

Les pédagogues ont depuis longtemps hiérarchisé les différents niveaux d'apprentissage. D'une façon simplifiée, on en distingue quatre. Le niveau élémentaire consiste à connaître par cœur des résultats. Au niveau suivant, on est capable d'appliquer des méthodes, on possède un savoir-faire. Vient ensuite la phase d'appropriation dans laquelle, on sait choisir parmi plusieurs approches que l'on maîtrise, la plus pertinente. Vient enfin la phase d'extension où l'on est capable d'étendre les résultats existants.

L'épreuve de TIPE, par exemple, est destinée à vérifier la capacité des étudiants à atteindre le niveau d'appropriation dans un domaine restreint de leur choix. Des études ont montré que la mobilité des ingénieurs s'accroît dans les premières années de leur carrière puisque la durée moyenne d'une fonction n'atteint pas deux ans. Par ailleurs, la responsabilité de l'ingénieur, vis-à-vis de l'entreprise mais aussi de la société, s'accroît chaque jour, renforçant la nécessité d'une formation à la rigueur et à l'esprit critique. La meilleure façon de préparer nos ingénieurs à ces défis est de les amener à un niveau d'appropriation des disciplines de base, telles que les mathématiques et les sciences physiques. Cela est devenu impossible.

Quatrième colloque MFI

Nelly Barbot, Patrice Struillou¹

Les 2, 3 et 4 mai 2007 le quatrième colloque *Mathématiques et Formation des Ingénieurs (MFI)* s'est tenu à l'ENSSAT (École Nationale Supérieure des Sciences Appliquées et de Technologie), école d'ingénieurs de l'université Rennes I située à Lannion (Côtes d'Armor). Il s'agissait de réunir les collègues intéressés par l'enseignement des mathématiques dans les écoles d'ingénieurs. Ce colloque faisait suite aux 3 premiers organisés par Guy Chassé (École des Mines de Nantes) et Nicole Burger (Polytech' Nantes). On peut considérer que ce but a été atteint puisque 60 participants étaient présents, soit à la totalité du colloque, soit à certaines journées. De plus, on peut se réjouir de la diversité des provenances des collègues : enseignants-chercheurs ou enseignants en école d'ingénieurs, à l'IUT ou à l'université, et professeurs en classe préparatoire. Quelques collègues spécialistes d'autres disciplines (physique, électronique, informatique) mais concernés par les mathématiques étaient également présents.

Ce colloque a obtenu le patronage de la SMF et de la SMAI, et il a bénéficié de l'aide précieuse et des contacts de Marie-Françoise Roy et de Guy Chassé. Il a pu être organisé grâce au soutien financier de l'ENSSAT, de la Communauté d'agglomérations de Lannion-Trégor, de l'Association pour l'Animation Scientifique du Trégor (APAST), de l'université Rennes I et du Conseil Général des Côtes d'Armor.

Voici un court résumé des conférences. Les documents complets des conférenciers (transparents ou autres) sont presque tous disponibles à l'adresse suivante, hébergée par le site de l'ENSSAT : <http://www.enssat.fr/visiteur/>

¹ ENSSAT, université Rennes I

recherche/colloquesEtSeminaires/mfi2007/ (à partir de cette page, suivre le lien Compte-Rendu).

Jean-Pierre Bourguignon, directeur de l'IHÉS, a ouvert le colloque le 2 mai en fin d'après-midi, avec une conférence ouverte au grand public et co-organisée par l'APAST. Il nous a dressé, de façon très attrayante, un panorama fort complet des besoins actuels en mathématiques dans l'industrie, appuyant sa présentation sur l'évolution historique de la discipline. Les exemples choisis étaient souvent non traditionnels : Jean-Pierre Bourguignon a ainsi souligné que les mathématiques se nichent désormais très souvent là où on ne les attend pas forcément. L'ingénieur doit être capable d'assimiler rapidement de nouveaux concepts mathématiques, car, au cours de sa carrière, il verra plusieurs fois se produire des *courts-circuits* scientifiques et technologiques. Or les mathématiques utiles lors de ces changements brutaux sont non prévisibles. Le public, de tout âge et de provenance variée, se composait d'enseignants, de chercheurs, d'ingénieurs ou techniciens des entreprises de télécommunications de Lannion, d'étudiants de l'ENSSAT ou de l'IUT, et de quelques élèves de Terminale S. La presse locale s'est fait l'écho de cet événement, en s'étonnant de l'engouement suscité par une conférence sur un tel thème (la salle était pleine), et constatant que les mathématiques, une fois remises dans leur contexte culturel, perdaient leur légendaire sécheresse.

