



MASTERE MODELISATION EN HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENT

Coordinateur du Mastère : JAMEL CHAHED
ENIT, Département Génie Civil,
Laboratoire LMHE
BP 37, Le Belvédère, 1002-Tunis
jamel.chahed@enit.rnu.tn

1. Le Mastère de Modélisation en Hydraulique et Environnement

La formation doctorale pilotée par le Laboratoire de Modélisation en Hydraulique et Environnement (LMHE) et dont à la base se trouve le Mastère de Modélisation en Hydraulique et Environnement (MHE), contribue depuis sa création en 1991 à la formation par la recherche des enseignants chercheurs et au renforcement du potentiel scientifique et technique des institutions publiques et privées dans le domaine de l'eau et de l'environnement. Le Mastère de Modélisation en Hydraulique et Environnement s'adresse :

- aux ingénieurs diplômés du Génie Civil et Rural,
- aux ingénieurs du Génie Energétique, de l'Environnement et des Procédés, de Géologie, et
- aux titulaires d'une maîtrise en Sciences physiques, Mathématiques ou équivalents qui désirent se former à la recherche scientifique dans les thématiques de l'eau et de l'environnement.

L'objectif du mastère est d'initier et de former les étudiants - chercheurs aux méthodes d'identification, d'analyse, de prévision et de contrôle, essentiellement par modélisation mathématique, des problèmes liés au cycle hydrologique et ses flux associés, à la gestion de la pollution hydrique ainsi qu'aux systèmes hydrauliques.

Cette formation s'inscrit dans le cadre du renforcement des capacités du secteur de l'eau. Cela concerne un large spectre de thématiques : modélisation hydrologique des hydro-systèmes en rapport avec les problèmes du cycle hydrologique, amélioration des connaissances des écoulements complexes appliqués aux problèmes rencontrés en environnement, prédétermination des systèmes fluides industriels de transfert et de transformation. Tout en s'inscrivant dans les disciplines des Sciences Pour l'Ingénieur, ces thématiques restent suffisamment générales au plan académique pour intéresser également les étudiants ayant suivi une formation générale de maîtrise en physique, mécanique ou dans des disciplines des Sciences de l'Univers. De ce fait, le mastère de Modélisation en Hydraulique et Environnement oriente vers des thèses dans tous les domaines de l'hydraulique, des sciences hydrologiques et de la mécanique des fluides et de ses applications.

Le Mastère de Modélisation en Hydraulique et Environnement comporte deux options :

- Fluides, Procédés et Environnement (FPE)
- Transferts d'eau et flux associés en Bassins Versants (TBV)



2- Présentations des options du Mastère MHE

2a. Option Fluides, Procédés et Environnement

L'option Fluides, Procédés et Environnement (FPE) est une formation qui couvre les aspects fondamentaux et de modélisation en mécanique des fluides en visant les applications aux systèmes industriels et environnementaux. Elle s'appuie sur une approche transdisciplinaire associant les méthodes de l'hydrodynamique et du génie des procédés et vise deux objectifs généraux de formation :

- la maîtrise des outils de modélisation des systèmes de fluides de l'environnement
- l'étude des processus de transfert dans les systèmes de fluides en visant les applications aux systèmes industriels tels que ceux utilisés en génie des procédés de l'eau et dans le domaine des turbomachines

La formation comporte des activités de modélisation et de simulation d'écoulements de fluides et de manipulation des codes numériques. L'accès à l'option Fluides, Procédés et Environnement (FPE) du Mastère de MHE nécessite une formation initiale de niveau suffisant en physique et en mathématiques et un niveau minimal en mécanique des fluides et en analyse numérique.

