

Quelques exemples d'activités pédagogiques dans le domaine des matériaux

Anne-Françoise Gourgues-Lorenzon^a, Michel Bellet^b

^a MINES ParisTech, PSL University, MAT - Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, BP 87, 91003 Evry cedex, France

^b MINES ParisTech, PSL University, CEMEF - Centre de mise en forme des matériaux, CNRS UMR 7635, CS 10207 rue Claude Daunesse 06904 Sophia Antipolis cedex, France

Résumé

Quelques-unes des activités pédagogiques originales mises en place dans le cycle ingénieur de MINES ParisTech sont illustrées dans le domaine des sciences des matériaux : « travaux pratiques à risques » en tronc commun, groupes de travail de courte durée en entreprise en enseignement d'option. Une ouverture vers un public plus large est également donnée à travers l'exemple d'un jeu sérieux sur le thème de la rupture.

Introduction

Depuis sa fondation, MINES ParisTech (Ecole des Mines de Paris) met en étroite relation ses élèves-ingénieurs avec le monde industriel et académique sous des formes pédagogiques variées. L'enseignement laissant une large place au travail par projets de groupe, diverses activités ont été mises en place ces dernières années pour pimenter les enseignements en Sciences des matériaux, tant en tronc commun (où tous les élèves sont concernés mais sont diversement motivés) qu'en option de dernière année (où l'accent est mis sur les expériences proches de leur futur travail d'ingénieur, autant que sur l'acquisition de savoirs et de savoir-faire). La taille limitée des promotions et l'effectif important d'enseignants-chercheurs et de doctorants dans le domaine des matériaux ont permis la mise en place de pratiques pédagogiques innovantes, souvent personnalisées, destinées à stimuler l'intérêt des élèves non seulement pour les cours mais aussi pour les activités de recherche et d'ingénierie de nos disciplines. Nous en présentons ici quelques exemples.

Cours de tronc commun : les mini-projets ou « TP à risques »

Eveiller l'intérêt des élèves en tronc commun

Jusqu'à cette année, le cours de tronc commun d'introduction aux matériaux (35h de cours et travaux dirigés) avait lieu en fin de deuxième année, juste avant le départ des élèves en stage ingénieur. Outre les connaissances à acquérir, les élèves doivent pratiquer des formes de raisonnement dont ils ne sont pas tous familiers : raisonnement inductif plutôt qu'hypothético-déductif, recherche de causes d'une défaillance, rigueur et créativité dans la rédaction d'un cahier des charges d'un nouveau produit... La présence de travaux pratiques s'avère indispensable malgré l'éloignement géographique entre les salles de cours et le laboratoire où se déroulent les expériences (une trentaine de kilomètres en région parisienne). Nous proposons des mini-projets où les élèves

doivent concevoir et défendre leurs plans d'expérience et prendre le risque de ne pas faire les essais les plus pertinents pour répondre aux questions qui leur sont posées.

Former les doctorants à la communication scientifique et à la pédagogie dans un cadre « court »

Certains de ces projets sont adossés à des thèses en cours. Dans ce cas, nous accompagnons les doctorants volontaires pour qu'ils prennent en charge la définition du sujet (extraire une problématique ciblée, non-confidentielle, auto-portée, accessible aux non-spécialistes, de leurs travaux en cours), le jalonnement des étapes, la création d'un document de travail pour les élèves-ingénieurs, l'encadrement des activités expérimentales, la correction du mini-rapport et l'évaluation de la soutenance. Cet exercice est particulièrement profitable aux doctorants qui, ne se destinant pas à une carrière académique, consacrent un temps très réduit (quelques jours, toujours consacrés à leur thèse) à des activités d'enseignement et de communication scientifique vers les autres étudiants.

Quelques exemples

- Effet d'un cycle thermique à basse température sur le comportement d'un acier au manganèse « à basse densité » pour l'automobile ;
- Comportement mécanique d'élastomères pour pneumatiques ;
- Origine de l'anisotropie mécanique d'éprouvettes de polyamide réalisées par fabrication additive...

Activité d'option : groupes de travail ad hoc en immersion industrielle

Principe et insertion dans le cursus

La taille du groupe d'élèves en option (une dizaine) autorise une formation personnalisée, dont une grande partie repose sur une période de quatre semaines en tout début de troisième année. Initiée en 2004 par André Pineau et Jean-François Agassant, elle rencontre un succès continu. Outre l'acquisition de connaissances sur le terrain, cette période "bloquée" a pour objectif de présenter une vision des applications industrielles des sciences des matériaux, en choisissant un secteur majeur de l'industrie, renouvelé tous les deux ans : automobile, aéronautique, bâtiment, énergie, matériaux biosourcés et applications biomédicales, aérospatial... Elle comporte plusieurs types d'activités, couvrant différentes familles de matériaux, tailles d'entreprises et positionnement amont (élaborateur, transformateur) / aval (utilisateur). Outre les visites d'usines et de laboratoires préparées et exploitées à

L'Ecole, une des activités les plus marquantes pour les élèves consiste en un projet d'une semaine, sur site industriel (souvent géographiquement proche de l'Ecole), autour d'un sujet proposé par l'équipe d'accueil.

