

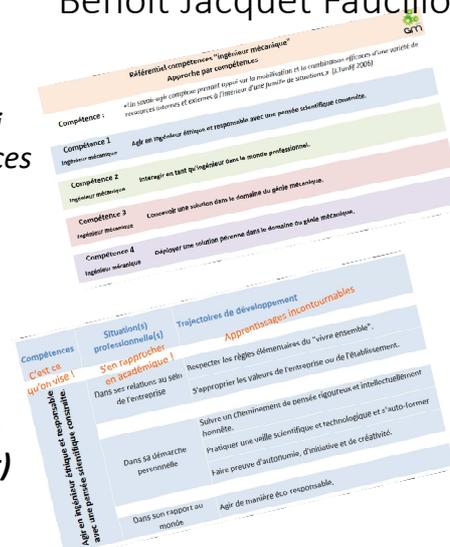
# Alignement pédagogique en « mécanique des solides déformables »

Luc Chevalier  
Université Paris-Est Marne-la-Vallée

« Approche compétences » développée en  
filière Mécanique à l'ESIGE (projet porté par  
Benoit Jacquet Faucillon)



- Identifier des compétences
  - «un savoir agir complexe prenant appui sur la mobilisation et l'utilisation efficaces d'une variété de ressources internes ou externes à l'intérieur d'une famille de situations»[Jacques Tardif 2006]
- Définir les trajectoires de développement
  - apprentissages à réaliser pour passer chacun des niveaux, du premier **niveau de développement (novice ou débutant) au niveau visé par le diplôme**





### Référentiel compétences "ingénieur mécanique"

#### Approche par compétences



**Compétence :** «Un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations.» (J.Tardif 2006)

<b>Compétence 1</b> Ingénieur mécanique	Agir en ingénieur éthique et responsable avec une pensée scientifique construite.
<b>Compétence 2</b> Ingénieur mécanique	Interagir en tant qu'ingénieur dans le monde professionnel.
<b>Compétence 3</b> Ingénieur mécanique	Concevoir une solution dans le domaine du génie mécanique.
<b>Compétence 4</b> Ingénieur mécanique	Déployer une solution pérenne dans le domaine du génie mécanique.





### Référentiel compétences "ingénieur mécanique"

#### Approche par compétences



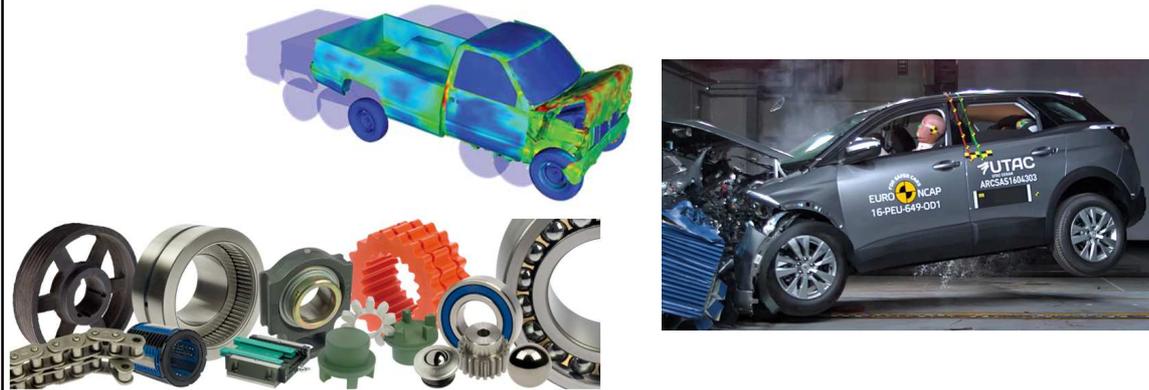
Compétences	Situation(s) professionnelle(s)	Trajectoires de développement
<b>Agir en ingénieur éthique et responsable avec une pensée scientifique construite.</b>	Dans ses relations au sein de l'entreprise	Respecter les règles élémentaires du "vivre ensemble".
		S'approprier les valeurs de l'entreprise ou de l'établissement.
	Dans sa démarche personnelle	Suivre un cheminement de pensée rigoureux et intellectuellement honnête.
		Pratiquer une veille scientifique et technologique et s'auto-former Faire preuve d'autonomie, d'initiative et de créativité.
Dans son rapport au monde	Agir de manière éco-responsable.	

C'est ce qu'on vise !

S'en rapprocher en académique !

