
Guide pédagogique

Modélisation TC 7.1 (4 crédits ECTS)

Place du module et enjeux

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 aux éléments finis puis, en fonction de leur choix de département, ils approfondissent l'une des deux méthodes.

Teaching guide and syllabus

Modeling TC 7.1(4 ECTS credits)

Subject matter importance and associated issues

To address complex computationally complex problems, it is necessary to have modelling tools available.

First, students are introduced to operational research and finite elements and, depending on their choice of department, they deepen their knowledge of one of the two methods.

Responsables : **Xavier PICAMOLES**
Pierre RUNTZ

Téléphone :

Courriel : x.picamoles@orange.fr
Pierre.runtz@mines-ales.fr

ENSEIGNEMENTS ACADEMIQUES	Volume horaire	Détail des coefficients	Crédits
Modélisation :	45 h		4
○ Recherche opérationnelle (ROP)	13	1	
○ Eléments finis (EFI)	15	1	
○ Approfondissement ROP ou EFI	17	1	

Recherche opérationnelle :

Titre de la matière : Recherche opérationnelle	
Code : TC 7.1	Titre du module : Modélisation
Semestre : S7	Cursus de rattachement : Tronc commun

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
13	17	6	6			1	4	1/3	4

résumé	La Recherche Opérationnelle (R.O.) est une discipline qui vise à résoudre par une démarche scientifique des problèmes de décision complexes issus du monde réel. L'objectif de ce cours est d'initier les étudiants à la théorie de l'optimisation combinatoire, linéaire et non linéaire, afin de leur permettre d'identifier des méthodes appropriées, en appréciant leurs limitations et en interprétant correctement les résultats.
---------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Responsable	Pierre Runtz
Equipe enseignante	Pierre Runtz, Stefan JANAQI, Abdelhak IMOUSSATEN, Michel VASQUEZ

Mots-clés	
Prérequis	Analyse mathématiques, algèbre linéaire; algorithmique; programmation mathématiques

<p>Contexte et objectif général :</p> <p>La Recherche Opérationnelle (R.O.) est une discipline qui vise à résoudre par une démarche scientifique des problèmes de décision complexes issus du monde réel. Sa vocation est donc de construire des modèles pour des problèmes généraux d'aide à la décision (en particulier les problèmes d'optimisation), et de proposer des méthodes de résolution efficace de ces modèles. La R.O intervient de manière souvent cruciale dans des secteurs de plus en plus nombreux et diversifiés comme les transports, la production industrielle, la planification, l'informatique, les télécommunications, l'énergie, l'administration...</p>
<p>Programme et contenu :</p> <p>1. Introduction à l'optimisation 2. Optimisation de problèmes linéaires. 3. Applications de la programmation linéaire 5. Problèmes de graphes</p>
<p>Méthode et organisation pédagogique :</p> <p>Le cours est constitué de 6 heures de cours magistral, qui s'appuient sur de nombreux exemples qui illustrent les diverses questions étudiées et deux séances de TD de 3h en ¼ de promotion.</p>
<p>Acquis d'apprentissage visés :</p> <p>Développer la compétence des élèves ingénieurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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
<p>Evaluation :</p> <p>QCM</p>
<p>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</p> <p>Mise à disposition des corrections, consultation des copies etc :</p> <p>Délais de correction des examens : (un maximum de 3 semaines est toléré pour un rendu de correction d'examens)</p>
<p>Support pédagogique et références :</p>

1 Poly –

Matière 2 : Eléments finis

Titre de la matière : Eléments finis	
Code : TC 7.1	Titre du module : Modélisation
Semestre : S7	Cursus de rattachement : Tronc commun

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
15	25	6	2	6		1	10	1/3	4

résumé	<p>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.</p> <p>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.</p>
---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Responsable	Xavier Picamoles
Équipe enseignante	Cours : Xavier Picamoles. TP et TD : Stéphane Corn, Etienne Malachanne, Marc Vinches, Marie Salgues, Jean-Christophe Quantin, Romain Léger, Xavier Picamoles.

Mots clés	Méthode des éléments finis, mécanique des structures, thermique, méthode numérique de résolution de problèmes de l'ingénierie.
Pré requis	<p>Connaissances élémentaires sur :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Manipulation des matrices, des fonctions polynomiales, 2- Principe de l'interpolation polynomiale, 3- Calcul intégral élémentaire, 4- Mécanique des milieux continus (tenseurs des contraintes et des déformations, loi de comportement des matériaux (loi de Hooke), principe des travaux virtuels, équations d'équilibre...) 5- Thermique et en particulier l'équation de la chaleur...