Les 3 et 4 mai, dans les locaux de l'ENSSAT, le colloque s'adressait à un public *a priori* plus spécialisé, mais il restait ouvert à tous, et en particulier aux étudiants de l'ENSSAT. Ces derniers sont venus en nombre si on tient compte de leurs contraintes d'emploi du temps.

Marie-Françoise Roy, professeur à l'université Rennes I et présidente de la SMF, est intervenue sur *Géométrie algébrique réelle et robotique*. Il n'y avait pas dans la salle que des spécialistes de géométrie algébrique, on s'en doute, mais l'exposé, très pédagogique, s'adressait aussi au plus grand nombre, les difficultés étant introduites de façon graduelle. En particulier la motivation première des roboticiens qui font appel à son équipe a été particulièrement bien mise en évidence. Il s'agit notamment de définir l'ensemble des positions admissibles de l'espace lors du déplacement d'un robot, ce qui conduit à considérer les solutions réelles d'équations et d'inéquations algébriques. Les étudiants de l'ENSSAT responsables de la conception du robot destiné à participer à la coupe de robotique ont assisté avec enthousiasme à sa présentation, et ont d'ailleurs proposé le lendemain une démonstration de leur robot aux participants intéressés par le sujet.

Nicole El Karoui, professeur à l'École Polytechnique, a présenté les enjeux actuels en *Mathématiques et Finances*, dissipant au passage quelques malentendus sur le but de l'introduction des mathématiques dans le monde controversé de la finance. Là aussi, il ne s'agissait pas seulement d'exposer le calcul stochastique d'Itô et la formule de Black et Scholes, mais aussi de mettre en évidence la problématique posée par l'introduction des options et autres produits dérivés en finance, et les solutions que tentent d'apporter les mathématiques. L'une des idées à retenir est que l'on cherche à réaliser une gestion *dynamique* du risque, ce qui se traduit en pratique par un grand nombre de transactions de couverture, et qu'il convient de bien distinguer ces transactions des autres, purement spéculatives.

Frédéric Cao, de la société *DxO Labs*, nous a parlé des possibilités actuelles que certaines *mathématiques appliquées* permettent en traitement des *photographies*

numériques. Son exposé a été illustré de nombreuses photographies spectaculaires, et on a pu se rendre compte que les mathématiques impliquées dans ce traitement sont finalement bien éloignées des méthodes traditionnelles de traitement de l'image. En effet, les capacités mémoire d'équipements par définition portables n'autorisent pas la mise en œuvre de ces méthodes. Par exemple il n'est pas question d'espérer utiliser classiquement de l'analyse de Fourier, il convient de travailler directement sur les noyaux de convolution caractéristiques du traitement à apporter.

Marie-Aline Péry, professeur en classe de mathématiques spéciales et vice-présidente de l'UPS, a passé en revue le programme des *classes préparatoires aux Grandes Écoles Scientifiques*. Elle a insisté sur les évolutions actuelles et les difficultés d'enseigner un programme qui reste très chargé au vu du nombre d'heures qui lui sont allouées. L'un des principes des programmes de 1995, légèrement allégés en 2004, est l'instauration d'une première période consacrée à des outils nécessaires à la physique (nombres complexes notamment). Le temps consacré à cette période de transition n'est pas perdu, puisque l'on peut par la suite illustrer de nombreuses notions (les groupes, par exemple) à partir de ces quelques éléments. Ont été évoquées également les possibilités pédagogiques offertes par l'utilisation raisonnée de l'outil informatique. Un petit débat a suivi, portant sur les TIPE, ou plutôt sur la perception qu'en ont certains élèves de spéciales et la difficulté à préparer correctement cette épreuve si l'on choisit un TIPE de mathématiques.