Organisation et objectifs pédagogiques

Par petits groupes (2 à 4), les élèves doivent mettre en œuvre les moyens à leur disposition, mobiliser leur réseau (personnel ou via les enseignants), pour faire avancer leur équipe d'accueil sur un point donné. Il peut s'agir d'une étude paramétrique, d'une analyse de défaillance, d'un pré-dimensionnement de structure, de l'écriture d'un cahier des charges... L'objectif pédagogique est de les initier à ce qui fait le quotidien de nombre d'ingénieurs : constituer un groupe de travail *ad hoc*, disposer d'un temps et de moyens limités qu'il faut mobiliser et utiliser le plus efficacement possible pour apporter des éléments de réponse pertinents au problème qu'ils auront identifié.

Cette activité est organisée de la manière suivante :

- Préparation des élèves par une documentation initiale (quelques jours) sur le sujet du projet ;
- Accueil des étudiants et travail sur le projet, au sein de l'établissement industriel, pendant cinq journées, sur le cahier des charges fourni par l'équipe encadrante locale ;
- Rédaction d'un mini-rapport, formellement conçu comme une note interne à l'entreprise dans laquelle s'est déroulé le projet ;
- Remise du mini-rapport et soutenance orale, à l'Ecole, en fin de période ou le plus rapidement possible après.

Résultats

De prime abord, la démarche paraît surprenante pour les entreprises d'accueil mais le résultat dépasse souvent les objectifs initiaux : plongés en environnement industriel, stimulés par la nécessité de faire avancer le projet en une semaine, certains de laisser une trace écrite de leur travail dans l'entreprise, les élèves découvrent que les moyens les plus simples et les calculs « de coin de table », les choix judicieux de conditions expérimentales et d'options de calcul, la mobilisation de compétences complémentaires peuvent permettre de « dégrossir » une question dans un laps de temps limité. Certains projets ont fait naître des vocations dans le domaine des matériaux, y compris en recherche et développement.

Quelques exemples

- Revêtements pour mini-sondes de biopsie optique : recherche de matériaux, essais de dépôt et de tenue à la stérilisation ;
- Mesure sur chantier de la teneur en eau de granulats : essais, évaluation de la voie explorée ;
- Décohésions dues à l'hydrogène dans des lingots de forge : reproduction des phénomènes via un modèle numérique multi-physique ;
- Architectures à multiples réservoirs cryogéniques pour lanceurs acheminés depuis un ballon-sonde : évaluation chiffrée des performances des différents concepts imaginés par les élèves ;
- Détermination des paramètres thermo-physiques critiques pour modéliser le moulage et la cristallisation d'un produit cosmétique : cahier des

charges du modèle et recommandations sur les paramètres matériau les plus pertinents à estimer.

En guise d'ouverture : le « jeu sérieux »

En collaboration avec MINES Douai, une étude de cas non-linéaire sous la forme d'un jeu sérieux (« serious game ») a été développée dans le cadre d'un projet UNIT : « Les ECSPER-Rupture ». Sur un mode « le livre dont vous êtes le héros », le joueur (en ligne) enquête sur la défaillance d'un robot d'usine à l'aide de documentations techniques, d'une analyse fractographique à l'échelle macro et microscopique (à l'aide d'images fournies et d'abaques *ad hoc*) et de calculs de résistance des matériaux. Le scénario s'appuie sur une étude de cas réelle, évidemment modifiée et « romancée » afin de s'adapter au genre mais sans concession sur la rigueur scientifique et technique des méthodes d'expertise.

A l'opposé des projets précédents, aucune interaction directe n'a lieu avec les utilisateurs une fois le jeu mis à disposition sur internet. La définition des multiples chemins de résolution possible, de leur évaluation par le logiciel, de vraies-fausses pistes, la création de documents (techniques et pédagogiques) auto-portés est un exercice stimulant tant pour les concepteurs que pour les apprenants (et pour les élèves « testeurs »). Une telle expérience serait tout à fait renouvelable dans le domaine de la Science des matériaux et permettrait un abord ludique de certains concepts par de non-spécialistes.

Quelques remarques en guise de conclusion

Au travers de ces activités et de bien d'autres, en équipe avec les collègues que nous remercions au passage, nous avons perçu combien la richesse des échanges pouvait contribuer à créer ce fameux « réseau » dès les premiers contacts avec le monde de la recherche et de l'entreprise :

- Les projets de courte durée associant doctorants et élèves-ingénieurs permettent une transmission plus informelle des connaissances et des modes de travail, tout en valorisant le travail des thèses et en développant l'aptitude des doctorants à communiquer vis-à-vis de non-spécialistes de leur sujet ; la Science des matériaux se prête bien à ces activités de courte durée pour lesquelles il faut prendre des risques (mesurés) et accepter les « échecs » ;
- Le tissu industriel et les limitations « matériau » bien présentes permettent d'envisager des activités « flash » locales, encadrées en entreprise tout en veillant à la qualité de l'expérience pédagogique ;
- Nombre de cas de défaillance se prêtent à des développements pédagogiques en Science des matériaux ; y associer un caractère ludique et esthétique nous permettrait de toucher un plus large public...

Ressources

Les ECSPER-Rupture :

<https://campus.mines-douai.fr/course/view.php?id=934>
Cours de tronc commun (podcast, amphis, TD corrigés, annales d'examen corrigés (valorisation de thèses), quiz...) : http://mms2.ensmp.fr/mat_paris/mat_paris.php