

PROGRAMME DE FORMATION PROFESSIONNALISANTE DE NIVEAU MASTER EN MATHÉMATIQUES

Edwige GODLEWSKI*

Résumé – Il s'agit de présenter, à partir d'une expérience acquise comme responsable d'un master « ingénierie mathématique », les grands traits de cet enseignement professionnel et d'en questionner les pratiques, en rapport avec le monde de l'université et de l'entreprise.

Mots-clefs : master professionnel, ingénierie mathématique, modélisation

Abstract – From the experience at the head of a Diploma in applied mathematics at the master's level for many years, we draw in the presentation the main lines of these curricula for industrial mathematics and address some issues concerning the links with industry.

Keywords: master programme, mathematical engineering, modelling

I. INTRODUCTION

La présentation a pour objectif de tirer des enseignements à partir de l'exemple d'une formation universitaire niveau master en ingénierie mathématique. Elle ne repose pas sur une étude statistique ou une enquête mais sur une expérience assez longue de responsable d'une telle formation. Les formations universitaires font l'objet de peu d'études de nature didactique, mais le renouveau du sujet « interactions maths-industrie », tant au niveau de la recherche que de l'enseignement, conduit les responsables de ce type de formations (qui souvent y enseignent eux-mêmes) à vouloir communiquer leur expérience (comme enseignant et organisateur des autres enseignements), expérience encore mal connue des collègues effectuant une recherche « fondamentale » ou de ceux s'intéressant à la formation des enseignants. Cela les conduit aussi à se poser des questions sur la pertinence des contenus, et donc à s'intéresser aux groupes de travail proposant de réfléchir sur leurs pratiques. En effet, si le groupe de travail « Enseignement et apprentissage des mathématiques : interactions avec les autres disciplines scolaires et les pratiques professionnelles », dans le cadre de l'EMF, s'intéresse principalement aux "élèves" de l'enseignement secondaire, la plupart des questions posées sont tout aussi pertinentes pour les "étudiants" de l'enseignement supérieur, avec la différence qu'il s'agit alors de formations susceptibles de donner un diplôme terminal débouchant sur un emploi dans l'industrie (au sens large).

Les réflexions menées ici prennent pour acquis l'enseignement que les étudiants ont eu avant d'arriver dans ces formations, sans le remettre en cause, sans quoi le sujet serait trop vaste.

Ces formations universitaires professionnelles en mathématiques existent depuis une quarantaine d'années, nous ferons un rapide historique de leur création. On s'intéressera ici essentiellement au niveau Master, c'est-à-dire aux quatrième et cinquième années d'études après le baccalauréat français¹.

Dans le contexte français de l'enseignement supérieur, il convient de remarquer que ces formations qui serviront d'exemples sont dispensées au sein de l'université, et non dans les écoles d'ingénieurs, autre voie de formation sur des thèmes similaires. Les deux cursus sont

* UPMC-Paris 6, LJLL – France – edwige.godlewski@upmc.fr

¹ en France, cet examen se situe en fin d'études dites secondaires au lycée, c'est à dire après quatre ans de collège et trois années au lycée ; il ouvre aux études universitaires qui elles commencent par les trois années de Licence.

différents dans leurs modalités de recrutement et d'organisation, ainsi que dans les modes pédagogiques et les moyens disponibles. Pour ce qui concerne les mathématiques, le niveau des formations universitaires est reconnu. D'ailleurs, les élèves des écoles d'ingénieurs qui choisissent cette spécialité, suivent souvent des formations de deuxième année de master cohabilitées avec l'université, et enseignées à l'université par des enseignants-chercheurs de haut niveau. De plus, ils choisissent souvent des masters dits « recherche », voie considérée comme plus prestigieuse, quoique les masters professionnels ouvrent aussi la voie à la thèse en centres de recherches appliquées ou en entreprise.

Après avoir décrit les particularités de ces formations universitaires, on s'attachera à étudier deux aspects, selon les deux axes retenus par le groupe de travail, la modélisation et l'aspect professionnel. On posera également des questions sur l'évolution de ces formations. L'évolution des contenus est reliée naturellement au développement de la recherche (développement de méthodes numériques plus performantes par exemple), à l'augmentation des performances du matériel informatique, à l'introduction de nouveaux logiciels... Elle est aussi rendue nécessaire par la diminution des programmes de mathématiques enseignés en amont. Enfin, le constat d'une baisse assez générale des effectifs étudiants inscrits en master de mathématiques en France, lié à la croyance forte, partagée par le corps enseignant, que ces formations peuvent être utiles à la vie économique du pays, pose la question de comment attirer plus d'étudiants.