Apprentissages incontournables

## Une UE « pré-dimensionnement des systèmes mécaniques »



## Un enseignement cœur de métier : la MSD et les EF

- MSD : Mécanique des solides déformables
- EF : Eléments finis
- Objectifs
- Pré-requis
- « Compétences » à atteindre

GM-CPM - 1 <sup>re</sup> année	Semestre 1	UE : 3 - Systèmes mécaniques et CAO	Coef: 1,25
24 h de cours, 2 h de TD, 4 h de TP		Évaluation: Contrôle Continu, Projet, Examen, TP	

#### Objectifs

L'ingénieur en Mécanique sera amené à valider ses conceptions en utilisant des moyens de calcul intégrés aux logiciels de CAO ; généralement la méthode des éléments finis. Pour une utilisation raisonnée de ces outils il est nécessaire : de modéliser les actions mécaniques et les déplacements imposés au solide étudié, de connaître les concepts de contrainte et de déformation afin d'interpréter les résultats du logiciel, de connaître les principes et propriétés de la méthode afin de poser correctement les problèmes à résoudre.

#### Pré-requis

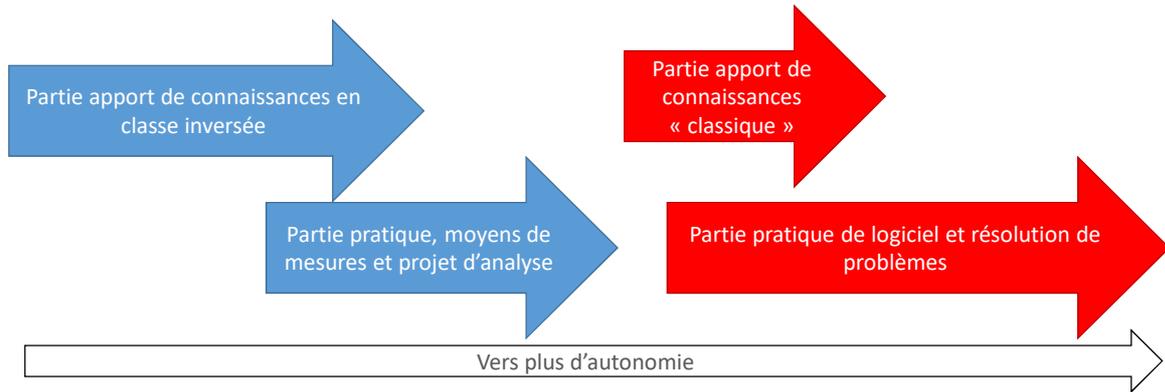
- Le cours est un prérequis (Mathématiques : Géométrie vectorielle, Calcul matriciel, détermination de valeur propre et vecteur propre, Dérivée partielle, Calcul intégral de surface et de volume).
- Le cours est un prérequis (Mécanique : Relation des vitesses dans un solide, Principe fondamental de la statique).

#### Compétences à atteindre

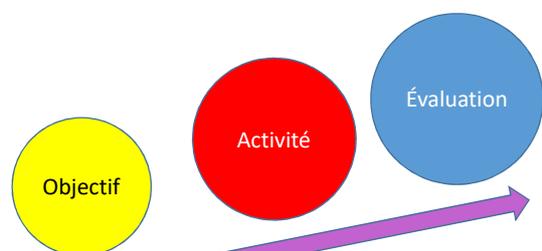
- Interpréter les composantes d'une matrice de déformation, rechercher des directions principale de déformation, calculer une matrice des déformations à partir d'un champ de déplacement
- Faire des mesures de déformation à l'aide de différentes techniques adaptées à l'amplitude des déformations mesurées : jauge, analyse d'images
- Interpréter les composantes d'une matrice des contraintes, rechercher les directions principale des contraintes, vérifier l'équilibre local d'un volume élémentaire, exprimer les conditions limite en effort
- Faire des mesures de contrainte à l'aide des techniques de photo élasticité
- Passer des déformations aux contraintes et vice-versa à l'aide des relations de Hooke ou Lamé et plus

## Déroulé de l'enseignement en A1

- Enseignement sur 2 semestres
  - Semestre 1 : 9x2h CM + 9x2h TD + 5x4h TP
  - Semestre 2 : 4x2h CM + 9x2h TPI



## Alignement des modalités d'évaluation



## QCM → contrôles réguliers de l'acquisition par Boitiers de Vote

- Animer la synthèse
  - Apporter des compléments au vu des erreurs du quizz
  - Capter l'attention de ceux qui ont bien réussi
- Permet l'évaluation
  - Chaque boitier possède un code barre
  - Chaque élève est identifié



## Examen sur table → classique avec correction par les pairs



- Examen conditions classiques
- Le prof fourni la correction détaillée, le barème et les consignes de correction
  - Chaque élève corrige 5 copies (4 copies + la sienne)
- l'évaluation fait partie de la formation
- On évalue aussi la fiabilité de la correction
- Pratique cadrée mais qui prépare à l'autonomie et qui responsabilise !