2b. Option : Transferts d'eau et flux associés en Bassins Versants (TBV)

L'option Transferts d'eau et flux associés en Bassins Versants (TBV) correspond à une formation en relation avec les problèmes liés au cycle hydrologique et ses flux associés et à la pollution hydrique en bassin versant. L'ensemble des problématiques de ressources en eau et d'environnement nécessite la mise en œuvre de méthodologies où la conceptualisation des phénomènes, leur modélisation et simulation appuyées par l'observation et l'expérimentation représentent des étapes-clés vers la conception et la mise en œuvre de réponses adéquates. Cela concerne deux classes de problèmes généraux:

- Celles relatives à la connaissance des systèmes hydrologiques, tous particuliers et différents dans leur fonctionnement et leurs connexions avec leur environnement ainsi que dans les efforts et les moyens consentis ou à déployer pour les investiguer à travers les réseaux de mesure
- et celles qui concernent la compréhension et la quantification des processus et des phénomènes qui ont lieu dans les systèmes et qui, sans cesse, se présentent avec des degrés croissants de complexité et d'interdépendances.

L'option Transferts d'eau et flux associés en Bassins Versants (TBV) offre aux étudiants les outils qui leur permettent de résoudre les problèmes posés. Cela couvre les méthodes statistiques, géostatistiques, mathématiques et numériques qui représentent des outils et des champs de recherche dont la maîtrise s'avère essentielle pour la modélisation des systèmes hydriques.

3- Organisation générale du Mastère

3.a Corps professoral :

La formation est principalement assurée par les enseignants permanents du Laboratoire de Modélisation en Hydraulique et Environnement. Elle s'appuie également sur des enseignants étrangers associés à cette formation dans le cadre du réseau scientifique du LMHE et qui contribuent dans les modules de la formation principale. La formation s'appuie aussi sur des enseignants tunisiens issus d'autres équipes de recherche et qui interviennent notamment dans les ateliers, conférences et séminaires de la formation pédagogique.



3.b Laboratoires d'accueil :

La formation du Mastère en MHE organisée par le LMHE bénéficie d'un appui très important dans le cadre des programmes nationaux et internationaux de recherche du laboratoire de MHE. Plus particulièrement, le Mastère de MHE est soutenu par un ensemble d'équipes et de laboratoires d'accueil du réseau scientifique international du LMHE. Au niveau national, les laboratoires d'accueil sont principalement l'IRD, l'INRST, et le CITET. Au niveau international, le réseau scientifique du LMHE comporte essentiellement l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSAT), l'Ecole Nationale Supérieure des mines de Paris, l'IWS de Stuttgart, l'INRS-ETE du Québec, l'université de Coimbra et l'Institut supérieur Technologique de Lisbonne (Portugal), le CHYN de l'Université Neuchatel. Ces laboratoires soutiennent le mastère de MHE en enseignement, en encadrement et en accueillant des étudiants en stages.

3.c Organisation des cours

Dans chaque option, les enseignements sont organisés en 10 modules de 25 heures composés de cours intégrés et d'ateliers (informatique, de laboratoire, de terrain ou de travaux personnels ou dirigés). Ces enseignements privilégient les phénomènes et les approches de modélisation. Ils ont pour but de donner aux étudiants les bases conceptuelles et méthodologiques pour aborder les problématiques de la recherche et les techniques modernes de modélisation et de simulation.

3.d Contrôle des connaissances

Les contrôles et examens se déroulent à la fin de chaque session de cours. Chaque enseignement compte pour un coefficient (coefficient 1) ; soit 10 coefficients au total. La moyenne par enseignement est calculée en tenant compte de la note attribuée aux autres activités (atelier, laboratoire, sortie...). Les étudiants admis sont alors appelés à réaliser un mémoire de recherche et à participer à une formation pédagogique au cours de la deuxième année de Mastère.

4. Programmes des enseignements

4a- Option : Fluides, Procédés et Environnement

1. Mécanique des Fluides approfondie (25 heures)

Objectifs : Ce cours introduit la formulation des équations de fluides classiques réactifs et présente les solutions asymptotiques pour les couches cisailées minces

Programme : Rappels sur les équations de base du fluide classique, introduction à la turbulence, solutions asymptotiques à grand nombre de Reynolds des écoulements cisailés minces, thermodynamique des mélanges de fluides

2. Méthodes Numérique en Mécanique des Fluides (25 heures)

Objectif : Ce cours vise à donner les outils de base nécessaires à la modélisation mathématique et numérique des problèmes des écoulements et des transferts.