II. LES FORMATIONS D'INGENIERIE MATHEMATIQUE

1. *Historique*

Les maîtrises d'ingénierie mathématique (appelées MIM) ont été créées en France en 1983. Définir "ingénierie mathématique" par rapport à "mathématique" (sans "ingénierie") ou "mathématiques appliquées" n'est pas facile, mais ce vocabulaire est utilisé couramment (voir le rapport CNE 2002 pour une meilleure définition des contenus) ; le terme "ingénierie" fait bien sûr référence au terme ingénieur, donc à un métier (sinon au titre, qui, lui, est délivré en France par les écoles d'ingénieur) visé en sortie de ces formations.

Les maîtrises d'ingénierie mathématique complétaient alors les maîtrises de mathématiques et applications fondamentales qui datent de 1965. Les premiers DESS (diplôme d'études supérieures spécialisées, destiné à une orientation professionnelle immédiate, alors que la voie parallèle de DEA, diplôme d'études approfondies, destinait les étudiants plutôt à la recherche) en ingénierie mathématique remontent à 1974. De telles formations ont ensuite ouvert un peu partout en France et assuraient de très bons débouchés professionnels. Ces formations ont souvent été mises en place grâce à des initiatives locales d'enseignants-chercheurs intéressés à développer les interactions avec le monde professionnel. Avec le passage au LMD (organisation du cursus universitaire en trois étapes : licence, master, doctorat²), les DESS sont devenus des "spécialités" de Master, au départ qualifiées de "masters professionnels". Bien qu'ils continuent à assurer de bons débouchés, ils commencent à souffrir d'une baisse d'effectifs, inégale suivant les établissements.

² La mise en place de cette organisation relève du « processus de Bologne » qui vise à construire un espace européen de l'enseignement supérieur, processus initié lors de la conférence de Bologne de juin 1999.

2. Les contenus

De manière générale, le contenu des enseignements développés dans ces formations est dépendant en amont de l'enseignement assuré dans les années qui précèdent et en aval des besoins liés aux débouchés professionnels potentiels (voir Friedman et Lavery 1993).

Il existe des formations relativement spécialisées, par exemple en statistique, voire bio-statistique, cryptographie, ingénierie financière, etc. Leur contenu est plus facile à définir car elles sont spécifiquement adaptées à des débouchés dans des secteurs qui recrutent et qui sont par définition plus étroits. On s'intéressera donc ici essentiellement aux formations professionnelles de niveau Master les plus généralistes.

Celles-ci ont pour caractéristiques le fait qu'on y enseigne des mathématiques appliquées (et peu de mathématiques fondamentales) associant souvent plusieurs disciplines (analyse numérique, méthodes d'approximation, EDP, optimisation, contrôle, probabilités, analyse des données, ...), et qu'on y facilite l'insertion professionnelle des étudiants en leur permettant d'acquérir une maîtrise de l'informatique et en proposant des enseignements complémentaires (Anglais, préparation du CV, préparation d'exposés...). Elles associent naturellement l'apprentissage par projets à des cours théoriques plus traditionnels, et assurent le développement de compétences, dont des compétences en "informatique" au sens large (en programmation, utilisation/développement de logiciels, en algorithmique, simulation numérique, visualisation, voire en calcul scientifique haute performance). Des professionnels interviennent, par exemple des ingénieurs R&D pour l'apprentissage d'un code, ou des représentants d'un métier (comme analyste quantitatif en finances). Le ou la responsable de la formation suscite de telles participations de professionnels et veille à assurer une certaine cohérence avec les enseignements traditionnels. Ce (ou cette) responsable est un enseignant-chercheur, et la formation, à laquelle il participe, s'appuie sur les compétences des équipes de recherche.

