



---

## **Guide pédagogique**

***Module Méthodes de Modélisation SyM (4 crédits ECTS)***

---

### ***Place du module et enjeux***

La modélisation multiphysique et la méthode des éléments finis permettent à travers la simulation d'analyser des propriétés attendues ou non des systèmes mécatroniques.

---

## **Teaching guide and syllabus**

***Module Modelling methods SyM (4 ECTS credits)***

---

### ***Subject matter importance and associated issues***

Multiphysics modelling and finite element methods allow, through simulation, to analyze expected or not properties of mechatronic systems.

Responsable :Nicolas DACLIN

Téléphone : 04 34 24 62 66

Courriel : [nicolas.daclin@mines-ales.fr](mailto:nicolas.daclin@mines-ales.fr)



**IMT Mines Alès**  
École Mines-Télécom

ENSEIGNEMENTS ACADEMIQUES	Volume horaire	Détail des coefficients	Crédits
<b>Méthodes de modélisation</b>	<b>53 h</b>		
○ Méthode des éléments finis	20	1	4
○ Conception pilotée par les modèles	33	1	

Titre de la Conférence introductive présentant les enjeux et l'encrage du module dans les problématiques technologiques et sociétales.	Intervenant (nom/ statuts/ expertise)

**Matière 1 :**

<b>Méthode des éléments finis</b>	
<b>Code : SYM 9.2</b>	<b>Titre du module :</b> Méthodes de modélisation
<b>Semestre : S9</b>	<b>Cursus de rattachement :</b> Option SyM du département PRISM

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
20	20	8		12				1	

Titre	<i>Méthode des éléments finis</i>
résumé	Comment calculer numériquement le comportement d'artéfacts, à condition qu'ils soient continus et décrits par des équations aux dérivées partielles linéaires.

<b>Responsable</b>	Pierre WYNIECKI
<b>Equipe enseignante</b>	Thierry Marmeth, Pierre WYNIECKI

<b>Mots-clés</b>	
<b>Prérequis</b>	Tronc commun 1-L3 : Mécanique des milieux continus, Résistance des matériaux, Eléments finis 1

<b>Contexte et objectif général :</b> La méthodes des éléments finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles en recherchant des solutions discrètes donnant une image approchée mais fiable de la réalité. Cette méthode s'applique à différents types de problèmes (mécanique, thermique, acoustique...). En ingénierie mécanique et conception de produits, la méthodes des éléments finis est essentielle car elle permet de faire du calcul de structures en statique ou en dynamique.
<b>Programme et contenu :</b> 1. Eléments linéiques 2. Elasticité 2D 3. Elasticité 3D
<b>Méthode et organisation pédagogique :</b> L'enseignement est effectué par alternance de cours magistraux et de TD sur ordinateur à l'aide du logiciel ANSYS
<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> Etre capable de modéliser puis résoudre un problème de calcul de structure à l'aide d'un code de calcul.
<b>Evaluation :</b> Rapports TP
<b>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</b> 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)
<b>Support pédagogique et références :</b> ....

**Matière 2 : Conception pilotée par les modèles**

<b>Vibration des structures</b>	
<b>Code : SYM 9.2</b>	<b>Titre du module : Méthodes de modélisation</b>
<b>Semestre : S9</b>	<b>Cursus de rattachement : Option SyM du département PRISM</b>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
33	33	15		5	12	1	+5	3	4

<b>Titre</b>	<b>Simulation multiphysique</b>
<b>résumé</b>	L'objectif de cet enseignement est de donner aux étudiants les bases des lois physiques régissant les systèmes mécatroniques qu'ils étudieront, mais aussi de les former à l'utilisation d'un outil interdisciplinaire, théorique et pratique permettant de simuler les causes et les effets de ces différents phénomènes.

<b>Responsable</b>	<i>M. Clément Coïc</i>
<b>Equipe enseignante</b>	<i>M. Clément Coïc</i>

<b>Mots-clés</b>	Modélisation, Simulation, phénomènes physiques, Modelica/Amesim/Simulink
<b>Prérequis</b>	Physique générale

**Contexte et objectif général :**

La modélisation et simulation trouve sa place tout au long du « cycle en V », dans un contexte de développement d'un système. Beaucoup utilisent même le concept de « cycle en double-V », où la branche remontante du V ajoutée est dédiée aux tests virtuels du système – permettant une vérification du design avant la production du prototype physique. Ce cours a pour but d'introduire et démontrer aux étudiants le rôle des modèles virtuels à chaque étape du développement.