<p>Contexte et objectif général :</p> <p>Il s'agit de présenter et d'introduire la méthode des éléments finis dans ses aspects pratiques et théoriques à un public de futurs ingénieurs.</p> <p>Les aspects théoriques expliquent la construction de la méthode dans la situation simple de problèmes unidimensionnels en insistant sur le principe de l'interpolation nodale et de la discrétisation à l'aide de la notion d'élément fini. A cette occasion, le vocabulaire technique (degré de liberté, nœuds de calcul, fonctions de forme, base nodale, éléments finis, etc.) et les notions fondamentales associées à la méthode sont introduits, en particulier le principe de l'interpolation nodale et celui de la discrétisation d'un problème différentiel. Précisément, à partir de la notion de formulation faible et d'une interpolation nodale adéquate, quelques relations élémentaires sont calculées dans des situations simples, le principe de l'assemblage est présenté ainsi que la résolution de l'équation matricielle globale après application des conditions aux limites.</p> <p>Plusieurs exemples sont traités « à la main » (problème de mécanique : déplacements et contraintes dans un treillis de barres, problème de thermique : température dans un mur « infini »).</p> <p>Les aspects pratiques abordent les problématiques de la construction d'un modèle éléments finis pertinent, de la simplification de modèles grâce à des considérations géométriques, à des hypothèses simplificatrices (axisymétrie, hypothèses des contraintes ou déformations planes), de l'exploitation des résultats, de la convergence, etc.</p> <p>Les travaux pratiques utilisent le logiciel ANSYS dans des situations concrètes et industrielles.</p>

<p>Programme et contenu (Phase 1 : Introduction)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Principes généraux de la méthode 2. Les piliers de la méthode des éléments finis <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Le maillage : mailles et nœuds 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

- 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

Méthode et organisation pédagogique :

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 œuvre 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 nœuds.

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.

Compétences visées :

1- Les savoirs et connaissances : connaissances élémentaires sur le principe de la méthode (interpolation nodale, relations élémentaires, assemblage, etc.), le vocabulaire technique afférent (nœuds 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 œuvre 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.

Évaluation :

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.

Support pédagogique 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.

Matière 3 : Approfondissement Recherche opérationnelle

Titre de la matière : Recherche opérationnelle	
Code : TC 7.1	Titre du module : Modélisation
Semestre : S7	Cursus de rattachement : Tronc commun

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
17	22	7	9			1	5	1/3	

résumé	Cest enseignement est un approfondissement du cours de Recherche Opérationnelle avec un renforcement de l'applicatif et l'introduction de l'analyse multi critère.
---------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Responsable	Pierre Runtz
Equipe enseignante	Pierre Runtz, Stefan JANAQI, Abdelhak IMOUSSATEN

Mots-clés	
Prérequis	Cours de recherche opérationnelle

<p>Contexte et objectif général :</p> <p>La Recherche Opérationnelle (R.O.) est une discipline qui vise à résoudre par une démarche scientifique des problèmes de décision complexes issus du monde réel. Sa vocation est donc de construire des modèles pour des problèmes généraux d'aide à la décision (en particulier les problèmes d'optimisation), et de proposer des méthodes de résolution efficace de ces modèles. La R.O intervient de manière souvent cruciale dans des secteurs de plus en plus nombreux et diversifiés comme les transports, la production industrielle, la planification, l'informatique, les télécommunications, l'énergie, l'administration...</p>
<p>Programme et contenu :</p> <p>Approfondissement du cours précédent. Analyse multi critères</p>
<p>Méthode et organisation pédagogique :</p> <p>2 cours de 2h – 2TD de 2h – 1 cours de 3h – 1TD de 3h et 1TD de 2h</p>
<p>Acquis d'apprentissage visés :</p> <p>Développer la compétence des élèves ingénieurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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
<p>Evaluation :</p> <p>1 contrôle écrit de 1h et 1 mini projet effectué en binôme sur l'analyse multi critères.</p>
<p>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</p> <p>mise à disposition des corrections, consultation des copies etc : Délais de correction des examens : (un maximum de 3 semaines est toléré pour un rendu de correction d'examens)</p>
<p>Support pédagogique et références :</p>

Matière 4 : Approfondissement Eléments finis

Titre de la matière : Approfondissement Eléments finis	
Code : TC 7.1	Titre du module : Modélisation
Semestre : S7	Cursus de rattachement : Tronc commun

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
17	37	4	2		10	1	20	1/3	4

résumé	L'objectif de ce cours est d'approfondir les connaissances théoriques et pratiques en éléments finis abordées dans le cours précédent.
---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Responsable	Xavier Picamoles
Équipe enseignante	Cours : Xavier Picamoles. TP et TD : Stéphane Corn, Etienne Malachanne, Marc Vinches, Marie Salgues, Jean-Christophe Quantin, Romain Léger, Xavier Picamoles.

Mots clés	Méthode des éléments finis, mécanique des structures, thermique, méthode numérique de résolution de problèmes de l'ingénierie.
Pré requis	Connaissances élémentaires sur : 1- la manipulation des matrices, des fonctions polynomiales, le principe de l'interpolation polynomiale, 2- la manipulation des opérateurs différentiels (laplacien, gradient, divergence), 3- le calcul intégral (intégrales doubles et triples), 4- la mécanique des milieux continus (tenseurs des contraintes et des déformations, loi de comportement des matériaux (loi de Hooke), principe des travaux virtuels, équations d'équilibre...) 5- la thermique et en particulier l'équation de la chaleur...

