

Société de
Mathématiques
Appliquées
et Industrielles

Livre Blanc

sur la valorisation dans l'industrie
du diplôme de docteur
en mathématiques appliquées



<http://smai.emath.fr>

Édition : Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI)
Institut Henri Poincaré, 11 rue Pierre et Marie Curie, F 75231 Paris Cedex 05
Tél : +33 1 44 27 66 61 – Télécopie : +33 1 44 07 03 64 – smai@emath.fr

Impression : Soregraph – 14bis rue Barbès – 92300 LEVALLOIS-PERRET

Dépôt légal : octobre 2011

Distribution gratuite

<http://smai.emath.fr>

*A la mémoire de Patrick Lascaux,
décédé le 28 mars 2010,
Vice-Président de la SMAI chargé des relations industrielles
depuis 2004,
qui eut un rôle moteur dans la genèse de ce Livre Blanc*

■ 1. Présentation du Livre Blanc ■

■ Contexte

La création de connaissances et l'innovation sont désormais vitales pour toute société avancée, en particulier pour les sociétés européennes. Il y va de l'avenir de nos sociétés et du maintien d'un niveau de bien-être élevé pour leurs populations. La compétition au niveau mondial est rude, et pas seulement au niveau du coût de la main-d'œuvre : la Chine et l'Inde sont des exemples de pays qui se préparent à innover massivement tout en disposant d'un réservoir de main-d'œuvre bon marché. Il faut donc que les sociétés développées investissent beaucoup plus dans la recherche, non seulement au niveau académique, mais également au niveau de la recherche industrielle.

En France, l'embauche de docteurs dans les entreprises est confrontée à une spécificité nationale, à savoir l'existence et l'importance d'écoles d'ingénieurs indépendantes de l'université. La coexistence des grandes écoles et des formations doctorales a pour effet de bord une tendance historique des entreprises françaises à recruter des ingénieurs plutôt que des docteurs même pour des postes de recherche et développement. En dehors de la France ces deux métiers sont bien différenciés et chacun joue son rôle au sein de l'entreprise tout en étant complémentaire de l'autre.

À cela s'ajoute une tendance croissante des entreprises à externaliser leurs activités de recherche en privilégiant les collaborations avec le milieu académique ou en sous-traitant des pans importants de leur activité de recherche à de petites entreprises spécialisées par exemple dans l'écriture de logiciels. Dans le même ordre d'idées, les entreprises préfèrent souvent la mise en place de thèses CIFRE ou d'un contrat de collaboration avec des universitaires à l'embauche d'un chercheur permanent.

Enfin un autre problème concerne le manque d'ouverture de la plupart des PME aux activités de recherche, sauf dans le cas des PME très innovantes, souvent créées à l'initiative de chercheurs. Toute avancée dans ce domaine aurait des répercussions importantes.

Tout ceci explique, comme le dit A. Bugnicourt dans le texte qu'elle a écrit pour ce Livre Blanc, que « si on exclut quelques très grandes entreprises qui recrutent depuis des décennies des cohortes importantes de docteurs en mathématiques, il faut bien avouer que les entreprises méconnaissent souvent ces profils. Elles les jugent trop théoriques et ne voient pas quelle réelle valeur ajoutée ils pourraient leur apporter. Les docteurs en mathématiques doivent donc s'intéresser

aussi aux problématiques des entreprises et apprendre à montrer au mieux en quoi leurs compétences spécifiques peuvent leur permettre de trouver des solutions mathématiques innovantes en réponse à des problèmes industriels concrets. Ainsi, si les docteurs en mathématiques et, plus généralement, les personnes formées par la recherche, présentent de nombreux atouts pour les entreprises contemporaines, ils doivent donc apprendre à mieux se connaître et se reconnaître mutuellement ».

■ Genèse du projet

Dans ce contexte, la SMAI a décidé de contribuer à l'analyse de la situation des docteurs en mathématiques appliquées dans le monde des entreprises, de leurs conditions d'embauche (en particulier leurs salaires) et de l'évolution de leur carrière. Elle a souhaité aussi essayer d'évaluer les besoins ressentis par les entreprises et leurs besoins réels en matière de recherche. La SMAI espère ainsi rendre plus visible le métier de mathématicien en entreprise et mieux préparer les docteurs à l'embauche et au travail en milieu industriel.

Le projet de ce Livre Blanc a été lancé par Denis Talay au début de sa présidence de la SMAI.

■ Contenu

Ce Livre Blanc comporte deux parties distinctes.

D'une part, des contributions de responsables industriels donnant leur point de vue et parfois celui de leur entreprise (chapitre 2) et des témoignages de jeunes docteurs mathématiciens travaillant dans l'industrie qui décrivent leur expérience personnelle (chapitre 3). Le chapitre 4 contient deux analyses des atouts et handicaps des docteurs en mathématiques appliquées candidats à un recrutement dans l'industrie.

D'autre part, le compte rendu de la Table Ronde organisée par la SMAI et parrainée par Madame Valérie Pécresse, Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, qui a eu lieu le 3 novembre 2009 au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (chapitre 5).

Les points saillants de ce Livre Blanc sont repris dans sa conclusion (chapitre 6).

■ Remerciements

L'existence de ce Livre Blanc est due à l'action de Patrick Lascaux, vice-Président de la SMAI chargé des relations industrielles de juin 2004 à mars 2010, et de Denis Talay, Président de la SMAI de juin 2006 à juin 2009, qui en ont lancé le projet et en ont assuré la coordination.

La SMAI remercie vivement toutes les personnes, responsables industriels, mathématiciens et jeunes docteurs, qui ont contribué au Livre Blanc, en écrivant un texte ou en participant à la Table Ronde organisée au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Leurs opinions et témoignages sont des éléments précieux de la réflexion collective qui doit être menée pour que les formations doctorales en sciences en général, et en mathématiques appliquées en particulier, recommencent à attirer de nombreux étudiants de valeur.

Nombre de collègues ont apporté des contributions importantes à sa réalisation : Grégoire Allaire, Stéphane Cordier, Anne de Bouard, Jérôme Droniou, Maria J. Esteban, Edwige Godlewski, Jean-Baptiste Hiriart-Urruty, Antoine Lejay, Marcel Mongeau, François Murat, Colette Picard, Serge Piperno. Qu'ils soient remerciés ici !

■ 2. Le diplôme de docteur en mathématiques appliquées : qu'en pensent les entreprises ?

Ce chapitre présente quelques contributions de responsables industriels.

■ Michel Crouhy, Directeur de Recherche et Développement et Directeur de la Recherche en Finance Quantitative, Natixis

Les banques de financement et d'investissement (BFI) sont dans une dynamique d'innovation permanente. Cette course aux produits financiers nouveaux est en partie dictée par l'évolution rapide de l'environnement économique qui crée en permanence des besoins nouveaux chez les investisseurs (compagnies d'assurance, fonds de pension, fonds d'investissement), à la recherche de rendements avec risques maîtrisés dans un contexte de marchés où les risques et les opportunités ne cessent de se modifier, chez les entreprises, à la recherche de techniques et produits nouveaux pour maîtriser leurs risques. Les produits financiers et les techniques de valorisation de ces instruments, ainsi que de couverture des risques, n'ont cessé de se complexifier depuis le début des années 70 quand les marchés de produits dérivés ont commencé à se développer aux Etats-Unis. On a assisté à un phénomène d'apprentissage collectif des risques financiers qui s'est traduit au fil des années par une meilleure compréhension des mécanismes de marchés et par une sophistication accrue dans la modélisation des risques. La complexité des produits financiers n'est que la conséquence d'une plus grande maîtrise et d'un plus grand savoir-faire dans la modélisation des risques.

La formule de valorisation des options de Black et Scholes, qui n'était enseignée que dans les séminaires avancés de doctorat de finance au début des années 70, fait maintenant partie des cours d'introduction à la finance de marché, et est présentée comme un « amuse-bouche » avant de rentrer dans le vif du sujet de la valorisation et de la couverture des produits dérivés. La complexité des modèles nécessite le recours aux techniques les plus avancées de calcul numérique. Beaucoup de banques, comme Natixis où je dirige les activités de Recherche et Développement, recrutent des élèves en doctorat qui, dans la salle de marché, au contact des traders, préparent leur thèse en mathématiques appliquées sur des domaines mathématiques encore mal explorés comme les méthodes de réduction de variance pour les simulations de type Monte-Carlo, les techniques du noyau de la chaleur pour la résolution d'équations aux dérivées partielles paraboliques, etc., pour ne citer que deux thèmes parmi de nombreux sujets de préoccupation des salles de marché. Nos ingénieurs financiers qui, pour beaucoup, ont un doctorat scientifique, travaillent sur les problèmes immédiats auxquels sont confrontés les opérateurs de marché et les « structureurs » de nouveaux produits. Par ailleurs,

les banques se doivent d'anticiper les besoins dans le domaine des mathématiques appliquées et des méthodes numériques que créeront les nouvelles générations de produits financiers - c'est mon rôle de veille technologique. Pour faire face à ce besoin, les banques se doivent de lancer des chantiers de recherche à long terme sur des problèmes de mathématiques appliquées encore mal résolus, en collaboration avec les laboratoires de recherche universitaire.

■ **Jean-Christophe Culioli, Directeur Scientifique auprès de la Direction Marketing, Programme et Revenu Management, Air France**

Voici pourquoi, si j'ai le choix, je vais préférer un docteur à un ingénieur :

- l'ingénieur, même très bien formé, peut avoir passé sa formation à résoudre des problèmes déjà posés. Par ailleurs, *a priori*, rien ne suggère qu'il soit capable de mettre « son caractère » dans la réussite d'un projet de grande taille ;
- le docteur, en revanche, est presque toujours un « finisseur » et il y a des chances qu'il ne lâche pas prise au bout de quelques mois quand l'adversité survient. Il a généralement appris à poser les problèmes et pas seulement à résoudre ceux posés par d'autres. Il a fait de la modélisation en vraie grandeur, des calculs de grande taille et compris les enjeux (numériques, scientifiques, organisationnels) des solutions qu'il a envisagées.

Enfin, le docteur a pris l'habitude de :

- regarder autour de lui les travaux de ses pairs ;
- confronter ses idées avec d'autres ;
- ne pas prendre la première solution venue pour la bonne ;
- prendre son temps pour analyser ;
- prendre du recul pour synthétiser,

et il sait rédiger un document technique complexe... et l'expliquer à ses pairs.

■ **Thierry Druot, Ingénieur, Département Avant-Projet, Airbus France**

La présence d'un thésard dans mon département n'était certes pas une habitude puisque cela n'avait jamais eu lieu depuis sa création, environ vingt-cinq ans plus tôt, au sein d'Aérospatiale.

Profitant d'une volonté stratégique interne, récemment éclose, d'améliorer les liens de l'entreprise avec les universités, nous avons entamé en 2002 les démarches devant aboutir à l'intégration d'un thésard CIFRE, dans notre équipe de Toulouse, sur des problématiques de conception Avant-Projet. Nous voulions être prudents, aussi avons nous cherché un candidat qui pourrait effectuer son

stage de DEA chez nous, en préparation d'une thèse éventuelle. Ce fut notre contact à l'Université Paul Sabatier de Toulouse qui identifia la bonne personne. Le sujet du stage de DEA fut choisi afin de plonger l'étudiant dans les bases de la technique aéronautique et de lui permettre de se familiariser avec l'environnement pratique et humain du département.

Etait-ce la quantité de données nouvelles à absorber, le dépaysement provoqué par le passage abrupt entre l'université et l'industrie, ou tout simplement les personnalités en présence, le fait est que les résultats du stage de DEA furent mitigés. L'étudiant avait certes fait preuve de beaucoup de motivation, de rigueur et de régularité, mais il ne semblait pas parvenir à libérer sa créativité sur les sujets abordés. Jugeant que les points négatifs ne justifiaient pas l'abandon du projet initial, nous avons décidé de poursuivre l'expérience et d'embaucher la personne dans le cadre d'une convention CIFRE afin de lui permettre d'effectuer une thèse. La formulation initiale du sujet était extrêmement vaste car nous ne voulions pas fermer a priori des voies de recherche. Aussi la presque totalité de la première année se passa-t-elle à en réduire le champ dans le double but de répondre à notre désir d'investigation dans le domaine de l'optimisation multidisciplinaire et de tirer parti au mieux des compétences du thésard et de son encadrement universitaire. Tout au long de cette première année, ainsi que de celle qui suivit, nous avons assisté à une montée en puissance soutenue du thésard qui ne donna pleinement sa mesure qu'au cours de la troisième et dernière année.

Le résultat fut remarquable. Non seulement le sujet avait pu être porté jusqu'à sa conclusion mais les produits industrialisables de la thèse furent nombreux et pertinents. Le thésard trouva assez rapidement un poste qui lui permit de continuer à travailler en relation avec notre département. Au cours de la thèse, j'ai pu apprécier l'intérêt d'un regard neuf qui pousse à se remettre en question et donne un éclairage différent sur des problèmes que l'on croyait, à tort, déjà résolus ou inabordables.

Par ma position actuelle d'expert en méthodes et outils, je suis assez régulièrement confronté à des réalisations dont le moins qu'on puisse dire est qu'elles auraient beaucoup gagné à avoir bénéficié d'une expertise en mathématique. Je suis donc très favorable à la présence de docteurs en mathématiques au sein du bureau d'étude dans la mesure où ces personnes pourront aider les ingénieurs à exprimer leurs problèmes sous une forme plus rigoureuse et générique, sauront juger de la complexité et du type de complexité présente, et proposeront des outils mathématiques ou des voies de recherche pour les résoudre.

■ Eric Duceau, Directeur Scientifique, EADS Innovation Works

Le cas de la France, avec ses écoles d'ingénieurs séparées de fait de l'université, est paradoxal ; les entreprises françaises n'ont pas toujours une bonne idée de ce qu'elles pourraient faire d'un docteur ; en revanche, un « jeune » qui cherche une carrière internationale a fortement intérêt à commencer son CV par « PhD » plutôt que par « École Nationale des Ponts et Chaussées » s'il veut se faire recruter par une entreprise anglo-saxonne.

Vu du côté des ressources humaines d'une entreprise française : force est de constater que, « souvent », la thèse n'est pas valorisée pleinement. Plusieurs raisons à cela : donner d'un coup 3 ans d'ancienneté (en salaire, en position, etc.) à un jeune docteur n'est pas chose facile pour un DRH, d'autant qu'il ne l'a pas vu vraiment à l'œuvre dans l'entreprise. C'est pourquoi la thèse CIFRE est un bon compromis car elle permet aux RH de voir et valoriser l'expérience ; le mauvais côté de la thèse CIFRE (il ne faut pas se voiler la face !) est qu'un certain nombre d'entreprises l'utilisent comme CDD longue durée et la détournent de son esprit de « formation par la recherche », en milieu mixte = industrie + laboratoire.

J'en viens au fond : quels profils anticipe-t-on dans les années qui viennent ? Je prends l'exemple de mon entreprise (EADS) pour montrer comment les « pressions externes » ont fait bouger les métiers :

- Les « gros donneurs d'ordre » se voient de plus en plus comme des « intégrateurs » de technologies développées par d'autres : il importe d'avoir des gens « innovants » dans ces assemblages complexes (parce qu'il y a beaucoup de fonctions à considérer en même temps) mais pas forcément « compliqués » et demandant des compétences poussées = c'est le domaine béni des ingénieurs généralistes haut potentiel !!!
- Il reste néanmoins de bons challenges scientifiques (la turbulence, l'aéro-acoustique des sources, etc.), mais la doctrine est ici de s'appuyer... sur les universitaires : construire des chaires, passer des contrats, etc., donc d'externaliser ces capacités pointues ; cela correspond aussi à la peur de ne pas savoir gérer des profils un peu spéciaux dans un environnement changeant (comme on dit pudiquement !).
- Néanmoins, on sait qu'il faut conserver la compétence technique interne : d'où la mise en place de filières « d'experts » (c'est-à-dire que la promotion se fait sur des critères de rayonnement scientifique et non pas sur des critères de management) ; c'est pour nourrir cette filière « expert » que l'on retrouve l'intérêt fort de la formation par la recherche.
- Quelles compétences pour un expert, un senior expert, un executive expert : du réseau (du relationnel dans le monde scientifique), de l'aptitude au management d'autres experts, une vision trans-domaines ?

■ **Richard Epenoy, Ingénieur dans le service Manœuvres Orbitales, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)**

Ces remarques sont personnelles et sont simplement le fruit de mon expérience dans le domaine spatial. Il faut donc se garder de les prendre au pied de la lettre.

Le salaire d'embauche d'un docteur est en général du même niveau que celui d'un ingénieur ayant fait une école du groupe 1 (Sup'aéro, École des Mines, Centrale, etc.). Il ne « compense » donc pas (au niveau du salaire) les trois ou quatre années passées en thèse.

Les avantages d'un docteur résident dans sa capacité d'analyse des problèmes, sa capacité à modéliser un phénomène physique sous forme mathématique et sa capacité à développer une méthode de résolution plus « générique » et générale qu'un ingénieur lambda, c'est à dire moins dépendante des spécificités du problème à traiter. L'ingénieur part souvent du problème pour développer sa méthode alors qu'un docteur va formaliser les choses dans un cadre plus général avant de revenir au problème à traiter.

Pour qu'un docteur puisse mettre en œuvre les capacités ci-dessus, il faut qu'il intervienne suffisamment tôt dans la vie d'un projet (idéalement dès la phase zéro), afin de participer à la modélisation des choses et d'avoir le temps matériel de développer une méthode adaptée et/ou de lancer des contrats de R&D avec des laboratoires extérieurs. En pratique, ce n'est pas toujours le cas, les contraintes de délai sont telles que l'on fait « avec les moyens du bord ». Le docteur peut alors se sentir frustré de ne pas pouvoir faire mieux faute de temps.

