

---

# PROGRAMME INGÉNIEUR

2023-2024

2e année / 3e année

---

Option Disciplinaire

## Modélisation Avancée et Analyse des Structures

OD MAAS

---

RESPONSABLE DU PROGRAMME

Thomas HEUZE



INGÉNIEUR - OD MAAS

# 1er Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 73 / 93	12	Tronc commun	ARCHI MEF MODYN MSCOM	Structures Architecturées Méthode des éléments finis Dynamique et analyse modale Modélisation et simulation des matériaux et structures composites
UE 74 / 94	13	Tronc commun	HYPHER IFS P1MAAS PLAST SERMS	Méthodes numériques pour la mécanique non-linéaire Interaction Fluide-Structure Projet 1 Plasticité des structures Simulation de l'endommagement et de la ruine des matériaux et des structures

# 2e Semestre

---

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 103 / 83	14	Tronc commun	COUPLED CRASH NUMEXPE OUVERT P2MAAS	Couplages multiphysiques Sécurité dans le domaine des transports Méthodes numériques pour l'analyse expérimentale Ouverture scientifique Projet 2

# INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

## Structures Architecturées [ARCHI]

*Responsable(s) du cours : Patrice CARTRAUD*

### Objectifs

Ce cours présente la théorie des poutres et leur modélisation par éléments finis. Des bases sont données sur la théorie de l'homogénéisation avec une application sous la forme d'un projet à un milieu architecturé périodique.

### Plan de l'enseignement

- théorie des poutres (modèle d'Euler-Bernoulli)
- modélisation par éléments finis
- méthode d'homogénéisation d'une structure architecturée
- projet éléments finis

### Bibliographie

- Bauchau, O. A., & Craig, J. I. (2009). Structural analysis: with applications to aerospace structures (Vol. 163). Springer Science & Business Media.
- Cartraud P. : Mécanique des Structures. Etude des poutres, 2011, <http://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00451733/fr/>
- Hjelmstad, K. D. (2007). Fundamentals of structural mechanics. Springer Science & Business Media.
- Oudin Hervé, site sur la méthode des éléments finis : <https://meefi.pedagogie.ec-nantes.fr/>
- Reddy, J. N. (Ed.). (1999). Theory and analysis of elastic plates. Taylor and Francis.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.5)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.5)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	10 hrs	9 hrs	0 hrs	1 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Méthode des éléments finis [MEF]

*Responsable(s) du cours : Grégory LEGRAIN*

### Objectifs

Présenter aux étudiants les fondements et la mise en oeuvre de la méthode des éléments finis. On se restreindra au cas elliptique linéaire en 1D et 2D.

### Plan de l'enseignement

- Notion de classe d'EDP
- Formulation faible / Formulation variationnelle
- Méthodes de Bubnov-Galerkin / Ritz-Galerkin
- Méthode des éléments finis 1D / 2D
- Notion d'isoparamétrie
- Mise en oeuvre, prise en compte des conditions limites

### Bibliographie

- The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. T.J.R. Hughes
- Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis. M. Bonnet, A. Frangi

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	8 hrs	10 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Dynamique et analyse modale [MODYN]

*Responsable(s) du cours : Pascal COSSON / Patrick ROZYCKI*

### Objectifs

Dans la vie de tous les jours, il existe de nombreux systèmes qui évoluent en fonction du temps : en mécanique on peut citer par exemple les robots, les mécanismes de pièces structurelles ou encore les mannequins physiques de crash-tests. Quel que soit le domaine d'application, l'ingénieur doit toujours pouvoir s'assurer de la faisabilité, de la réalisation, du dimensionnement et de la sécurité de ces systèmes. Comment à partir d'approches analytiques simples, de modélisations plus complexes et de connaissances de base sur les méthodes de résolution, l'ingénieur peut-il arriver aux objectifs précédemment fixés et comment peut-il interagir pour accroître le potentiel de ces systèmes ?

