

Principes pédagogiques d'enseignement et d'évaluation dans le domaine de la Mécanique Appliquée.

Cohérence COURS – TD – TP – PROJET

A. GAVRUS

Institut National de Sciences Appliquées(INSA), 20 Av. des Buttes de Coësmes, F-35708 Rennes Cedex

Résumé :

La pédagogie active joue un rôle fondamental dans tout processus d'amélioration de la qualité de l'enseignement, de la formation des ingénieurs et de transmission des connaissances. Elle demande notamment l'augmentation de la motivation continue des étudiants, la présentation d'une manière pragmatique par l'enseignant des besoins réels des notions théoriques qui vont être introduites, du rôle de la capacité « cognitive », du « stockage », voire de la « compréhension » des informations et l'utilisation d'une démarche cohérente et logique pour l'application des notions théoriques dans la pratique. Une bonne structuration du contenu des modules d'enseignement, avec une corrélation globale Cours – Travaux Dirigés – Travaux Pratiques – Projet, représente le pivot central de la qualité de l'enseignement. La présence des méthodes d'évaluation continue pendant l'enseignement et bien avant les épreuves finales constitue le principe essentiel d'une pédagogie réussie.

Abstract :

The active learning plays a key role in any process of improving the quality of teaching, engineering education and knowledge transfer. She asks especially the continuous increased of student motivation, the presentation of real needs in a pragmatic way by teaching the theoretical concepts will be introduced, the role of the «cognitive» capacity, of the information «storage» or of the «understanding» capacity and the application in practice of all theoretical concepts by a coherent and logical way. Proper structuring of the content of teaching modules, with an overall correlation Courses – Tutorial Works – Practice Works – Project represents the backbone of the teaching quality. The presence of continuous assessment methods during the teaching well before the final examination is the essential principle of a successful pedagogy.

Mots clefs : pédagogie active, évaluation continue, apprentissage par projets, cohérence

1 Introduction

Depuis la réforme pédagogique menée en 2006 à l'INSA de RENNES, l'enseignement du 1^{er} Cycle Ingénieur à chercher à introduire des modules d'enseignement type sensibilisation générale et pré-spécialisation, le principal objectif étant l'introduction des connaissances fondamentales dans le domaine des sciences de l'ingénieur, notamment dans le domaine des Sciences Fondamentales et Expérimentales, voire de la Mécanique Appliquée, en forte corrélation avec les modules d'enseignement des filières de spécialisation du 2^{ème} Cycle. Ceci a conduit tout d'abord à la conception des modules d'enseignement axés sur une imbrication forte entre les notions théoriques et les applications. Pour les modules des Sciences Expérimentales concernant le 1^{er} et le 2^{ème} Année l'accent est fondamentalement mis sur une corrélation notions théoriques - travaux dirigés - travaux pratiques - projet. Concernant les modules de pré-spécialisation enseignés en 2^{ème} Année, le cours contient des exemples et des exercices académiques, avec des degrés de complexité croissants, en aboutissant vers la fin sur des applications de synthèse. Il a été aussi nécessaire de faire évoluer l'enseignement en 2^{ème} Cycle, sous forme de modules scientifiques en utilisant une cohérence globale, partant des notions acquises de mathématique et physique appliquées. En tenant compte de cette évolution, il est connu que pour améliorer la qualité de l'enseignement, l'utilisation d'une pédagogie active joue un rôle fondamental. Elle doit être centrée sur la motivation continue des élèves en présentant d'une manière pragmatique les besoins des notions qui vont être introduites, le rôle de la capacité « cognitive »,

du « stockage » et de la « compréhension » des informations. Il a été aussi important d'assurer la cohérence et la logique entre la théorie et la pratique, en introduisant pendant le cursus d'enseignement des évaluations périodiques et continues, voire des Mini-Projets. Une telle méthodologie a été employée pour l'enseignement des Cours, TD et TP du 2^{ème} Cycle du Département GMA dans le domaine de la Mécanique. L'idée centrale a été toujours de s'appuyer fortement sur l'utilisation d'exemples concrets et bien identifiés dès le départ, constituant le fil rouge du contenu de l'enseignement. Cet article détaille la méthode employée, les principes d'enseignement et d'évaluation utilisés en présentant vers la fin un exemple d'implémentation.