C'est donc par des organismes publics ou assimilés (CNES, ONERA, CEA, etc.) que l'utilisation du docteur sera la meilleure. C'est également dans ce type d'organisme que la R&D est la plus développée. Le docteur pourra donc être chargé du suivi d'un contrat de recherche. Dans une entreprise privée, la gestion des délais et des coûts empêche souvent de développer des méthodes fines et la R&D est souvent difficile à justifier sauf si elle est financée par un maître d'œuvre.

■ **Claude Guet, Directeur délégué à l'international, et Bruno Scheurer, Chef de service, Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)**

1. Les acquis du diplôme

Le diplôme de doctorat concrétise 3 ans de formation à la démarche scientifique et à la recherche, qui ont débouché sur un travail original.

A ce titre, il démontre et garantit plusieurs acquis qui dépassent largement le strict cadre des mathématiques :

- capacités d'analyse et de synthèse, face à un problème nouveau,

- organisation, autonomie et créativité,
- capacité à présenter clairement ses idées et ses raisonnements, par l’écrit et par l’oral.

La recherche en mathématiques appliquées contribue largement à l’apprentissage concret de plusieurs pratiques et techniques d’un usage courant dans le monde industriel du calcul scientifique :

- démarche multidisciplinaire transverse à la physique, la mécanique, la biologie, aux mathématiques, à l’informatique, etc.
- modélisation d’un problème ou système complexe,
- assemblage souple de techniques et méthodes de résolution,
- démonstration par la théorie et par la simulation numérique,
- souci de l’application et du résultat.

2. L’adéquation aux besoins des industries, des organismes et des services

Les industriels, les organismes (CEA, IFP...) et les sociétés de services pratiquent couramment la simulation numérique pour comprendre et prédire, concevoir et optimiser. C’est un gage pour l’innovation et la compétition économique.

Le CEA/DAM a toujours apprécié et recruté des docteurs en mathématiques appliquées, notamment dans les unités en charge de la simulation numérique.

Les compétences des docteurs en mathématiques appliquées permettent : de mener une R&D pour la modélisation et le développement de logiciels en calcul scientifique ; de participer à des projets débouchant sur des logiciels parfaitement adaptés aux besoins, techniquement innovants, réalisés dans des délais impartis ; d’évoluer ou de s’adapter rapidement à des nouveaux domaines d’application.

Les compétences acquises au cours d’un doctorat en mathématiques appliquées dépassent souvent le strict cadre des mathématiques et concernent également :

- la physique ou la mécanique, nécessaires lors de la modélisation,
- l’informatique scientifique et le génie logiciel, nécessaires lors de la mise au point d’un logiciel de calcul pour tester et utiliser les méthodes numériques.

Le plus du doctorat de mathématiques appliquées réside dans l’apprentissage effectif de toutes ces compétences.

3. Recommandations pour des initiatives futures

Le « désenchantement » pour les études scientifiques et le doctorat est bien connu. Il y a d’une part un problème de demande et d’autre part un problème d’offre proposée par les entreprises et les organismes.

Nous faisons ci-dessous 3 recommandations :

3.1. Faire connaître pour relancer la demande

- Faire connaître le « métier » des mathématiques appliquées et ses débouchés, auprès des étudiants, des lycéens. Cela passe par des forums, des plaquettes, des livres... Plusieurs initiatives ont déjà été prises et il est souhaitable de les poursuivre, y compris au niveau européen.
- Montrer et organiser les passerelles entre disciplines utilisant les mathématiques appliquées.

3.2. Structurer l'offre

- Relancer les thèses en proposant des stages (M1 ou M2) pour inciter à poursuivre par une thèse.
- Susciter les stages par des présentations et des sites web.
- Améliorer la « visibilité » des collaborations et partenariat entre les universités et les entreprises, les organismes.
- Montrer la transversalité mathématiques appliquées - informatique scientifique - calcul à haute performance.
- Renforcer le montant des bourses de thèse.
- Montrer les débouchés à l'issue de la thèse.

3.3. Elargir le périmètre

- Montrer les besoins et les perspectives en matière de Calcul à Haute Performance.
- Le développement et la maîtrise des nouvelles générations de logiciels scientifiques adaptés aux super calculateurs parallèles (présents et à venir) nécessitent encore plus la présence de jeunes mathématiciens au sein des entreprises et organismes.
- Cela passe par une réflexion commune sur le contenu des enseignements et de la formation continue (atelier, école d'été). Il s'agit d'articuler encore mieux la théorie et la pratique des mathématiques appliquées avec l'informatique scientifique, dans un contexte d'évolution très rapide des matériels et logiciels de base.

■ Erick Lansard¹, Directeur de la Recherche, Thales Alenia Space

Thales Alenia Space est une société « high tech » qui recrute ses collaborateurs dans les grandes écoles, les universités, les filières master pro - master recherche, des gens qui sont passés par la recherche, et des doctorants.

Ce sont les départements recherche, R&D et les avant-projets qui recrutent les plus gros effectifs d'ingénieurs et docteurs – 1/3 des effectifs a une thèse seule ou la double formation – ; ils sont composés d'ingénieurs et de docteurs, avec une préférence pour la double formation. Nous attendons d'eux de faire l'interface

1. a participé à la table Ronde

entre le monde académique et le monde industriel. Ceux qui ont une thèse et qui ont « pratiqué » les laboratoires académiques sont bien armés pour cet objectif. C'est une condition nécessaire mais pas suffisante. Certains chefs de service encadrent des équipes de recherche sans avoir fait de thèse. Certains ont une formation plus mathématique que d'autres qui sont des technologues : les parcours sont extrêmement variés.

Dans d'autres départements qui ne sont pas nécessairement des départements de Recherche, je pense par exemple à ceux qui sont en rapport avec l'électromagnétisme et les calculs d'antennes, on demande quand même une expertise en modélisation, simulation, compréhension mathématique, etc.

Jusqu'à l'an dernier, le recrutement chez Thales était très bloqué. Puis, quand les postes se sont ouverts, j'ai eu la chance d'avoir deux docteurs-ingénieurs sur vingt recrutements pour la compagnie. Ainsi, mon dernier recrutement est un ancien élève de Centrale Paris qui a fait une thèse.

D'un point de vue statistique, 30% des effectifs de certains départements sont docteurs ; ces docteurs représentent 10 % des effectifs globaux (deux fois plus que notre concurrent Astrium) ; les 90% restants sont des ingénieurs des grandes écoles. Cela étant, Thales Alenia Space est une entreprise de « high tech » avec beaucoup de partenariats étroits – en particulier l'établissement de Cannes est en relation étroite avec l'Inria, l'Observatoire de la Côte d'Azur et avec Sophia Antipolis ; de même, le centre de Toulouse a des liens importants avec son environnement de laboratoires comme le LAAS-CNRS et l'Université Paul Sabatier.

Mon département Recherche a aidé les « Industrial-Units » à trouver des candidats pour les postes recherche en s'appuyant sur son réseau ; nous n'avons pas hésité à recruter des docteurs. Je souligne que ce qui compte n'est pas d'avoir une thèse ou pas, ce sont le profil et les compétences du candidat ; en outre, il faut compter avec le facteur chance : un candidat disponible pendant les trois mois où l'on ouvre les vannes de recrutement (réciproquement, nous avons aussi été confrontés à la situation de manque de candidats, y compris pour les postes en R&D). Dans les unités de R&D on peut attendre car on n'est pas toujours à trois mois près ; en revanche, dans les Unités de production (Business Unit), si elle ne trouve pas de suite, l'entreprise est prête à recruter des gens un peu moins performants à cause des contraintes de planning.

La R&D et les avant-projets phase 0 ou A « en amont » demandent des expertises métiers, par exemple en traitement d'images pour concevoir les futurs satellites « imagerie », ou en télécom pour concevoir les futurs satellites « télécoms », pour répondre aux questions de numérisation, de technologies optiques à bord de satellites, etc. Pour des problématiques particulières nous avons développé de

nombreuses relations de partenariat, voire des labos communs, avec des équipes académiques.

Les profils des ingénieurs « recherche » ne sont pas forcément les mêmes qu'à la Production ou à l'Intégration. C'est peut-être différent dans d'autres entreprises : j'ai en tête quelques exemples de recrutement au CNES ou à l'ESA (Agence Spatiale Européenne) et chez des concurrents. Ceci dit, ma vision est marginale dans la compagnie : aujourd'hui on recrute beaucoup pour les nouveaux programmes, et les besoins ne sont pas à la R&D mais plutôt à la production : pour les problèmes d'ingénierie, ce sont les grandes écoles généralistes qui constituent clairement le vivier n° 1. Néanmoins, contrairement à il y a deux ans, cette année a été favorable à la R&D ; le phénomène est donc relativement cyclique.

Mon département compte relativement peu d'ingénieurs ; chacun est quasiment un expert de son domaine et donc doit connaître ce qui se fait de mieux, en Europe et dans le monde, dans les laboratoires de son domaine (sinon, il n'est pas à sa place). Mes équipes de recherche ont pour mission de préparer le futur pour la compagnie, aussi bien en ce qui concerne les instruments optiques et radars du futur que les plateformes, les satellites, et les futurs systèmes de télécommunications et de navigation. Quand un poste s'ouvre, on définit précisément le profil et ensuite on fait jouer le bouche à oreille. On a même recruté grâce à un réseau d'excellence européen (une de mes équipes « antenne » constitue le seul laboratoire industriel reconnu dans le réseau d'expertise européen).

Un docteur issu de l'Inria est aujourd'hui Chef de service. De fait, lorsque j'étais responsable de l'architecture des systèmes d'observation, j'avais des activités de traitement d'images avec d'anciens de l'Inria. Par ailleurs, Thales a des partenariats prolongés avec des grands organismes avec lesquels il signe des accords cadre. Ainsi il existe un accord cadre Thales-CNRS, Thales-ONERA ; un comité de pilotage se réunit tous les six mois ; j'y représente Thales Alenia Space.

L'entreprise préfère recruter un docteur pour certaines équipes mais emploie majoritairement des ingénieurs. On recrute un docteur pour son expérience et sa technicité mais on va lui demander de prendre du recul et de ne pas fonctionner comme pendant son travail de thèse. Il travaillera davantage en équipe et devra rapidement apprendre beaucoup. Les chercheurs sont des gens très pointus qui savent travailler avec des universitaires, qui sauront surprendre dans la façon dont ils vont résoudre un problème. Les qualités personnelles recherchées telles que l'ouverture, la curiosité d'esprit et le dynamisme sont également très importantes. Contrairement à un ingénieur, un collaborateur titulaire d'un doctorat a été confronté aux meilleurs spécialistes de son domaine qui ont évalué et critiqué ses publications et ses présentations. Les chercheurs qui s'intègrent

et s'adaptent sont de très bons analystes, de bons créatifs. A contrario, pour répondre au challenge industriel, le docteur peut avoir des difficultés à faire un travail sans forcément viser l'excellence, mais en respectant des contraintes de délai très fortes.

Un employeur « bête et méchant » qui voit arriver un docteur passé uniquement par l'université craindra qu'il soit un spécialiste de la « vis de 12 » incapable de voir l'automobile... donc un hyper spécialiste, un ténor de son domaine, mais inadaptable (ceci est bien sûr une caricature pour bien me faire comprendre). Le docteur doit donc démontrer qu'il est capable d'avoir une vision de synthèse, de s'adapter, d'aller vite et de fournir en temps et en heure ce que l'on attend de lui. Inversement, les ingénieurs ont un gros défaut : ils sont tout à fait capables à 90 % de réinventer l'eau tiède alors qu'ils devraient prendre le temps de réaliser une bibliographie correcte et de se rendre compte que ce qu'on leur a demandé a déjà été fait par d'autres.

L'idéal est donc d'avoir la double formation, avec en plus des qualités humaines et relationnelles, et du dynamisme.

Aujourd'hui je participe à plusieurs tables rondes, je suis membre de l'École Doctorale de Toulouse en Sciences de l'Univers, Astronomie et Technique Spatiales. Je participe également aux doctoriales de l'X, du CNES. Je constate que les étudiants sont de plus en plus formés aux entretiens pour montrer leur valeur sans arrogance. Cette part de formation durant la thèse a beaucoup apporté. Les étudiants sont ainsi capables d'expliquer leur thèse, de mettre en valeur ce qu'ils ont appris scientifiquement ou techniquement, et les qualités personnelles qu'ils ont pu développer. Tout cela est apprécié par un employeur. Les docteurs ne sont pas vraiment mieux armés que les ingénieurs sur le long terme. La première année représente une sorte de sas de décompression pour s'adapter à l'industrie.

En termes d'évolution de carrière, un ingénieur confirmé se voit confier, au fil du temps, un rôle de Manager (Chef de projet, encadrement d'équipe). La question du management ne s'apprend pas. A titre d'exemple, je pense à un très bon mathématicien (École polytechnique + thèse) : il est très bon mais ce n'est pas un manager et ne le sera jamais mais, chez Thales, la règle n'est pas : manager sinon rien ! Nous souhaitons valoriser l'expertise technique et la filière technique. Ainsi, dans mon département, les ingénieurs de recherche se retrouvent à la tête de petites équipes et ont deux ou trois stagiaires de plus qu'un ingénieur normal. Ils encadrent des thésards, mènent un ou plusieurs petits contrats de collaborations, parfois aussi des études externes financées : ils se retrouvent donc en position de Chef de projet, rendent des comptes et managent des intervenants de plusieurs pays européens.

Globalement, Thales a progressé dans le bon sens, c'est-à-dire vers une reconnaissance croissante de l'intérêt, de la pertinence des thésards. Par contre, on considère encore trop qu'un doctorant est un étudiant, et trois années de thèse ne sont pas encore reconnues comme une expérience professionnelle. Nous avons donc là une marge de progression. J'ai réussi après plusieurs années à faire en sorte que le niveau de recrutement reconnaisse la spécificité des thèses. Même pour les recrutements récents j'ai dû faire revoir à la hausse les salaires de premières offres faites par le DRH. A priori, je conteste quand on vient me dire qu'un docteur et un ingénieur juste sorti de son école ont le même degré de connaissances. Finalement, le docteur ne sera pas pénalisé par sa thèse ; on module par le degré d'expertise ou de technicité, de la compétence, de la personnalité. Dans le cadre de tables rondes, j'ai pu constater que nous sommes quelques-uns à reconnaître la valeur et la spécificité du doctorat (ainsi, certains reconnaissent à un docteur deux années d'ancienneté), mais la reconnaissance du diplôme de docteur n'est pas rentrée dans les moeurs.

La condition initiale est très importante pour la courbe de carrière car la condition initiale d'embauche se corrige difficilement mais, thèse ou pas, ce sont les compétences industrielles qui seront évaluées comme pour tous les ingénieurs. Si une thèse permet de réaliser un travail remarquable, cette thèse sera d'autant plus appréciée, mais le docteur sera jugé avant tout sur ce qu'il aura produit, sur son comportement. On ne le payera pas trois fois plus que les autres non plus...

Avant le recrutement, le docteur doit savoir défendre sa thèse en se présentant avec confiance et en sachant se valoriser dans ses dossiers de candidature.

La reconnaissance du docteur en France n'est pas gagnée et est moindre que dans les pays anglo-saxons. Il est donc très utile que les écoles doctorales effectuent des démarches pour valoriser le docteur et l'action de la SMAI de lobbying me paraît intéressante.

Beaucoup d'autres actions pourraient être conduites : un recensement (tracking), un suivi des docteurs étrangers qui sont retournés chez eux et qui ont des postes haut-placés. De plus, au même titre qu'il existe des associations d'anciens élèves d'écoles d'ingénieurs, il pourrait y avoir des associations d'anciens thésards².

■ Jean-Michel Lasry, Conseiller du Directeur Général Délégué, Groupe Crédit Agricole

Depuis vingt ans j'ai eu la responsabilité de diriger des équipes de recherche dans le domaine de la Banque à l'ex-Compagnie Bancaire et dans le domaine de la Finance, successivement dans le Groupe Caisse des Dépôts, dans le groupe Paribas,

2. Note de la rédaction : une telle association existe, c'est l'ANDès (<http://www.andes.asso.fr>)

dans le groupe Crédit Agricole.

Dans tous les cas les docteurs en mathématiques représentaient une fraction substantielle des équipes et leur rôle était essentiel pour soutenir l'effort d'innovation. L'innovation elle-même est évidemment nécessaire lorsque la concurrence internationale est serrée, ce qui est particulièrement le cas en finance de marché.

Outre cette expérience directe, j'ai pu observer d'autres métiers de la finance de très près, et je peux témoigner à nouveau que les docteurs jouent un rôle essentiel dans la partie la plus concurrentielle de la gestion de fonds : une bonne partie des hedge funds par exemple (il y en a plus de six mille dans le monde) ne fonctionneraient pas sans les nombreux docteurs en mathématiques (et en physique) qu'ils ont recrutés. Il y a plus de 150 docteurs dans le hedge fund « Renaissance » dont probablement une moitié de mathématiciens.

■ Ali Rezgui, Directeur du Département Simulation et modélisation numériques, Michelin

Le service compte plusieurs dizaines de cadres ayant une formation initiale se partageant à égalité entre écoles d'ingénieurs et universités. Leur spécialité d'origine se répartit entre 40% Mathématiques, 40% Mécanique Numérique et 20% Informatique. Il y a de l'ordre de six docteurs en mathématiques et nous continuerons à en embaucher pour atteindre une dizaine.