Le cours a deux objectifs principaux : le premier concerne les clés qui permettent d'élaborer des modèles analytiques simples mais suffisamment représentatifs de systèmes pour pouvoir apporter une réponse rapide à un problème donné. Le second objectif est d'avoir des connaissances de base solides sur les méthodes disponibles de résolution et de se forger ainsi un esprit critique en fonction des avantages et désavantages des méthodes employées.

A partir de l'ensemble des acquis et connaissances obtenues au travers de ce cours, l'apprenant pourra non seulement proposer une modélisation simple de son problème et la résolution qui lui est associée mais aussi avoir un regard critique sur les codes de calcul disponibles sur le marché afin de confirmer ou d'infirmer les résultats numériques obtenus.

### Plan de l'enseignement

1. Modélisation de systèmes multi-corps
  - Paramétrage, liaisons, équations de Lagrange, paramétrage cinématiquement ou non admissible...
2. Vibrations.
  - Système à 1 ou plusieurs degrés de liberté, problème aux valeurs propres, vibrations libres ou forcées...
3. Méthodes numérique pour l'intégration en temps des équations
  - Euler, Runge Kutta, Newmark, méthodes implicites ou explicites, stabilité...

### Bibliographie

M. Géradin & A. Cardon, Flexible Multibody Dynamics - A Finite Element Approach, Wiley, 2001

D. Le Houedec, Mécanique des Solides, Nantes

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	8 hrs	12 hrs	0 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Modélisation et simulation des matériaux et structures composites [MSCOM]

*Responsable(s) du cours : Laurent GORNET*

### Objectifs

Les structures minces (plaques, coques) sont très largement utilisées dans l'aéronautique, la construction automobile et navale, et les industries des sports de loisirs. La recherche de performances (et d'un gain de poids (secteur aérospatial ou matériel de compétition)) est d'autre part à l'origine du développement de structures en matériaux composites. Cet enseignement a pour objectif de présenter les méthodes de modélisation de ces structures minces composites.

### Plan de l'enseignement

Elasticité anisotrope.  
Théories des plaques (Kirchhoff et Mindlin).  
Théorie des stratifiés.  
Critères de rupture des composites.  
Cet enseignement est évalué par un projet de calcul par éléments finis.

### Bibliographie

J.-L. Batoz, G. Dhatt, Modélisation des structures par éléments finis, vol 2 Poutres et plaques, vol 3 coques, Hermès, Paris 1992.  
J.N. Reddy, Mechanics of laminated composite plates, CRC Press, 1997  
S.P. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, Theory of plates and shells, MacGraw-Hill, New-York, 2nd edition, 1959.

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	8 hrs	8 hrs	0 hrs	0 hrs

## Méthodes numériques pour la mécanique non-linéaire [HYPER]

Responsable(s) du cours : Laurent STAINIER / Nicolas CHEVAUGEON

### Objectifs

Ce cours donne les bases pour formuler de manière précise un problème de mécanique non-linéaire, le discrétiser et le résoudre numériquement.

En particulier l'effet des non-linéarités géométriques (grands déplacements, grandes déformations) est analysé en détails. Une partie du cours est spécifiquement dédiée aux non-linéarités dues au contact.

De nombreuses applications nécessitent ce type de modèles. On peut citer par exemple la description mécanique de l'impact d'un véhicule sur un obstacle, d'un pneu en condition de roulage, du soufflage de membrane pour la fabrication de bouteille, ou encore du laminage de plaques d'acier.

Plusieurs aspects sont abordés :

- La description de la cinématique et des efforts en grandes déformations.
- Quelques familles de lois de comportements simples applicables en grandes déformations (Hyperélasticité et Hypoélasticité)
- Les formulations variationnelles d'un problème de statique en grande déformation.
- Leur discrétisation par la méthode des éléments finis.
- Les méthodes de résolution des problèmes discrets non-linéaires.

