

# La résistance des matériaux en pédagogie active

J. PAYAN, A. MAUREL-PANTEL, N. LAHELLEC

*LMA, Aix-Marseille Univ, CNRS, UPR 7051, Centrale Marseille, F-13402 Marseille cedex 20, France*

## Résumé :

L'université Aix-Marseille AMU investit depuis 2012 au sein de son centre d'innovation pédagogique (CIPE) dans le développement de nouveaux dispositifs d'apprentissage. Le cursus Master Ingénierie est une nouvelle formation d'ingénieurs universitaires basé sur le modèle international du "master of engineering" qui participe de cet esprit d'innovation. Dans ce double contexte, notre équipe pédagogique a suivi des formations proposées par l'université catholique de Louvain (UCL), nos collègues belges ont mis en place les apprentissages par problèmes (APP) depuis les années 2000. L'APP fait partie des pédagogies actives qui ont pour but de développer l'autonomie et la motivation des étudiants en donnant du sens à leur apprentissage. La méthode permet au travers d'un groupe d'apprentissage d'approfondir leurs compétences et d'acquérir des savoirs-être. Le premier module choisi pour mettre en place les APP est un module de master première année intitulé « Dimensionnement de mécanismes » (résistance des matériaux appliquée aux systèmes). A la fin du module, les étudiants doivent maîtriser les outils de base pour le dimensionnement de pièces mécaniques et savoir modéliser un problème réel (conditions limites). Les problèmes sont conçus sur des situations concrètes, ludiques et proches des étudiants. L'évaluation est continue (formative ou certificative), des auto-évaluations sont fournies à chaque problème : cet ensemble permet aux étudiants de se situer en permanence par rapport aux objectifs d'apprentissage. Un exemple de problème est décrit dans l'article. Pour conclure, un retour des étudiants et une évaluation du dispositif sont présentés.

## Abstract :

Aix-Marseille University (AMU) invests since 2012 in a new pedagogical innovation center (CIPE) for development of new learning methods. The « Cursus Master Ingénierie » is a new university national engineering course based on the international model of the "Master of Engineering" which is part of this innovation. In this dual context, our teaching staff attended training delivered by the Catholic University of Louvain (UCL), our Belgian colleagues have developed Problem Based Learning (PLB) since the 2000s. PLB is part of active pedagogies that aim to develop autonomy and student motivation by giving meaning to their learning. The method allows through group learning to enhance their skills and acquire knowledge-beings. The first module selected to implement the PLB is a first year master module entitled "Design of mechanisms" (strength of materials applied to systems). At the end of the module, students should use the basic tools for the design of mechanical parts and modelise a real problem (boundary conditions). The problems are based on concrete funny situations that are close to the students. Evaluation is continue, formative or certified, self-evaluations are provided for each problem, that allows students to situate themselves constantly compared to learning objectives. An example problem is described in the article. To conclude, the return of students and evaluation of the system are presented.

**Mots clefs : Pédagogie active; apprentissage par problèmes; résistance des matériaux.**

## 1 Introduction

Une des missions fondamentales de l'université est la formation, et dans ce domaine comme dans celui de la recherche, l'université se doit d'innover. Aix-Marseille Université (issue de la fusion de 3 universités) a donc depuis sa création en janvier 2012 mis en place un centre d'innovation pédagogique (CIPE). Ce dernier fournit un soutien à des projets d'innovation pédagogique au sein des formations de AMU. Et c'est au travers de cette structure qu'un groupe d'enseignants marseillais a suivi les formations aux Apprentissages Par Problèmes (APP) proposé par les enseignants de l'Université Catholique de Louvain (UCL). A l'intérieur de ce groupe et dans le cadre des formations « concepteurs » et « tuteurs » d'un dispositif d'apprentissage par problèmes, notre équipe a construit un module d'enseignement à la Résistance des Matériaux Appliquée. Le module fait partie des enseignements de première année du Master Physique Mécanique et Ingénierie, par

cours Ingénierie & Conception de AMU. De plus sur la licence Sciences Pour l'Ingénieur (SPI) et ce master est adossé un nouveau cursus nommé Cursus Master Ingénierie (CMI) porté par le réseau national FiGuRe.

