| TC_7_1 Modélisation | FIG | S7 |
|---|---|---|

## Pourquoi cette UE ?

Pour aborder des problèmes complexes sur le plan calculatoire, il est nécessaire de disposer d’outils de modélisation Dans un premier temps, les élèves sont initiés à la recherche opérationnelle et au éléments finis puis, en fonction de leur choix de département, ils approfondissent l’une des deux méthodes.

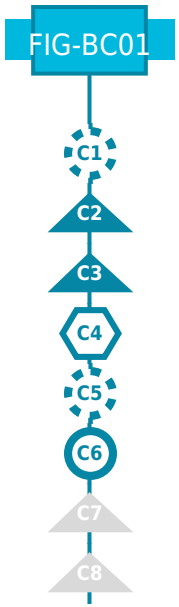
## Eléménts constitutifs de l'UE

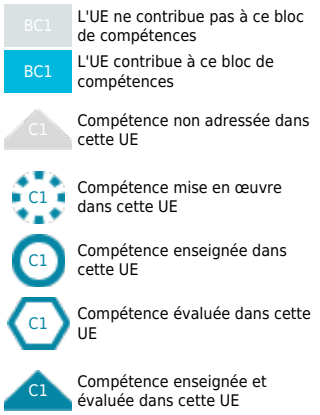
| | coefficient |
|---|---|
| TC_7_1-1 Recherche opérationnelle | 1 |
| TC_7_1-2 Eléments finis | 1 |
| TC_7_1-3 Approfondissement ROP | 1 |
| TC_7_1-4 Approfondissement EFI | 1 |

| Volume d'heures d'enseignement encadré | Volume d'heures de travail personnel | Nombre d'ECTS |
|---|---|---|
| 59.08 | 39 | 4 |

Alignement curriculaire

## Parmi les compétences visées par la formation, lesquelles sont développées dans cette UE ?



| TC_7_1 Modélisation | FIG |
|---|---|
| **TC_7_1-1 Recherche opérationnelle** | **S7** |

## Contexte et enjeux de l'enseignement

La ROP aide à modéliser et résoudre scientifiquement des problèmes de décision complexes. Elle forme les étudiants à l'optimisation combinatoire, linéaire et non linéaire, essentielle dans des domaines tels que l'industrie, la santé et les services. Ce savoir-faire permet de développer des solutions optimisées et innovantes pour le développement durable, en valorisant l'efficacité et les ressources.

## Prise en compte des dimensions socio-environnementales

ODD7 - Énergie propre et d'un coût abordable ODD8 - Travail décent et croissance économique ODD9 - Industrie, innovation et infrastructure ODD12 - Consommation et production responsables

## Prérequis

algèbre linéaire; Analyse mathématique, algorithmique; notions de programmation informatique

## Modalités d'enseignement et d'évaluation

| | Nb d'heures |
|---|---|
| Cours | 3.66 |
| Cours intégré (cours + TD) | |
| TD | 7.33 |
| TP | 0 |
| Projets | 0 |
| Travail en autonomie encadré | 0 |
| Contrôles et soutenances | 0.50 |
| Travail personnel | 4 |

## Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

- Identifier (Analyser) des problématiques complexes;
- Modéliser des systèmes de décision;
- Évaluer la faisabilité et la qualité des solutions proposées.

## Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

- Introduction à la Recherche Opérationnelle (cours 1);
- Introduction à la Programmation Linéaire (cours 1 + TD 1 + TD 2);
- Introduction à la Théorie des Graphes (cours 2 + TD 3).

## Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

- Un devoir surveillé d'une durée de 50 minutes;
- Mise à disposition des corrections;
- Un feedback personnalisé.

| TC_7_1 Modélisation | FIG |
| --- | --- |
| **TC_7_1-1 Recherche opérationnelle** | **S7** |

## Plan de cours

1. Introduction à la Recherche Opérationnelle
2. Introduction à la Programmation Linéaire
3. Introduction à la Théorie des Graphes

## Ressources et références

Ressources :
Les supports sont accessibles sur Campus.
Références :
1. Fleury, G., & Lacomme, P. (2010). Programmation linéaire avancée: programmes Java pour MacIntosh, Linux et Windows. Ellipses.
2. Gondran, M., Minoux, M., & Vajda, S. (1984). Graphs and algorithms. John Wiley & Sons, Inc..
3. Greco, S., Figueira, J., & Ehrgott, M. (2016). Multiple criteria decision analysis (Vol. 37). New York: springer.
4. Guéret, C., Heipcke, S., Prins, C., & Sevaux, M. Applications of Optimization with Xpress-MP. 2002. Dash Optimization Ltd.
5. Keeney, R. L., Raiffa, H., & Meyer, R. F. (1993). Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs. Cambridge university press.
6. Roseaux (2004). Recherche Opérationnelle, programmation linéaire et extensions, Problèmes classiques, Édition Dunod.
7. Williams, H. P. (1999). Building Integer Programming Models. Model building in mathematical programming, 155-185.

| TC_7_1 Modélisation | FIG |
|---|---|
| **TC_7_1-2 Eléments finis** | **S7** |

## Contexte et enjeux de l'enseignement

La méthode des éléments finis est la méthode préférée dans l'industrie pour résoudre les problèmes complexes rencontrés par les ingénieurs, tels que les problèmes mécaniques et thermiques. A ce titre, elle occupe une place importante dans le programme de formation et dans la culture des ingénieurs. Ce cours s'adresse à l'ensemble des étudiants. L'objectif est de donner les connaissances théoriques et pratiques de base de la méthode afin que les futurs ingénieurs soient capables de dialoguer avec des spécialistes à qui ils confieraient une étude

## Prise en compte des dimensions socio-environnementales

## Prérequis

1- Manipulation des matrices, des fonctions polynomiales, 2- Principe de l'interpolation polynomiale, 3- Calcul intégral élémentaire, 4- MMC 5- Thermique

## Modalités d'enseignement et d'évaluation

| | Nb d'heures |
|---|---|
| Cours | 6 |
| Cours intégré (cours + TD) | |
| TD | 2 |
| TP | 6 |
| Projets | 0 |
| Travail en autonomie encadré | 0 |
| Contrôles et soutenances | 1 |
| Travail personnel | 10 |

## Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

1- Les savoirs et connaissances : connaissances élémentaires sur le principe de la méthode (interpolation nodale, relations élémentaires, assemblage, etc.), le vocabulaire technique afférent (noeuds de calcul, degré de liberté, etc.), connaissances élémentaires sur la nature des éléments finis disponibles et les conséquences des choix effectués pour un modèle.
2- Les compétences : être capable de mettre en oeuvre de la méthode sur un logiciel dédié, de faire un choix pertinent de modélisation, d'élément fini, de maillage, être capable de traduire les conditions aux limites, de simplifier un modèle et de traduire sur le modèle les conséquences des simplifications, de trouver, de lire et d'interpréter les résultats fournis, etc.

## Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

Le cours est présenté sans développements théoriques inutiles, il cherche à être concret en abordant de manière simple les aspects importants sur des exemples.
La séance de travaux dirigés (en sixième de promotion), qui prolonge les exemples proposés en cours, vise à mettre en oeuvre la méthode des éléments finis appliquée à la mécanique des structures dans la situation d'un treillis plan de barres avec pour objectif de calculer les déplacements, les forces de réactions et les contraintes en certains noeuds.
Les séances de travaux pratiques (en huitième de promotion) sont destinées à confronter les étudiants à des problèmes concrets issus de situations « réelles ». La première séance fait le lien entre la théorie et la pratique en reprenant l'exemple du treillis plan traité en TD. La seconde séance traite un problème industriel de thermique de dépollution d'un bidon de sable pollué au mercure.

## Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

Épreuve écrite de 1 h portant sur le cours et la théorie, la séance de travaux dirigés et les séances de travaux pratiques. Plusieurs exercices sont proposés visant à tester l'ensemble des connaissances, tant théoriques que pratiques et techniques.

| TC_7_1 Modélisation | FIG |
| --- | --- |
| **TC_7_1-2 Eléments finis** | **S7** |

## Plan de cours

1. Principes généraux de la méthode
2. Les piliers de la méthode des éléments finis
2.1. Le maillage : mailles et noeuds de calcul
2.2. L’interpolation nodale
2.3. Éléments finis
2.4. La formulation faible et la relation matricielle élémentaire
2.5. Assemblage et prise en compte des conditions aux limites et résolution
3. Convergence et qualité de la solution approchée
4. Exemples de calculs par éléments finis
5. Bibliothèque non exhaustive de quelques éléments finis de structure
Module
4
5.1. Les éléments finis linéiques (1D)
5.2. Les éléments finis surfaciques (2D)
5.3. Les éléments finis volumiques (3D)
6. Application des conditions aux limites
6.1. Conditions aux limites réelles et artificielles
6.2. Avec Ansys

## Ressources et références

Un résumé de cours complet est disponible en version papier et pdf (en ligne) accompagné des exercices des TD.
Les supports des TP sont mis à disposition en ligne au fur et à mesure des TP.
Les annales des deux dernières années sont disponibles

| TC_7_1 Modélisation | FIG |
|---|---|
| **TC_7_1-3 Approfondissement ROP** | **S7** |

## Contexte et enjeux de l'enseignement

La ROP aide à modéliser et résoudre scientifiquement des problèmes de décision complexes. Elle forme les étudiants à l'optimisation combinatoire, linéaire et non linéaire, essentielle dans des domaines tels que l'industrie, la santé et les services. Ce savoir-faire permet de développer des solutions optimisées et innovantes pour le développement durable, en valorisant l'efficacité et les ressources.

## Prise en compte des dimensions socio-environnementales

ODD3 - Bonne santé et bien-être ODD8 - Travail décent et croissance économique ODD9 - Industrie, innovation et infrastructure ODD10 - Réduction des inégalités ODD11 - Villes et communautés durables ODD12 - Consommation et production responsables ODD13 - Lutte contre les changements climatiques

## Prérequis

Cours de Recherche Opérationnelle

## Modalités d'enseignement et d'évaluation

| | Nb d'heures |
|---|---|
| Cours | 6.42 |
| Cours intégré (cours + TD) | |
| TD | 8.25 |
| TP | 0 |
| Projets | 0 |
| Travail en autonomie encadré | 0 |
| Contrôles et soutenances | 0.92 |
| Travail personnel | 5 |

## Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

Développer la compétence des élèves ingénieurs :
- à reconnaître et modéliser formellement un problème concret.
- à proposer une méthode efficace de résolution du modèle
- à évaluer la qualité des solutions obtenues et l'efficacité de la méthode

## Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

Alternance cours magistraux et travaux pratiques.

## Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

- Un QCM de 50 minutes;
- Mise à disposition des corrections;
- Un feedback personnalisé sur demande.

| TC_7_1 Modélisation | FIG |
| --- | --- |
| **TC_7_1-3 Approfondissement ROP** | **S7** |

## Plan de cours

- Flots dans les graphes (cours 1)
- Application à l'ordonnancement (cours 1)
- Introduction à la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (cours 2)
- Multiple Criteria Decision Analysis: Outranking methods (cours 3)

## Ressources et références

Ressources mises en ligne sur Campus.

# TC_7_1-4 Approfondissement EFI

S7

## Contexte et enjeux de l'enseignement

Ce cours est destiné à approfondir le cours d'introduction (phase 1) sur la méthode des éléments finis. Il revient sur les aspects essentiels de la méthode en élargissant la présentation aux problèmes bidimensionnels et tridimensionnels et en abordant les problématiques des problèmes non linéaires ainsi que les applications de la méthode au calcul des modes propres.