Les aspects précédents sont mis en pratique dans le cadre d'un mini-projet à l'issue duquel les étudiants auront programmé un logiciel élément fini en deux dimensions résolvant des problèmes non-linéaires (hyperélasticité).

A l'issue de ce cours, l'étudiant sera capable de connaître les difficultés d'un problème concret de mécanique non-linéaire, ainsi que de nombreux aspects liés à leur discrétisation et résolution numérique.

### Plan de l'enseignement

- Exemples simple de problèmes non-linéaires, introduction aux méthodes de continuation
- Algèbre tensorielle.
- Cinématique en grandes transformations
- Descriptions des contraintes en grandes déformations et formulation variationnelle de l'équilibre.
- Discrétisation de la forme variationnelle pour obtenir un système discret non-linéaire par la méthode des éléments finis.
- Loi de comportement : Hypoélastique (application de la notion de taux de contraintes objectif), Hyperélastique (potentiel élastique et équations d'équilibre vu comme stationnarité du potentiel)
- Retour sur les méthodes de continuation et construction de l'opérateur tangent continu.
- Discrétisation par élément finis de l'opérateur tangent.
- Application complète par élément finis de problème de statique non-linéaire 2d pour matériaux hyperélastiques.
- Introduction à la description de contraintes supplémentaires pour la modélisation du contact (pénalité, multiplicateur de Lagrange, lagrangien augmenté).
- Introduction aux méthodes éléments finis pour la résolution de problèmes dynamiques.

### Bibliographie

Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis, Second Edition, J. Bonet and R.D. Wood, Cambridge University Press, 2008.

Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, T. Belytschko, W.K. Liu and B. Moran, Wiley, 2000.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.5)



Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.5)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	10 hrs	8 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Interaction Fluide-Structure [IFS]

*Responsable(s) du cours : Hervé LE SOURNE / Thomas HEUZE / Ye Pyae SONE OO*

### Objectifs

Comprendre les phénomènes d'interaction fluide / structure. Juger de l'importance de ces interactions dans un problème physique, connaître et savoir choisir les méthodes de modélisation, leur avantages et leurs limitations. Réaliser une simulation d'un problème d'interaction fluide / structure

### Plan de l'enseignement

### Bibliographie

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	0 hrs	18 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

### Projet 1 [P1MAAS]

*Responsable(s) du cours : Thomas HEUZE*

#### Objectifs

Projets d'option, période 2

Les projets d'option représentent un travail d'étude et de recherche que les élèves choisissent parmi un ensemble de sujets proposés soit par les enseignants intervenant dans l'option, soit par des industriels. Ces projets sont généralement réalisés en binôme. Dans l'option MAAS, les deux créneaux associés à des projets sont rassemblés pour donner un volume de 80 heures au même projet. Ce projet fait l'objet d'un rapport et d'une soutenance finale à la fin du mois de mars, juste avant le départ des élèves en stage.

#### Plan de l'enseignement

Bibliographie, prise en main du sujet et travail initial.

#### Bibliographie

.

#### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	1	0 hrs	0 hrs	0 hrs	32 hrs	0 hrs

## Plasticité des structures [PLAST]

*Responsable(s) du cours : Thomas HEUZE*

### Objectifs

L'objet de ce cours est d'étudier la plasticité dans les structures. Ce cours couvre d'une part la présentation du comportement élastoplastique des solides et d'autre part sa prise en compte dans l'écriture d'un problème aux limites. Le cours propose après la partie modélisation une partie numérique décrivant l'implémentation de modèles élastoplastiques dans un code de calcul par éléments finis.

### Plan de l'enseignement

Le cours est structuré en quatre chapitres:

- le premier chapitre est consacré à l'étude du comportement élastoplastique des solides en petites transformations,
- le second chapitre a pour objet de formaliser les équations de la plasticité dans un cadre thermodynamique,
- le troisième chapitre traite du calcul des structures élastoplastiques en petites transformations,
- le quatrième chapitre s'intéresse à la simulation numérique des structures élastoplastiques,

D'autre part, un projet de 14h est prévu pour étayer la partie numérique. L'objectif est de permettre aux élèves d'implémenter par eux-même une loi de comportement élastoplastique, et de résoudre des problèmes aux limites en 1D. Des comparaisons par rapport à des résultats obtenus avec des codes industriels et/ou des solutions analytiques sont prévues.