Un modèle virtuel est aujourd'hui un système en lui-même et évolue tout au long du développement du système. Un ingénieur doit donc comprendre les différents niveaux de fidélités d'un modèle – quand augmenter et réduire le réalisme en fonction du besoin tout en conservant au mieux la continuité digitale. L'étudiant sera aussi initié à la traçabilité du modèle, assurée grâce à la gestion de version et aux tests continus.

**Programme et contenu :**

Dans un premier temps, les notions de bases de la modélisation seront introduites : place des modèles dans le développement d'un système, niveau de fidélité, phénomènes physiques, etc.

Plusieurs domaines physiques seront ensuite présentés (mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, thermique à minima), en rappelant les équations de bases et en mettant l'accent sur les analogies entre domaines. Différents langages / représentations seront introduites ou rappelés : Bond Graphs, représentation d'état, schéma block, Modelica. Le but étant de donner aux étudiants une vision large des choix de modélisation, les liens entre eux, les avantages et inconvénients de chacun.

Les aspects techniques de la simulation et les « dangers » associés seront introduits. Par exemple, le fonctionnement d'un solveur/intégrateur et les différentes variantes seront discutés mais aussi la précision et la stabilité. Il sera mis en évidence qu'un résultat de simulation peut-être totalement erroné si l'ingénieur ne prête pas attention aux réglages du solveur – indépendamment de la qualité du modèle virtuel.

Une courte introduction à la gestion de version et aux tests continus sera faite (<2h) mais fera partie de la méthode de travail souhaitée lors de la réalisation d'un projet.

Le projet de modélisation et simulation multi-physique se fera par groupe de 3 ou 4. Il inclura toutes les phases de développement d'un système multi-physique et fera appels aux différentes notions discutées en cours. Le projet sera idéalement public et chaque groupe disposera d'un répertoire sur GitHub où les différentes étapes seront tracées grâce aux outils de gestion de versions.

Plusieurs sujets de projets peuvent être considérés, notamment (comme sujet actuel) le développement d'un appareil d'assistance respiratoire.

**Acquis d'apprentissage visés :**

Logique de modélisation sur la base des phénomènes physiques souhaités.

Modélisation par assemblage v/s code.

Différents outils de modélisation, leurs avantages et leurs inconvénients.

La simulation, ses innombrables avantages et ses dangers.

La gestion de version et tests continus.

**Evaluation :**

80% sur la base d'un projet d'application + 20% sur la base d'un quizz de notions générales – obligatoirement énoncés en cours (« bonus écoute »). Rapport (x3)

**Retour sur l'évaluation fait à l'élève :**

Toutes les questions du quizz seront répondues juste après la remise des questionnaires et discutés interactivement avec les étudiants.  
 Le projet fera l'objet d'un travail de révision détaillé. Deux notes seront attribuées : une sur la partie méthodologie et une sur la partie « contenu et résultats ».  
 Chaque projet pourra être présenté par les étudiants à l'ensemble du groupe en version de synthèse.

**Support pédagogique et références :**

Support de cours, « cheat sheet », modèles utilisés en cours, références d'ouvrages.

## Méthode et organisation pédagogique

### Modalité d'évaluation

Le niveau d'acquisition des compétences sera évalué selon les exigences suivantes :

N° indicateur	Indicateur
1	connaître les savoirs formels et pratiques du socle des fondamentaux
2	Exploiter les savoirs théoriques et pratiques
3	Analyser, interpréter, modéliser, émettre des hypothèses, et résoudre

### Répartition

Matière	Contrôle	Coefficients	Type de notation	Indicateurs évalués	Chapitres
Méthode des éléments finis	Rapports TP	1	En groupe	3	Tous
<i>Conception pilotée par les modèles</i>	Quizz	1	Individuelle	1	Tous
	Lab report	5	en groupe	2,3	Tous

## 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):*

**Nombre d'heures estimées de travail personnel** (à évaluer selon le type de pédagogie utilisée): pour acquérir les compétences demandées, il est nécessaire que l'étudiant consacre minimum 45 min de travail personnel de compréhension et d'approfondissement par séance de cours.