## Prise en compte des dimensions socio-environnementales

## Prérequis

Manipulation des matrices et fonctions polynomiales, opérateurs différentiels, calcul intégral, mécanique des milieux continus (tenseurs, loi de Hooke, travaux virtuels),

## Modalités d'enseignement et d'évaluation

| | Nb d'heures |
|---|---|
| Cours | 4 |
| Cours intégré (cours + TD) | |
| TD | 2 |
| TP | 0 |
| Projets | 10 |
| Travail en autonomie encadré | 0 |
| Contrôles et soutenances | 1 |
| Travail personnel | 20 |

## Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

1- Les savoirs et connaissances : connaissances élémentaires sur le principe de la méthode (interpolation nodale, relations élémentaires, assemblage, etc.), le vocabulaire technique afférent (noeuds de calcul, degré de liberté, etc.), connaissances élémentaires sur la nature des éléments finis disponibles et les conséquences des choix effectués pour un modèle.
2- Les compétences : être capable de mettre en oeuvre de la méthode sur un logiciel dédié, de faire un choix pertinent de modélisation, d'élément fini, de maillage, être capable de traduire les conditions aux limites, de simplifier un modèle et de traduire sur le modèle les conséquences des simplifications, de trouver, de lire et d'interpréter les résultats fournis, etc. Etre capable d'appliquer la méthode sur des problèmes non linéaires, de déterminer les modes propres d'une structure.

## Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

Le cours est présenté à partir d'un diaporama. Sans développements théoriques inutiles, il cherche à être concret en abordant de manière simple et sur des exemples les aspects les plus importants de la méthode.
La séance de travaux dirigés (en sixième de promotion), qui prolonge les exemples proposés en cours, vise à mettre en oeuvre la méthode des éléments finis dans le cas d'un problème de thermique et dans la situation d'une barre de section carrée et de longueur « infinie », ce qui permet une simplification bidimensionnelle et donne la possibilité de mener les calculs « à la main ».
Les séances de travaux pratiques (en huitième de promotion) sont destinées à confronter les étudiants à des problèmes concrets issus de situations « réelles ».
TP1 : calcul des déplacements dans un cylindre sous pression interne uniforme avec différentes modélisations. Cet exemple permet de confronter la méthode à la théorie puisque ce problème possède une solution théorique.
TP2

## Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

Épreuve écrite de 1 h portant sur le cours et la théorie, la séance de travaux dirigés et les séances de travaux pratiques. Plusieurs exercices sont proposés visant à tester l'ensemble des connaissances, tant théoriques que pratiques et techniques.

| TC_7_1 Modélisation | FIG |
| --- | --- |
| **TC_7_1-4 Approfondissement EFI** | **S7** |

## Plan de cours

1. Exemple de discrétisation en 2D
1.1. Calcul d’une matrice de rigidité
1.2. Résolution d’un problème en 2D
2. Le principe des travaux virtuels en mécanique
2.1. Le principe
2.2. Application : discrétisation d’une barre
2.3. Application : discrétisation d’une poutre
3. Techniques de simplification
3.1. Généralités
3.2. A quelles conditions peut-on envisager de simplifier un modèle ?
3.3. Quelles sont les conséquences des simplifications ?
3.4. Quelles sont les restrictions
3.5. Symétrie plane
3.6. Symétrie axiale aussi appelée axisymétrie
Module
7
3.7. Hypothèses des déformations planes
3.8. Hypothèses des contraintes planes
3.9. Simplification d’une partie indéformable : Les éléments finis « ponctuels » (0D)
4. La méthode des éléments finis pour les problèmes dynamiques
4.1. La formulation faible d’un problème dynamique
4.2. La discrétisation par interpolation de degré 1
4.3. Application au calcul des pulsations propres
5. Étude de cas

## Ressources et références

Un résumé de cours complet est disponible en version papier et pdf (en ligne) accompagné des exercices des TD.
Les supports des TP sont mis à disposition en ligne au fur et à mesure des TP.
Les annales des deux dernières années sont disponibles.