La formation des docteurs nous convient en général. Bien sûr, la modélisation du pneu est très complexe (grandes déformations, contacts, matériaux très hétérogènes, lois de comportement non classiques...) et les nouveaux embauchés ont besoin d'une formation complémentaire donnée en interne car trop spécialisée pour être enseignée dans les études jusqu'à bac +5.

Nous tenons absolument à avoir des équipes pluridisciplinaires donc il faut que les jeunes embauchés soient capables de dialoguer avec des collègues d'autres disciplines et ne soient pas trop spécialisés. Je regrette parfois leur manque de curiosité pour s'informer dans les domaines différents de leur stricte spécialité. Les atouts que nous cherchons chez un docteur en mathématiques sont principalement ses capacités d'abstraction, son sens de l'analyse profonde, sa capacité à créer des nouvelles méthodes numériques réellement innovantes et sa capacité à dialoguer avec le monde industriel et le monde académique pour co-encadrer des travaux respectant les intérêts des deux parties.

Je note aussi un sens pratique insuffisant pour appréhender et comprendre les phénomènes « qui se cachent sous les équations ». Dans les DEA et les DESS, il serait utile que les universités dégagent plus de temps pour inviter des intervenants extérieurs à présenter des applications concrètes des mathématiques. Il

ne s'agit pas de se substituer aux enseignants mais de monter les liens entre les mathématiques que l'on apprend et ce qu'on en fait dans l'industrie. Des cours même sommaires en physique numérique pourraient aider aussi.

Nous sommes très satisfaits du fonctionnement des bourses CIFRE et nous préférons que les doctorants travaillent au sein des équipes universitaires s'ils sont bien encadrés (plutôt que dans l'entreprise) mais ils doivent être suivis régulièrement (environ une fois par mois) par un ingénieur de Michelin.

Dans le service il y a quelques ingénieurs étrangers (allemands, américains...). Par comparaison avec eux, on trouve les français mieux préparés à l'abstraction mais manquant parfois de sens pratique.

■ **Etienne de Rocquigny, Chercheur-Senior EDF R&D, actuellement Directeur Adjoint de la Recherche, École Centrale Paris**

EDF (et plus généralement le secteur énergétique) est de longue date confronté à des problématiques impliquant les mathématiques appliquées. Sans que la liste soit exhaustive, on peut mentionner les questions suivantes :

- dimensionnement des centrales et réseaux de production (mobilisant la résolution de modèles en sciences de l'ingénieur) ;
- d'optimisation de l'exploitation du Parc (mobilisant les techniques traditionnelles d'optimisation continue ou discrète, mais aussi pour EDF, l'optimisation en avenir incertain via la programmation dynamique stochastique) ;
- de surveillance, diagnostic et fiabilité (traitement de signal, modèles de fiabilité classique ou bayésienne, modèles de sûreté de fonctionnement) ;
- de prévision des aléas (consommation d'électricité, remplissage des barrages, et plus récemment aléas financiers des marchés de l'énergie) ;
- d'analyse des données client (profil de consommateurs en lien avec le marketing et la prévision de la demande ou de nouveaux besoins).

Un accent important a été mis dans les années 1990 - 2000 sur deux grands domaines : la modélisation numérique en sciences de l'ingénieur d'une part (en particulier les éléments finis), dans un contexte de puissance du calcul scientifique, et les mathématiques financières d'autre part (en lien direct avec l'ouverture des marchés énergétiques pour EDF, évidemment). Il est très courant de voir des candidatures de jeunes mathématiciens (avec master ou parfois doctorat) sur ces deux thématiques : elles ont représenté des besoins importants, et continuent d'attirer, notamment la finance, les meilleurs candidats hélas moins disponibles pour d'autres thématiques.

D'autres problématiques, sans être foncièrement nouvelles, ont pris une ampleur majeure ces dernières années. Sous la thématique générale « mathématiques des

risques, incertitudes et simulation », elles concernent :

- la maîtrise des incertitudes, variabilités, erreurs, imprécisions dans la simulation numérique, qui vient remplacer une part de plus en plus importante des essais physiques ;
- la modélisation des risques industriels à l’interface entre modèles physiques et fiabilistes dans un contexte de vieillissement des installations et de recherche de marges accrues d’exploitation ;
- l’optimisation robuste, en avenir incertain, des actifs industriels couplant contraintes physiques, économiques et aléas (choix d’exploitation ou de maintenance face aux aléas de production, de consommation, ou environnementaux) ;
- la compréhension phénoménologique des impacts environnementaux et sanitaires, au carrefour entre modélisations biologiques ou physiques, estimation statistique, analyse de données et modélisation de la complexité (dans un contexte de sensibilité accrue de la société et de multiplication des données et mesures disponibles).

Quelques caractéristiques communes à ces problématiques peuvent être dégagées :

- une *interface-clé* entre *l’analyse fonctionnelle* « déterministe » (exploration de vastes domaines de fonctionnement), *l’optimisation* et les *mathématiques de l’incertain* (en particulier par les probabilités et statistiques via les plans d’expérience et la simulation, mais aussi, plus récemment par des cadres extraproabilistes comme les possibilités ou Dempster-Shafer ; ce à quoi s’ajoutent les mathématiques de la sûreté de fonctionnement : chaînes de Markov, systèmes dynamiques, etc.) ;
- des problèmes *souvent inverses* (les données ne portant pas sur les entrées des modèles, et les codes numériques devant être de plus en plus calibrés / qualifiés) *généralement très mal posés* (trop peu de données par rapport à la variabilité sous-jacente et à la sophistication croissante des modèles numériques, donc le nombre de variables) ;
- dans le domaine *statistique* et probabiliste, de *petits échantillons*, et le besoin d’estimer des probabilités *rares* ;
- un besoin de *contrôle robuste des résultats* numériques : les contextes réglementaires de la sûreté ou de la responsabilité environnementale tendent à exiger d’assurer non seulement la « convergence asymptotique » mais encore des vraies *majorations de l’erreur*, même à nombre d’étapes itératives ou tailles d’échantillons finies ;
- une situation souvent à *la frontière* des capacités de simulation dans le *calcul haute performance*.

Un point central pour avancer sur ces difficiles questions : la nécessité d’une *interaction profonde entre mathématiques et sciences de l’ingénieur et de l’envi-*

ronnement, pour plusieurs raisons essentielles :

- les modèles physiques sont souvent en pleine évolution pour mieux s'adapter aux exigences et données, ou parfois sont complètement exploratoires (certaines questions environnementales) : ce sont rarement des fonctionnelles mathématiques figées ;
- les « clients » des travaux sont généralement ingénieurs ou physiciens ;
- la compréhension fine des contraintes physiques réelles est la clé pour assurer l'applicabilité des modèles mathématiques (par exemple, simplifications par ordres de grandeur, choix de lois probabilistes vraisemblables, etc.) et guider l'intuition de résolution ;
- il est généralement très bénéfique de simplifier le modèle physique déterministe, en l'adaptant au niveau de données disponibles et pour permettre de faire une exploration accrue des variabilités et incertitudes, voire optimiser ;
- la mobilisation de l'expertise physique est vitale pour régulariser les problèmes : si les données sont généralement insuffisantes pour les problèmes inverses, l'expertise physique est souvent très riche (cf. cadres bayésiens) ; l'expertise physique permet aussi d'argumenter la convergence : si les conditions des théorèmes classiques de convergence sont souvent peu applicables, en revanche des régularités physiques - qui sont in fine utilisées intuitivement par les décideurs ou autorités de contrôle - méritent d'être mieux utilisées : la monotonie, les bornes physiques, l'analogie de fonctionnement, etc.
- outre l'expertise physique, la valorisation des données, intégrant un regard critique sur leur valeur, est essentielle.

Ces caractéristiques distinguent sans doute assez nettement ces défis du domaine des mathématiques financières ou bien de l'analyse numérique des équations physiques « bien posées » (par exemple, les éléments finis en mécanique des solides) où l'approche paraît plus naturellement « mathématicienne disciplinaire » (encore qu'elle y ait probablement ses limites).

Ces nouveaux besoins ne représenteront sans doute pas le même volume de recrutement que les mathématiques financières par exemple : ils sont néanmoins assez originaux et porteurs de valeur ajoutée pour EDF et de nombreuses autres entreprises et organismes de recherche appliquée réunis désormais dans plusieurs cadres (l'Institut de Maîtrise des Risques notamment, le pôle de compétitivité System@tic, etc.). Par ailleurs, ils sont probablement un *point de départ très formateur pour de futures carrières techniques* pour les mathématiciens, qui y trouveront un ancrage sur des *enjeux d'innovation stratégique pour l'industrie*.

Notons enfin que la mise en place de moyens de calcul scientifique avancés est également une opportunité et une tendance forte en la matière : le "Department of Energy" américain inclut régulièrement les questions d'incertitudes ou d'envi-

ronnement comme un enjeu et une opportunité forte pour la simulation, et EDF a acquis récemment de grandes machines (Blue Gene etc.) : c'est également une opportunité forte pour de jeunes mathématiciens venant travailler sur ces questions.

Sur ces besoins nouveaux, EDF R&D s'efforce depuis plusieurs années, non sans mal, de lancer des thèses avec des partenaires académiques, et souvent en lien avec d'autres industriels (CEA, EADS, Total...). La réalisation d'une thèse de doctorat à mi-chemin entre l'entreprise et l'université (par le biais d'une convention CIFRE ou parfois simplement via un contrat auprès de l'université qui elle-même rémunère le thésard) est pour EDF R&D un moyen très favorable pour, d'une part réaliser de véritables avancées en recherche appliquée qui soient proches des contraintes industrielles réelles d'EDF et, d'autre part, former et sélectionner de futurs candidats à l'embauche.

Sur le point (1), il s'agit bien entendu de travailler sur un lien fort entre la recherche et l'industrie, en dépassant certains raccourcis selon lesquels le besoin industriel n'est que celui d'une application « peu rigoureuse » de mathématiques connues, ou réciproquement que les travaux académiques sont inapplicables.

L'expérience industrielle, en particulier sur la thématique nouvelle « incertitudes, risques, simulation » montre que les besoins industriels génèrent de véritables questions mathématiques qui s'avèrent délicates dans la mesure où l'on intègre des contraintes réelles : par exemple ce sont les contraintes spécifiques des applications de la sûreté nucléaire, où l'on s'attache à des risques rares et des systèmes physiques dont la régularité n'est pas assurée, qui donne au problème très classique en probabilités de l'estimation de quantiles une difficulté nouvelle. On pourra trouver un autre exemple au sein du « concours mathématique » lancé par EDF en 2006 sur internet : Problème ouvert d'intérêt industriel « Statistiques, mesures et calcul scientifique inverse », www.jds2006.fr/prob-ouverts.php, 38èmes Journ. Franc. de Stat., Clamart.

Sur le point (2), il paraît probablement plus facile a priori de réaliser un doctorat en commun que d'embaucher directement un titulaire de doctorat en mathématiques. Outre le fait que l'on ait eu le loisir d'apprécier les qualités de recherche appliquée du candidat pendant la durée de la thèse, et probablement de le former aux modes de fonctionnement, on peut citer que les aléas - croissants - de l'ouverture des « tickets » d'embauche dans les grandes entreprises sont plus favorablement couverts par la présence d'un thésard en « pré-candidature » pendant un certain temps.

Une des difficultés majeures que nous rencontrons ces derniers temps est la grande rareté et souvent, malheureusement, le faible niveau scientifique des can-

didats à la réalisation d'un doctorat dans nos problématiques. Peut-être est-il utile de rappeler à ce niveau les besoins spécifiques qui font la qualité (et la rareté !) d'un candidat mathématicien pour ces besoins récents, au-delà des caractéristiques standard de recrutement en entreprise (motivation pour les finalités de l'entreprise, qualités relationnelles, autonomie générale, capacités de rédaction et d'exposé, possibilités d'évolution, etc.) :

- autonomie de travail sous environnements informatiques hétérogènes ;
- capacité à interagir scientifiquement avec le physicien, l'ingénieur ou l'expert métier ;
- créativité vis-à-vis de la « vraie » question posée.

Le premier point s'avère généralement sans problèmes, même s'il surprend parfois de jeunes candidats : à EDF, le calcul a une longue histoire, et il faut s'adapter rapidement à tous les standards (du Fortran aux langages les plus évolués, Unix, Linux, Windows...), et les encadrants comptent sur une rapide prise d'autonomie. Quant aux deux autres points, ce sont les plus délicats : ils sont essentiels pour les raisons indiquées ci-dessus. C'est là très certainement qu'une ouverture de la formation des jeunes mathématiciens aux sciences de l'ingénieur paraît essentielle, idéalement dès le début de leur cursus, sinon a minima durant leur thèse.

■ Didier Roux, Directeur de la R&D et de l'Innovation, Vice-President R&D and Innovation, Saint-Gobain

Les chercheurs industriels doivent avoir une formation par la recherche.

Une spécificité française historique est de recruter comme chercheurs dans le monde industriel des ingénieurs sortant d'une grande école. Nous pensons à Saint-Gobain que ce modèle n'est plus adapté aux évolutions modernes.

En effet, seule la France suit cette voie alors que tous les autres pays du monde (Etats-Unis d'Amérique, Allemagne, Royaume Unis, Japon, Chine...) recrutent à ce niveau des chercheurs ayant un diplôme de doctorat (PhD) correspondant le plus souvent à 3 à 5 ans de travail de recherche dans un laboratoire académique.

Il y a des raisons profondes à cet état de fait, la principale est que la formation par la recherche permet à un jeune professionnel³ de se confronter de façon relativement autonome à une problématique, le plus souvent, très compétitive dans un environnement international. Il ne fait aucun doute que les années passées à traiter d'un problème spécifique mais en allant au plus profond de la compréhension et en essayant d'en synthétiser les acquis dans des articles (jugés par des pairs

3. Si le terme étudiant est encore employé pour des personnes en thèse il est certainement ambigu : car si le doctorat est un grade universitaire, le travail qui y conduit doit être considéré comme un premier emploi dans un environnement professionnel.

sans tenir compte de la jeunesse de l'auteur) et dans un document (thèse) résumant ces années de travail est extrêmement formateur. Embauché dans un centre de recherche industriel, il lui faudra attendre quelques années avant de retrouver ce niveau de responsabilité mais l'ayant vécu avant, le chercheur retrouvera les mécanismes conduisant au succès.

S'il peut être considéré comme un travail d'hyper spécialiste, le travail de recherche est certes focalisé sur un domaine précis, mais est aussi une ouverture à qui sait profiter de l'environnement local (un laboratoire de haut niveau), d'une ouverture internationale (les congrès) et même de relations professionnelles exceptionnelles (collaboration avec des collègues étrangers).

Nous considérons à Saint-Gobain que le doctorat est une formation indispensable pour intégrer l'un de nos centres de recherche transversaux en Europe, aux USA ou en Asie. La France, de ce point de vue, bénéficie d'une qualité de formation certaine et cet atout doit être pleinement utilisé dans une compétition internationale.

■ Bruno Stoufflet, Directeur de la Prospective et de la Stratégie Scientifique, Dassault Aviation

J'ai noté que quatre points étaient mis en avant :

1. Valorisation des diplômes de docteur en mathématiques appliquées dans l'industrie.
2. Acquis techniques et humains garantis (?) par une thèse en mathématiques appliquées.
3. Perception d'un sentiment (non unanime) de non-adéquation des formations doctorales à l'industrie.
4. Collecte d'expériences industrielles sur la valeur ajoutée des doctorats de mathématiques appliquées.

A propos des points 1) et 2), il est reconnu très largement que les entreprises ont besoin de généralistes et de spécialistes, même si un ingénieur peut passer d'une filière à l'autre au cours de sa carrière. A notre sens, il faut distinguer :

- les points techniques liés au métier, points qui ne seront enseignés que de manière incomplète à l'université, même si de nombreux efforts sont faits pour adapter le cursus universitaire au besoin de l'entreprise ;
- les bagages techniques du type mathématiques appliquées, qui sont d'une utilité courante (indépendamment de l'application visée, qui peut varier au cours de la carrière) et permettent de bien formuler un problème ainsi que de le résoudre (parfois). Ces connaissances ne sont pas dispensées par les entreprises

car ce n'est pas le lieu (la formation professionnelle permet de compléter et pour certains, peu nombreux, d'offrir une seconde chance de s'orienter vers la recherche).

On peut remarquer que les responsables des grands codes CFD (chez Airbus, chez Dassault Aviation...) sont tous des universitaires docteurs en mathématiques appliquées.

Toute entreprise de pointe a besoin de docteurs en mathématiques appliquées dans ses équipes. Les échanges entre ces docteurs et les autres ingénieurs doivent être quotidiens pour que les différentes cultures se complètent. Il ne faut pas considérer ces docteurs comme des « savants fous » que l'on embaucherait pour résoudre un problème très pointu sans communiquer avec les autres ingénieurs.

Concernant le point 4), nous pouvons mentionner que les thésards que nous avons accueillis dans nos équipes ces dernières années, travaillent sur la simulation numérique des phénomènes acoustiques, sur le développement de modèles browniens, et sur CoQ (*Cost of Quality*). Les deux premières thèses illustrent l'apport en matière d'amélioration de la modélisation → prédiction → qualité en conception et innovation. L'innovation se fait dans le processus outillé d'abord, puis rapidement dans le produit (cf. succès de l'acoustique interne Falcon 7X ou des prédictions du bang sonique d'un avion supersonique).