**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 \_\_\_ (à compléter par l'enseignant) point par jour de retard.

## Équipe enseignante

<i>Nom</i>	Domaine d'expertise	Téléphone	Courriel
<i>Clément Coïc</i>	Simulation multiphysique		
<i>Pierre Wyniecki</i>	EFI	04 42 61 27 00	<a href="mailto:pierre.wyniecki@nuvia-ts.com">pierre.wyniecki@nuvia-ts.com</a>
<i>Thierry Marmeth</i>	EFI	04 91 23 25 52	<a href="mailto:thierry.marmeth@egis.fr">thierry.marmeth@egis.fr</a>

ACADEMIC TEACHING	Teaching hours	Coefficients	Credits
<b>Modelling methods</b>	<b>53 h</b>		
○ Finite elements method	20	1	4
○ Multiphysics simulation	33	1	

Title of Conference presenting subject matter importance and associated issues.	Speaker (name/ expertise)

**Class 1**

<i>Finite elements method</i>	
<b>Code : SYM 9.2</b>	<b>Module title : Modelling methods</b>
<b>Semester: S9</b>	<b>Classification : PRISM department / SYM option</b>

Hours of presence	Total hours	Lectures	Work shop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
20	20	8		12				1	

Title	Finite elements method
Summary	

Head	Pierre WYNIECKI
Teaching team	Thierry MARMETH, Pierre WYNIECKI

Key words	
Prerequisites	1L3 Mechanics lectures

<b>Context and general objective:</b> Finite element methods are used to numerically solve partial differential equations by searching for discrete solutions giving an approximate but reliable image of reality. This method applies to different types of problems (mechanical, thermal, acoustic ...). In mechanical engineering and product design, the finite element method is essential because it allows the calculation of structures in static or dynamic.
<b>Programme and contents:</b> 1. Linear elements 2. 2D elasticity 3. 3D elasticity
<b>Method and pedagogic organisation:</b> Theoretical approach (phenomena and physical laws) then analytical but essentially numerical applications through the modeling of concrete cases.
<b>Targeted skills or knowledge :</b> Being able to model and then solve a structural calculation problem using a calculation code.
<b>Evaluation :</b> Labs reports
<b>Feedback made to the student :</b>
<b>Teaching material and references :</b>

**Class 2**

<i>Model driven design</i>	
<b>Code : SYM 9.2</b>	<b>Module title : Modelling methods</b>
<b>Semester: S9</b>	<b>Classification : PRISM department / SYM option</b>

Hours of presence	Total hours	Lectures	Workshop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
33	33	15		5	12	Report	+5	3	4

<b>Title</b>	<i>Model driven design</i>
<b>Summary</b>	The objective of this teaching is to give students the basics of the physical laws governing the mechatronic systems they will be studying, but also to train them in the use of an interdisciplinary, theoretical and practical tool, making it possible to simulate the causes and effects of these different phenomena.

<b>Head</b>	<i>M. Clément Coïc</i>
<b>Teaching team</b>	<i>M. Clément Coïc (Modelon, Germany)</i>

<b>Key words</b>	Modeling, simulation, physics, Modelica/Amesim/Simulink
<b>Prerequisites</b>	Physics (bases)

**Context and general objective:**

Modeling and simulation take place throughout the "V-cycle", in a system development context. Many even use the concept of a "double-V cycle," where the added upward branch of the V is dedicated to virtual testing of the system - allowing for design verification before production of the physical prototype. This course aims to introduce and demonstrate to students the role of virtual models at each stage of development. A virtual model is today a system in itself and evolves throughout the development of the system. An engineer must therefore understand the different levels of loyalty in a model - when to increase and reduce realism as needed while maintaining digital continuity as much as possible. The student will also be introduced to the traceability of the model, ensured through version management and continuous testing.