Les cours de mathématiques dispensés dans ces formations sont par exemple les méthodes numériques (déterministes ou probabilistes) ou l'optimisation. L'enseignement a notamment pour objectif de définir les conditions d'utilisation des modèles mathématiques, en introduisant les variables les caractérisant, des équations qui les constituent, en définissant le cadre mathématique théorique et en explicitant les modalités de mise en œuvre de méthodes numériques permettant d'en calculer une solution (avec une discussion sur la validation). Le propos ci-dessus est assez général car le contexte peut être celui de la finance (voir l'analyse de Rama Cont), comme celui de l'environnement (par exemple pour modéliser des phénomènes hydro-sédimentaires).

Les étudiants sont ensuite supposés savoir utiliser le modèle sur les cas concrets qui leur seront soumis, car ils en auront bien compris les fondements et les limites. On compte aussi que cette bonne compréhension leur permette de suivre une démarche analogue (formaliser, exprimer les hypothèses, valider l'approche choisie) faite sur un autre modèle, fut-il très différent. Cette conviction est à la base de tout l'enseignement des mathématiques.

Les compétences minimales attendues au terme d'une formation professionnelle sont la capacité à représenter mathématiquement une situation concrète (formalisation ou modélisation), et la capacité à résoudre le problème : choix du mode de résolution, mise en œuvre de la méthode choisie. Ces capacités doivent être développées dans des champs disciplinaires suffisamment étendus (analyse, probabilités, statistique...). Une réflexion en cours sur la notion d'approche « compétences » reliées aux « connaissances » devrait conduire à pouvoir présenter ces enseignements théoriques en les reliant à des compétences et donc à en justifier de fait l'enseignement.

3. *L'enjeu de l'enseignement*

Ainsi, la difficulté est de concilier une approche suffisamment générale et théorique pour permettre aux étudiants pendant le stage et dans leur vie professionnelle :

- d'appréhender des contextes applicatifs très variés ;
- d'apporter des solutions innovantes à des problèmes concrets ;
- de s'insérer rapidement dans un métier technique.

C'est dans ce contexte que se dégage la valeur ajoutée d'une formation en mathématique par rapport à une formation d'ingénieur généraliste (qui est plus portée sur la physique ou, d'une manière générale, les applications).

Avant de continuer, interrogeons-nous quelques instants sur les objectifs de toute évolution de la formation induite par les réflexions que nous menons ici. S'agit-il de :

- mettre en place un format de master plus robuste, un modèle de master (voir à ce propos l'annexe 2, du Forward Look de l'ESF), moins exigeant pour le ou la responsable et pouvant survivre aux mouvements des enseignants ;
- former plus d'étudiants ;
- « mieux » former les étudiants actuels, "mieux" au sens des enseignants ? des employeurs ? des étudiants ?
- prendre en compte de manière plus adaptée les besoins des industriels ;
- pénétrer de nouveaux secteurs (par exemple les PME), anticiper des besoins à venir.

Suivant l'objectif que l'on retient, les évolutions à mettre en place sont différentes. Quoiqu'il en soit, les moyens (temps, compétences) dont disposent les enseignants sont toujours limités, et les ambitions infinies : il s'agit donc d'un problème d'optimisation sous contrainte, dans lequel il faut définir les variables à optimiser et les contraintes (et le problème sera évidemment mal posé !).

III. ENSEIGNER LA MODELISATION

1. *Problématique*

Le fait que la modélisation est un « lieu privilégié d'interactions » entre différentes disciplines est un acquis, quel que soit le domaine d'application : mécanique, physique, chimie, environnement, biologie, risque, finance, etc. Pour autant, cela ne signifie pas qu'un enseignement de modélisation au niveau Master soit facile à assurer ou qu'il soit simple d'en définir un programme.

On ne s'attaque pas ici à discuter de la définition de la modélisation (pour un cadrage théorique à propos du processus de modélisation, on peut se référer aux débats du Comité scientifique des Irem³ sur la modélisation qui s'est tenu en 2003, en particulier la contribution de M. Legrand). Mais prenons l'exemple concret de modélisation issu de la mécanique pour lequel on dispose des équations : le chauffage lié à la ventilation d'un bâtiment, donc l'étude d'un problème d'aérothermique. Faut-il parler d'approximation variationnelle et d'espaces de Sobolev avant d'avoir étudié le problème et familiariser ainsi l'étudiant aux outils théoriques, certes difficiles, mais auxquels il pourra faire appel ultérieurement pour justifier toute

³ Irem : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques, voir le site <http://www.univ-irem.fr/>.

l'approche ? Faut-il plutôt étudier le modèle (les équations de Navier-Stokes incompressibles corrigées avec un terme de Boussinesq et couplées avec une équation d'advection-diffusion pour la température) d'abord « avec les mains » et conduire l'étudiant à la découverte des outils nécessaires à son étude ? Faut-il même laisser l'étudiant établir le modèle, se débrouiller, être créatif ?