2 Cohérence Cours - Travaux Dirigés - Travaux Pratiques - Projet

L'imbrication Cours – Travaux Dirigés (TD) – Travaux Pratiques (TP) – Projet, représenté dans la Fig. 1a, permet de remarquer l'importance affectée au Projet positionné à l'interface entre tous les trois éléments d'enseignement, constituant ainsi le pivot central de leur cohérence.

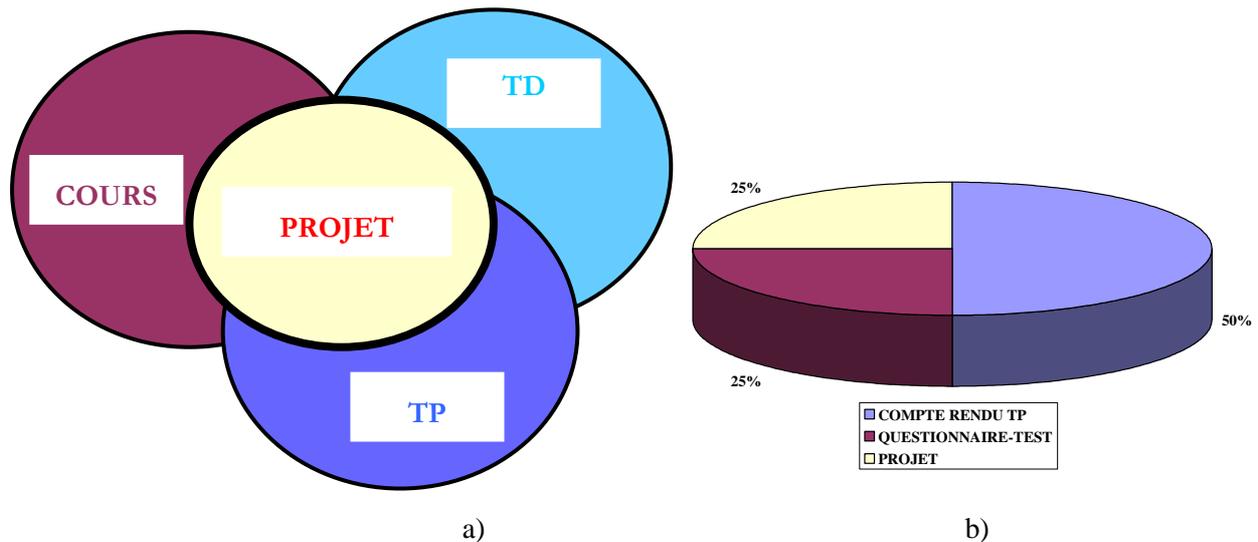


FIG. 1 – a) Imbrication Cours-TD-TP-Projet, b) Répartition de l'évaluation des TP en fonction de chaque partie : compte rendu TP, Questionnaire-Test et Projet.

Pour l'évaluation finale d'un module d'enseignement, en dehors de la notation finale d'un Devoir Surveillé (DS : 67%), afin de rendre plus objectif la notation des TP (prise en compte à hauteur de 33%), trois composantes seront prise en compte : le compte rendu des TP (50%), le résultat d'un questionnaire-test (25%) et la note du Projet (25%).

2.1 Principes d'enseignement

Pour l'enseignement du cours il faut toujours garder l'utilisation de l'esprit logique, cohérent et rigoureux en utilisant comme fil rouge dans son contenu une application illustrant l'utilisation des notions théoriques. Bien qu'assez structuré au niveau de la transmission des informations et connaissances, il est toujours nécessaire de faire appel à des notions transversales d'autres disciplines, surtout des mathématiques et physiques appliquées. Le Tableau 1 regroupe les principes de conception des modules des cours.

Les Travaux Dirigés (TD) sont conçus de telle manière qu'ils respectent l'introduction progressive des notions avec l'introduction au début de chaque séance de TD d'une synthèse des principales notions théoriques qui seront utilisées. Les applications proposées respectent toujours l'interdépendance théorie - formulation quantitative concrète - solution pratique.

