998.*
- 3- Issam Doghri « *Mechanics of deformable solids : Linear, Nonlinear, Analytical and Computational Aspects*» Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- 4- Bernard Halphen et Jean Salençon « *Elastoplasticité* » Presse de l'ENPC 1987.
- 5- Jacob Lubliner - *Plasticity Theory – Macmillan Publishing Company-New York -1990*
- 6- Jean Salençon (1983). *Calcul à la rupture et analyse limite. Editions Presses de l'école nationale des ponts et chaussées. Paris.*
- 7- Jean Salençon (1991). *Calcul à la rupture - Poutres, Plaques et Dalles minces en flexion. Notes de cours. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Paris.*
- 8- Jean Salençon (1991). *An Introduction to the yield design theory and its applications to soil mechanics. European Journal of Mechanics, A/ Solids, Vol. 9, N°5 :477-500.*

## DYNAMIQUE DES SOLS ET ANALYSE SISMIQUE

Module optionnel de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année Génie Civil

Module du mastère Matériaux, Sols et Structures

**Prérequis :** Mécanique des Milieux Continus, Théorie des Structures et Mécanique des Sols.

**Equipe enseignante :** Najla BOUDEN ROMDHANE, Hedi HASSIS et Mehrez JAMEI

### Objectifs du module :

Etude du comportement des sols sous chargement cyclique: modèles linéaires, modèles non linéaires. Mesure des caractéristiques dynamiques des sols. Interaction sol-structure. Notion de sismologie. Définition de la sollicitation sismique et méthode modale. Analyse sismique probabiliste. Application au génie civil.

### Programme

- I) Propriétés dynamiques des sols ; Paramètres dynamiques des sols ; Méthodes de détermination des paramètres dynamiques des sols ; Facteurs influant les paramètres dynamiques des sols ;
  - II) Effet de site : effet d'amortissement et effet d'amplification
  - III) Comportements des fondations, des talus et des ouvrages de soutènement sous sollicitations sismiques
- N.B. : Les chapitres ci-dessous sont assurés en anglais**
- IV) Earthquake Analysis of Structures and Engineering Works (normal modes, spectra analysis, seismic conception, different models for earthquake analysis, evaluation of the risk)
  - V) Application: Conception with Eurocode 8; Computational conception and design of building and engineering works based on SAP2000 computer code.
  - VI) Soil structures Interaction :
    - Equivalent Dynamic stiffness of a one layer soil with a superficial and rigid foundation (case of compression, flexural and torsion stress)
    - Stiffness for multilayer soil with a superficial and rigid foundation
    - Modelisation of the depth foundation (piles and others)
    -
  - VII) Use of testing machines :
    - Cyclic loading by using a Triaxial machine for saturated and non saturated soil
    - Dynamic analysis of prototypes using a vibration table.

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h ;  
50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen.

**Documents pédagogiques et autres références:**

## MODÉLISATIONS DES MATERIAUX HETEROGENES

### Module du mastère Matériaux, Sols et Structures Commun au Mastère Génie Mécanique

**Prérequis :** Mécanique des Milieux Continus

**Equipe enseignante :** Françoise LENE, Issam DOGHRI et Karim MILED

#### Programme

1) Homogénéisation

Approche ingénieur du comportement des matériaux hétérogènes.

Etude théorique et modélisation numérique des problèmes d'homogénéisation périodique.

Cas des matériaux stratifiés.

Exemples de problèmes d'homogénéisation périodiques.

2) Approches Micro-Macro en mécanique non linéaire

I. 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.

II. 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.

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 30h;

50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen.

#### Documents pédagogiques et autres références:

1. F. Léné, Théorie de l'Homogénéisation. Polycopié de cours
2. I. Doghri « Mechanics of deformable solids : Linear, Nonlinear, Analytical and Computational Aspects» Springer-Verlag, Berlin, 2000.
3. Nikolov S.; Doghri I., A micro/macro constitutive model for the small-deformation behavior of polyethylene. Polymer, March 2000, vol. 41, no. 5, pp. 1883-1891.