Le 4 mai au matin, Pierre Loidreau, de l'ENSTA, a réussi à présenter, en un peu plus d'une heure mais avec un très bon niveau de détails, l'histoire, les enjeux et les perspectives de la *cryptographie*, montrant comment elle est passée d'un stade quasi-artisanal à une discipline scientifique autonome à l'affût de résultats nouveaux en théorie des nombres. La révolution de la cryptographie à clé publique, et son omniprésence dans nos vies (cartes bancaires, signatures numériques, problème d'authentification, de non-répudiation...), justifient à elles seules le maintien (le retour?) dans les cursus des classes préparatoires et des écoles d'ingénieurs de solides notions d'algèbre générale et d'arithmétique à côté des incontournables enseignements d'algèbre linéaire et d'analyse. Par exemple, des progrès récents font la part belle aux courbes elliptiques.

La cryptographie était à l'honneur, puisque l'après-midi Dimitri Petritis, professeur à l'université Rennes I, nous a parlé d'*information, communication, calcul et cryptographie quantiques*. Après une brève introduction aux postulats de la mécanique quantique, il a expliqué pourquoi la possible construction d'un ordinateur quantique présente un danger pour le chiffrement de l'information (sous l'hypothèse d'existence d'une telle machine, on peut mettre en œuvre un algorithme de factorisation tournant en temps $\mathcal{O}(n^3)$, où n est le nombre de chiffres de l'entier à factoriser). Dans un second temps, Dimitri Pétritis a présenté une solution au problème de distribution de la clé de chiffrement par un algorithme quantique (le protocole BB84, qui est disponible à un stade pré-industriel). Cette conférence s'est terminée par une brève présentation de l'entreprise *SmartQuantum* de Lannion, représentée par un ingénieur ENSSAT, qui propose un produit issu de ces principes.

Manuel Samuelidès, professeur à Sup Aéro et représentant la SMAI à ce colloque, nous a proposé un exposé intitulé *Du modèle, de la preuve et du calcul : pédagogies*

des mathématiques en école d'ingénieurs. Il a brièvement rappelé les spécificités du modèle français de formation des ingénieurs et son succès à l'étranger. Au delà de ce succès qui s'appuie sur une formation mathématique solide dans le cycle préparatoire, il a développé l'idée que les mathématiques peuvent être un outil autonome de formation de l'ingénieur, et pas seulement un moyen de sélection ou un langage pour la physique. Il n'est pas contradictoire, dans cette optique, d'introduire et d'illustrer les concepts par des exemples d'ingénierie. Pour arriver à ce but, la pédagogie par projets est une possibilité intéressante que l'on peut mettre en œuvre avec des élèves suffisamment entraînés et/ou motivés. Un passage en revue des enseignements de mathématiques souhaitables en école d'ingénieurs a conclu la conférence. Parmi ces cours, celui d'optimisation apparaît incontournable, mais le problème est de donner du sens à un tel cours : toute la difficulté est d'articuler le passage de la dimension infinie, l'optimisation étant d'abord présentée dans le cadre abstrait de l'analyse fonctionnelle, à la mise en œuvre numérique en dimension finie, à des fins d'ingénierie.

Les mathématiciens qui enseignent en école d'ingénieurs sont parfois un peu isolés de leur communauté, et ce type de colloque espère provoquer des rencontres fructueuses entre les différents acteurs de la formation mathématique des ingénieurs. Pour cela une place (encore trop petite sans doute) a été réservée à des ateliers et une table ronde a été animée par des représentants de la CTI, de la SMF et de la SMAI.

Deux ateliers ont ainsi fonctionné en parallèle. L'un d'eux, animé par Manuel Samuelidès, s'est proposé de rassembler des collègues des classes préparatoires et des écoles d'ingénieurs, prolongeant ainsi la discussion entamée à la suite de la conférence de Marie-Aline Péry. Il a été débattu de la place de l'informatique dans les classes préparatoires, des TIPE, de l'adéquation avec les programmes des écoles d'ingénieurs, et de la méconnaissance qu'ont les élèves des classes préparatoires des écoles auxquelles ils postulent. L'autre atelier était animé par Jacques Béranger, Directeur Honoraire du GET et représentant de la CTI, et s'intéressait à l'intégration des élèves d'IUT dans les écoles d'ingénieurs et aux difficultés posées par l'absence de réelle formation mathématique de ces élèves, alors même que l'apport de ces étudiants est devenu inévitable, tant pour la nécessaire diversification des profils d'ingénieurs qu'en raison des besoins croissants de l'industrie. Continuer à accueillir ce public sans renoncer à lui dispenser la formation scientifique nécessaire à son évolution professionnelle (lors des courts-circuits technologiques décrits par Jean-Pierre Bourguignon) est l'un des défis qu'il convient de relever.