FiGuRe (Formation à l'Ingénierie par des Universités de Recherche) est un groupe d'universités mettant en place une formation d'excellence basée sur le modèle anglo-saxon du Master of Engineering en sciences des matériaux, informatique, EEA, mécanique, biologie-santé et biotechnologies, etc. Cette formation en 5 ans prépare aux métiers de l'Ingénieur ; elle est fondée sur le renforcement des licences et masters existants dans les domaines de l'ingénierie et le respect d'une charte basée sur un référentiel national. Cette nouvelle formation intègre parmi ses Activités de Mise en Situation : les projets intégrateurs, les projets tutorés, les stages et les APP. La formation se fixe pour objectif un certain taux de pédagogie active au sein de son cursus afin de favoriser l'épanouissement, et le développement de compétences connexes tout en renforçant la motivation des apprenants.

Les pédagogies actives dont fait partie l'APP présente l'avantage de renforcer la participation des apprenants tout en cherchant à augmenter leur intérêt pour la matière. Une méthodologie de pédagogie active a comme intérêt du point de vue de l'Etudiant :

- Rendre l'apprenant actif dans son apprentissage
- Favoriser son autonomie
- Développer ses savoirs êtres (capacité à travailler en groupe, expression en public,...)
- Accroître sa motivation aux travers de problèmes ludiques et sérieux
- Développer sa capacité à se confronter à de nouvelles problématiques (apprendre à réfléchir, acquérir des outils, éviter le bachotage,...)
- Créer des savoirs plus durables (meilleure imprégnation des savoirs dans la durée)

La pédagogie active du point de vue de l'Enseignant a quant à elle aussi beaucoup d'intérêts :

- Favoriser la coopération au sein des équipes pédagogiques
- Regarder les étudiants réfléchir et échanger pour repérer les défauts d'apprentissage
- Construire une relation de tutorat favorisant une dynamique positive

## 2 Une pédagogie active : les APP

L'apprentissage par problèmes est une des nombreuses méthodes de pédagogies actives. L'UCL l'utilise depuis les années 2000 lors des premières années d'école sur des matières telles que les mathématiques, la physique ou encore l'informatique (environ 50% de leur module d'enseignement) [1]. L'EPL a donc beaucoup de recul sur les APP, les enseignants ont capitalisé une grande quantité d'expérience et formaliser un grand nombre de concepts conjointement avec des pédagogues et des expériences menées dans les pays anglo-saxons [2][3]. Nous pouvons citer par exemple l'université de Sherbrooke qui applique ces pédagogies à un taux de 80 % de leur module d'enseignement.

Dans notre cas, pour commencer, seul un module par semestre est pour le moment envisagé dans le format APP. C'est une expérience pilote au sein de l'université, menée sur plusieurs formations, le Cursus Master Ingénierie (CMI) et le Master Energie Nucléaire d'Aix Marseille (ENAM). Le changement est ambitieux et peut se heurter à des problèmes spécifiques d'organisation (logistique, prise en compte des heures services, synchronisation des emplois du temps...). Par contre, notre dispositif respecte un certain nombre de critères commun à tout APP:

- Une équipe pédagogique vitale pour créer un dispositif pertinent : elle permet de travailler dans les mêmes conditions de construction de groupes de type « socio-constructivistes » que celles recherchées dans les groupes d'apprentissage.
- Les étudiants travaillent en groupe, afin de construire leur apprentissage (on apprend parfois mieux par les pairs que par les pères) lors de séances tutorées dites séance aller et séance retour. Ces groupes (4 étudiants dans notre cas) sont constitués de manière à les rendre hétérogènes en terme de cursus antérieur afin de mélanger les compétences pour favoriser les échanges. Ce travail se déroule dans une salle équipée d'un tableau blanc ou noir par groupe, c'est le mémo du groupe et l'indicateur d'avancement du groupe pour le tuteur.
- Les étudiants disposent d'un livret d'apprentissage qui contient une situation problème visant à être résolue en atteignant un objectif d'apprentissage clairement défini par l'enseignant tout en gardant un

caractère ludique, une proximité avec les préoccupations des étudiants et des éléments concrets proche de situation qu'ils pourraient aborder dans leurs futurs métiers. La conception du livret est un des éléments fondamentaux de la méthodologie.