C'est l'essence d'une thèse appliquée que de s'attaquer à des problèmes ouverts utiles pour l'industriel, c'est donc un moyen essentiel au service d'une politique de compétitivité par l'innovation. Puisque, d'une part, les mathématiques appliquées sont le point de passage obligé pour la modélisation et l'analyse (incluant l'optimisation) à partir du modèle, et puisque, d'autre part, les entreprises, le patronat et les hommes politiques ne parlent que de compétitivité par l'innovation d'autre part (cf. Pôles de compétitivité), on peut s'étonner du point 3). Pour la thèse sur des modèles browniens, on pourrait dire qu'elle peut illustrer 3) à sa façon, dans la mesure où le thésard et le milieu académique qui l'a encadré ont poursuivi au moins autant des buts académiques propres que les buts applicatifs de l'industriel, même si il ne faut pas perdre de vue que la mise en place d'un cadre fondamental est le préalable à la résolution sérieuse des problèmes ouverts appliqués qu'on a affichés. La non adéquation perçue en 3) peut résulter :

- de la non adéquation des échelles de temps entre industrie et recherche : R.O.I. (*Return On Investment*) en moins de deux ans d'un côté, 3 ans de thèse est l'unité de compte de l'autre, 10 ans en moyenne entre la première maquette et l'utilisation opérationnelle ;
- selon les équipes de recherche et les individus (cela n'a pas valeur générale heureusement), une non adéquation des cultures et des échelles de valeur.

Pour les thèses sur CoQ (*Cost of Quality*), le retour direct pour l'entreprise est pour l'instant limité.

Il est nécessaire de mentionner également que la capitalisation de savoir dans des logiciels de conception/analyse (CATIA, Matlab...) ne diminue pas le besoin en docteurs cultivés scientifiquement, car une utilisation productive du logiciel nécessite de posséder la culture scientifique sous-jacente au domaine de calcul.

■ **Yves Tourbier, Responsable du groupe de recherche Optimisation et méthodes numériques, Direction de la Recherche, Renault**

Je relève quelques points positifs pour un docteur en mathématiques dans l'industrie :

- on peut agir en transversal pour presque tous les métiers car tout le monde utilise les maths ;
- nous sommes à une époque où on formalise tout, surtout les processus, la rigueur mathématique est appréciée ;
- l'informatique prend de plus en plus d'importance en tant qu'outil, une culture mathématique permet d'intégrer l'informatique facilement ;
- le calcul se démocratise, tout le monde l'utilise mais de moins en moins de personnes le maîtrisent. Le calcul était il y a 15 ans un métier de spécialiste. Le besoin en spécialistes reste très fort, cela donnera des carrières très particulières, plus difficiles à gérer, mais qui devraient être rémunératrices ;
- le niveau doctorat deviendra à mon avis un prérequis pour atteindre des postes élevés ;

et des points négatifs :

- les métiers techniques sont très forts et organisés en corporations, il est difficile de s'y intégrer quand on ne sort pas de la bonne école ;
- un jeune qui n'a fait que des maths part avec un handicap car il doit d'abord apprendre un autre métier pour faire ses preuves (en France on considère qu'un ingénieur issu d'une grande école a un niveau en math largement supérieur au besoin, les mathématiques sont donc un dû, il faut d'autres connaissances).

■ 3. Témoignages de jeunes docteurs en entreprise ■

Ce chapitre présente des témoignages personnels de jeunes docteurs travaillant dans l'industrie.

■ Annalisa Ambroso, AREVA

Après des études d'ingénieur en Italie qui me vouaient à une insertion directe dans le monde de l'entreprise, j'ai été fascinée par la recherche et les mathématiques appliquées. Je suis donc venue en France, où l'on me donnait la possibilité de préparer un DEA et une thèse dans ce domaine. J'ai enchaîné ensuite avec un post-doc de 2 ans aux Etats-Unis.

Le premier poste en CDI a été un poste d'ingénieur-chercheur au Commissariat à l'Energie Atomique, où j'ai pu travailler dans des domaines qui me passionnent : la modélisation et la simulation utilisées pour améliorer notre connaissance des installations nucléaires. Dans ce poste, l'accent était mis principalement sur l'aspect « recherche ». Il était donc en parfaite continuité avec la formation que j'avais reçue à travers ma thèse. Comme cela arrive souvent, les thématiques que j'ai étudiées au CEA n'étaient pas les mêmes que celles de ma thèse, mais je pense que c'est justement l'atout principal d'une formation par la recherche : la capacité à changer de sujet !

J'ai récemment changé de poste pour aller dans une entreprise. Je travaille à la Direction de la Recherche et Innovation du groupe AREVA. Dans ce travail, ma double formation me permet de dialoguer avec les ingénieurs, pour comprendre leurs problèmes et évaluer l'aide que pourraient apporter les mathématiques, ainsi qu'avec les chercheurs, pour être informée des avancées et pour juger de l'adaptabilité de certaines techniques aux problèmes industriels. Mon poste comprend aussi une partie plus opérationnelle avec l'implication directe dans la gestion de projets innovants au sein du groupe.

Je crois que mon doctorat et mon expérience dans le monde de la recherche ont été des éléments favorables lors de mon embauche. En particulier, je pense que les expériences internationales et le travail en collaboration ont été jugés positivement. La cohabitation d'une expertise pointue dans un domaine des mathématiques, avec la curiosité et l'envie de dialogue avec les autres disciplines était une qualité recherchée.

Je souhaite quand même préciser que mon poste actuel n'est pas un poste de chercheur. Ceci était clair dès le début, pour moi comme pour mon employeur. Cependant, je considère que mon parcours a été valorisé. Le contenu de ma thèse n'a spécialement intéressé ni le CEA ni AREVA. Je trouve que cela est un bon

signe : une thèse n'est pas un système pour s'enfermer dans une expertise, mais une expérience qui ouvre à de nombreuses possibilités.

Au quotidien, j'utilise les capacités acquises lors de ma formation en mathématiques : l'habitude à la rigueur, la capacité de synthèse, la pratique de la communication, mais, surtout, l'habitude d'être confronté à des problèmes qui n'ont pas été résolus. Cette familiarité avec l'inconnu est une grande force pour arriver à travailler dans l'innovation. Les docteurs en mathématiques ont, à mon avis, l'avantage d'avoir en plus l'habitude de questionner le cadre théorique, ou plus généralement méthodologique, dans lequel le problème est posé.

En conclusion, je pense que les docteurs devraient être conscients que leur profil est intéressant aussi pour d'autres raisons que le contenu de leur thèse. Ils doivent donc apprendre à les mettre en valeur, mais aussi, s'attendre à ce que leur travail s'éloigne du cadre qu'ils ont connu.

■ Olivier Bardou, GDF SUEZ

Le plus important, dans une thèse, c'est de la terminer. De fait, le travail de thèse réclame incontestablement une bonne endurance. Et dans mon expérience, cette endurance est également nécessaire dans l'après-thèse pour le docteur qui décide de rejoindre le monde de l'entreprise car la reconnaissance qu'il pourrait attendre de son expérience de recherche est loin d'être immédiate.

A l'issue de ma thèse préparée à l'Inria, quand je rejoins le centre de recherche de Gaz de France, la grille des salaires à l'embauche pour un doctorant est fonction de son diplôme d'ingénieur ou de master, alors qu'un candidat se présentant avec trois ans d'expérience professionnelle voit son salaire d'embauche réévalué en conséquence. Le doctorat n'est donc valorisé ni comme une expérience, ni même comme une formation professionnelle.

Et pourtant, l'innovation et l'expertise sont considérées comme stratégiques pour le développement de l'entreprise. De fait, dans des métiers d'une complexité croissante, il y a aussi une place pour le spécialiste aux côtés du financier, de l'ingénieur généraliste et du manager.

Il faut donc être patient car la reconnaissance ne vient que plus tard. Le docteur doit encore faire la preuve durant son parcours dans l'entreprise des qualités d'innovation et de rigueur qu'il aura su développer au cours de son travail de thèse.

Mais pour ce faire, et sans renier son expertise, il lui faut sortir de la démarche de recherche proprement dite et exploiter ces qualités dans des situations des plus variées. Piloter et donner des perspectives aux équipes qu'il est amené à enca-

drer, assurer le dialogue et le partage de connaissances entre les opérationnels et les experts de l'entreprise, jeter des ponts entre l'industrie et la recherche universitaire sont autant d'exercices dans lesquels le docteur peut apporter une valeur ajoutée indéniable pour peu qu'il ne se cantonne pas au rôle de chercheur auquel on le résume trop souvent.

En ce qui me concerne, après un passage par la fonction de chef de projet d'une équipe d'analystes quantitatifs, j'ai rejoint le département de contrôle des risques de la Direction Financière de GDF SUEZ. En parallèle, j'ai pu conserver des liens forts avec le domaine de la recherche et de l'enseignement grâce à un poste de Professeur associé à l'Université Pierre et Marie Curie. Avec le recul, je considère que de telles opportunités ne m'auraient pas été offertes sans doctorat.

■ Laurent Benoit, GDF SUEZ

Dans un premier temps, je me permets d'apporter quelques petites précisions à ma situation actuelle : je travaille à GDF SUEZ (issu de la fusion récente entre Gaz de France et Suez et qui désormais est totalement séparé d'EDF, voire même le concurrence), à la Direction de la Recherche et de l'Innovation sur le site de St-Denis. Je suis ingénieur de recherche au sein du pôle des gaz liquéfiés et sécurité. Je travaille plus précisément sur la liquéfaction offshore (c'est-à-dire en mer) du gaz naturel.

Il y a donc 11 mois, à la suite de ma thèse sur « la prédiction des instabilités thermo-acoustiques dans les turbines à gaz » et d'un an et demi d'activités d'ingénieur de recherche au sein du laboratoire dans lequel j'étais détaché durant ma thèse (CERFACS à Toulouse), j'ai candidaté à un poste d'ingénieur de recherche à Gaz de France. Au delà du domaine nouveau qu'il abordait (le transport du gaz naturel) le poste initialement visé demeurait dans la droite ligne de mes activités de thèse, puisqu'il s'agissait du développement et de la gestion d'un code de calcul. Cependant au cours des entretiens, un autre poste m'a été proposé consistant à travailler sur un projet concernant une thématique importante du groupe, à savoir, l'étude et le pré-dimensionnement d'une usine offshore de liquéfaction du gaz. Ce type d'installation n'existant pas encore à l'heure actuelle, il s'agissait donc d'intégrer une équipe restreinte débutant sur un projet nouveau. Il est à noter que si la problématique sur laquelle je travaille est une priorité pour le groupe GDF SUEZ, le projet dans lequel je suis impliqué ne constitue qu'une réponse potentielle parmi d'autres et ne bénéficie pas d'un éclairage plus important que d'autres au sein du groupe. Quoi qu'il en soit, ce poste est assez éloigné de mes compétences d'origine puisque mes activités actuelles sont liées à l'étude et à la mise au point de procédés de liquéfaction, au dimensionnement des installations nécessaires, à l'étude du point de vue du danger de la disposition des

différents équipements dans l'usine. Bref, il s'agit d'une étude sur le dimensionnement complet d'une usine de liquéfaction dans un milieu inédit (la mer).

La raison pour laquelle, je pense, ce poste m'a été proposé réside dans le fait que le responsable qui m'a évalué lors de mon dernier entretien a vu une similitude entre mon projet de thèse et le projet proposé : durant ma thèse j'avais été au coeur du développement d'un code de calcul parallèle, de sa naissance jusqu'à son industrialisation ; dans le nouveau projet, les mêmes étapes de développement peu ou prou étaient requises mais appliquées au développement d'une usine de liquéfaction au lieu d'un programme informatique.

Les qualités qui ont été recherchées sont donc principalement :

- l'autonomie et l'indépendance de travail puisque la thématique étant nouvelle, l'aide extérieure est restreinte par nature ;
- l'initiative, puisque le projet débute ;
- l'adaptabilité, être capable de se familiariser vite avec l'ensemble des domaines différents et nécessaires au projet ;
- la curiosité, aussi bien théorique que technique ou économique.

Ces qualités sont donc celles mises en œuvre dans la plupart des thèses lors des phases d'études bibliographique, de développement théorique et finalement d'application des travaux à des cas réalistes.

■ Jonathan Chetboun, Dassault-Aviation

Mon parcours : J'ai débuté mes études en 2000 par 4 années à l'Université de Nice - Sophia Antipolis, où j'ai obtenu un DEUG MIAS (Mathématiques, Informatique et Applications aux Sciences), une Licence de Mathématiques et une Maîtrise d'Ingénierie Mathématique.

J'ai ensuite intégré l'École Nationale des Ponts et Chaussées en deuxième année en tant qu'admis sur titre dans le département Ingénierie Mathématique et Informatique. Entre la deuxième et la troisième année d'école, j'ai effectué un stage long d'un an (6 mois à Inria Sophia Antipolis et 6 mois chez Alcatel Alenia Space à Cannes) sur le contrôle de trajectoire des satellites. Ce stage m'a permis de découvrir deux facettes d'un même sujet : l'aspect théorique et prospectif à l'Inria, et l'aspect industriel et applicatif chez Alcatel Alenia Space. C'est à l'issue de ce stage que l'envie de faire une thèse dans le milieu industriel, pour justement concilier ces deux aspects, s'est développée.

En dernière année d'école, j'ai donc choisi de suivre les cours du master 2 Analyse Numérique et Equations aux Dérivées Partielles de Paris 6 et me suis mis à la recherche d'un stage de fin d'étude pouvant déboucher sur une thèse. De-

puis toujours attiré par l'aéronautique et l'espace, j'ai pu trouver ce que je recherchais chez Dassault Aviation. On m'a en effet proposé un stage dans le service d'Aérodynamique Avancée, se poursuivant par une thèse DGA dans ce même service.

Ma thèse : J'ai commencé ma thèse en octobre 2007, sous la direction de Grégoire Allaire du Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique, sur le développement de méthodes de contrôle et d'optimisation pour les écoulements décollés. J'étais présent majoritairement dans le service d'Aérodynamique Avancée de Dassault Aviation et j'allais travailler partiellement dans mon laboratoire d'accueil.

Je pense avoir ainsi réalisé une thèse assez orientée industrie, étant intégré et en relation permanente avec les ingénieurs qui m'entouraient. Ma présence dans l'équipe de Dassault Aviation m'a permis de m'appuyer sur des codes existants très évolués. Ceci était indispensable pour tester rapidement les différentes idées envisagées au cours de mes recherches. Le fait d'être doctorant, et de bénéficier des idées, conseils, pistes de réflexion de mon directeur de thèse, m'a donné une grande indépendance dans mon travail. Nous avons ainsi pu proposer des méthodes très innovantes pour résoudre les problèmes qui étaient posés. Cette thèse a permis un échange d'expertise entre le CMAP et l'industrie. J'ai également pu présenter mes résultats dans différents congrès en France mais aussi au Portugal et au Brésil.

Environ 6 mois avant la fin de ma thèse, j'ai eu l'opportunité de recevoir une proposition d'embauche chez Dassault Aviation.

Mon travail actuel : J'ai été embauché le 1er octobre 2010, à l'issue de ma bourse de thèse (j'ai soutenu le 19 novembre 2010). Je suis intégré à l'équipe de développement d'outils de pré- et post-traitement de calculs aérodynamiques, équipe ayant des activités transverses au sein de la direction technique, avec laquelle j'ai pu être en relation tout au long de ma thèse. Plus particulièrement, je participe au développement de la chaîne d'optimisation automatique de formes sur la base de calculs de dynamique des fluides. Le fait d'avoir fait ma thèse sur un sujet très voisin est bien évidemment un plus indéniable. En outre, j'ai acquis, toujours grâce à la thèse, une réelle expertise dans le domaine de l'optimisation.

La valorisation du doctorat chez Dassault Aviation : Au cours de mes trois ans de thèse, mon salaire a été moindre que celui d'un ingénieur qui aurait été embauché à la sortie de l'école. Mais faire une thèse, ce n'est pas faire un travail d'ingénieur, même en industrie... Et c'est aussi un choix personnel, qui n'est pas dicté par l'aspect financier ! A l'issue de ma thèse, j'ai toutefois été embauché à un salaire correspondant à celui d'un ingénieur sorti d'école + 3 ans d'ancien-

neté. L'expérience acquise pendant cette période a donc été valorisée par mon entreprise.

Faire une thèse chez Dassault Aviation, et sur un sujet véritablement prospectif pour un industriel, m'a permis de concilier mon envie de faire de la recherche et du développement, tout en ayant un très fort lien avec le côté applicatif. En ce sens, mon expérience de doctorant a été totalement conforme à mes attentes. J'ai en outre acquis une « double culture » recherche - industrie qui me sera utile dans toute ma carrière. Je pense avoir développé une certaine rigueur dans la manière de poser les problèmes, de les résoudre, et je sais que je peux toujours me tourner vers le milieu académique pour trouver des solutions. De plus, je peux constater que, dans mon entreprise, les travaux de développement ou de recherche appliquée sont souvent confiés à un ancien doctorant. Les titulaires d'une thèse (en mathématiques appliquées aussi bien qu'en mécanique, physique, etc.) sont d'ailleurs nombreux au sein des effectifs de la direction technique.

En définitive, mon expérience de doctorant fut tout à fait bénéfique, tant d'un point de vue humain que professionnel, et constitue une vraie valeur ajoutée dans mon travail au quotidien.

■ Nicolas Dicesare, Natixis

J'ai soutenu ma thèse en janvier 2000 et je travaille chez Natixis (Natexis à l'époque) depuis cette date. J'ai choisi le milieu de la finance après une discussion avec un ancien docteur du laboratoire (Jean-Claude Hontand) qui travaillait chez Natexis. Mes critères de choix ont été l'intérêt des sujets traités (calculs numériques, parallèles et optimisation) ainsi que le salaire. J'avais d'autres propositions dans le milieu de la finance mais plus orientées vers l'informatique. Clairement, le fait d'être docteur a été un plus au niveau des conditions d'embauche. C'est mon expérience en calcul numérique et en informatique qui m'a le plus aidé dans mon travail. Par ailleurs, les collaborations avec Olivier Pironneau et Yves Achdou n'auraient pas pu se faire si je n'avais pas été docteur. J'ai noté tout de même que certaines personnes ont des *a priori* sur les docteurs mais cela est imputable à une mauvaise connaissance des thèmes traités en thèse et notamment en mathématiques appliquées.