Programme : Rappels sur les méthodes numériques, le modèle mathématique des phénomènes de transfert en dynamique des Fluides, les niveaux d'approximation en dynamique des fluides et leur classification, les schémas numériques de base en mécanique des fluides, les techniques de discrétisation de base, résolution des équations de Navier Stokes



3. Mécanique des Fluides Environnementale (25 heures)

Objectifs : L'objectif du cours est d'apporter les notions théoriques de base nécessaires à l'étude des phénomènes associés à l'hydrodynamique et aux transferts dans les fluides environnementaux

Programme : Concepts et définitions, équations de conservation, diffusion turbulente et dispersion, transformations physico-chimiques et biologiques, échange aux interfaces : eau-air, eau-sédiments, mélange atmosphérique, modèles de qualité

4. Fluides et Procédés : (25 heures)

Objectif : Le cours présente les approches locale et intégrale de modélisation des transferts et transformation dans les systèmes du génie des procédés

Programme : Rappels sur les fluides, notion sur les fluides non Newtoniens, phénomènes interfaciaux, application aux réacteurs : modèles d'écoulements, modélisation des cinétiques

5. Turbulence : Physique et Modélisation (25 heures)

Objectif : L'objectif du cours est d'introduire les principales méthodes de simulation numérique et de modélisation de la turbulence.

Programme : Physique des écoulements turbulents et mécanismes fondamentaux, modélisation et simulation numérique des écoulements turbulents, fermeture en un point de la turbulence, classification des modèles de turbulence

6. Transferts en milieu poreux (25 heures)

Objectifs : Description physique et modélisation mathématique des phénomènes de transferts en milieux poreux. Etudes de cas typiques de diffusion, convection, dispersion en écoulements mono et polyphasiques.

Programme : Rappels sur les équilibres thermodynamiques entre phases et les phénomènes interfaciaux, écoulements polyphasiques non miscibles, écoulements polyphasiques miscibles, transferts réactifs en milieu poreux, transferts de chaleur, transferts de chaleur avec changement de phase.

7. Hydraulique et Turbomachines (25 heures)

objectifs : Introduire l'approche classique de l'hydraulique industrielle avec applications aux systèmes de transfert, et initiation aux outils mathématiques et numériques de base pour aborder des recherches dans le domaine des turbomachines hydrauliques.

Programme : Ecoulement en charge dans les conduites et dans les systèmes hydrauliques et modélisation des écoulements transitoires - Modélisation des écoulements internes aux turbomachines hydrauliques.

8. Hydrodynamique littorale et lacustre (25 heures)

Objectif : Ce cours traite des phénomènes qui contrôlent l'hydrodynamique et les transferts dans les systèmes aquatiques continentaux et littoraux en vue de leur modélisation.

Programme : Equations de base des géofluides et approximations, ondes dans les fluides géophysiques, hydrodynamique et transferts dans les hydrosystèmes de surface, les principaux forçages externes, écoulements secondaires et transferts verticaux, équations des modèles locaux de transport, modèles hydrodynamiques intégrés 2D & 1D, modélisation de la dispersion des polluants en zones côtières, aspects hydrobiologiques des hydrosystèmes

**9. Ecoulements diphasiques (25 heures)**

Objectifs : Le cours introduit la physique des écoulements diphasiques au travers de l'écriture et de l'analyse des bilans à l'interface séparant deux fluides.

Programme : Classification des écoulements diphasiques, bilans de masse, quantité de mouvement en écoulement diphasique, modèles à deux fluides et problème de fermeture

10. Procédés de traitement de l'eau (25 heures)

Objectifs : Le cours concerne l'étude des principaux procédés de traitement et d'épuration des eaux.