### Bibliographie

- Lemaitre J., Chaboche J.L., Benallal A., Desmorat R. Mécanique des matériaux solides. Dunod, 2009. 3e édition.
- Simo J.C., Hughes T.J.R. : Computational Inelasticity. Springer, 1998.
- Besson J., Cailletaud G., Chaboche J.L., Forest S. Mécanique non linéaire des matériaux. Hermès, 2001.

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	6 hrs	14 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

# Simulation de l'endommagement et de la ruine des matériaux et des structures [SERMS]

Responsable(s) du cours : Laurent GORNET

### Objectifs

La mécanique de l'endommagement et la mécanique de la rupture ont pour objet d'étudier l'amorçage et la propagation des fissures dans les structures. Ces deux théories permettent aux ingénieurs de simuler des dégradations dans les structures fragiles et ductiles. Des simulations Éléments Finis réalisées avec et sans XFem à partir du logiciel éléments finis Cast3M développé par le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) illustrent cet enseignement. Les aspects théorique et numérique sont complétés par des considérations sur la physique des mécanismes de dégradation dans les matériaux, métalliques, bétons et les composites.

### Plan de l'enseignement

Mécanique de l'endommagement : élément de thermodynamique des milieux continus, méthode de l'état local, fatigue, aspects phénoménologiques, modèles de comportement (métaux, béton, composites), objectivité et régularisation des modèles de comportement adoucissants, schéma numérique d'intégration.

Mécanique de la rupture : singularité du champ de contrainte, théorie énergétique de la rupture, propagation de fissures en mode mixte, calculs des fissures par l'approche locale et globale, effet d'échelle sur la résistance des structures, fissuration par fatigue.

Interaction modèles-expériences : caractérisation mécanique (essais réalisés sur machines MTS, 10 et 25 tonnes), identification du comportement mécanique des matériaux, simulations de la propagation des endommagements (code éléments finis Cat3M) avec et sans méthode XFem.

### Bibliographie

Mécanique de la rupture fragile, H.D Bui., Masson 1978 - Mécanique des matériaux solides, J. Lemaitre - JL Chaboche - Mécanique de la rupture fragile et ductile, JB Leblond, Hermes Lavoisier 2003 - Rupture par fissuration des structures, N. Recho, Hermès 1995 - Introduction aux effets d'échelle sur la résistance des structures, ZP Bazant Hermes Lavoisier 2004 - Computational Inelasticity JC Simo- TJR Hughes, Springer 1997 - Recueil de données technologiques sur la fatigue -Document CETIM - Documents CEA et EDF.

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	4 hrs	10 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

# Couplages multiphysiques [COUPLED]

*Responsable(s) du cours : Guillaume RACINEUX / Rian SEGHIR / Thomas HEUZE*

### Objectifs

L'objet de ce cours est de présenter une introduction aux problèmes multiphysiques couplés, qui sont omniprésents dans les problèmes de l'ingénieur. Ce cours est composé de trois parties complémentaires (de 14h, 8h, et 10h) dispensées par trois intervenants différents (respectivement Thomas Heuzé, Rian Seghir et Guillaume Racineux).

Cet enseignement a pour objet de traiter un spectre relativement large concernant les problèmes multiphysiques pour l'ingénieur, incluant modélisation, simulation numérique, analyse expérimentale de structures et comparaison avec la théorie.