**Programme and contents:**

Several physical fields will then be presented (mechanical, electrical, hydraulic, pneumatic, thermal at least), recalling the basic equations and emphasizing the analogies between fields. Different languages / representations will be introduced or recalled: Bond Graphs, state representation, block diagram, Modelica. The goal is to give students a broad view of the modeling choices, the links between them, the advantages and disadvantages of each. The technical aspects of the simulation and the associated "dangers" will be introduced. For example, the operation of a solver / integrator and the different variants will be discussed, but also precision and stability. It will be evident that a simulation result can be totally wrong if the engineer does not pay attention to the solver settings - regardless of the quality of the virtual model. A short introduction to version management and continuous testing will be given (<2h) but will be part of the desired working method when carrying out a project. The multi-physics modeling and simulation project will be done in groups of 3 or 4. It will include all the phases of the development of a multi-physics system and will make use of the different concepts discussed in class.

**Method and pedagogic organisation:**

First, the basic notions of modeling will be introduced: place of models in the development of a system, level of fidelity, physical phenomena, etc. 15h of "interactive" theoretical course part where practical notions will also be mentioned (e.g. orders of magnitude of variables, demonstration of concepts, etc.) 1 Knowledge validation quiz (~1h = 20min + 40min correction / discussion) 5 hours of applications (practical work) to familiarize yourself with the tools 12 hours of project covering all the concepts.

**Targeted skills or knowledge:**

Modeling logic based on the desired physical phenomena. Modeling by assembly v / s code. Different modeling tools, their advantages and disadvantages. Simulation, its countless advantages and dangers. Version management and continuous testing.

**Evaluation :**

80% on the basis of an application project + 20% on the basis of a quiz of general concepts - necessarily stated in class ("listening bonus").

**Feedback made to the student :**

All the quiz questions will be answered immediately after the questionnaires have been handed in and discussed interactively with the students. The project will be the subject of a detailed revision work. Two marks will be awarded: one on the methodology part and one on the "content and results" part. Each project can be presented by the students to the whole group in a summary version.

**Teaching material and references :**

Course material, "cheat sheet", models used in class, book references.

**Method and teaching organisation** *(to be used for providing more detail concerning the teaching methods used):*

## Testing procedures

The student's level of knowledge acquisition will be evaluated according to the following points:

N° Indicator	Indicator
1	To know the formal and practical knowledge constituting the foundation of a given field
2	Exploit theoretical and practical knowledge
3	Analyse, interpret, model, hypothesize and solve problems

**Grading scheme:** for example, « *Mechanics of deformable solids* »

Class	Exam	Coefficients	Administration mode	Evaluated Indicators	Chapters
<i>Finite elements method</i>	Lab reports	1	In group	3	all
<i>Model driven design</i>	Quizzes	1	Individual	1	all
	Lab report	5	In group	2,3	all

## Student commitments, ethics and professionalism

*Expectations concerning ethics are defined in the establishment's code of conduct. Each student is expected to know and respect the code of conduct.*

*Obligatory presence in classes (According to article 5.3 of the Code of conduct, physical presence at certain teaching exercises can be deemed obligatory:*

***Estimated hours of personal study*** (evaluate in function of the type of teaching method used): in order to acquire the required learning level, the student is expected (must) to spend a minimum of 45min of personal study time per hour spent in class.

***Estimated hours of preparation required for labs/Work Shop:***

***Late penalties*** (According to article 3.3 of the Teaching Code, teachers can administer penalties for reports/homework that are late without a valid justification (validity is left to the teacher's best judgement).

All late work is subject to penalties as follows \_\_\_\_\_ (to be completed by the teacher(s)).

## Teaching team

Name	Field of expertise	Phone	Email
<i>Clément Coïc</i>	Multiphysics simulation		
<i>Pierre Wyniecki</i>	FEM	04 42 61 27 00	<a href="mailto:pierre.wyniecki@nuvia-ts.com">pierre.wyniecki@nuvia-ts.com</a>
<i>Thierry Marmeth</i>	FEM	04 91 23 25 52	<a href="mailto:thierry.marmeth@egis.fr">thierry.marmeth@egis.fr</a>

## Approbation



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

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

<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Validation</b>
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 :