- La séance Aller d'une durée d'une heure vise à reformuler la question, à identifier les connaissances ou éléments manquants, et enfin définir le plan d'action que chaque étudiant du groupe doit réaliser d'ici la séance retour. Il ne s'agit pas de partager le travail mais d'atteindre individuellement les objectifs. Durant la première phase de la séance, des rôles d'animateur, de scribe, de secrétaire et de gestionnaire du temps sont répartis dans le groupe pour faciliter l'animation.
- Le second temps correspond à la phase de travail individuel (6 à 8h banalisées dans l'emploi du temps) où l'étudiant à l'aide des documents fournis, de la bibliothèque, ou d'internet doit faire son apprentissage pour répondre à la problématique. L'insertion de ces heures dans un emploi du temps mixte APP / format classique (Cours/TD/TP) constitue une difficulté voire un frein au changement de méthode pédagogique.
- La séance retour conclut le dispositif APP. Les rôles sont à nouveau distribués, chacun expose le résultat de son travail individuel et une réponse commune est rédigée.
- Le tutorat effectué lors des séances aller et retour est le second élément fondamental de la méthode: le tuteur a quatre rôles principaux, à savoir: Conduire, Questionner, Faciliter, et Diagnostiquer. Cette fonction est un apprentissage long pour arriver à sortir de la position de l'enseignant professant le savoir pour aller vers la position de l'enseignant accompagnant l'étudiant dans sa construction du savoir.
- L'évaluation est le troisième élément fondamental. Si le dispositif est bien conçu, on doit avoir un alignement entre les objectifs, le dispositif et l'évaluation. Le respect de cet alignement est traduit dans la notion de contrat d'apprentissage. Dans cet esprit, l'auto-évaluation et l'évaluation par les pairs sont des outils intéressants pour que chaque étudiant puisse évaluer en continu son niveau d'acquisition des objectifs et échanger sur les difficultés rencontrées.

### 3 Un module de dimensionnement de mécanismes

#### 3.1 La structure (en temps et en espace)

Le module présenté se nomme Dimensionnement de Mécanismes. L'objectif est de donner les outils de base pour le dimensionnement de pièces mécaniques. Les éléments sont essentiellement les résultats de la théorie de la résistance des matériaux. Les pièces sont élancées (de type poutre) et peuvent présenter des accidents de géométrie. Les pièces sont soumises à des chargements mécaniques monotones, cyclés (fatigue) ou thermiques (thermo-élasticité).

Semaine 1					Semaine 2				
lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi	lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi
Aller 1h30	Travail personnel 4h				séance intermédi aire	Travail personnel 4h			Retour 2h

FIG. 1 – Structure en temps et en espace de nos problèmes APP

La promotion de master est composée de 34 étudiants répartis en 3 groupes. Chaque groupe comporte 3 quadrinômes encadrés par un tuteur. L'équipe pédagogique est composée de 3 enseignants qui ont participé collectivement à la rédaction des livrets d'apprentissage, aux évaluations et au tutorat d'un des groupes. Le module était l'an passé enseigné de manière traditionnelle (Cours + TD). Il était jugé difficile par les étudiants et leur investissement était insuffisant notamment dans la prise en main du polycopié de cours. Pour le restructurer en plusieurs séquences APP, il a fallu restructurer le module en termes d'objectifs d'apprentissage. Un objectif transverse commun à tous les objectifs d'apprentissage du module est apparu. Il consiste à partir d'un problème de dimensionnement d'une pièce ou d'un assemblage réel à définir une modélisation équivalente permettant de faire un calcul analytique (choix et justification). Après concertation, cinq problèmes ont été définis correspondant à l'objectif transverse et à un objectif spécifique, les cinq livrets d'apprentissage contiennent une auto-évaluation avec un corrigé succinct. Un problème est traité sur deux semaines. A mi-parcours, si le problème le nécessite, une séance intermédiaire est prévue. La séance retour durait 2h dont 1h consacrée à l'évaluation de l'APP précédent (figure 1). La fin du module est constituée d'un projet de dimensionnement de dentures en flexion et à la pression de Hertz en respectant la méthode ISO.