### Plan de l'enseignement

Les deux premières parties se focalisent sur l'étude du couplage entre la thermique et la mécanique. La première partie se concentre sur la modélisation et la simulation numérique du problème couplé thermomécanique. Les mécanismes de couplage entre ces deux physiques sont mis en évidence au travers de la modélisation, puis quelques stratégies numériques pouvant être utilisées pour la résolution de ce système couplé sont étudiées dans le cas de la thermoélasticité linéaire. Un mini-projet permet aux élèves de coder et de comparer ces stratégies numériques sur un problème élémentaire unidimensionnel.

La seconde partie traite de l'analyse expérimentale du problème couplé thermomécanique, au regard de la modélisation décrite dans la première partie. Cette seconde partie traite du dialogue essais/calcul possible pour un couplage thermomécanique, en particulier des quantités qui sont mesurables expérimentalement, et de celles qui peuvent être reconstruites.

La troisième partie s'intéresse au couplage entre l'électromagnétisme et la mécanique. La modélisation du problème couplé est d'abord présentée, puis des applications sur des essais de formage par impulsion magnétique mené au laboratoire de soudage sont menées.

### Bibliographie

Couplages multiphysiques. Thomas Heuzé, Ecole Centrale de Nantes, 2020. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02448292>

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	12 hrs	8 hrs	0 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

# Sécurité dans le domaine des transports [CRASH]

Responsable(s) du cours : Patrick ROZYCKI

### Objectifs

Les enjeux industriels au niveau de la sécurité, notamment dans le domaine des transports, imposent une connaissance de plus en plus précise du comportement des matériaux et des structures sous des sollicitations de type dynamique rapide.

L'objectif de ce cours est d'examiner les méthodes actuelles et les tendances futures dans ce domaine, dans sur les plans mécanique, numérique et expérimental. Les notions abordées sont essentiellement la modélisation des matériaux sous sollicitations dynamiques (lois de comportement, influence de la vitesse de déformation, méthodes de caractérisation expérimentales), les règles de conception au crash, la simulation numérique (outils et code de calcul pour la mise en place d'un modèle) et les moyens expérimentaux que l'on peut mettre en place pour caractériser le comportement de structure.

Grâce à l'ensemble de ces notions, l'élève ingénieur pourra ainsi mettre en relation la mise en place d'un modèle en regard des conditions d'expérimentations et confronter les différentes problématiques relatives à chacun de ces outils. Cela ne pourra que renforcer son sens critique et accroître ses capacités afin de proposer les meilleures corrélations expérimentales/numériques.

Pour concrétiser les acquis, un projet sera réalisé par l'élève ingénieur : il participera dans un premier temps à la réalisation complète d'un essai expérimental d'écrasement sur puits de chute vertical, d'une structure simple. Dans un second temps, il aura à proposer le modèle numérique s'y référant. Enfin, il aura à critiquer les résultats et à mettre en avant les différentes problématiques dans chacune des parties.

### Plan de l'enseignement

1. Généralités sur les chocs
  - Nature, type et classification des chocs
2. Crash dans le domaine des transports
  - Généralités, Sécurité, approches...
3. Simulation numérique
  - Lois de comportement, différentes méthodes de résolution, prise en compte des non linéarités...
4. Moyens expérimentaux
  - Description, différents types d'essais (chocs frontaux, latéraux)...
5. Etude d'un modèle analytique pour des tubes à sections circulaires ou carrés
6. Etude du cas simple
  - Réalisation d'un essai expérimental de crash d'une structure simple, simulation numérique de l'essai et confrontations expérimental/numérique

### Bibliographie

N. Jones, Structural Crashworthiness, Cambridge University Press, 1997

Jorge A.C. Ambrósio, Manuel F.O. Seabra Pereira, F. Pina da Silva, Crashworthiness of Transportation Systems: Structural Impact and Occupant, Springer Netherlands, 1997

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	4 hrs	0 hrs	28 hrs	0 hrs	0 hrs



## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

# Méthodes numériques pour l'analyse expérimentale [NUMEXPE]

*Responsable(s) du cours : Julien RETHORE / Rian SEGHIR*

### Objectifs

L'objectif principal du cours est de donner les bases de la mesure de champs de déplacement par corrélation d'images numériques et des méthodes inverses qui utilisent ses résultats pour prendre du recul et avoir un regard critique sur la modélisation et les techniques expérimentales standards.