Programme : les réacteurs en traitement d'eau, modélisation des cinétiques chimiques, croissance biologique et biodégradation de la matière organique, traitement biologique des effluents, la désinfection des eaux, bioréacteurs à membrane, simulation des procédés biologiques d'épuration

4b- Option : Transferts d'eau et flux associés en Bassins Versants**1. Physique du sol et Transferts en zone non saturée (25 heures)**

Objectifs : Etablissement de l'équation de Richards et l'équation du transport et étude du transport et des transferts dans la zone non-saturée du sol

Programme : Porosité des roches et relations fluide-solide, état de l'eau dans le sol, dynamique de l'eau dans le sol, échanges sol – atmosphère, transport de substances solubles et processus associés

2. Modèles pluie-débit en bassin versant (25 heures)

Objectifs : Formulation de la transformation pluie-débit à différentes échelles spatio-temporelles et méthodes d'identification

Programme : Bilan hydrologique en bassin versant, transferts d'échelle en zone non saturée, paramétrisation de la zone non saturée à l'échelle du bassin versant, modèles de convolution, modèles conceptuels à réservoirs, notion d'aire élémentaire représentative et de réponse hydrologique unitaire, modèles conceptuels discrétisés, calage des modèles, analyse des incertitudes

3. Hydrogéologie et transferts (25 heures)

Objectifs : Description et quantification de la partie du cycle hydrologique représentée par les écoulements souterrains avec des applications vers les problèmes de transport

Programme : loi de Darcy, équation de la diffusivité, consolidation, systèmes aquifères, solutions en régime permanent, solutions transitoires – essais de débit, transport de masse et d'énergie, fluides non miscibles, mouvements d'interface, fluides miscibles, modèles stochastiques

4. Modèles d'écoulement de surface et en rivière (25 heures)

Objectifs : Décrire et quantifier les écoulements à court terme en bassin versant (écoulements en surface et en rivière) avec application à la propagation des crues

Programme : Equations du mouvement, ondes cinématiques, ondes dynamiques, écoulement de subsurface, écoulement en rivière, propagation des crues et effets de stockage, modèles linéaires, écoulements non uniformes, applications à l'hydrologie urbaine

**5. Modèles de qualité (25 heures)**

Objectifs : Modélisation de l'hydrodynamique et de la qualité des eaux de surface

Programme : Généralités sur les écosystèmes aquatiques, transformations physiques, chimiques et biologiques, Cycles biologiques et modélisation, échanges, forçages et conditions aux limites, variation spatio-temporelle : advection, diffusion dispersion, modèles hydro-biologiques 1D- 2D

6. Hydrochimie (25 heures)

Objectifs : Décrire et quantifier expérimentalement et analytiquement la composition chimique des eaux

Programme : chimie minérale, chimie organique et cycles géochimiques, géochimie

7. Géomorphologie, transport de sédiments et budgets (25 heures)

Objectifs : Explorer d'après l'observation et l'approche théorique de modélisation les fondements de la production et le transport de sédiments en bassin versant

Programme : Principes de géomorphologie des versants, principes de géomorphologie fluviale, budget de sédiments, modélisation des processus, sédimentation dans les retenues

8. Introduction aux modèles climatiques et aux SVAT (25 heures)

Objectifs : Les interactions Sol-Végétation-Atmosphère déterminent dans une large mesure le changement climatique et le cycle hydrologique. Le cours présente les modèles SVAT de redistribution des flux d'eau et d'énergie.

Programme :- Mécanismes physiques gouvernant les processus dans le sol et à la surface, paramètres de contrôle des flux verticaux, les différentes échelles spatiales, assimilation des données

9. Méthodes numériques (25 heures)

Objectifs : Donner aux étudiants les moyens d'approximer numériquement les modèles par les méthodes de différences finies, éléments finis, volumes finis

Programme : Méthodes de différences finies, méthodes par éléments finis, méthodes par Volumes finis

10. Modèles stochastiques et Analyse spatiale (25 heures)

Objectifs : Donner une initiation en analyse et description des processus hydrologiques (quantité, qualité) spatio-temporels multivariés

Programme : Notion de dépendance en processus multivariés, régression linéaire simple et multiple, Analyse en Composantes Principales, processus temporels multivariés, analyse spectrale, introduction à la géostatistique