### 3.2 Les sujets traités

Les sujets traités correspondent à 5 objectifs spécifiques adossés à l'objectif transversal de passage réel/modèle. Chaque problème illustré en figure 2 est mis en situation via une problématique ludique et motivante qui doit concerner et interpeller les étudiants. Notre stratégie a été de raconter une petite histoire dont ils sont parties prenantes et où la réponse à la problématique résout bien des problèmes.

Problèmes	Situations	Remarques
Problème isostatique	Une étagère à BD parfaite	
Le Flambage	Un accident à l'éco-marathon	
La Fatigue	La rupture d'un train d'atterrissage	Séance intermédiaire
La Thermo-élasticité	Une panne de bouilloire électrique	
Problème hyperstatique et Plasticité	Un bâtiment parasismique low-cost	Séance intermédiaire

FIG. 2 – Description des problèmes et situations choisis pour nos livrets APP

### 3.3 Un problème développé

La situation problème du second APP sur le flambage est présentée:

*« Lors de l'éco-marathon, le véhicule présenté par l'association étudiante EcoNida dont vous faites partie a été accidenté: une perte de trajectoire a provoqué un choc contre un mur. Le pilote qui a eu le bras cassé prétend que le véhicule a eu un problème de direction. Le pilote et ses parents (via leur assurance) risquent d'assigner l'association au tribunal pour défaut de conception et blessure involontaire. Vous devez préparer votre défense et assurer a posteriori l'expertise de la conception réalisée par vos collègues du bureau d'études en montrant que les dégâts se sont produits au moment du choc contre le mur et non avant le choc. L'inspection du véhicule accidenté a permis d'observer une biellette de direction fléchie. A l'issue de votre travail individuel, votre tuteur vous interrogera pour vérifier votre apprentissage. »*

Le premier élément-clé de cette situation est l'aspect « implication de l'étudiant » car certains étudiants font partie de l'association évoquée, à tel point que certains autres nous ont demandé si la situation était réelle. Le second élément-clé de cette situation est son aspect énigmatique avec une enquête à mener. Enfin, le dernier concerne la projection des étudiants dans un travail d'expertise qui pourrait constituer leur futur emploi. Le livret contient cette situation mais n'expose pas explicitement aux étudiants l'objectif d'apprentissage sur le flambage pour préserver l'énigme. Le livret contient le découpage horaire des séances aller et retour, le descriptif des rôles dans l'équipe et de celui du tuteur: Les étudiants et le tuteur doivent renoncer à obtenir et émettre des réponses aux questions, puisque qu'au contraire le tuteur questionne pour susciter débat et réflexion. Les étudiants ont à leur disposition le polycopié de cours [4] ou des ressources externes de leur choix.

### 3.4 Les évaluations

Les évaluations ont été multiples et fréquentes, dans un premier temps les étudiants ont pu s'auto-évaluer pour chacun des dispositifs. On peut noter que les étudiants se sont mis à s'intéresser réellement aux auto-évaluations (formative) lorsque le support d'une d'entre elles a été ré-utilisé pour une évaluation certificative...

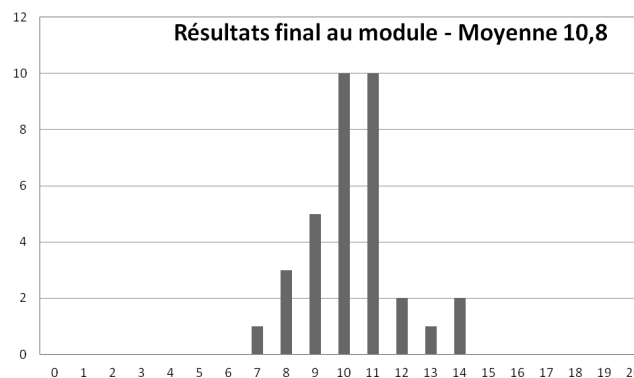


FIG. 3 – Résultats finaux au module « Dimensionnement de Mécanismes »