# Partie « résolution de problème » par éléments finis



### MODALITES

- Séance en salle informatique,
- 1 étudiant par poste,
- logiciel disponible de calcul disponible
- cours accessible sur moodle,
- compte-rendu à rendre en fin de séance sous forme informatique

### CONTENU

6 travaux basés sur des résolution de problème de rigidité ou de résistance mécanique :

- contact localisé,
- traction de poutre,
- barrage poids,
- corps d'épreuve de pèse personne,
- levier de souffleuse

→ **Progressivité des travaux**



# Evaluation d'une compétence

- L'ingénieur en Mécanique doit être capable
  - de **modéliser** un problème mécanique,
  - de le **résoudre** via un code de calcul éléments finis adapté
  - d'en **tirer des conclusions** sur la tenue du composant étudié
- Capacités nécessaires :
  - Identifier les conditions cinématiques et les efforts appliqués
  - Interpréter des résultats de contraintes et des déformations
  - Connaître le fonctionnement d'un code EF
  - Mettre en œuvre des calculs matriciels
  - Programmer un algorithme

Savoir – être	Savoir – faire expérimental
Comportement Implication Travail en équipe	Méthodologie Manipulation Qualité résultats
Savoirs	Savoir – faire rédactionnel
Connaissances théoriques	Exploitation Analyse Synthèse

- Evaluation sur les 4 composantes de la compétence
- Suivi sur la mise en œuvre progressive des calculs éléments finis en Mécanique
  - Des exemples de plus en plus complexes
  - Un accompagnement de moins en moins grand
  - Des travaux individuels et en équipe
  - En classe ou en dehors de la classe

## Grille d'observation

- Sur le comportement : assidu, ponctuel, concentré...
- Sur l'implication : autonomie, discipline de travail
- Sur la performance : rigoureux, complétude du travail...

	Comportement		Implication		Performance		Commentaires
	Retard vs ponctualité	concentration vs sur son smatphone ou à discuter avec le voisin	Reste à son poste vs tjrs en balade	Se pose des question vs pose les questions au prof	Réfléchi sur sa démarche	Critique vis-à-vis des résultats	
ADAM							
AWALEH ALI							
BEN ROUHA							
BENYAHIA							
BUDAI							
BURAHEE							
BURY							
CARDOSO BRANCO							
CASASSA VIGNA							
CHATELAIN							
CHAY							
DE ABREU							
DOMINGUES							
FAGOT							
FAYE							
FERRAND							

## Critères d'évaluation

- Les critères couvrent les 4 composantes de la compétence
  - Un critère est évalué plusieurs fois
  - Chaque critère est évalué sur 4 niveaux

Choix → Excellent 4, Correct 3, Insuffisant 1, Inacceptable 0

Critère	Niveau INACCEPTABLE	Niveau INSUFFISANT	Niveau CORRECT	Niveau EXCELLENT
Utiliser le matériel expérimental	L'étudiant utilise le matériel de façon hasardeuse ou inadaptée (endommagement possible)	L'étudiant utilise le matériel adapté mais il maîtrise mal son fonctionnement (réglages inadaptés)	L'étudiant utilise le matériel à bon escient et il en connaît le fonctionnement (réglages adaptés)	Niveau CORRECT + l'étudiant connaît les limites du matériel utilisé

EXEMPLE pompé sur →

Julien Douady  
Enseignant-chercheur en sciences physiques  
Conseiller pédagogique  
Responsable du service d'appui pédagogique

[julien.douady@univ-renoble-alpes.fr](mailto:julien.douady@univ-renoble-alpes.fr)

## Exemple de grille critériée

- TEF1 : remplissage de la grille sur la base de l'observation et du compte-rendu