Concernant les Travaux Pratiques (TP) ils ont été élaborés pour avoir comme pivot central les notions de cours et l'application des méthodes quantitatives d'analyse présentées pendant les TD. Une partie théorique de synthèse, regroupant les principales notions qui doivent être maîtrisées et connues par l'étudiant, a été introduite bien avant la présentation détaillée de l'ensemble des sujets de TP. Une imbrication expérience – analyse - théorie - modélisation - interprétation est aussi entièrement réalisée. Afin de mieux synthétiser les notions théoriques et leur application, un Projet de Synthèse est proposé pendant le cursus partant d'un cas d'étude inspiré de la réalité industrielle.

TABLEAU. 1 - Principes concernant la conception des cours

Introduction : présentation de l'intérêt général du module de cours à l'aide d'un cas concret			
THEORIE	Rigueur, Logique, Cohérence	Illustrations, Démonstrations, Utilité Pratique	Application
<i>Partie 1</i>	Introduction progressive de notions par thématique et degré de complexité	Utilisation de techniques souples et compréhensives pour démontrer les résultats et illustrer la démarche de résolution d'un problème	Exemple : Fil Rouge illustrant l'application de chaque partie

<i>Partie n</i>			
Conclusions, Synthèse et Perspectives			

2.2 Introduction d'un exemple fil rouge

Le cours, structuré en chapitres et sous-chapitres, propose un exemple, un exercice ou une application prise comme fil conducteur pour l'ensemble des notions enseignées. Cet exemple repose sur une résolution progressive en fonction de l'introduction de chaque élément théorique et il essaie de montrer les moyens pratiques d'utilisation des résultats et des formules démontrés en détails dans la partie théorique. Certaines nouvelles formules qui ressortent de l'application sont présentées soit comme des cas particuliers, soit comme des résultats plus généraux valables pour d'autres cas. Il y a donc une corrélation permanente entre le cas général et l'exemple pratique ainsi que, à l'inverse, l'impact du cas particulier sur un résultat plus général qui pourrait concerner une meilleure compréhension du cours ou d'autres applications.

3 Conception des Travaux Dirigés avec un degré de complexité croissant

Au départ les Travaux Dirigés (TD) reposent sur des exercices académiques avec une augmentation progressive des degrés de difficulté. Pour la résolution pratique de chaque problème plusieurs méthodes et approches seront utilisées afin de pouvoir montrer la possibilité de traiter la même application sous plusieurs angles et de faire appel au critère du meilleur choix de la méthode de résolution. Cela peut rendre la capacité cognitive et créative des élèves plus pragmatique et donner une certaine souplesse à la compréhension en fonction du niveau de chacun.

TABLEAU. 2 - Structure et Contenu des TD

Projet de Synthèse avec Evaluation des acquis des cours précédents			
<i>Séance 1</i>	Présentation sommaire du minimum des notions théoriques nécessaires	Évolution Progressive de la difficulté	Devoirs Individuels
	Exercices académiques en cohérence avec chaque partie du cours		
-----	-----	-----	
<i>Séance n</i>	-----	-----	
<i>Séances Finales</i>	Applications de Synthèse très proches du concret. Correspondance avec des Problèmes Industriels.		Projet Applicatif avec Evaluation Finale

Chaque séance de TD débute avec une synthèse de principales notions théoriques qui seront utilisées (Tableau 2). A la fin de chaque séance de TD on propose des devoirs individuels avec vérification et conseils

en début de la séance suivante. En même temps un projet de synthèse est proposé aux élèves afin de vérifier leur acquis dans les autres disciplines et leur progression dans l'apprentissage des notions de base. Un projet final applicatif pourrait être aussi proposé. L'évaluation du projet repose sur une note finale prise en compte dans la notation de Travaux Pratiques.