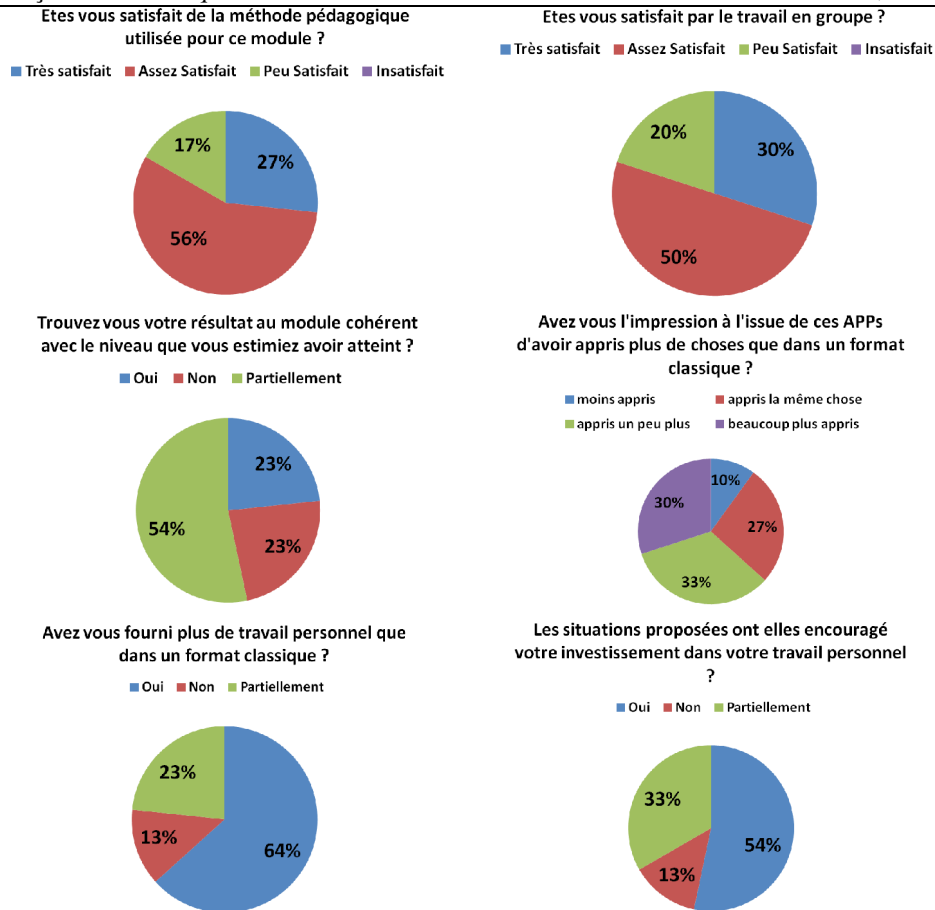


FIG. 4 – Questions et résultats de l'enquête auprès des étudiants

Ensuite, chacun des 4 premiers thèmes abordés a été évalué lors de la séance retour de l'APP suivant, de manière individuelle à l'écrit avec un formulaire autorisé. Pour le dernier problème, un membre du groupe a été choisi pour présenter le travail du groupe à l'oral et le groupe a fourni un rapport écrit. Cette intensité des évaluations est intéressante pour les étudiants qui peuvent se situer à court terme et pour les enseignants afin d'adapter le tutorat et prévoir des séances intermédiaires. On a conclu le module par un contrôle final classique avec un niveau d'exigence identique aux années précédentes de manière à pouvoir évaluer le changement de méthode pédagogique. L'enquête présentée à la figure 4 a été réalisée auprès de 30 étudiants de manière anonyme et 3 mois après la fin du module.

#### 4 Analyse et évaluation du dispositif

##### Le point de vue des enseignants:

L'équipe enseignante est à la fois satisfaite du gain réalisé par rapport à la méthode traditionnelle, et en même temps le tutorat et l'intensité des évaluations ont fait émerger des lacunes sur les pré-requis. La réponse à cette déficience est dans la poursuite des améliorations, la consolidation des dispositifs existants et une meilleure écriture des objectifs d'apprentissage. Il convient aussi d'élargir l'équipe pédagogique en intégrant de nouveaux tuteurs aux APP. Le gain sur la relation aux étudiants est sans conteste car le groupe prend la main sur son apprentissage et le tuteur voit les étudiants réfléchir et buter sur leurs points de difficultés, ce qui constitue une mine d'informations pour les faire progresser.