■ Gabriela Dobranszky, Initiative Technologie

Je n'étais pas destinée à faire une thèse puisque j'avais fait le choix de finir mes études par un DESS en mathématiques appliquées. Mais un heureux concours de circonstances en a décidé autrement.

Six mois avant la fin de ma thèse, j'ai déposé mon CV sur les sites spécialisés

en recherche d'emploi et rapidement j'ai été contactée par la société pétrolière dans laquelle je rêvais de travailler. J'ai été convoquée à une série d'entretiens orientés RH et un entretien technique centré sur mes connaissances en géologie et en informatique. Aveuglée par mon désir de rejoindre cette société, j'ai accepté le poste proposé sans m'inquiéter de l'absence d'intérêt pour mon diplôme de doctorat. Après seulement deux mois, déçue, j'ai donné ma démission et recommencé à chercher un emploi en ciblant cette fois-ci ma recherche sur des postes où le diplôme de doctorat était un pré-requis.

Sur un site spécialisé, une offre pour un docteur en mathématiques appliquées a attiré mon attention. Elle était proposée par une agence média et j'avoue n'avoir jamais envisagé de travailler dans ce type de société. Mais après tout, pourquoi pas ? On sait tous très bien que les mathématiques appliquées sont partout. Je les ai rencontrés à deux reprises et il était clairement évident qu'ils recherchaient un docteur pour ses connaissances approfondies et surtout pour sa capacité de comprendre rapidement un problème et de rechercher/trouver des solutions pertinentes. Ils ont pris le temps de me présenter leurs projets avec les problèmes rencontrés et les solutions envisagées. Ils étaient passionnés et ils cherchaient quelqu'un qui puisse comprendre et partager leur passion. Aujourd'hui, je suis ravie d'avoir été recrutée par cette société qui compte sur mes compétences et en attend beaucoup. C'est une grande responsabilité mais aussi un très grand plaisir.

■ Karima El Ganaoui, NTConseil, Géosciences

Je suis docteur en mathématiques appliquées de l'École Polytechnique depuis Septembre 2006. Ma thèse a été dirigée par Grégoire Allaire et financée par le CEA (Saclay). Le sujet de thèse portait sur le développement de méthodes d'homogénéisation mathématiques pour les modèles de transferts thermiques et radiatifs au sein des réacteurs à caloporteur gaz (4^e génération).

Faire une thèse en mathématiques appliquées a été un vrai choix. À aucun moment je n'ai envisagé d'utiliser mon diplôme de master (ENS Cachan) pour chercher du travail. Le doctorat a toujours été pour moi le diplôme de référence. La recherche et les applications industrielles m'ont toujours intéressée. Mon choix avait été de m'orienter vers des applications industrielles liées au domaine de l'énergie après la soutenance de ma thèse. Presque un an avant la soutenance, j'ai commencé à participer aux événements unissant entreprises et laboratoires de recherche. Ces événements étaient soit proposés par l'école doctorale de l'X, l'ABG ou l'INSTN (petits déjeuners de l'industrie, forum de l'INSTN...), soit par l'École Polytechnique (forums de l'X) soit émanant de recherches personnelles. Vu la facilité de prise de contact avec les recruteurs dans ce type d'évènement, on peut converger beaucoup plus rapidement vers une offre de travail qu'en suivant

un processus classique, à savoir des candidatures spontanées...

J'ai ainsi eu rapidement un nombre d'entretiens d'embauche qui a ensuite abouti à trois offres fermes. Une offre chez Intel (Arizona), une autre à l'Université Al-hosn (Abu Dhabi) et une offre (pour laquelle j'ai opté) dans un groupe de recherche appliquée sponsorisé par l'entreprise Total et basé à l'Université de Pau.

À la sortie de la thèse j'étais, comme la plupart des thésards, encore attachée à mon sujet de thèse. S'en détacher n'était rendu moins difficile qu'en choisissant un autre sujet intéressant et surtout nouveau. Heureusement, avoir un doctorat en mathématiques ouvre les portes de toutes les applications. J'ai ainsi opté pour la découverte de l'industrie pétrolière.

J'ai occupé ce premier poste pendant plus de trois ans. Cela m'a apporté la connaissance de la modélisation dans les réservoirs pétroliers. Notamment les réservoirs d'huiles lourdes. La simulation numérique des procédés visant à diminuer la viscosité des huiles lourdes occupait une grande partie de mes activités. Ensuite, dans un souci d'élargir mes connaissances de l'ingénierie pétrolière et de connaître plus de corps de métiers, je me suis orientée (en changeant d'entreprise) vers la prospection sismique (recherche de réservoir). Ainsi, j'occupe actuellement le poste de consultante en géosciences qui consiste à effectuer des études de R&D pour de grandes entreprises pétrolières, à intervenir auprès de leur chercheurs et à développer également des aspects recherche propres à notre équipe. Ce changement de poste m'a également permis de m'ouvrir sur l'international. Je suis l'unique docteur de l'équipe et cela ne pose aucun problème. Une grande complémentarité entre les différentes compétences géophysique / mathématique / informatique s'est installée naturellement.

J'enseigne également, depuis trois ans dans le module « Homogénéisation et Incertitudes » du master Génie Pétrolier de l'Université de Pau. Alors que cela ne figurait pas parmi mes attentes en m'orientant vers l'industrie pétrolière, le lien avec les connaissances en homogénéisation développées pendant ma thèse s'est fait naturellement. Aujourd'hui je me sers de ces connaissances en changement d'échelles (upscaling/downscaling) au niveau du traitement des données géophysiques.

En m'inspirant de mon expérience mais également de celles de mes amis docteurs en mathématiques travaillant en entreprise, je peux témoigner principalement concernant deux points, qui pourraient s'améliorer si le diplôme était jugé à sa vraie valeur, qui sont le salaire à l'embauche et le travail demandé au docteur en mathématiques. Je ne place pas le salaire avant le travail demandé par ordre d'importance mais plutôt parce que le salaire est décidé avant de savoir ce que le docteur en mathématiques apportera à l'entreprise et cet apport est malheureu-

sement souvent sous-estimé.

Concernant le salaire des docteurs en mathématiques

Le doctorat en mathématiques est un diplôme que les DRH des entreprises ne savent toujours pas clairement où classer. Dans les entreprises françaises il existe des grilles pour la fixation des salaires qui sont basées sur le classement des écoles d'ingénieurs. Le doctorat n'est pas classé malgré le fait que c'est un diplôme qui représente un niveau d'étude supérieur (bac +8) comparé aux écoles d'ingénieurs (bac +5).

Malheureusement d'après mes constatations un docteur sera la plupart du temps mal payé comparé à ses collègues ingénieurs. Ses années de thèses ne sont pas automatiquement considérées comme une expérience professionnelle.

À la sortie de sa thèse le docteur n'est pas préparé aux questions liées aux salaires. Souvent, on regarde le travail (nature de l'application industrielle, possibilité de continuer à faire de la recherche...) et on néglige complètement l'aspect financier. De toute manière tout jeune docteur a en tête (et c'est un argument que les DRH savent également bien rappeler) qu'il sera mieux payé que s'il avait opté pour une carrière académique. On oublie par contre que les contraintes et l'évolution de la carrière « recherche » ne seront pas les mêmes.

Après quelques années de travail, le docteur en mathématiques prend conscience de sa valeur. Il remarque que contrairement à ses autres collègues non issus de la même formation, il peut aborder une multitude de sujets puisqu'il détient le langage commun à toutes les applications. On comprend ensuite également que le salaire est le premier élément de reconnaissance en entreprise.

Ainsi, il faut vraiment faire attention aux conditions initiales à l'embauche car les écarts peuvent ne pas s'estomper au cours des années. Les écoles doctorales doivent sensibiliser et préparer leurs docteurs à négocier leur salaire initial.

Une sensibilisation additionnelle doit être faite aux docteurs femmes, les écarts salariaux homme/femme sont malheureusement toujours d'actualité en industrie. Dans mon cas, un changement d'entreprise m'a permis d'augmenter considérablement mon salaire et d'effacer ainsi cet écart que j'ai subi lors de mon premier emploi.

Je note à l'occasion qu'un docteur en mathématiques est ouvert à toutes les applications industrielles et est tourné vers l'innovation. Il n'est pas frileux face aux changements. C'est pour cela que je pense qu'un docteur « n'est mal payé » qu'à son premier poste.

Concernant le travail demandé aux docteurs en mathématiques

Le docteur en mathématique est quelqu'un de polyvalent. Sa formation lui

confère une grande faculté de transversalité. Sa curiosité le pousse à s'intéresser à tous les corps de métier de l'application industrielle opérée par son entreprise. Malheureusement, un grand amalgame existe entre le profil de mathématicien et d'informaticien. Au sein d'une entreprise il est rare de trouver un département, service ou même laboratoire dédié aux mathématiques. On trouvera plutôt des services dédiés aux différents corps de métiers (à titre d'exemple, dans les entreprises pétrolières : géophysiques, réservoir...). Le danger est que le docteur en mathématiques se transforme ensuite en « développeur » de l'équipe où il se trouve. C'est malheureusement très courant.

Le docteur dans l'entreprise fait beaucoup de concessions pour se faire comprendre, sa démarche de chercheur est souvent mal perçue voire pas comprise. L'habitude de sa remise en question qu'il a acquise pendant ses études doctorales peut être traduite par ses managers par un doute sur sa performance, dans l'entreprise on peut préférer quelqu'un qui exécute sans réflexion.

La seule issue de valorisation pour le docteur en mathématiques sera alors d'approfondir sa connaissance du métier et de s'orienter ainsi vers des aspects très techniques qui peuvent l'éloigner encore plus de la recherche mais qui lui garantissent une visibilité et une reconnaissance au sein de l'entreprise.

On note également que si un docteur en mathématiques vise à long terme la préparation d'une habilitation à diriger des recherches, ce ne sera pas chose facile. L'HDR étant un processus qui se construit sur plusieurs années. Or, le docteur en entreprise travaille souvent sur des sujets confidentiels, ses échanges avec les universités et organismes de recherche peuvent être jugés comme non essentiels pour l'entreprise, voire une perte de temps. Ainsi, le manque de publication et de travail de recherche nuisent à terme à sa carrière de chercheur. Ceci rendra également quasi impossible son retour vers une carrière académique. Aujourd'hui dans les entreprises, l'évolution de carrière d'un ingénieur est claire mais celle d'un docteur est inexistante sauf s'il suit exactement le circuit prévu pour les ingénieurs de l'entreprise. En même temps, il cesse ainsi d'être chercheur.

On constatera sûrement au sein de son équipe que le docteur en mathématiques a une approche différente et que l'inconnu et les terrains non balisés ne lui font pas peur, bien au contraire. Et pourtant il n'évoluera pas au sein de l'entreprise comme s'il était issu d'une grande école car il a été assez pénalisé au départ et cela ne changera considérablement que s'il tend à devenir ingénieur, s'oriente vers des postes de management pur ou change d'entreprise. A part le miroitement d'un poste d'expert qu'il pourrait atteindre après une vingtaine d'années d'expérience dans la même entreprise, rien n'est proposé au jeune docteur pour que son lien avec la recherche soit maintenu. Un lien non superficiel, un lien réel pour que des collaborations plus profondes et durables soient menées avec la recherche

académique.

Les entreprises devraient faire un effort pour permettre aux docteurs de garder leur âme de chercheur. D'autant plus que cela ne pourrait qu'être valorisant pour les échanges entreprise/monde académique. On note également que, avoir des docteurs habilités à diriger des recherches en entreprise ne peut qu'améliorer le suivi et l'exploitation en interne des résultats des thèses financées par l'entreprise elle-même.

Malheureusement, il est très difficile de convaincre les personnes qui occupent les postes de manager de projets et qui sont dans l'entreprise depuis longtemps de revoir leur manière de manager. Souvent, un docteur en mathématiques arrive rapidement à comprendre, à s'appropriier les sujets et à s'adapter aux besoins des études mais il doit fournir beaucoup d'efforts pour faire admettre à son manager de s'ouvrir à des solutions non usuelles.

Cela changera sûrement avec l'accession de plus de docteurs aux postes de management. Ce n'est pas toujours facile. En effet, le docteur est souvent accueilli dans des services de recherche et développement mais dès lors qu'il souhaite changer de poste pour se positionner sur des postes de direction, il rencontre des difficultés, car on lui préfère un ingénieur qui a suivi des cours de management pendant son cursus.

Les mathématiques ont un rôle privilégié qui les place en langage décodeur et partagé de toutes les autres disciplines.

Dans sa démarche d'améliorer ses conditions et d'étendre ses connaissances, le docteur en mathématiques joue le rôle d'une abeille qui en se déplaçant d'une application à l'autre les pollinise et contribue ainsi à ce que des solutions fort innovantes voient le jour. Il ne faut pas oublier que le docteur est également tourné vers l'international, si les entreprises ne décident pas sérieusement de le valoriser en sensibilisant leur DRH à cette question, elles verront ces abeilles aller polliniser ailleurs.

Cela relèvera ainsi de l'intelligence des entreprises d'agir à temps pour effacer les écarts salariaux infondés, privilégier le mérite et mixer savamment les équipes pour que docteurs, ingénieurs, techniciens... évoluent en harmonie.

■ Nicolas Gilardi, CEA

J'ai suivi des études universitaires entre l'Université de Rennes où j'ai obtenu une Maitrise EEA et l'Université de Bordeaux où j'ai obtenu un DESS en systèmes de production industrielle automatisés. A l'issue de ce parcours, j'ai passé quelque mois dans l'industrie du logiciel de CAO. Pour diverses raisons, j'ai profité d'une opportunité pour quitter ce travail et préparer une thèse de doctorat à l'Université

de Lausanne. Le thème en était l'utilisation des algorithmes d'apprentissage pour la cartographie de risque environnemental. J'ai soutenu ma thèse en décembre 2002.

J'ai ensuite enchaîné trois CDD, l'un à l'Institut Français du Pétrole, un autre à l'Université d'Edinburgh et au CERN, et enfin un dernier au Commissariat à l'Energie Atomique. C'est dans ce dernier établissement que j'ai finalement réussi à obtenir un CDI après diverses tentatives infructueuses dans l'industrie et la recherche environnementale.

L'obtention de ce CDI fut pour le moins compliquée, en raison du faible nombre de postes ouverts et de la longue procédure propre au CEA. Entre les premiers entretiens et le début de mon contrat, il s'est passé près d'un an, et je n'ai eu de confirmation officielle de l'embauche qu'au bout de 9 mois d'informations contradictoires. Par ailleurs, je dirai que ce recrutement a été plus motivé par mon expérience professionnelle que par mon doctorat.

Mes aspirations professionnelles se portant davantage vers la recherche que vers l'industrie, j'ai subi les conséquences du manque de pérennité des postes d'ingénieur de recherche dans le monde des universités et instituts de recherche. D'une part, ces emplois m'ont systématiquement obligé à me déplacer (cinq déménagements sur trois pays depuis début 2003), d'autre part, les contrats signés ne duraient jamais plus d'un an et n'avaient pas de garantie d'être prolongés, forçant plus ou moins à être en recherche d'emploi tous les six mois. Mais d'une façon générale, je n'ai jamais été sans activité professionnelle plus de trois mois de suite.

A l'exception de mon postdoc à l'IFP, mes travaux de thèse n'ont intéressé mes employeurs que de façon secondaire. La valorisation de mes travaux de thèse a été le fruit de mes propres initiatives face à mes activités professionnelles.

■ Pascal Havé, IFP Énergies nouvelles (IFPEN)

Après une première partie de cursus universitaire à Rouen, où j'ai combiné maîtrises de *maths* pures et de *maths* appliquées, j'ai souhaité poursuivre vers les mathématiques appliquées via un DEA d'Analyse Numérique à l'UPMC - Paris 6. Cette première année hors de ma province fut très riche en ouverture tant du point de vue théorique qu'appliqué grâce à un large panel de cours. Au sortir de ce DEA, mon aspiration allait plutôt vers l'informatique où je comptais poursuivre les aspects calcul parallèle et distribué via un DEA voisin d'une filière informatique.

Fortuitement, au détour d'une lettre de recommandation pour cette réorientation, ma trajectoire fut infléchi par une proposition de thèse. Cette inattendue pro-

position devant mixer Analyse Numérique et Calcul Scientifique fut pour moi le point de départ de trois enthousiasmantes années au sein du Laboratoire Jacques-Louis Lions, riches en collaborations externes et en exploration de nouveaux horizons dans les domaines des méthodes multipôles rapides pour l'électromagnétisme et du calcul intensif.

Les contacts glanés durant ces quelques années m'ont ensuite permis d'embrayer dans la foulée par un post-doc au CEA/DAM. Un post-doc dans un environnement industriel était pour moi la mise en situation naturelle de mes affinités pour le calcul scientifique. Cette expérience m'accorda de nouveau des aspects numériques et calcul scientifique qui, suite à une prolongation d'un an, me donna l'occasion de repousser certaines limites sur des aspects du Calcul Haute Performance. Ceux-ci étaient alimentés par un intéressant contexte physique, la propagation d'infrasons dans l'atmosphère, et par des moyens techniques hors du commun. Faute de disponibilité de poste adéquat, je n'ai malheureusement pu poursuivre en ces lieux, et, en transition vers d'autres horizons, j'ai passé trois mois dans une SSII missionnée sur des travaux HPC (Calcul Haute Performance) dans le cadre du CEA/DAM.