Sans se prononcer sur le bien-fondé de cet état de fait, on peut noter que l'enseignement français traditionnel repose principalement sur la première approche pour plusieurs raisons, parmi lesquelles :

- le fait que l'on considère qu'un étudiant qui a acquis de « bonnes bases » théoriques va être capable d'appréhender rapidement toutes sortes de domaines d'application, ce qui est un des objectifs de la formation, comme nous avons pu le dire ci-avant ;
- le souci d'efficacité vis-à-vis de l'étudiant : on ne peut laisser l'étudiant tout réinventer ;
- le souci d'efficacité vis-à-vis de l'enseignant : dans l'état actuel de formation des enseignants à l'université, l'enseignement traditionnel présentant la théorie avant l'application est plus facile à reproduire, et l'enseignant se sent souvent plus compétent dans cette approche. Nous allons donner quelques éléments sur ce point ci-dessous.

2. *La formation à la modélisation*

L'approche privilégiant la théorie est plus facile pour l'enseignant-chercheur qui en a la maîtrise. Il a l'impression d'avancer dans le programme et d'utiliser ses compétences. Les autres approches supposent d'autres compétences, encore peu mises en avant. De fait, il est difficile de trouver actuellement (dans le contexte français) des enseignants-chercheurs bien formés à la modélisation, c'est-à-dire dans la situation qui nous intéresse ici (formation professionnalisante), capables de dialoguer avec un industriel non spécialiste des mathématiques appliquées, et de parvenir à traduire le problème que celui-ci pose en termes mathématiques. Cela suppose une expérience certaine conjuguant une bonne connaissance des outils théoriques, une assez grande culture mathématique, une pratique de la collaboration industrielle et une aptitude à l'innovation. L'évaluation de la recherche se faisant sur des critères de qualité des publications, cela ne pousse pas l'enseignant chercheur à consacrer du temps à cette activité de collaboration avec l'industrie, mais la situation évolue.

Des expériences sont actuellement menées pour développer ces compétences chez les jeunes chercheurs. On peut citer les initiatives d'ECMI (European Consortium for Mathematics in Industry)⁴ ; en France une première Semaine d'Etude Maths-Entreprises (SEME) a été organisée en avril 2011 : elle a impliqué de jeunes doctorants ou post-doctorants, ainsi que des encadrants juniors ou « seniors » issus du monde académique. Ils ont travaillé sur des problèmes de nature mathématique directement liés à l'industrie et présentés par des industriels. Une deuxième SEME aura lieu fin 2011. Nous ne disposons pas encore de véritable retour sur ces expériences. On peut néanmoins penser que de telles initiatives, qui devraient se reproduire, feront évoluer la situation d'ici quelques années.

Enfin, il serait souhaitable qu'il y ait plus de passerelles entre les deux mondes, académique et industriel. Il existe quelques postes (peu nombreux) de « professeur associé »,

⁴ Exemple : groupes d'étude ESGI (European study group with industry), semaines « modelling weeks », groupes de travail « student modelling workshop », écoles d'été ESSIM (European summer school in industrial mathematics).

sur lesquels des industriels assurent une demi-charge d'enseignement. Par ailleurs, quelques enseignants-chercheurs essaient l'immersion complète dans la recherche en milieu industriel par des détachements longs (plusieurs mois, voire une ou deux années) dans l'entreprise. Ces échanges sont à encourager et permettront à ces chercheurs qu'ils fassent profiter directement de leur expérience les formations professionnelles.

3. *Les applications*

L'enseignement ne privilégie en général pas une approche "inductive" permettant d'avoir l'intuition de la théorie à partir d'un problème concret de modélisation ; il a recours plutôt à une approche "déductive" permettant d'appliquer la théorie à des problèmes concrets.