##### Le point de vue des étudiants :

Les étudiants sont satisfaits du module, ils ont souligné que certains APP nécessitaient un travail supérieur au temps imparti. La raison en est le choix des méthodes de résolution et l'utilisation de calcul formel pour les problèmes hyperstatiques au lieu du calcul manuel long et fastidieux. Par ailleurs, des problèmes relationnels ont pu apparaître dans les groupes sur lesquels l'implication n'était pas uniforme alors que l'évaluation était commune. Ils se sont bien pris au jeu des énigmes ou situations problèmes, et cela a été un réel facteur de motivation pour faire leur apprentissage. Par contre, ils ont trouvé cela exigeant en temps de travail et de préparation ce qui souligne du point de vue de l'enseignant la réussite du dispositif car nous avons réussi à ce qu'ils prennent en main leur polycopié.

### Evaluation du dispositif :

Sur la Figure 3 et la Figure 4, sont illustrés les notes obtenues au module et les résultats de l'enquête menée auprès des étudiants. Les notes donnent un résultat plus élevé que les années précédentes mais il est délicat de conclure au vu du grand nombre de changements effectués sur le dispositif pédagogique dont seul le polycopié est resté identique. Il semble d'après l'enquête qu'un certain nombre d'éléments soit positif, les étudiants ont plus travaillé avec plus de motivation et avec le plaisir d'être en groupe. Toutefois il subsiste un écart entre leur niveau estimé et le résultat à leur évaluation, une remarque pertinente nous concernant et amenant à des correctifs pour le module de l'année prochaine.

## **5 Conclusions**

Cette première expérience est très motivante car elle stimule le travail d'équipe autant pour les enseignants que pour les étudiants et qu'elle semble générer un "meilleur" investissement au vu de nos premières évaluations. Par contre, cette expérimentation est coûteuse en temps, en équipements et en moyens humains: il faut donc pouvoir adapter la prise en charge de nos institutions à ce nouveau type d'enseignement. Par ailleurs, il est facile de se rendre compte qu'aujourd'hui les étudiants ont du mal à travailler par eux mêmes avec pour seul objectif d'acquérir de la connaissance, les étudiants posent sans cesse la question : " à quoi cela sert?" et malgré la démonstration magistrale du professeur pour situer les outils et le problème, le manque de concret ou de confrontation au réel des étudiants peut provoquer la démobilisation de leur énergie d'apprentissage. Force est aussi de constater que dans la société de l'immédiateté de l'information, des technologies numériques, de la disponibilité plus ou moins libre du savoir et de l'omniprésence des réseaux sociaux, l'étudiant qui va s'adapter, va optimiser son effort et travailler davantage pour la note et que pour l'apprentissage. En réponse à cette double constatation, l'idée de la pédagogie active s'impose comme une évidence, il faut donner la capacité aux étudiants d'apprendre à apprendre en utilisant les leviers qui le touchent, c'est à dire, dans un cadre d'un groupe sur un problème ludique et rigoureux conçu pour apprendre à résoudre des problèmes plus ou moins concrets, en interaction avec la réalité de façon à susciter l'intérêt de l'apprentissage en redonnant du sens.

## **Références**

- [1] Raucent, B., Milgrom, E., Bourret, B., Hernandez, A. et Romano, C. (eds) Guide pratique pour une pédagogie active: les APP Apprentissages par Problèmes et par Projets Edité par: INSA Toulouse et Ecole Polytechnique de Louvain, 103 p., 2011 - ISBN-978-2-87649-059-8
- [2] Raucent, B. et Van der Borght, C. (dir.) *Être enseignant: Magister ? Metteur en scène ?* De Boeck Université, 448 p., 2006 - ISBN-2-8041-5047-X
- [3] Galand, B. et Frenay, M. (dir.) *L'approche par problèmes et par projets dans l'enseignement supérieur: impact, enjeux et défis* Presses Universitaires de Louvain, 206 p., 2005 - ISBN 2-930344-89-X
- [4] Lahellec, N., *Rappels de résistance des matériaux*, 2008.