Ce bref passage me permit d'aborder l'expérience professionnelle sur un autre plan concret et structuré par les processus d'entreprise. J'ai pu facilement tirer un grand bénéfice de mes précédentes expériences techniques de thèse et de post-doc, autant sur le plan de la valorisation de l'embauche que des quelques missions qui suivirent. En quête d'un environnement plus posé et autorisant un investissement à plus long terme dans de grands projets, j'ai rejoint le département de Mathématiques Appliquées d'IFP Énergies nouvelles. Thèse et post-doc m'ont, dès le début, aidé à intégrer avantagement cet établissement et à m'y épanouir. Ce contexte, captivant mélange de défis techniques, tant numériques qu'informatiques HPC, fut pour moi un tremplin au développement personnel. J'ai ainsi pu passer tour à tour par les fonctions d'ingénieur de recherche en calcul scientifique, co-encadrant d'une thèse de mathématiques appliquées, chef de projet d'une plateforme logicielle, architecte informatique HPC, et ce, sur des domaines très larges, de la dynamique moléculaire à la modélisation de bassins sédimentaires, baignés par une diversité de relations professionnelles du monde académique et industriel.

Rétrospectivement, depuis mon DEA, sur ces quelques onze années passées, je pense que, confronté aux mêmes options, j'opérerais encore les mêmes choix ; ma thèse a structuré ma voie et ma carrière, par l'exercice de style et l'ouverture d'esprit qu'elle impose et par l'imprégnation d'une dynamique à dépasser les limites. Je ne peux que féliciter cette lettre de recommandation que je n'ai finalement jamais eue.

■ Nicolas Lantos, Natixis

Après avoir entièrement réalisé ma scolarité à l'UPMC, j'ai effectué une thèse CIFRE en analyse numérique et calcul scientifique dans une filiale de la banque d'affaires Natixis de 2006 à 2009.

Durant l'année scolaire 2009-2010, pour finir ma thèse, j'ai occupé un poste plein d'ATER.⁴ Au 1er mai 2010, j'ai quitté ce poste pour être embauché en CDI à l'ONERA (organisme EPIC, établissement public à caractère industriel et commercial) au sein du département de simulations numériques dans le projet « elsA » (ensemble logiciel pour la simulation en Aérodynamique). A cette date, je n'avais pas encore fini ma thèse. Le contrat de travail que j'ai signé contenait donc une close pour l'obtention de ma thèse avec une augmentation de 150 euros nets par mois. Depuis l'obtention de ma thèse, à la mi-octobre, mon salaire s'élève finalement à environ 35 000 euros bruts annuels, ce qui est dans la moyenne pour un poste de docteur-débutant dans un EPIC (CEA, IFP, etc.). L'obtention de mon doctorat a ainsi amélioré mon salaire d'embauche.

Mon travail aujourd'hui n'est pas orienté sur la recherche : il s'agit plutôt d'assurer le bon fonctionnement et développement du logiciel elsA. Les méthodes numériques implémentées sont développées par des spécialistes d'acoustique ou de turbulence, par exemple, et mon rôle est de *coacher* ces experts pour que leurs développements s'intègrent de la meilleure manière possible dans le logiciel. Cela n'est évidemment possible qu'avec une certaine compréhension théorique du sujet traité, qui n'est pas attendue par les responsables du projet des ingénieurs.

Ce travail de « docteur » est cependant, selon moi, en contradiction avec la formation par la recherche que constitue la thèse. En effet, on n'attend plus aujourd'hui de moi, que j'élargisse les connaissances et que je crée de nouvelles méthodes, mais bien plutôt que je sois capable de répertorier l'ensemble des solutions déjà envisagées dans la littérature, de sélectionner la plus pertinente dans le cadre du projet et de la mettre en œuvre. Cette vision, tout à fait légitime dans le cadre d'une entreprise commerciale, reste, malgré tout, quelque peu frustrante pour moi, jeune docteur, ayant passé ma thèse à « créer ». Cette frustration s'exprime d'ailleurs, entre autres, par une perte d'efficacité industrielle due au désir de comprendre « à fond » les outils utilisés, lorsqu'une simple connaissance superficielle suffirait amplement à leur mise en œuvre.

4. Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (poste universitaire temporaire).

■ **Pascal Minini, Sanofi-Aventis**

Voici quelques éléments qui me viennent à l'esprit.

Globalement, mon doctorat m'a énormément servi, à la fois lors de mon embauche et lors de l'évolution de ma carrière professionnelle.

Lors de l'embauche, mon doctorat était un plus indéniable qui m'a permis de me différencier des autres candidats, je pense que j'étais le seul des postulants à avoir ce niveau d'études et cela m'a grandement aidé, l'entreprise (Sanofi-Aventis, plus particulièrement le secteur R&D) souhaitant avoir des salariés d'un niveau d'expertise de plus en plus fort. J'ai reçu une proposition d'embauche quasiment immédiatement après l'entretien, au niveau de salaire que j'avais demandé. Par ailleurs, je suis régulièrement contacté par des cabinets de recrutement qui sont très intéressés par mon profil.

Par la suite, mon doctorat m'a permis d'évoluer favorablement, à la fois en terme d'intérêt de poste et de salaire, d'autant plus que je travaille beaucoup avec des collègues aux États-Unis qui la plupart ont également un doctorat.

Par rapport à la dichotomie ingénieur grande école versus docteur, je ne sais pas dans quelle mesure ce témoignage peut vous aider car je suis à la fois ingénieur et docteur.

■ **Jacques-Olivier Moussafir, Saint-Gobain, actuellement BNP**

J'ai soutenu ma thèse de mathématiques (géométrie diophantienne) à l'Université Paris-Dauphine en janvier 2000. J'ai cherché du travail à partir d'avril sans avoir d'idée précise ni de ce que je cherchais, ni de ce que je pourrais trouver. Patrick Le Tallec, qui était à cette époque professeur à Dauphine et à l'École Polytechnique me transmet une proposition que lui avait faite Jean-Claude Lehmann (directeur de la recherche du Groupe Saint-Gobain à cette époque). Il se posait la question de l'utilisation des mathématiques dans le contexte industriel de Saint-Gobain, en dehors des questions physico-mathématiques déjà traitées (fusion et formage du verre, etc.)

J'ai été recruté en octobre 2000 pour créer un groupe de recherche sur ce sujet. La thèse était sans doute un prérequis. Les recommandations de Patrick le Tallec et de mon directeur de thèse ont sûrement simplifié et accéléré le recrutement. Du point de vue du salaire, il a été fixé en fonction des grilles salariales de Saint-Gobain, du diplôme d'ingénieur dont je suis titulaire (ENST) et de la thèse, à un niveau qui m'a semblé assez élevé. Saint-Gobain donnait l'impression de tenir compte de la thèse comme d'une expérience professionnelle.

Dans la conduite de cette mission, j'ai assez peu utilisé la matière de ma thèse,

c'est probablement le cas pour beaucoup de docteurs. La formation doctorale ne se limite pas à l'étude approfondie de questions techniques : l'examen rapide de la littérature scientifique peut bien décourager l'ingénieur qui s'y trouve confronté pour la première fois. La thèse est aussi l'occasion de rencontres avec d'autres chercheurs, d'une découverte du monde universitaire, de ses filières de formation, etc. Plusieurs sujets d'étude ont d'ailleurs fait l'objet de collaborations sous la forme d'encadrements de stages, de directions de thèses, de contrats, en particulier en traitement d'images, en optimisation de formes, en recherche opérationnelle et en théorie de l'apprentissage, du contrôle et en théorie des systèmes dynamiques.

Sur la thèse, l'opinion générale dans le groupe Saint-Gobain (en France), n'est pas très éloignée des lieux communs habituels : l'utilité de la recherche fondamentale est implicitement mise en cause, il est acquis que les problèmes industriels se laissent bien résoudre avec des outils simples et connus, que le sens pratique des thésards est peu développé et que la recherche des belles solutions détourne des problèmes tels qu'ils se posent, etc. Le choix de faire une thèse est interprété comme le refus d'intégrer l'entreprise privée, plutôt que comme l'affirmation d'un intérêt personnel, c'est-à-dire comme un signe d'immaturation. On suspecte les docteurs d'avoir choisi la thèse par défaut. Et parfois, on met carrément en doute la compétence des jurys de thèse et la valeur du diplôme de docteur, à moins bien entendu que le docteur ne soit aussi diplômé d'une grande école d'ingénieurs.

À noter cependant : la réputation des docteurs est plutôt meilleure dans les branches de Saint - Gobain où les procédés sont nouveaux ou en cours d'élaboration (filtres à particules pour moteurs diesels par exemple), et un peu plus mauvaise dans les branches industrielles où les procédés sont anciens et n'évoluent que marginalement (formage du verre : bouteilles, vitrage automobile par exemple). Ce phénomène est encore plus net chez BNP Paribas que j'ai rejoint en 2006, où le diplôme de docteur est clairement reconnu (il permet de publier dans les revues et de s'expatrier sans difficulté, ce qui est toujours un peu plus difficile pour un ingénieur non docteur).

Cela dit, il y a, pour les docteurs en mathématiques, un réel travail d'adaptation et un changement de point de vue : la R&D industrielle possède sa propre finalité (en général sans rapport avec celle de la thèse). Les projets durent de deux à dix ans. Cela signifie que souvent un projet s'achève bien après le changement d'affectation de l'ingénieur qui l'a démarré. Ils impliquent la coopération de techniciens, d'ingénieurs et de chercheurs, etc. Enfin beaucoup de docteurs se sentent liés à leur sujet de thèse ; l'adaptation à un nouveau contexte est une forme de déracinement.

■ 4. Le diplôme de docteur en mathématiques appliquées : passeport ou handicap pour un recrutement ? ■

Ce chapitre présente deux analyses, l'une par Amandine Bugnicourt (Adoc Talent Management), l'autre par François Coquet (Professeur des Universités en détachement à l'ENSAI).

■ Amandine Bugnicourt, Consultante en Recrutement, Co-fondatrice d'Adoc Talent Management

- Les atouts des docteurs en mathématiques pour les entreprises du XXI^{ème} siècle.
- La vision d'Adoc Talent Management, cabinet de recrutement spécialisé dans le placement de docteurs.

Nous nous attacherons ici à évoquer les compétences des docteurs en mathématiques et à montrer en quoi celles-ci peuvent être profitables dans nos entreprises du XXI^e siècle. Nous exposerons aussi la typologie des parcours de ces profils.

Par la pratique de la recherche, les doctorants et docteurs en mathématiques acquièrent deux niveaux de compétences. Tout d'abord, ils développent une expertise scientifique et technique de haut niveau dans leur domaine. Ils acquièrent ainsi, en fonction de leur sujet de recherche, une grande maîtrise de connaissances et d'outils mathématiques tels que le calcul scientifique, l'analyse numérique, les statistiques, les probabilités, la modélisation...

Il est à noter que ces outils mathématiques s'appliquent à de nombreuses disciplines telles que l'informatique, la finance, la physique, l'automatique, l'économétrie, la biologie ou encore la dynamique des populations...

Ainsi, l'une des particularités des doctorants en mathématiques appliquées est qu'ils s'intéressent très souvent à des problématiques pluridisciplinaires. La prise en compte de cette interdisciplinarité et cette compréhension de recherches très éloignées de leur discipline de base, les amènent à développer une aptitude à dialoguer avec des experts de différents domaines et une compréhension de différentes logiques et manières de penser. Ceci est une réelle valeur ajoutée pour l'entreprise où les projets de R&D sont, pour la majorité, extrêmement pluridisciplinaires et en interaction avec d'autres services de l'entreprise, comme par exemple le marketing ou la production...

En outre, et c'est trop souvent oublié même par les intéressés eux-mêmes, ils acquièrent, comme tout docteur, par la pratique de la recherche, des compétences transversales indépendantes de leur discipline. Ainsi, leur rigueur, leur agilité intellectuelle et leurs capacités analytiques leur permettent de traiter des problé-

matiques complexes, de remettre en question les modèles et de conceptualiser. Les docteurs se montrent capables de mener une démarche scientifique innovante et savent faire preuve de créativité. Ils maîtrisent toutes les étapes de la gestion de la connaissance : veille, analyse, synthèse et communication... De plus, ils ont une expérience de management de projet plus ou moins exhaustive selon les conditions dans lesquelles ils ont réalisé leur thèse (gestion des moyens humains et financiers, planification, respect des délais, travail en équipe, formation de collaborateurs...).

Les universités et laboratoires français sont largement reconnus pour leur excellence en mathématiques. Ainsi, les docteurs de cette discipline sont formés et entourés par de très bons scientifiques. De plus, grâce à ce niveau d'excellence, les laboratoires français sont de plus en plus sollicités, quand ils n'en sont pas eux-mêmes à l'origine, pour s'intégrer dans des consortiums internationaux ou d'autres collaborations. Baignant ainsi souvent dans un milieu interculturel, les chercheurs en mathématiques font preuve de capacités d'adaptation. De plus, cette capacité à monter des collaborations, pourra être mise à profit dans le cadre d'une activité de R&D industrielle ou dans toute autre activité professionnelle. En effet, le docteur, qui connaît bien les réseaux scientifiques, pourra être moteur dans la mise en place de partenariats pertinents afin d'accroître la connaissance et les compétences de l'entreprise.

L'ensemble de ces compétences transversales font des docteurs des cadres à haut potentiel créatif dont les entreprises ont plus que jamais besoin pour innover et rester compétitives face aux enjeux de la société fondée sur la connaissance. En effet, celle-ci se caractérise par une globalisation, une incertitude et des ruptures perpétuelles. Ces facettes de notre économie ont un impact direct sur les profils dont les entreprises ont besoin de s'entourer. La capacité des docteurs en mathématiques à analyser et modéliser les risques et les environnements incertains et évolutifs, par exemple, prend ici toute sa valeur.

Peu de données sont disponibles sur les carrières des docteurs en mathématiques. Tout d'abord, parce qu'il s'agit d'un petit vivier, on estime à 400 le nombre de docteurs en mathématiques diplômés chaque année. Une large majorité poursuit une carrière dans la recherche publique ou l'enseignement. D'après l'enquête « Génération 2001 » conduite par le Céreq (Centre d'études et de recherches sur les qualifications) sur les docteurs trois ans après leur soutenance de thèse, 69% des docteurs en mathématiques et physique poursuivent ainsi leur carrière dans le secteur public, alors que 22% sont chercheurs dans le secteur privé et 9% occupent des postes hors recherche. Si on s'intéresse aux carrières dans le secteur privé dans leur intégralité, aussi bien dans l'industrie que dans les services, ces docteurs ont une plus importante variété de parcours.

D'après l'ouvrage *Les métiers des mathématiques*, Zoom sur les métiers, ONI-SEP 2007, « On estime que les différents types d'emplois qu'ils [les diplômés en mathématiques, ndlr] occupent sont passés d'une centaine à deux mille en vingt ans. Sont en particulier concernés les secteurs banques-finance assurances, météorologie et espace, transports, médecine et pharmacie... Dès qu'il s'agit de protection des données (sécurité-cryptographie), de fiabilité-qualité, de transmission d'informations, d'aide à la décision, on fait appel à des mathématiciens. On en rencontre aussi dans des secteurs aussi divers que la communication, les arts, pour des enquêtes policières, ou dans le sport (optimisation des performances des sportifs de haut niveau) ». Cette étude n'est pas propre aux débouchés des docteurs, mais donne une première idée.

Au niveau sectoriel, les secteurs recrutant le plus de docteurs en mathématiques sont les secteurs bancaire et financier, aéronautique et aérospatial, du logiciel. Puis viennent la défense, la sécurité, l'énergie, l'automobile, la *high tech* (A. Bachelot et J.-P. Raoult, *Mathématiques et Entreprises*, 1997)...

L'ensemble de ces secteurs ont en effet des besoins importants en calcul scientifique, analyse numérique et modélisation. La simulation numérique et la modélisation du vivant, des risques, des flux, des mouvements est en effet en pleine expansion...

Les recherches conduites par les chercheurs en mathématiques traduites en préconisations apportent aux décideurs des éléments d'appréciation et d'aide à la décision solides, particulièrement dans les secteurs où la sécurité est stratégique ou afin d'optimiser les coûts, de réduire les risques...

Il est cependant intéressant de noter que de nombreuses entreprises préfèrent sous-traiter leurs études mathématiques, n'y voyant pas un besoin pérenne. Au niveau des services de l'entreprise, la R&D est une fonction entrante qui recrute de nombreux jeunes diplômés en mathématiques comme dans les autres disciplines.

Cependant, après quelques années, on retrouve des docteurs disséminés dans tous les services de l'entreprise. Finalement, les mathématiciens sont partout ou presque, mais ils restent discrets et en proportions relativement faibles dans les entreprises.

En parallèle, un nombre croissant de docteurs en mathématiques travaillent dans des domaines où ils utilisent leurs compétences transversales, par exemple dans les métiers du conseil, le management de l'innovation, l'intelligence économique ou le *knowledge management*...

Si on exclut quelques très grandes entreprises qui recrutent depuis des décennies

des cohortes importantes de docteurs en mathématiques, il faut bien avouer que les entreprises méconnaissent souvent ces profils. Elles les jugent trop théoriques et ne voient pas quelle réelle valeur ajoutée ils pourraient leur apporter. Les docteurs en mathématiques doivent donc s'intéresser aussi aux problématiques des entreprises et apprendre à montrer au mieux en quoi leurs compétences spécifiques peuvent leur permettre de trouver des solutions mathématiques innovantes en réponse à des problèmes industriels concrets. Ainsi, si les docteurs en mathématiques et plus généralement, les personnes formées par la recherche, présentent de nombreux atouts pour les entreprises contemporaines, ils doivent donc apprendre à mieux se connaître et se reconnaître mutuellement.