Il n'est pas difficile, et c'est la condition nécessaire d'un enseignement de cette nature, de trouver des enseignants qui ont déjà une pratique de ce que à quoi les mathématiques qu'ils connaissent et enseignent à ce niveau Master peuvent servir : c'est l'apport d'une formation en mathématiques dites appliquées, par rapport à une formation en mathématiques dites fondamentales. Il n'est pas accepté de développer un sujet qui n'aurait pas un lien explicite, en amont ou en aval quand ce n'est pas le cœur du sujet, avec les applications. Les sujets de thèse ont donc presque toujours un ancrage applicatif. Citons quelques exemples rencontrés récemment : la modélisation du ruissellement, le problème de contact d'un pneumatique, la propagation d'une fissure, ou le mouvement de troupeaux de moutons. Les modèles mathématiques correspondant comportent des équations aux dérivées partielles qui rentrent dans des "catégories" bien identifiées ; des équations génériques correspondant à des cas très simplifiés peuvent être étudiées au niveau master de façon « abstraite » (plus ou moins détachée de leur contexte) mais en les motivant par ce contexte, et cela se fait très fréquemment.

4. *Les compétences informatiques*

Le modèle mathématique est le plus souvent utilisé pour mettre au point des programmes informatiques qui simulent la situation, l'objet ou la structure modélisée. La mise en œuvre de la modélisation, quelque soit le domaine d'application, nécessite ainsi des moyens informatiques, et suppose des compétences en programmation, utilisation ou développement de logiciels, simulation numérique, etc. Il s'agit donc que les étudiants acquièrent une autonomie face à certains langages de programmation plus ou moins élaborés (C, C++, par exemple) et maîtrisent l'utilisation de certains logiciels (VBA, matlab,...).

Au niveau de compétences d'un Master, l'informatique est le plus souvent une discipline à part entière et l'enseignement est assuré par des spécialistes (qui peuvent être des enseignants-chercheurs ou des ingénieurs de recherche du CNRS, Centre National de la Recherche Scientifique, ou de centres de recherche de l'industrie). L'expérience montre que si un enseignant-chercheur peut encore préparer un nouveau cours de modélisation à partir de ses propres connaissances théoriques et d'ouvrages, il lui est beaucoup plus difficile de construire des enseignements de calcul scientifique s'il n'a pas déjà acquis une maîtrise du sujet notamment pendant son doctorat.

L'importance relative de cet enseignement dépend de la thématique principale de la formation et varie suivant les Masters généralistes. Et dans une formation donnée, les étudiants n'ont pas tous la même maîtrise en sortie car, pour certains, les compétences relèvent du "don" et ils acquièrent une réelle expertise du calcul scientifique, quand pour d'autres, l'apprentissage est plus fastidieux. Il est toutefois toujours exigé un minimum, et c'est une matière éliminatoire, au sens où il n'est pas possible d'avoir le diplôme sans avoir validé

ces compétences minimales, car ce sont elles qui sont exigées en sortie et permettent à l'étudiant de trouver un emploi (les matières « théoriques » relèvent de la continuité de la formation et ont été plus ou moins évaluées les années antérieures). Pour que les étudiants atteignent ce niveau, et la réussite est essentielle pour une formation professionnalisante, il est accepté de mettre en œuvre des moyens matériels et humains conséquents, permettant d'organiser des séances de travaux pratiques dans des salles bien équipées (en matériel informatique et logiciels). Des heures en « libre-service » sont aussi proposées ; une partie du travail est effectuée en binôme. Les étudiants ont ainsi la possibilité d'apprendre, de pratiquer et d'acquérir les compétences demandées.

IV. FACILITER L'INSERTION PROFESSIONNELLE

1. *La motivation des étudiants*

Les étudiants ont du mal à se motiver pour des études qu'ils jugent encore assez théoriques, alors même qu'on leur dit qu'il n'y a plus de théorèmes dans l'industrie. L'obtention du diplôme requiert l'acquisition d'un certain nombre d'ECTS⁵ (60 en deuxième année de master, répartis en au moins 30 sur plusieurs cours et projets, et le complément pour le stage), qui suppose un investissement personnel important de la part des étudiants. Cependant, pour obtenir ces "crédits", ils ne travaillent pas nécessairement de façon "intelligente" (il arrive par exemple, qu'ils copient un programme informatique, sans s'appropriier le contenu, ou ils peuvent prendre un exemple tout fait sur internet, sans réfléchir ou sans rapport avec la thématique) ; ils ne savent pas approfondir les notions et au lieu de réaliser au mieux les projets, ils se contentent souvent de résultats moyens.