	Inacceptable	Insuffisant	Correct	Excellent
	0	1	3	4
<b>Savoir-être</b> Comportement individuel, assiduité, implication, participation	L'élève ne participe pas activement au travail	L'élève est présent et calme mais ne participe pas au travail de la classe, il ne cherche pas les réponses aux TD	L'élève participe activement au travail de la classe, il fait des propositions et avance sur la résolution des exercices	CORRECT + L'élève est efficace et prend de l'avance dans son travail
<b>Savoirs</b> Prise en compte des conditions aux limites	L'élève ne sait pas ce qu'est une condition aux limites	L'élève ne sait pas ce qu'est une condition aux limites mais ne sait pas comment prendre en compte pour réduire la taille du problème	L'élève sait réduire la taille d'un problème en prenant en compte les conditions aux limites dans un problème éléments finis	CORRECT + L'élève est autonome et anticipe l'apport du prof en proposant sa méthode
Opérations sur les matrices, produits, transposé, déterminant, inverse	L'élève ne connaît pas les règles de calcul matriciel	L'élève connaît les règles de calcul matriciel mais peine à les appliquer en EF	L'élève possède les prérequis nécessaires en termes de calcul matriciel, il connaît les règles de calcul sur les matrices, sait notamment calculer un déterminant et inverser une matrice carrée.	CORRECT + L'élève gère correctement et de façon autonome les indices pour se retrouver dans les matrices
<b>Savoir-faire expérimental</b> Base de la programmation : boucle, test	L'élève n'a aucune notion d'algorithme	L'élève comprends les algorithmes qu'on lui présente mais peine à les développer lui-même	L'élève est à l'aise pour utiliser les outils de la programmation pour la résolution d'un problème donné	CORRECT + L'élève propose de manière autonome la programmation d'un algorithme dont on présente le principe
<b>Savoir-faire rédactionnel</b>	L'élève ne fait pas de conclusion	L'élève fait une conclusion trop succincte qui ne reprend pas les points de l'étude	L'élève fait une conclusion qui reprend les points établis dans l'étude, présente les difficultés rencontrées et les axes de progrès possibles	CORRECT + L'élève tire des conclusions à partir d'approfondissement de l'étude et compare avec d'autres sources bibliographiques
				CORRECT + style clair et synthétique avec

## De la grille à la note...

- Sur la base des 5 travaux EF

Les 5 travaux EF

- Travail n°1 : beam in tension
  - Exercice étudié en TD
  - Détermination de la solution analytique
  - Mise en place de la formulation matricielle de résolution par éléments finis.
  - Programmation sous matlab de la résolution
- Travail n°2 : bathroom stairs
  - Problème 2D à 2DDL par nœuds
  - Préparation en TD en classe
  - Programmation sous Matlab de la résolution
- Travail n°3 : heavy dam
  - Problème 2D à 2DDL par nœuds
  - TD en salle informatique
  - Utilisation de l'outil Matlab: subplot
  - Etude de la sensibilité aux conditions limites sur la solution

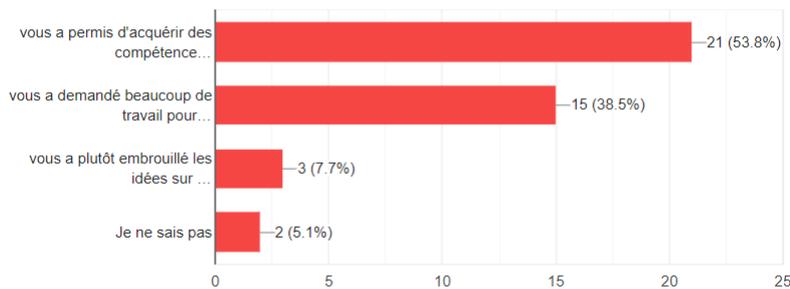
Travail EF n°1					
	innac.	ins.	correct	ex.	coef
s-e	0	1	3	4	
s1	0	1	3	4	1
s2	0	1	3	4	2
s-f exp	0	1	3	4	1
s-f red 1	0	1	3	4	1
s-f red 2	0	1	3	4	2
					note TEF1
Travail EF n°2					
	innac.	ins.	correct	ex.	coef
s-e	0	1	3	4	
s1	0	1	3	4	0
s2	0	1	3	4	2
s3	0	1	3	4	2
s-f exp	0	1	3	4	1
s-f red	0	1	3	4	2
					note TEF2
Travail EF n°3					
	innac.	ins.	correct	ex.	coef
s-e	0	1	3	4	
s2	0	1	3	4	0
s3	0	1	3	4	1
s4	0	1	3	4	2
s-f exp	0	1	3	4	2
s-f red	0	1	3	4	1
					note TEF3

## Ce qu'en pensent les élèves

QUESTIONNAIRE SUR LE MODULE DE TRAVAIL PRATIQUE

Globalement vous direz que ce module :

39 réponses



- Taux de réponses  
39/41 = 95%
- Des élèves qui trouvent majoritaire le module utile mais aussi exigeant en quantité de travail
- Les séances en classe sont jugées « trop théoriques »

## Ce qu'en disent les élèves

Les logiciels pour mettre en pratique les cours théoriques  
La pratique est importante afin de bien comprendre la théorie  
Apprentissage des nouveaux pratiques: matlab, abaqus, RDM6. Je trouve ça très utiles.