4 Formulation et conception des Travaux Pratiques avec un même objectif

Le photocopié de Travaux Pratiques (TP) commence toujours par une petite introduction sur l'ensemble des sujets qui vont être traités, les principales méthodes d'investigation utilisées et surtout leurs particularités essentielles. Une partie théorique de synthèse, regroupant le minimum des notions du cours qui doivent être maîtrisées et connues, est introduite en début du photocopié. Tous les sujets de TP sont orientés vers une analyse pratique des problèmes concrets avec un même objectif final. L'idée est surtout de montrer des techniques expérimentales d'investigation très différentes, voir complémentaires, permettant de traiter le même champ thématique. Au début de l'ensemble de séances des TP, chaque élève est obligé de répondre à un questionnaire-test qui synthétise sous forme des questions simples les éléments théoriques et pratiques à maîtriser. Pendant le travail l'étudiant est censé à apprendre à utiliser des moyens d'investigation expérimentale avec un traitement des données spécifique faisant appels aux notions de cours et à la méthodologie de raisonnement enseignée en TD. Des techniques de validation via des logiciels de simulation sont utilisées afin de montrer les outils actuels de modélisation permettant d'identifier les variables et les paramètres non-accessibles par des mesures directes. Une confrontation avec des résultats des problèmes traités en TD ou de la littérature de techniques de l'ingénieur est proposée afin de pouvoir réaliser un bilan autonome de la cohérence des résultats obtenus. Les évolutions récentes sur les techniques expérimentales du problème traité sont aussi présentées en montrant leurs développements suite à la compréhension des principes de base (Tableau 3).

TABLEAU. 3 - Principes de présentation et déroulement des TP

QUESTIONNAIRE-TEST D'ÉVALUATION				
		<i>Sujet 1</i>	-----	<i>Sujet n</i>
<i>Introduction sur la thématique et l'intérêt des TP</i>	<i>Partie de Synthèse des Notions Théoriques concernant l'ensemble des TP</i>	Principes, Manipulations Expérimentales, Simulations, Comparaison Mesures - Calcul - Bibliographie, Évolutions et Tendances Actuelles		
		Objectif final identique pour tous les TP		

Afin d'augmenter la motivation des élèves et de leur imposer un rythme d'apprentissage uniformément réparti, une évaluation sous forme d'un questionnaire - test avec des questions sur la partie théorique de synthèse est fait au début de la 1^{ère} séance de TP. La note finale de TP est moyennée en proportion de 25% avec la note du rapport de TP, de 25% avec la note d'évaluation du questionnaire-test et de 50% avec la note d'évaluation du Projet. L'expérience a montré l'augmentation du niveau des élèves surtout en ce qui concerne leur performance sur les épreuves écrites de la fin de semestre.

5 Exemple d'implémentation dans l'enseignement de la Mécanique Appliquée

Partant de ces principes d'enseignement, les modules de Mécanique Appliquée commencent à l'INSA Rennes dès le 1^{er} Année (environ 250 étudiants) par deux Eléments Constitutifs faisant partie de l'UE « Sciences Expérimentales » (MECA1 – Mécanique des Solides Rigides et Introduction à la Théorie de Mécanismes – 42h00 et MECA2 - Résistance des Matériaux et Mécanique des Fluides – 28h00) et font intervenir une équipe pédagogique (d'environ 6 enseignants), chaque enseignant prenant en charge un ou deux groupes de 24-28 étudiants. Les notions théoriques, à la fois élémentaires et fondamentales, sont présentées sous forme d'un photocopié complet, illustré avec des exemples « fil rouge », et elles sont abordées par les élèves-ingénieurs à travers des séances de TD, de mini-séance de TP et par un Projet travaillé par de petits groupes d'environ 4 étudiants et encadré par un enseignant (Fig. 1 et Tableau 1). L'évaluation prend aussi en compte une soutenance du Projet tout en répondant à des questions ciblées vers la théorie et les applications traitées. Au cours du deuxième semestre de la 2^{ème} Année, les étudiants (environ 125) choisissent des modules de pré-spécialisation, l'objectif étant d'assurer la pré-orientation vers un groupe de plusieurs départements de spécialité ayant des domaines scientifiques communs. Pour le Pôle MSM

de l'INSA (Matériaux, Structures et Mécanique) regroupant trois départements de spécialités (GMA, GCU et SGM), une partie de ces modules sont de type Cours-TD, orientés Mécanique Appliquée : un module concerne la Mécanique des Solides Déformables (28h00) et un module aborde la Mécanique des Fluides (28h00). Les deux modules sont enseignés par une équipe pédagogique d'environ 4-5 enseignants pour 4-5 groupes d'environ 28 étudiants. Chaque chapitre théorique du cours est suivi par un ensemble d'exercices académiques avec un degré croissant de difficulté et des applications de synthèse (Tableau 1 et Tableau 2). L'évaluation est faite à travers des Devoirs Surveillés en tenant compte l'assiduité des élèves, surtout en ce qui concerne leur participation active en cours et leur implication dans le travail des devoirs maison.