Heureusement, les stages constituent un moment privilégié entre formation et vie professionnelle, qui contribue beaucoup à la motivation des étudiants et à leur prise de conscience des enjeux de l'enseignement qu'ils ont eu. L'enseignant est souvent ravi de voir revenir ses étudiants transformés à la fin de leur stage, et apprécie que certains aient mis une énergie insoupçonnée pour réussir cette première expérience professionnelle. Il aimerait néanmoins avoir profité un peu plus de cette motivation et de ce dynamisme au premier semestre universitaire, et se pose des questions du « comment faire » pour rendre son enseignement plus attractif.

Il y a donc souvent un « fossé » alors même que les deux parties —formés / formateurs— ont une bonne volonté et des intérêts communs. Comment y remédier ?

D'autres initiatives pourraient être plus développées : si l'on fait déjà régulièrement appel aux témoignages d'anciens étudiants, si les présentations d'entreprise sont déjà très pratiquées on pourrait aller plus loin. Imaginer faire appel à un vrai tutorat de la part des alumni en poste dans des entreprises du secteur, ou d'ingénieurs en entreprise intéressés par un tel « compagnonnage » (on se heurte là à des problèmes de moyens : cela suppose un meilleur suivi des anciens diplômés et une organisation plus lourde).

2. *Le rôle des stages*

Tels qu'ils sont conçus actuellement, les stages sont un élément primordial dans le dispositif de formation et pour une insertion professionnelle efficace. Ils sont aussi un moteur pour l'évolution des formations. Les étudiants d'université, contrairement aux élèves des écoles

⁵ ECTS signifie European Credits Transfer System ; le Système européen de transfert et d'accumulation de crédits est un système de points développé par l'Union Européenne qui a pour but de faciliter la lecture et la comparaison des programmes d'études des différents pays européens.

d'ingénieur en France, n'ont pour la plupart pas d'occasion d'immersion dans l'entreprise autre que par les « petits boulots » qui ne sont pas faits dans l'idée de se préparer au métier qu'ils exerceront, mais purement pour la subsistance quotidienne ou pour se payer des « extras » (sorties, vacances). Et il est difficile, surtout pour les scientifiques, de trouver des activités rémunérées en lien avec le domaine de la formation (à part dans les « petits cours » de maths).

La période de stage de M2 (de six mois en second semestre de la deuxième année de formation de Master) est une période de formation à la vie professionnelle irremplaçable, car elle ouvre à un domaine d'activité à un niveau et dans les conditions proches du métier réel auquel les étudiants peuvent prétendre. C'est une période « protégée », pendant laquelle l'étudiant dispose de la formation et d'un encadrement adapté sur un sujet préparé et généralement bien délimité. La plupart des encadrants en entreprise acceptent ce rôle à ce niveau car c'est « gagnant-gagnant » : un stagiaire bien formé peut apporter par son travail des résultats significatifs. Certains tuteurs estiment aussi qu'il est de leur devoir de citoyen d'assurer à leur tour le service dont ils ont eux-mêmes bénéficié.

Ces encadrants avec lesquels les responsables de formation ont des échanges apportent leur vision de la formation à travers les retours d'évaluation de stage. Par ailleurs, la fréquence de certaines thématiques dans les sujets proposés (par exemple l'optimisation, le calcul parallèle, la programmation sur carte graphique,...) incite les enseignants à développer les items correspondants dans leurs cours.

3. *D'autres initiatives à développer*

- Les projets

On pourrait penser travailler essentiellement sous la forme de projets, de nature « industrielle », les enseignements théoriques venant au moment voulu, et non précédant leur utilisation. Cette initiative relève principalement de la bonne volonté du corps enseignant qui devra se coordonner autour d'un sujet se prêtant à une interaction (modélisation-informatique-théorie). Une telle approche est assez contraignante à mettre en place, mais on peut penser qu'elle modifierait les conditions d'apprentissage et serait attractive pour les étudiants.