**MODÉLISATIONS AVANCÉES DES COMPORTEMENTS DE MATERIAUX**

**Module du mastère Matériaux, Sols et Structures**

**Commun au Mastère Génie Mécanique**

**Prérequis :** Mécanique des Milieux Continus, Théorie des Structures

**Equipe enseignante :** Othman BEN MEKKI, Gianpiero DEL PIERO et Hatem ZENZRI

**Programme**

- 1) Thermodynamique des Milieux Continus et Comportements Standards Généralisés ; Application à la modélisation de l'endommagement et de la plasticité avec écrouissage.
- 2) Matériaux Avancés
  1. Modélisation du changement de phase dans les solides
    - 1.1 La barre d'Ericksen
    - 1.2 Minima locaux de l'énergie
    - 1.3 Branches d'équilibre métastables
    - 1.4 Application aux alliages à mémoire de forme
    - 1.5 Application aux ballons en caoutchouc
    - 1.6 La théorie tridimensionnelle de Ball et James
  2. Modèles raffinés
    - 2.1 La théorie du gradient de Cahn et Hilliard
    - 2.2 Le modèle de Truskinovsky et Zanzotto
  3. Transition du discrète au continu
    - 3.1 Chaines d'atomes
    - 3.2 Le modèle de rupture de Truskinovsky
    - 3.3 La transition au continu

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 22,5h;

100% Travaux personnalisés : mini projets, travail de synthèse (rédigé) sur des publications et exposé oral.

**Documents pédagogiques et autres références:**

- 1) A. Friâa et H. Zenzri : Mécanique des Milieux Continus : Modélisation des comportements non linéaires et calcul des structures anélastiques- Polycopié de cours , ENIT, 1998.
- 2) J. L. Chaboche et J. Lemaître « Mécanique des matériaux solides » Dunod 1985.
- 3) I. Doghri « Mechanics of deformable solids : Linear, Nonlinear, Analytical and Computational Aspects» Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- 4) G. Del Piero : Matériaux Avancés – Notes de Cours

**GÉOMATÉRIAUX**  
**Module du mastère Matériaux, Sols et Structures**

**Prérequis :** Mécanique des Milieux Continus, Mécanique des Sols

**Equipe enseignante :** Felix DARVE, Christian GEINDREAU, Mehrez JAMEI et Zied SAADA

**Programme**

- 1) Géomatériaux : Comportement et rupture  
Principes généraux en rhéologie des solides; Application aux matériaux non visqueux ; Visco-élasto-plasticité ; Les principales classes de lois de comportement pour les géomatériaux; Analyse de la rupture drainée et non-drainée dans les sols; Instabilités et bifurcations des matériaux granulaires ;
- 2) Milieux poreux  
Milieux poreux : microstructures, échelles caractéristiques  
Ecoulements dans un milieu poreux.  
Diffusion, advection et dispersion en milieu poreux  
Poro-élasticité (modele de Biot)  
Problèmes d'évolution poro-élastique.  
Approche multi-échelles des milieux poreux.  
Mini projets sur FEMLAB

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 22,5h

100% Travaux personnalisés : mini projets, travail de synthèse (rédigé) sur des publications et exposé oral.

**Documents pédagogiques et autres références:**

- 1) L. Dormieux et O. Coussy (1993). Introduction à la mécanique des milieux poreux. Cours de mécanique de l'ENPC
- 2) O.Coussy (1991). Mécanique des milieux poreux. Edition Technip.

**Structural Optimisation**  
**Module optionnel de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année Génie Civil**  
**Module optionnel du mastère Matériaux, Sols et Structures**  
*(Module dispensé en anglais)*

**Prérequis :** Mécanique des Milieux Continus et Théorie des Structures

**Enseignant :** Hichem SMAOUI

**Programme**

- 1) The concept of optimum structural design
- 2) Problem formulation
- 3) Classes of structural optimization problems
- 4) Structural optimization approaches
- 5) Elements of mathematical programming
- 6) Sensitivity analysis
- 7) Approximation concepts in structural optimization
- 8) Topology optimization methodologies

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h ;  
50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen.

**Ouvrages de références :**

- 1- R. H. Gallagher and O. C. Zienkiewicz (1973). Optimum structural design : theory and applications. John Wiley and Sons.
- 2- O. Kirsh (1993). Structural optimization : fundamentals and applications. Springer Verlag.
- 3- R. T. Haftka and Z. Gürdal (1992). Elements of structural optimization. 3<sup>rd</sup> edition, Kluwer Publications.

## PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS MSS

### MODÉLISATION ET CALCUL DES POUTRES, PLAQUES ET COQUES

Module optionnel de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année Génie Civil

Module optionnel du mastère Matériaux, Sols et Structures

**Prérequis :** Mécanique des milieux continus, Théorie des Structures, Géométrie différentielle (mathématiques des classes préparatoires)

**Equipe enseignante :** Othman BEN MEKKI, Rached EL FATMI et Hedi HASSIS

#### Objectifs et contexte du module :

L'objectif de ce module est la Modélisation et le Calcul des structures minces traitées comme milieux bidimensionnels de type plaques et coques. Le calcul se fait pour les structures élastiques et cela en statique et dynamique. Les structures isotropes sont les plus analysées mais les structures orthotrope et renforcées seront évoquées.