Contexte et objectif général : 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. La présentation effectuée en introduction est reprise pour être généralisée. A cette occasion, le public est sensibilisé à l'utilisation de quelques opérateurs différentiels au moment de l'écriture de la formulation faible des problèmes aux dérivées partielles abordés ainsi qu'au principe de la discrétisation de ces problèmes avec la construction des relations élémentaires puis l'assemblage de ces relations. La présentation s'appuie sur des exemples simples traités « à la main » (problème de mécanique : déplacements et contraintes dans une plaque en console avec hypothèses des contraintes planes, problème de thermique : température dans un mur dont les dimensions permettent une simplification bidimensionnelle). Les applications de la méthode à des problèmes non linéaires ainsi qu'au calcul des modes propres d'une structure sont abordés. On revient aussi sur les aspects pratiques importants liés aux problématiques de la construction d'un modèle « élément fini » pertinent, de la simplification de modèles grâce à des considérations géométriques, à des hypothèses simplificatrices (axisymétrie, hypothèses des contraintes ou déformations planes), de l'exploitation des résultats, de la convergence, etc. Les travaux pratiques utilisent le logiciel ANSYS dans des situations concrètes et industrielles.

Programme et contenu (Phase 2 : Approfondissement)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Exemple de discrétisation en 2D <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Calcul d'une matrice de rigidité 1.2. Résolution d'un problème en 2D 2. Le principe des travaux virtuels en mécanique <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Le principe 2.2. Application : discrétisation d'une barre 2.3. Application : discrétisation d'une poutre 3. Techniques de simplification <ol style="list-style-type: none"> 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

- 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

Méthode et organisation pédagogique :

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 œuvre 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 et TP3 : calcul des déplacements et des contraintes dans un appareil de pesage. Il s'agit de vérifier que, sous une charge imposée, la contrainte maximale indiquée par la notice n'est pas dépassée en tenant compte de plusieurs facteurs : augmentation de la température, décentrement de la charge, etc.

TP4 : exemple de problème non linéaire. Il s'agit de mettre en évidence le phénomène de « rotule plastique » et d'aborder ainsi un exemple de non linéarité matérielle.

TP5 : différents calculs sur la structure d'un pont. Il s'agit là de traiter un problème très concret sur un modèle géométrique « complexe » dans différentes situations de chargements (gradient de température, charge décentrée correspondant à un camion stationné sur le bord de la chaussée, etc.)

Compétences visées :

1- Les savoirs et connaissances : connaissances élémentaires sur le principe de la méthode (interpolation nodale, relations élémentaires, assemblage, etc.), le vocabulaire technique afférent (nœuds 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 œuvre 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. Être capable d'appliquer la méthode sur des problèmes non linéaires, de déterminer les modes propres d'une structure.

Évaluation :

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.

Support pédagogique 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.

Méthode et organisation pédagogique :

Modalité d'évaluation

Matière	Contrôle	Coefficients
ROP	1 CE 1h	1/3
EFI	1 CE 1h	1/3
Approfondissement ROP	1 CE 1h 1 mini projet	1/3
Approfondissement EFI	1 CE 1h	1/3

Engagement de l'étudiant, éthique et professionnalisme

La démarche éthique est définie dans le règlement intérieur de l'établissement. Chaque étudiant s'engage à en prendre connaissance et à la respecter.

Obligation des cours (Selon l'article 5.3 du Règlement Intérieur, l'on peut définir la présence obligatoire ou non à certains exercices pédagogiques): Cours Obligatoire

Nombre d'heures estimées de travail personnel

Nombre d'heures estimées de préparation aux travaux dirigés (TD) :

Pénalité pour retard (Conformément à l'article 3.3 du Règlement de scolarité, les enseignants peuvent appliquer des pénalités en cas de remise tardive de rapport sans motif valable (la validité du motif est laissée à l'appréciation de l'enseignant).

Tout travail remis en retard sans motif valable peut être pénalisé de la note 0/20.

Équipe enseignante (présenter ici l'équipe enseignante, son expertise, ses coordonnées)

Nom	Domaine d'expertise	Courriel/Téléphone
Pierre Runtz Stefan JANAQI Abdelhak IMOUSSATEN Michel VASQUEZ	ROP	Pierre.runtz@mines-ales.fr Stefan.Janaqi@mines-ales.fr imoussaten@mines-ales.fr Michel.Vasquez@mines-ales.fr
Xavier Picamoles,	EFI	x.picamoles@orange.fr Jean-Christophe.Quantin@mines-ales.fr

Module

Jean-Christophe Quantin, Marc Vinches Stéphane Corn Etienne Malachanne, Jean-Samuel Wienin Marie Salgues Romain Leger	Marc.Vinches@mines-ales.fr Stephane.Corn@mines-ales.fr Etienne.Malachanne@mines-ales.fr Jean-Samuel.Wienin@mines-ales.fr Marie.Salgues@mines-ales.fr Romain.Leger@mines-ales.fr
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Approbation

Ce guide pédagogique entre en vigueur à compter du....

Il est porté à la connaissance des élèves par une publication sur

Rédaction	Vérification	Validation
L'enseignant responsable du module :	Le responsable d'UE / de département :	Le directeur de l'école, Pour le directeur et par délégation, Le directeur de la DFA / de la DE :