Le colloque s'est terminé par la table ronde CTI-SMF-SMAI. La Commission des Titres d'Ingénieurs était représentée par Jacques Béranger, la SMF par Marie-Françoise Roy et Guy Chassé, la SMAI par Manuel Samuelidès. Alain Maruani, professeur à l'ENST et représentant l'ENPC à ce colloque, et Patrice Struillou, enseignant à l'ENSSAT, complétaient cette petite équipe chargée dans un premier temps de délivrer un court compte-rendu de l'avancée du groupe de travail commun CTI-SMF-SMAI qui se réunit régulièrement à l'Institut Henri Poincaré. Des travaux récents de ce groupe s'appuient sur des constats inquiétants, et quelques pistes ont été proposées dans ce cadre par Alain Maruani et Laurent Decreusefond (de l'ENST), à la suite de l'observation de l'évolution des candidats aux Concours Commun Mines-Ponts et des difficultés en mathématiques que rencontrent dans les

grandes écoles les élèves issus des filières PC et PSI. Ces propositions, approuvées par l'ensemble des directeurs des écoles du concours commun, incluent des observations sur les programmes des classes préparatoires. Dans une autre direction, le groupe travaille avec la CTI, avec le but de redéfinir le statut des mathématiques dans les formations d'ingénieurs. Jacques Béranger a noté que, dans le document *Référence et Orientations* de la CTI, les mathématiques apparaissent dans l'une des *quatre composantes essentielles d'une formation d'ingénieur*, à savoir *les sciences de base ou socle commun des connaissances, garantes de la rigueur d'analyse et du pouvoir d'adaptation à long terme aux exigences évolutives des métiers*. Il semble clair que notre discipline fait partie, au premier chef, de celles qui sont visées par cette formule flatteuse. On pourrait toutefois espérer une formulation plus explicite, et c'est l'un des objectifs du groupe que de parvenir, sinon à une uniformisation, au moins à une clarification des objectifs en terme de mathématiques pour l'ingénieur. La CTI n'est d'ailleurs *a priori* pas opposée à la définition, en concertation avec les enseignants, d'un programme minimal commun à toutes les formations d'ingénieur, comme cela a déjà été fait pour l'anglais, mais est-ce vraiment souhaitable? Et est-ce possible si l'on considère la diversité des parcours d'ingénieur?

Au nom de la SMF, Marie-Françoise Roy s'est réjouie de la tenue de ce colloque qui a mis en évidence l'unité des mathématiques et les nombreux domaines de recherche qui sont désormais au contact des applications. Pour la SMF, il convient de réfléchir globalement à la formation de tous les « métiers des mathématiques » : les futurs enseignants ont besoin de connaître la diversité des applications de notre discipline, les futurs ingénieurs ont besoin d'être informés de tous les domaines des mathématiques concernés par les applications. Ils ont aussi besoin, au cours de leurs études, d'être en contact avec la recherche. Quant aux futurs chercheurs et enseignants-chercheurs ils doivent être formés dans un esprit d'ouverture et de dialogue.

Pour conclure cette table ronde, Manuel Samuelidès s'est exprimé au nom de la SMAI. Pour les mathématiciens exerçant en école d'ingénieurs, il s'agit d'abord de définir ce qu'il est souhaitable de développer en matière de recherche. Ces chercheurs ont tout intérêt à participer activement, avec les industriels, à la définition de problèmes relevant des mathématiques après modélisation. Cela nécessite bien sûr de collaborer avec des non-mathématiciens. Grâce au recul qu'elles permettent, les mathématiques ont d'ailleurs vocation à faciliter le transfert interdisciplinaire.

Les rigueurs de l'horaire n'ont malheureusement pas permis au débat d'avoir l'ampleur qu'il méritait. Néanmoins, et de manière très générale, les organisateurs sont très satisfaits de l'implication des collègues, venus souvent de fort loin, et ils remercient chaleureusement tous les conférenciers et les animateurs du colloque. Il est prévu un cinquième colloque MFI dans deux ou trois ans.

Les auteurs de ce C.R. remercient Guy Chassé, Alain Maruani, Marie-Françoise Roy et Manuel Samuelidès pour leur relecture attentive et leurs suggestions avisées. Pour toute demande ou précision, s'adresser à patrice.struillou@enssat.fr