Des problèmes relatifs aux plaques (rectangulaires et circulaires) et aux coques (cylindriques, coniques, sphériques) sont résolus analytiquement. Deux sessions de logiciels (SAP 2000) sont dédiées aux problèmes complexes.

Dans une première étape, les modèles utilisés seront ceux de Kirchhoff et de Mindlin (modèles linéaires de 1<sup>er</sup> ordre) et en seconde étape, les modèles dits d'ordre supérieur seront analysés.

#### Programme

- 1-Rappels de la théorie des surfaces
- 2-Théorie des plaques et des coques
- 3-Applications: dalles rectangulaires et circulaires, réservoirs cylindriques et sphériques, effets thermiques, effets dynamiques
- 4-Théories avancées pour les structures minces
  - 4-1-Une méthode en contrainte: poutre de St Venant
  - 4-2-La méthode cinématique: torsion non-uniforme des profilés minces, flexion des plaques épaisses, flexion de poutre ou plaque composites

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h

50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen.

#### Documents pédagogiques et autres références:

- 1- Polycopié de cours : H. Hassis , « Plaques et coques : support de cours pour l'ingénieur »
- 2- Polycopié de cours : H. Hassis , « Low and high order theories for plates and shells »
- 3- Y. Bamberger « Mécanique des solides, Tome 3 » Hermes
- 4- Ph. Destuynder « Modélisation des coques minces élastiques » Masson 1990

**SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUES**  
**Module optionnel de 3<sup>ème</sup> année Génie Civil**  
**Module optionnel du mastère Matériaux, Sols et Structures**  
**(Module dispensé en anglais)**

**Prérequis :** Mécanique des sols 1 et 2.

**Enseignant :** Mounir BOUASSIDA

**Objectives:** This course aims at the presentation of current improvement and reinforcement techniques of problematic soils (soft clays, loose sands, etc.). Two main parts are considered for each improvement technique. First is the focus on mechanical modelling of reinforced soils in which several methods are exposed for stability purposes. As examples direct and mixed approaches, homogenisation methods are treated. As illustration, handling software is programmed. Second, practical aspects dealing with installation techniques and in situ control tests are investigated. Illustration for some case histories is given.

**PROGRAMME**

Introduction.

Aims and advantages of soil improvement. Characteristics of behaviour reinforced soils.

Chapter 1. Preloading & vertical drains

Horizontal consolidation Models. Evolution of accelerated settlement.

Geodrains (PVD), sand drains. Comparison and specifications.

Chapter 2. Reinforcement by columns

Bearing capacity and settlement predictions using direct approaches.

Evaluating improved soil characteristics (stone columns technique).

Evaluating prevention of liquefaction: vibro compaction technique.

Methodology of overall design. "Columns software.

Chapter 3. Reinforced earth and soil nailing

Stability aspects. Soil-inclusion interaction. Mixed approach (limitation). Homogenisation method. Talren IV software.

Chapter 4. Geotextiles

Mechanical behaviour and characterisation of products. Design methods oriented to reinforcement of high embankments.

Combination of geotextiles and other reinforcement techniques: Challenges and methodology of analysis.

**1. Available copy books (in French):**

M. Bouassida (2004). Cours d'amélioration des sols. Notes de cours (cinq chapitres).

M. Bouassida (2007). Modélisations mécaniques des sols renforcés.

**2. Book :**

Bergado D.T., Anderson L.R., Miura N. & Balasubramaniam A.S. (1996). Soft ground improvement in lowland and other environments. American Society of Civil Engineers Edition.

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h

50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) +50% examen

## **PROSPECTION GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE AU GENIE CIVIL**

**Module optionnel de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année Génie Civil**

**Module optionnel du mastère Matériaux, Sols et Structures**

**Prérequis :** Géologie de l'ingénieur

**Enseignante :** Najla BOUDEN ROMDHANE et Essaieb HAMDI

**Programme :**

Sismique: méthodes, signaux et bruit, réfraction, réflexion, acquisition de données, traitement de l'information, interprétation géologique. Gravimétrie: principes et appareils, corrections des mesures, interprétation qualitative et quantitative. Magnétisme: principes et appareils, anomalies magnétiques, interprétations, magnétisme et gravimétrie. Electricité: principes, prospection par courant continu, magnétotellurique, polarisation provoquée, polarisation spontanée. Diagraphie: diagraphie différée, nature des mesures, profondeur d'investigation latérale (résolution). Analyse lithologique, porosité et nature des fluides.

**Volume horaire, modalités et contrôle des connaissances:** 45h en 15 séances de 3h

50% Contrôle continu (tests et/ou mini projets) + 50% examen

**Documents pédagogiques et autres références:**