Afin d'illustrer les propos développés dans ce paragraphe, nous avons interviewé Dominique Pardo qui a effectué sa carrière chez ELF, puis Total en recherche, puis dans différents services après une formation en mathématiques appliquées.

« Après un diplôme d'ingénieur en mathématiques appliquées de l'ENSEEIH (École Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications) et un DEA (diplôme équivalent du master recherche 2) en intelligence artificielle, reconnaissance vocale et traitement du signal en temps réel, j'ai tout d'abord occupé un poste en R&D dans la filiale ELF BIO Recherche (centre de R&D partagé entre les activités pétrolières, pharmaceutiques et agro-alimentaires du groupe ELF). J'y ai travaillé sur la modélisation mathématique du comportement de bactéries identifiées dans les carottages dans le cadre de l'exploitation pétrolière et sur leur taxonomie en microbiologie industrielle. J'ai alors pris la direction du service mathématiques, calcul et informatique. Je m'occupais des problématiques de contrôle-commande de réacteurs biologiques. J'interagissais en permanence avec des mathématiciens, des biologistes et des chercheurs de tous horizons sur des questions de statistiques et plans d'expériences. J'ai ainsi passé 8 ans en recherche appliquée avant de partir vers le développement industriel. Dans le cadre de la branche Pharmacie, j'ai participé à la mise en place des processus organisationnels et de solutions informatiques performants contribuant au succès de la mise sur le marché du médicament Plavix de Sanofi. Par la suite, j'ai travaillé sur un programme de conception d'outils de communication électronique facilitant la mise en place d'une nouvelle organisation de la visite médicale en France. Toujours sur l'optimisation des outils TIC (Techniques de l'information et de la communication), je me suis aussi occupé de l'intranet et l'internet de la branche chimie d'ELF Atochem et de la communication électronique au service de la mondialisation des unités *business*.

Après la fusion Total Fina ELF, j'ai conduit un groupe de travail sur la mise en commun des systèmes d'information, un beau défi ! Enfin, depuis 2003, au sein

du groupe Total, je prends en charge un programme RH d'harmonisation des process, de l'organisation et de la réglementation en France.

Au final, dans toutes ces missions, j'ai toujours gardé mon interrogation de chercheur : à quoi cela sert ? Quel en est le sens et la finalité ?

J'ai à chaque fois cherché à ouvrir des voies par un processus itératif. Plutôt que de reproduire l'existant, je cherche à voir si cela pourrait fonctionner mieux autrement. Bien sûr, ce comportement toujours en interrogation pousse à la remise en question qui n'est pas toujours la bienvenue, on a les défauts de ses qualités ! On m'a donc confié en général les problèmes atypiques et un peu complexes. Dans une équipe, il faut trouver le bon dosage entre profils « chercheurs » et « personnes plus classiques », c'est cette différence de regards qui est riche pour l'équipe si on sait en tirer partie. En effet, il faut que les managers soient à l'écoute de cette diversité, des gens qui pensent autrement et peuvent avoir des idées inattendues, tout en évaluant les risques de leur mise en place !

Pour les jeunes chercheurs, cette écoute se gagne, il faut montrer au fur et à mesure sa pertinence, ne pas vouloir tout révolutionner du jour au lendemain, mais au contraire, comprendre ce que l'on attend de nous, quel est notre périmètre (qui grandit avec l'expérience), savoir gagner la confiance et parfois faire profil bas ». Dominique Pardo.

A propos de l'auteur : Amandine Bugnicourt est docteur et co-fondatrice d'Adoc Talent Management (www.adoc-tm.com), cabinet spécialisé dans le conseil en recrutement de docteurs.

Références :

- Enquête « Génération 2001 » Céreq (Centre d'études et de recherches sur les qualifications).
- SMF - Gazette 97, Juillet 2003.
- SMF - Gazette 79, Janvier 1999.
- Docteurs and co, Juin 2006.
- A. Bachelot, J-P. Raoult. *Mathématiques et entreprises*. In : Mathématiques à Venir, SMF-SMAI, Gazette des mathématiciens, supp. au n° 75, 1997.
- K. Lefèvre-Hasegawa. Enquête sur les docteurs et les doctorants de l'Institut de Mathématiques de Jussieu, avril 2005.
- Les métiers des mathématiques, zoom sur les métiers. ONISEP, 2007.
- L'état de l'enseignement supérieur et de la recherche, novembre 2007.

■ **François Coquet, Professeur des Universités, en détachement à l'ENSAI**

L'ENSAI a une expérience récente, mais assez riche, d'ingénieurs ayant complété leur formation par une thèse. La valorisation industrielle en est assez contrastée. Dès qu'on sort de France, au sens d'entreprises à management franco-français, le doctorat est considéré comme un vrai plus, voire comme un sésame indispensable à partir d'un certain niveau de responsabilité : j'ai des exemples de ce type notamment dans l'industrie du médicament. C'est beaucoup moins évident pour les carrières en France : beaucoup d'entreprises comme EDF ou Renault prennent volontiers des thésards en CIFRE, mais cela ne les avantage pas nécessairement dans leur poursuite de carrière. En revanche, la SNCF semble reconnaître que le doctorat est un niveau supérieur au niveau « ingénieur ».

Chaque année, sur 70 ingénieurs sortant de l'école, entre 5 et 10 embrayent sur une thèse. Ce n'est pas spontané : nous poussons beaucoup nos élèves qui le peuvent à faire des thèses en leur affirmant que c'est dans le sens de l'histoire, et qu'ils ont toutes les chances de pouvoir faire valoir leur double compétence d'ingénieur et de chercheur dans leur future vie professionnelle. Mais j'avoue me demander parfois s'il ne s'agit pas d'un acte de foi de notre part : en dehors des thèses CIFRE, c'est souvent aussi le début d'une longue galère sous-payée avec sortie très aléatoire à l'université (quelques cas) ou dans les organismes de type INSERM (plus souvent). Et il faut avouer que c'est aussi la vision spontanée de la plupart de nos élèves, avec en prime de gros doutes de leur part sur la plus-value du doctorat (vague grade universitaire) par rapport au prestigieux diplôme d'ingénieur : c'est un des acquis les plus tenaces des classes préparatoires !

■ 5. Compte rendu de la table ronde sur la valorisation dans l'industrie du diplôme de docteur en mathématiques appliquées

Cette table ronde, parrainée par Madame Valérie Pécresse, Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, a été organisée par la SMAI le 3 novembre 2009 au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

■ Liste des participants

Mohamed Amara

Chargé de mission à l'ANR pour les mathématiques, Professeur à l'Université de Pau, Vice-président Recherche de l'Université

François Blanc

Directeur des Systèmes d'Information du Groupe Valeo

Jean-François Boulier

Président du Directoire d'Aviva Investors France

Amandine Bugnicourt

Cofondatrice et consultante en recrutement, Adoc Talent Management

Hervé Chabanne

Chef du pôle de recherche en sécurité et cryptographie, Sagem Sécurité, Professeur associé à Télécom ParisTech, Expert senior, groupe Safran

Olivier Chéret

Conseiller aux relations avec les entreprises au Cabinet de la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

François Coron

Directeur du Bureau d'Études mécaniques et thermiques, Astrium-EADS

Thierry Coulhon

Directeur Adjoint au Cabinet de la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Maria J. Esteban

Directrice de recherche au C.N.R.S, Présidente de la SMAI

Edwige Godlewski

Directrice adjointe du Laboratoire Jacques-Louis Lions (UPMC et CNRS), Déléguée à l'Enseignement à la SMAI

Laurent Gouzènes

Group VP European R&D and Public Affairs General Manager,
STMicroelectronics

Jérôme Lacaille

Expert algorithmes à la Snecma au sein de la division intégration (direction technique) et expert Safran

Erick Lansard

Directeur de la Recherche de Thales Alenia Space

Emmanuel Ledinot

Responsable des activités scientifiques Dassault Aviation, représentant Bruno Stoufflet, Directeur de la Prospective et de la Stratégie Scientifique de Dassault Aviation

Pierre-Louis Lions

Professeur au Collège de France, membre de l'Académie des Sciences

Philippe Martin

Directeur Innovation et Technologie de Veolia Environnement

Thierry Nkaoua

Directeur Adjoint de la Recherche et Innovation d'AREVA Corporate, Directeur de la Cross Innovation Division

Frank Pacard

Professeur à l'Université Paris 12, Chargé de mission à la Direction Générale pour la Recherche et l'Innovation

Martine Pretceille

Professeur des Universités et directrice de l'Association Bernard Gregory

Nicolas Sennequier

Conseiller chargé des sciences, de la technologie et de l'espace au Cabinet de la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Rémi Sentis

Directeur de recherche au CEA - DAM (Centre de Bruyères-le-Châtel), représentant Thierry Massard, Directeur Scientifique du CEA - DAM

Denis Talay

Directeur de Recherche INRIA, Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique, Président de la SMAI de juin 2006 à juin 2009

Isabelle Terrasse

Expert exécutif en mathématiques appliquées, Doyenne du Collège des Experts
EADS Innovation Works

Stéphane Tyc

Directeur de la recherche quantitative GECD, BNP Paribas

Pierre-Louis Viollet

Directeur Coordination et Partenariats d'EDF R&D, représentant Yves Bamberger, Directeur de la Recherche et Développement d'EDF, membre de l'Académie des Technologies

■ **INTERVENTIONS DES PARTICIPANTS**

Denis Talay (SMAI) ouvre la Table Ronde en en précisant la genèse :

Au printemps 2009, pendant mon dernier mandat de président de la SMAI, j'ai eu un entretien avec Thierry Coulhon (vice-directeur du cabinet de la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche). Nous avons notamment évoqué la réflexion engagée par la SMAI sur la valorisation du diplôme de docteur en mathématiques appliquées dans l'industrie, et la rédaction d'un Livre Blanc sur le sujet.

Thierry Coulhon avait alors exprimé son soutien à ce projet ainsi qu'à l'idée d'une Table Ronde dont le but serait de confronter les opinions d'industriels et d'enseignants-chercheurs de haut niveau sur la valeur ajoutée des doctorats en mathématiques appliquées, et de contribuer aux réflexions conduites par le ministère sur d'éventuelles directions à favoriser.

Thierry Coulhon (ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche) :

Le ministère se réjouit de la composition de la table ronde qui montre l'intérêt porté par un bon nombre d'industriels à la valorisation du doctorat en général et à celui en mathématiques appliquées en particulier. Le ministère est vraiment intéressé par la valorisation du doctorat qu'il faut professionnaliser comme, d'ailleurs, les autres diplômes. Le ministère considère le doctorat comme le diplôme phare, et il souhaiterait qu'il soit évalué à sa juste valeur. Malheureusement, il est révélateur de la faiblesse de l'université vis à vis des grandes écoles. Il faudrait donc associer universités et grandes écoles au sein des PRES. Le ministère est à l'écoute de ce que les industriels ont à dire sur les compétences qu'ils attendent d'un docteur. Les doctorats, en effet, souffrent d'un problème de calibration : les compétences fournies sont à la fois hétérogènes et variables selon les lieux. L'avis des industriels permettrait ainsi de définir des programmes de master à partir des compétences recherchées. Le ministère est intéressé à ce que les

grandes entreprises recrutent des docteurs parce que cela augmenterait la capacité d'entraînement du système.

Le fond des thèses en mathématiques appliquées se prête bien aux échanges avec les entreprises, mais la problématique est plus vaste que le cadre des mathématiques appliquées. Les écoles doctorales ne remplissent toujours pas bien leur rôle pour préparer des docteurs à la vie professionnelle. Comment les entreprises voient-elles le dispositif du doctorat et les souplesses nouvelles offertes par le contrat doctoral ? Au delà de la SMAI, les universités commencent à être conscientes des questions de débouchés et sont prêtes à répondre aux défis, mais ont-elles bien mesuré les enjeux ? Les grandes universités seront jugées, aussi, sur leurs capacités à valoriser leurs doctorats.

Edwige Godlewski (SMAI et Université Pierre et Marie Curie - Paris 6) :

Pour l'industrie au sens large, embaucher un docteur en mathématiques appliquées peut apporter la capacité à analyser des problèmes nouveaux, à les gérer depuis la modélisation jusqu'à la mise en place d'algorithmes pertinents et efficaces ; les docteurs sont au courant des méthodes récentes, ont acquis la rigueur nécessaire dans la démarche scientifique, ont des contacts avec les réseaux de recherche où les dernières avancées se font jour. Les grands laboratoires de mathématiques appliquées forment des docteurs, avec des compétences à la fois théoriques et pratiques, alliant mathématiques rigoureuses, calcul scientifique et analyse numérique.

Il faut faire attention : si les industriels n'envoient pas de signal fort sur la valorisation du doctorat, les jeunes se tourneront vers d'autres formations. Les banques ont envoyé des signes forts ces dernières années et les jeunes les ont perçus. Si l'industrie n'en fait pas autant, le vivier des doctorants se rétrécira de plus en plus.

Nous ne sommes pas préoccupés par le manque d'embauche de nos docteurs par souci corporatiste, mais plutôt parce que nous sommes conscients que si les choses ne changent pas, le vivier sera de plus en plus pauvre et ce sera la nation tout entière qui sera perdante à long terme.

Maria J. Esteban (SMAI, CNRS et Université Paris-Dauphine) :

Les institutions ont une volonté claire d'améliorer l'insertion des docteurs dans le monde économique. En France l'ANR a lancé une étude de prospective sur les mathématiques industrielles et les relations université-industrie. L'INSMI, récemment créé au CNRS, a immédiatement nommé un mathématicien en charge des relations industrielles. Au niveau européen, l'European Science Foundation a lancé un Forward Look sur les mathématiques industrielles afin d'identifier

de possibles changements de pratiques qui renforceraient les relations entre les mathématiques et l'industrie. L'étude est effectuée au niveau européen, en créant des réseaux d'expertise transnationaux.

Laurent Gouzènes (STMicroelectronics) :

Le MEDEF a reconnu l'importance du doctorat : l'année dernière il a organisé une grande réunion, avec environ 900 participants, où a été montré aux entreprises l'intérêt d'embaucher des docteurs, des doctorants CIFRE, etc., pour le savoir faire apporté à l'entreprise, pour l'amélioration du niveau d'excellence et pour la bonne connaissance qu'ont les docteurs de la compétition internationale. Un livre a été publié par le MEDEF sur le sujet.

On constate un appel d'air massif des docteurs par l'enseignement supérieur alors que la demande industrielle est mal quantifiée. Il faudrait donc recenser les deux besoins pour éviter une compétition permanente entre le public et le privé.

Deux questions importantes :

- Comment définir le doctorat en mathématiques appliquées ?
- Où sont les frontières avec l'informatique ?

Chez STMicroelectronics environ 150 thèses CIFRE sont en cours et 80-85 docteurs sont embauchés par an, tous domaines confondus.

Frank Pacard (ministère de l'Enseignement supérieur et la Recherche et Université Paris 12) :

En France environ 420 thèses en mathématiques sont soutenues par an, et les besoins académiques (universités, CNRS, INRIA, etc.) sont d'environ 130. Donc il y a un flux annuel de 290 possibles embauches dans l'industrie.

Amandine Bugnicourt (Adoc Talent Management) :

Les mathématiques appliquées étant une discipline transverse par essence, les docteurs ne se présentent souvent pas comme des docteurs en mathématiques appliquées, mais comme des experts en thermique, acoustique, mécanique des fluides, modélisation et simulation numérique, etc. Il peut donc être difficile de les identifier dans une organisation. Dans de nombreux domaines apparentés aux mathématiques appliquées, on souffre d'une pénurie en docteurs, par exemple en thermique, multimédia, systèmes embarqués...

François Blanc (Valeo) :

Le doctorat est valorisé à l'étranger, parce qu'en dehors de la France le système de grandes écoles n'existe pas. L'encadrement des docteurs dans les entreprises doit être amélioré. Un docteur recruté dans une équipe d'ingénieurs doit bénéficier d'un environnement propice à son travail et à son intégration. Sur ce sujet les entreprises ont beaucoup à faire. Le dispositif des bourses CIFRE et les pôles de compétitivité sont des points positifs. Les pôles en particulier constituent des lieux de rencontres où trouver des compétences, où les entreprises dialoguent facilement avec des spécialistes qui ont l'expertise mathématique.

Un exemple de domaine important : le traitement des données (comment les organiser, en extraire de l'information...)

Jean-François Boulier (Aviva Investors France) :

Dans le monde de l'assurance la prise de conscience sur le besoin de mathématiques (et de docteurs) a demandé plus de temps que dans l'industrie, mais actuellement le secteur affiche clairement ses besoins en mathématiques appliquées diverses et pointues parce qu'elles apportent un élément de compétitivité très important.

Un exemple de problème important concerne le traitement des données. On a l'habitude de les faire traiter par des personnes de rang secondaire, mais en fait on devrait confier ce travail à des chercheurs de bon niveau.

La relation entre l'offre et la demande de docteurs doit être sérieusement gérée. On fonctionne trop par relations personnelles. A ce niveau la SMAI pourrait contribuer par la création d'un forum !

Qualités appréciées chez un docteur : capacités de communication, rigueur, autonomie, créativité.

Erick Lansard (Thales Alenia Space) :

De 250 à 280 thèses sont en cours chez Thales, dont 60 chez Thales Alenia Space. En tout 60 à 70 thèses en mathématiques appliquées. L'objectif est d'embaucher la moitié de ces doctorants à l'issue de leur thèse. Chez Thales, les doctorats sont financés par des bourses CIFRE. Chez Thales Alenia Space aucun contrat CIFRE mais beaucoup de cofinancements, et quatre recrutements en mathématiques appliquées l'année dernière, dont la moitié avait été financée par l'entreprise.