### Plan de l'enseignement

- bases de la corrélation d'images
- mise en oeuvre pratique ( base de l'optique, mouchetis, réglages caméra)
- base des méthodes inverses
- Projection non-linéaire, recalage de modèle éléments finis, méthode des champs virtuels
- mise en oeuvre pratique ( essais de fissuration, caractérisation d'un composite, caractérisation d'un élastomère)

### Bibliographie

Guide de bonnes pratiques DIC [https://idics.org/guide/DICGoodPracticesGuide\\_ElectronicVersion\\_French\\_2020-03-16.pdf](https://idics.org/guide/DICGoodPracticesGuide_ElectronicVersion_French_2020-03-16.pdf)

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	8 hrs	8 hrs	16 hrs	0 hrs	0 hrs

# INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

## Ouverture scientifique [OUVERT]

*Responsable(s) du cours : Thomas HEUZE*

### Objectifs

Le cours d'ouverture a pour objectif de sensibiliser les étudiants à certains points non-abordés lors des cours de l'option MAAS. En particulier, ce cours est structuré en trois sous-parties:

- La première et principale partie porte sur la place de l'utilisation des données pour résoudre des problèmes de mécanique des solides. L'utilisation des méthodes liées à l'intelligence artificielle a connu un essor important ces dernières années pour aider à la résolution de différents problèmes de l'ingénieur, mais qu'en est-il de la résolution de problèmes de physique, et plus particulièrement de mécanique des solides? Cette partie s'intéresse à montrer ce qu'il est possible ou pas de faire avec ces méthodes, ce qu'elles apportent par rapport aux méthodes existantes, leurs attraits et leurs limites. Cette partie dure 20h, comprend une bonne partie de travaux pratiques, et est assurée par Laurent Stainier et Domenico Borzacchiello.
- La seconde partie s'intéresse à l'écriture des équations couplées entre la mécanique et l'électromagnétisme. Cette partie assez courte (4h) complète le cours de couplages multiphysiques, et est donnée par Thomas Heuzé. Elle permet de donner les éléments théoriques sur le sujet avant les activités numériques et expérimentales qui sont traitées dans le cours de couplages multiphysiques.
- Un cycle de conférences d'industriels est prévu, chacune d'entre elles durant deux heures. En général, les intervenants viennent de bureaux de calcul de différentes entreprises (Dassault Systèmes, ClusterMeca-Nantes, Medysys, NewclipTechnics, Bureau Veritas, etc). L'objet est de montrer aux élèves quelles sont les différents aspects de leurs activités, et quels sont les métiers auxquels les élèves peuvent prétendre avec leur formation

### Plan de l'enseignement

- Approches data-driven pour la mécanique des solides
- Couplage entre la mécanique et l'électromagnétisme
- Conférences

### Bibliographie

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	32 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD MAAS

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

### Projet 2 [P2MAAS]

*Responsable(s) du cours : Thomas HEUZE*

#### Objectifs

Projet d'option période 3

Le projet d'option représente un travail d'étude et de recherche demandé aux élèves de l'option sur un sujet proposé soit par les enseignants, soit par un industriel. Les volumes horaires associés aux projets des périodes 2 et 3 sont rassemblés de sorte qu'un ensemble de 80 heures est alloué au projet d'option. Ce projet est généralement réalisé en binôme, et fait l'objet d'une évaluation au travers d'un rapport et d'une soutenance à la fin du mois de mars avant le départ en stage des élèves.

#### Plan de l'enseignement

Fin du projet, rédaction du compte rendu et soutenance

#### Bibliographie

#### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	2	0 hrs	0 hrs	0 hrs	48 hrs	0 hrs