**Une certaine exigence de travail à rendre nous force à travailler ce qui est pour moi un bon point (malgré une matière difficile).**  
Un professeur présent et à l'attente d'une demande ou d'une question d'un élève.

Un sujet clair pour les tp.  
Multiplicité de logiciel EF, Théorie complète pour notre niveau, très intéressant.  
Prise en main de logiciel

les seances informatiques permettent une approche pratique de la matière en plus de la théorie des CM  
**Bon apprentissage du fonctionnement des logiciels informatiques, cependant cela nous donne une approche générale qui ne nous donne pas la maîtrise totale du logiciel, j'espère revenir sur l'utilisation de MatLab en seconde année.**

La théorie sur les éléments finis, le fonctionnement général, la vision sur plusieurs logiciels, les comparaisons des différents modèles  
Manipulation de différents logiciels

**Une bonne transmission des connaissances avec une approche équilibrée en théorie et en pratique à travers les CM et les TP.**

Calcul de cas concrets qui permettent d'avoir des références de charges réelles et donc de comprendre les résultats obtenus

Les TP en demi classe sont très utiles pour apprendre  
Très complet  
On découvre beaucoup de logiciels

**Le point fort est selon moi, le fait de mettre en pratique les différentes méthodes sur différents cas.**

L'aspect dimensionnement

Progression de la difficulté adaptée

L'application de cas concret sur de logiciel d'EF  
Application des éléments finis sur les différents logiciels  
Les tp sur ordinateurs sont très bénéfique à l'apprentissage !

**Les TP sont représentatif du travail que nous pouvons avoir en entreprise.**

Quizz efficaces

Utilisation des différents logiciels

Exercices variés sur différents logiciels

**Travailler sur les logiciels en éléments finis est important mais personnellement je passais plus de temps à me concentrer pour réaliser un bon rendu que la compréhension des EF elle même**

## Mais aussi...

Faire beaucoup moins de théorie en classe entière  
Il est nécessaire d'en faire mais pas autant de séances

Les TP sont relativement denses. En effet, il est assez difficile de remplir le compte rendu durant les 2h de TP. Personnellement, je préfère rédiger les comptes-rendus "à chaud" pendant une séance car en le faisant plus tard, il y a des subtilités des manipulations qui peuvent m'échapper.

Pour moi les éléments finis sont plus facilement compréhensible "sur le tas". Être devant le logiciel à faire différents cas pour bien comprendre les paramètres. Ne pas hésitez à répéter les notions et à les reformuler pour qu'elles soient plus facilement comprises  
Les dernières heures de théorie sont trop complexes. Il faudrait avoir plus d'heure pour bien comprendre ou bien en enlever la fin.

Les diaporamas en anglais ont rajouté une difficulté supplémentaire.  
plus de délai sur les livrables

passer plus de temps sur les tp, pourquoi pas travailler par 2 car j'ai remarqué des différences de niveaux au sein de la classe

Compte rendu a rendre plus tard

Mauvaise information de la notation des TP. Nous savons que nous serons notés sur le compte rendu ainsi que le programme, cependant, nous ne sommes que partiellement informés des éléments clés qui seront notés dans le contre rendu. Nous ne savions pas que la participation et l'investissement sont notés lors des séances.

J'aurais préféré avoir les notes de mes TEF au fur et à mesure, si possible, accompagnées d'un petit commentaire avec les bons et mauvais points. Cela pourrait permettre de corriger les erreurs et non de les refaires.

Il manque un TEF sur Solidworks. De plus il serait préférable de traiter des sujets individuels comme peut le faire M.DETREZ pour les SGM (Voir ses sujets EF) et nous laisser les résoudre en autonomie en fin de S2 (Après avoir vue tout les TEF). Bien que je conçoit que personnaliser des sujets pour 40 élèves peut-être compliqué.

Mettre en place des cours supplémentaires pour les élèves ayant du mal à utiliser les logiciels de EF.