Pendant le 2^{ème} Cycle du cursus d'Ingénieur du département Génie Mécanique et Automatique (GMA), le tronc commun de l'enseignement contient un module de Mécanique des Milieux Continus (MMC-3^{ème} Année), un module de Mécanique des Fluides (MDF - 4^{ème} Année) et deux modules orientés Mécanique de la Mise en Forme des Matériaux Métalliques et Non-Métalliques (MATME, MATNM - 5^{ème} Année) pour lesquels le contenu pédagogique utilise les principes développés dans les paragraphes précédents (Tableau 1, Tableau 2 et Tableau 3). Ces éléments constitutifs d'enseignement, pilotés par une équipe pédagogique composée de deux ou trois enseignants, sont fortement articulés avec les connaissances acquises par les étudiants lors de leur 1^{er} Cycle de formation. En dehors de l'articulation logique et classique de Cours-TD-TP, les Projets constituent ici le noyau essentiel de la formation et de l'évaluation.

Ainsi pour le module MMC le cours (14h00 au total) contient comme fil conducteur l'illustration des applications des notions théoriques pour le cisaillement simple d'un solide déformable. Chaque séance de TD (7 séances x 2h00 = 14h00 au total) est encadrée sur la théorie présentée dans chaque chapitre de cours, avec un ordre croissant de la difficulté et au final sont abordées des applications de synthèse afin de traiter d'une manière globale l'ensemble des notions et de montrer surtout l'impact dans des cas industriels concrets. Au niveau de TP (4 séances x 2h00 = 8h00 au total), le passage du Questionnaire-Test au début de la première séance est obligatoire (durée environ 15 minutes). Il contient dix questions fondamentales concernant le minimum des notions que les étudiants doivent maîtriser, chaque question étant évaluée avec deux points. Les réponses se retrouvent facilement si l'élève effectue correctement son travail de préparation du TP, car les notions sont traitées dans un chapitre de synthèse théorique rédigé au début du polycopié. Concernant le Projet (travail personnel) il se situe dans la transversalité avec les trois composants de l'enseignement et son contenu fait appel à une application industrielle illustrant l'application de toutes les notions du module et en insistant sur les chapitres du cours les plus difficiles, comme par exemple la thermodynamique des milieux continus. Afin d'aborder les notions de petites et grandes déformations, le Projet propose l'étude complète de la compression d'un élastomère incompressible et hyperélastique. Il a été facile de constater que l'intérêt des élèves est devenu plus important en ajoutant dans le polycopié du Projet des exemples concrets d'utilisation dans l'industrie et une synthèse cohérente des notions théoriques.

6 Conclusions

Les principes pédagogiques, d'apprentissage et d'évaluation continue présentés ont été mis en place à l'INSA de RENNES pour les modules d'enseignement concernant la Mécanique de Solides, la Résistance des Matériaux, la Mécanique de Milieux Continus, la Mécanique des Fluides et la Mécanique de la Mise en Forme des Matériaux du département 1^{er} Cycle Science et Technique de l'Ingénieur et du département 2^{ème} Cycle Génie Mécanique et Automatique. Ils montrent l'augmentation de performances des élèves et surtout une appréciation positive de l'enseignement réalisé. L'objectif à court terme est de renforcer ces principes pour développer aux étudiants la culture de l'initiative et de l'innovation dans le domaine de l'ingénierie.

Références

- [1] Groupe 5 INSA. Colloque/Rencontres Pédagogie et Formations d'Ingénieurs : Quelles pédagogies pour quelles compétences ?, 2009.
- [2] Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A., Active Learning: Cooperation in the College Classroom. Edina, MN: Interaction Book Company, 1991.
- [3] Schomberg, S. F., Strategies for Active Teaching & Learning in University Classrooms. Minneapolis, MN: University of Minnesota, 1986.
- [4] Weimer, M.G., Problem-based learning models, an effective alternative in science courses. The Teaching Professor, 11(1), 4, 1997.
- [5] Willems, J., Problem-based (group) teaching: A cognitive science approach to using available knowledge. Instructional Science, 10(1), 5-21, 1981.