- Le mentorat / compagnonnage

Déjà mentionné, il n'est pas encore dans les usages à l'université, mais pourrait s'envisager sur des petites promotions. Ce type d'initiative implique des intervenants extérieurs et est plus lourd à mettre en œuvre sans nouveaux moyens humains.

- Conseil de perfectionnement

Il pourrait associer quelques anciens en poste, des ingénieurs ayant participé à l'encadrement, des recruteurs... et bien sûr les enseignants les plus impliqués, voire des enseignants de formations proches. Cette instance aurait l'intérêt d'associer des extérieurs apportant leur vision des besoins de l'entreprise et des enseignants motivés pour justifier leur pratique et acceptant de la faire évoluer si nécessaire. De l'énergie (et du temps) est nécessaire aux responsables pour monter une telle structure.

- Les visites d'entreprises

Les étudiants n'ont pas l'occasion au cours de leurs études d'être confrontés à la réalité du travail auquel ils se destinent. Le stage est une immersion longue, il serait intéressant qu'ils aient pu avoir avant l'occasion d'expériences courtes, en lien avec la formation. Là encore, de l'énergie est nécessaire pour mettre en route ces initiatives.

Cependant, on peut penser que certaines expériences pourraient être mutualisées au niveau de l'établissement, c'est à dire l'université, la plupart cherchant à intensifier leurs relations avec

les entreprises, grandes ou petites, et celles ci pouvant également bénéficier de relations privilégiées avec une université leur donnant accès à des compétences établies.

V. CONCLUSION

Cette contribution pose les jalons d'une réflexion qu'il serait utile de mener avec d'autres responsables de formations analogues. Il ne s'agit pas de changer radicalement des pratiques qui de fait ont connu un réel succès, puisque les débouchés se révèlent très bons, et que les retours de l'industrie sont assez positifs. Il s'agit de les faire évoluer en tenant compte :

- des changements qui interviennent dans la société et en particulier l'enseignement (plus diversifié, moins approfondi et souvent moins théorique) qui précède ;
- de l'innovation technologique
- de l'industrialisation en Europe
- et bien sûr des nombreuses initiatives « mathématiques-industrie » qui sont lancées à différents niveaux (sociétés savantes, comme la SMAI, société de mathématiques appliquées et industrielles, instances comme le CNRS, laboratoires d'excellence⁶...), tant en France qu'en Europe (voir aussi l'initiative ICMI/ICIAM « Educational Interfaces between Mathematics and Industry » EIMI-Study).

Il est par ailleurs très important de mieux former les enseignants (de l'école primaire, ou de l'enseignement secondaire) pour qu'ils soient conscients des enjeux de ces interfaces. Donc il serait bon, pour qu'ils se sentent concernés par les relations mathématiques-industrie, qu'il y ait aussi des passerelles entre ce type de formations professionnelles et celles qui préparent au métier d'enseignant, en tout cas que les enseignants-chercheurs des formations professionnelles apportent aux futurs enseignants une connaissance minimale du sujet.

La communauté est sensible au fait qu'il faut continuer à former des scientifiques de haut niveau dans nos sociétés occidentales, et d'aider à en former dans les pays en voie de développement. Les mathématiciens sont convaincus que leur discipline pourrait jouer un rôle encore plus important et font un effort pour le faire savoir à la société et mieux communiquer sur l'intérêt de leur discipline.

REFERENCES

- CNE (2002) *Les formations supérieures en mathématiques orientées vers les applications*. rapport du Comité National d'Evaluation, juillet 2002. France (ISSN : 0983-8740)
- Comité scientifique des IREM (2003) *La modélisation*. novembre 2003. www.univ-irem.fr/IMG/pdf/Mod-Recueil.pdf
- Cont R. (2009) Risques financiers : quelle modélisation mathématique ? *Pour la Science* 375, 24-27.
- European Science Foundation (2010) Forward Look « Mathematics and Industry », November 2010.
- Friedman A., Lavery J. (1993) *How to start an industrial mathematics program in the university*. Society for Industrial and Applied Mathematics (Philadelphia).

⁶ En France, le projet AMIES (Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société), déposé par l'INSMI (Institut national des sciences mathématiques et de leurs applications, institut du Cnrs), dans le cadre des Laboratoires d'excellence a été retenu en 2011, voir le site <http://www.agence-maths-entreprises.fr/>.