Nos besoins thématiques sont les suivants : traitement du signal et de l'image, automatique, contrôle, guidage, traitement de l'information (sujet peu enseigné dans les écoles d'ingénieurs et donc les universités ont un terrain à occuper). En traitement du signal, nous recrutons beaucoup dans les formations en

télécommunications, réseaux, etc., plus qu'en mathématiques appliquées. Points positifs : un docteur en mathématiques appliquées peut aborder des problèmes variés et bien s'acclimater dans l'entreprise à condition d'avoir un bon "sens physique".

Pour les DRH, injecter un docteur dans un milieu d'ingénieurs est une opération risquée. Il faut donc développer de nouvelles méthodes de gestion des RH et il faut éduquer simultanément les DRH et les managers. Une fois l'acclimatation passée, un mathématicien appliqué sera excellent pour tout ce qui concerne la modélisation, la complexité algorithmique, etc., domaines dans lesquels les ingénieurs sont moins bien préparés. Les docteurs ont aussi une approche scientifique différente d'un ingénieur, plus innovante souvent, et ils introduisent de nouvelles méthodes et de nouvelles idées. En conclusion, embaucher un doctorant versus un ingénieur peut parfois être très rentable, mais il faut bien préparer les opérations d'insertion et ne pas transformer les docteurs en ingénieurs.

Pierre-Louis Lions (Collège de France et École Polytechnique) :

Il est clair qu'il y a une prise de conscience générale par le MEDEF, les institutions, etc. Par exemple, ParisTech a décrété récemment que le diplôme de doctorat sera le diplôme de référence.

On ne peut pas évacuer le problème de l'informatique. Nous connaissons un déficit considérable de doctorants en informatique. Un effort considérable est à faire. Les thèses en mathématiques et en informatique se déroulent en général de la même manière, contrairement aux thèses en physique et en chimie. Il faut donc inclure l'informatique dans la discussion et y penser fortement dans les plans de formation des doctorants. Mathématiques appliquées et Informatique devraient avancer ensemble.

L'industrie doit prendre conscience qu'un ingénieur docteur a beaucoup plus de valeur qu'un ingénieur tout court. Ceci doit se traduire au niveau du premier élément de reconnaissance, c'est-à-dire le salaire. La prise de conscience sera longue, mais elle doit se faire.

L'absence assez générale de départements d'ingénierie dans les universités françaises est un problème important qui favorise les écoles d'ingénieurs.

François Coron (Astrium EADS) :

Les entreprises de haute technologie comme EADS ont besoin de compétences pointues dans certains domaines et aussi de compétences transverses. Si la France et l'Europe cherchent à se différencier du reste du monde, elles doivent le faire par le haut, par la qualité de formation de haut niveau.

Astrium est une entreprise comptant environ 60 % d'ingénieurs et cadres. Au

moment du recrutement, on cherche des spécialistes de domaines techniques, ce qui rend difficile la reconnaissance des spécialistes en mathématiques qui est une discipline transverse avec une grande richesse de parcours et de formations par la recherche. Un docteur peut aider l'entreprise à comprendre ce qu'elle peut attendre d'une simulation numérique, dans un état d'esprit d'humilité et de rigueur scientifique qui sont très importants.

Du fait de l'Europe les différences entre diplômés d'ingénieurs et doctorats s'estompent. Partout en Europe, ailleurs qu'en France, le doctorat est le diplôme de référence. En Allemagne « docteur » est marqué sur la carte de visite. En France il faut continuer à faire des efforts sur les salaires des docteurs notamment parce que la tendance actuelle parmi les jeunes diplômés est d'être pressés, et donc de vouloir être recrutés à la sortie de leur école d'ingénieurs. A long terme l'embauche d'un docteur est rentable.

Il est important de continuer à renforcer les liens entre les universités et les entreprises au-delà des formations doctorales. Les universitaires doivent faire des progrès dans le domaine de l'interdisciplinarité. C'est un enjeu important.

Isabelle Terrasse (EADS Innovation Works) :

La création de fondations et les diverses actions incitatives de l'État permettent de créer des partenariats entre les entreprises et le monde académique, de financer des projets de recherche et d'avoir des actions de sensibilisation des jeunes. On constate des besoins croissants en mathématiques appliquées dans l'industrie française, notamment grâce à l'excellence de l'école française. Mais, paradoxalement, dans le contexte de globalisation, pour un groupe international comme le nôtre, il serait presque plus facile de monter des collaborations entreprises / monde académique à l'étranger.

Le fait que les thèses ne sont pas systématiquement valorisées par les directions des ressources humaines est un problème majeur. Les masters et les diplômes d'ingénieur sont pris en compte mais pas les doctorats.

Il faut expliquer aux DRH l'intérêt d'embaucher des docteurs et de brasser docteurs et ingénieurs. Lors des entretiens d'embauche les docteurs ont du mal à se présenter pour faire bon effet. Parfois il semble qu'il faudrait s'excuser d'avoir soutenu une thèse... En pratique, la thèse peut parfois valoriser des diplômés qui sont passés par des universités ou par de petites écoles d'ingénieurs, mais n'apporte pas de plus à ceux qui sont passés par les grandes écoles de rang A.

L'absence de filières d'ingénierie dans les universités est un autre problème. De plus, le domaine « mathématiques appliquées » n'existe pas au sein des entreprises alors que les domaines applicatifs, par exemple l'acoustique, existent.

Les crédits impôt recherche et les bourses doctorales CIFRE sont des incitations intéressantes. Mais des problèmes de précarité peuvent se poser à la fin d'une thèse CIFRE car le post-doc n'est pas reconnu en France comme une formation mais plutôt comme un « bouche trou ». De fait, les docteurs CIFRE se dirigent souvent vers les SSII.

Mentionnons également les problèmes de cartes de séjour pour les étrangers en fin de thèse. En conséquence, les docteurs étrangers se précipitent parfois sur des emplois peu qualifiés pour être en situation régulière.

Emmanuel Ledinot (Dassault Aviation) :

Je rejoins les préoccupations concernant les directions des ressources humaines qui n'ont pas une bonne vision de la valeur du doctorat. Pourtant l'industrie, à cause du renouvellement des problématiques en ingénierie et mathématiques appliquées, continue d'avoir un vrai besoin de docteurs. Pour Dassault Aviation les besoins concernent la mécanique des fluides, la mécanique des structures, l'électromagnétisme, le contrôle, les systèmes embarqués, l'analyse de données et les approches stochastiques qui jouent un rôle de plus en plus un grand. Les industriels ont un regard ambigu sur le profil des mathématiciens appliqués : d'un côté, ils ont un grand respect pour les formations en mathématiques et la capacité d'analyse théorique ; d'un autre coté, ils craignent de recruter des savants qui n'ont pas assez le souci d'aller jusqu'à des solutions effectives. Un profil apprécié est celui d'un théoricien fort et capable d'aller jusqu'à une implémentation testée en vraie grandeur.

Jérôme Lacaille et Hervé Chabanne (Safran) :

Safran compte environ 500 docteurs parmi plus de 50.000 personnes, 100 thèses dont plus de 60 thèses CIFRE. En fait ce recensement est sans doute sous-estimé et nous travaillons actuellement, avec la mise en place de notre nouveau Système d'information RH, à un état des lieux plus exhaustif.

S'il est vrai que les formations bac +8 ne sont pas positionnées dans la convention collective de la métallurgie, nous considérons que le doctorat est une formation par la recherche à l'innovation et apporte donc des compétences dans ce domaine ; il constitue également une première expérience professionnelle permettant de développer des compétences « génériques », du type management de projet, capacité à communiquer et à chercher des financements par exemple. Un docteur peut donc occuper des postes dans l'entreprise en dehors du domaine de la recherche.

Cependant, nous observons encore aujourd'hui chez Safran que les carrières des docteurs sont surtout orientées vers l'expertise et la R&D, même si d'autres possi-

bilités d'évolutions professionnelles leur sont offertes comme le management de projets/programme, la relation client ou les fonctions supports (achat, qualité?). Nous souhaitons, et ce point est encore loin d'être le cas général, que la préparation d'un doctorat s'inscrive de plus en plus dans une démarche de professionnalisation en conservant son caractère d'excellence scientifique. Il est également important pour les universités de mettre en place des interlocuteurs spécifiques pour les industriels et d'uniformiser les formations. Concernant les conventions CIFRE, l'implication des laboratoires universitaires est particulièrement importante.

Dans un passé encore récent, un docteur non ingénieur avait peu de chances d'être embauché au sein du Groupe Safran, et par ailleurs les ingénieurs issus d'écoles de rang A préféraient souvent commencer leur carrière comme ingénieur d'étude plutôt que dans le cadre d'une thèse, craignant que cette formation ne soit pas un plus pour leur CV. Aujourd'hui les choses évoluent. Depuis de nombreuses années, le doctorat est pris en compte chez Safran comme un plus dans le positionnement du salaire à l'embauche. Ce point ne constituant pas l'unique élément de motivation, le Groupe engage un travail sur une politique d'intégration des docteurs, notamment par la mise en place d'une grille de salaire progressive du thésard dans le cadre de pré-embauches et la mise en place d'un parcours de carrière expert dans lequel les docteurs peuvent trouver leur place. Ces pratiques sont déjà en place dans certaines filiales du groupe, dont Sagem et nous souhaitons proposer ces modalités à l'ensemble de filiales du Groupe.

Dans ce cadre, Safran a contribué aux travaux du groupe de travail piloté par la Commission du dialogue économique du MEDEF intitulé « Pourquoi se priver des docteurs ? ».

Philippe Martin (Veolia) :

Veolia emploie plus de 330.000 salariés et a 4 métiers : l'eau, les déchets, le transport et l'énergie. Le département recherche est commun aux 4 axes. Il emploie 800 personnes. Pour moitié des ingénieurs, pour moitié des docteurs ; 20 docteurs environ sont recrutés par an. Beaucoup des docteurs sont spécialistes de biologie, physique, chimie... Un mathématicien a été récemment embauché pour créer un groupe de recherche dans le domaine des mathématiques appliquées.

Les besoins en mathématiques appliquées sont divers. Les problèmes d'énergie demandent de l'optimisation, les problèmes d'eau potable demandent de modéliser et simuler les réseaux de distribution ainsi que la capacité à maintenir leur qualité.

Pierre-Louis Viollet (EDF R&D) :

2.000 personnes environ, entre 40 et 50% de docteurs. Entre 50 et 120 recrutements par an, 20% d'étrangers, en raison de la nature internationale du groupe, tous des docteurs. Les compétences recherchées sont l'optimisation, la recherche opérationnelle, le traitement du signal et de l'image, la simulation, les EDP, la statistique, la gestion des grandes bases de données, les mathématiques financières, l'informatique...

Les recrutements de docteurs sont indispensables parce que le doctorat est bien reconnu à l'étranger.

Les spécialistes en statistiques sont très vite opérationnels. EDF cherche aussi des experts en modélisation et en simulation, en mathématiques appliquées, qui soient également spécialistes d'un domaine applicatif (mécanique des fluides, par exemple). Ces mathématiciens appliqués sont recrutés parce qu'ils ont acquis l'habitude de travailler avec des non mathématiciens.

Malheureusement, la thèse est quand même vue par beaucoup d'étudiants ou ingénieurs comme une perte de temps pour le déroulement de leur carrière.

Rémi Sentis (CEA-DAM) :

La Direction des applications militaires du CEA emploie environ 4300 personnes. Pour le seul centre de Bruyères-le-Châtel (qui abrite l'un des plus grands centres européen en calcul scientifique) les embauches de cadres sont constituées à plus de 15% de docteurs en mathématiques appliquées. Les carrières des docteurs en mathématiques appliquées sont bonnes en général. Les docteurs en mathématiques appliquées sont le plus souvent embauchés par les départements qui conçoivent les codes de calcul puis vont irriguer les départements de physique qui ont besoin d'avoir des ingénieurs connaissant bien les outils numériques utilisés (que ceux-ci soient propriétaires ou généraux).

Il est à noter que, plus généralement, le secteur de l'Armement devrait être un autre secteur de recrutement parce que, pour des raisons de sécurité, on y développe des codes de calcul spécifiques.

Il s'avère qu'en France le vivier d'étudiants en master 2 (M2) - puis corrélativement en thèse - dans les domaines de l'analyse numérique, du calcul scientifique et des probabilités-statistiques en vue des applications physiques et technologiques, est trop restreint. Il faudrait intervenir auprès du monde universitaire sur ce point.

Thierry Nkaoua (AREVA) :

Pour des raisons historiques, à Framatome et Cogema (précurseurs d'AREVA), on n'embauchait pas beaucoup de docteurs, car les travaux de conception et d'ingénierie étaient effectués en interne par des ingénieurs tandis qu'une bonne partie de la recherche était et est toujours réalisée par le CEA.

Depuis deux ans les choses ont beaucoup changé avec une volonté nouvelle de favoriser le doctorat. Par exemple, depuis cette année fonctionne le programme AREVA Grants : des thèses entièrement financées par AREVA en collaboration avec des universités autant en France qu'en Europe et dans le monde. Ceci traduit une volonté claire de changements d'image et de partenariats de recherche.

Dans une entreprise, on rencontre ceux qui font, ceux qui résolvent des problèmes avec des outils existants, et ceux qui sont capables de créer la connaissance. Le changement de politique vis à vis des docteurs a eu lieu parce qu'AREVA a besoin de créer des nouveaux outils. Pour avoir un réel impact dans des domaines innovants comme, par exemple, les nanotechnologies, il faut avoir des experts dans l'entreprise parce qu'il est souvent impossible de sous-traiter dans de bonnes conditions à des équipes expertes extérieures à la fois pour des raisons de confidentialité et parce qu'il est très difficile de diagnostiquer ce qu'il y a de prometteur « à l'extérieur de l'entreprise » sans une maîtrise avancée des domaines. L'expert interne est capable de fournir le niveau adéquat d'information à une équipe externe, et est aussi capable de l'évaluer. Les docteurs savent assurer l'interface avec les équipes de recherche académiques.

Des problèmes de carrière peuvent survenir pour des docteurs qui ne savent pas ou ne veulent pas prendre de risques (mobilité thématique, allers-retours recherche-industrie, etc.) à certains moments de leur carrière, ce qui est d'ailleurs vrai pour la plupart des gens !

Si on veut avoir dans l'entreprise la capacité d'aborder un problème avec des regards différents et complémentaires, il faut multiplier les profils, en recrutant dans des types de formation variés.

Stéphane Tyc (BNP Paribas) :

Je dirige une équipe de 50 personnes, avec 30 % de docteurs en sciences (informatique et mathématiques) dont 90 % venant de grandes écoles. À l'embauche, le domaine de compétences n'est pas privilégié mais plutôt la qualité et la technicité du travail dans un endroit de qualité. Je me méfie des doctorats en mathématiques financières et je préfère recruter sur des profils larges.

En fait, je suis à la tête d'une PME qui fait du calcul scientifique à l'intérieur de la banque. La recherche concerne l'algorithmique, la manipulation de données (sto-

ckage de 10 gigabit/jour), l'architecture logicielle qui est difficilement dissociable des problèmes de *hardware*. On manque en France de spécialistes à l'interface entre mathématiques et développement de logiciels de qualité professionnelle ayant en plus une bonne compréhension de la puce multi-cœur. Nous recherchons des docteurs avec des esprits ouverts, de l'indépendance, une démarche expérimentale rigoureuse, de la maturité scientifique.

Martine Pretceille (Association Bernard Gregory) :

Depuis 30 ans l'ABG a pour but de rapprocher les mondes académique et économique dans le cadre des embauches de jeunes chercheurs. L'ABG favorise l'emploi de docteurs en rendant visibles les compétences des docteurs, en améliorant la communication du monde académique, en structurant le réseau des docteurs (en imitant les réseaux des ingénieurs), en informant les industriels que le monde académique a changé et réciproquement.

Les attentes dans les entreprises changent, le monde universitaire a aussi beaucoup changé. L'ABG a ainsi une mission de portail, de mutualisation et de fédération d'initiatives et de synergies diverses.

L'ABG a récemment mené des actions avec le MEDEF, la CGPME et a créé une collection chez Eyrolles (2 ouvrages : *Recruter des docteurs pour booster votre entreprise*, B. Carrias et *Projet professionnel et doctorat, un duo gagnant*, F. Baty-Sorel et F. Deloffre-Vye).

Nous voulons constituer un référentiel dynamique des compétences. Les docteurs ont des compétences plus hétérogènes que les ingénieurs, ce qui est une force pour faire face aux développements rapides de l'économie. Il est dommage que les écoles doctorales, dans leur grande majorité, ne tiennent pas suffisamment compte de ces changements. Les docteurs ont aussi pour qualités l'interdisciplinarité et la capacité à communiquer avec d'autres experts, y compris ceux des lettres et sciences humaines.

Il faut fluidifier les rapports entre le monde académique et le monde économique. Par exemple, il existe peu de mots communs entre les CV des candidats et les offres d'emploi. Il faut donc chercher à développer un langage commun.

Le vivier des docteurs faiblit dans toutes les disciplines en raison de discours décourageants sur les formations doctorales. Pourtant l'industrie aura besoin de plus en plus de docteurs.

L'ABG a mis en place un module de formation pour accompagner des étudiants de L3, M1 et M2 et pour attirer les meilleurs étudiants vers la thèse. Certaines écoles d'ingénieurs se sont montrées intéressées par ce module. Il faudrait d'ailleurs travailler plus avec la CGE.

Il manque une politique de RH pour les docteurs ; au-delà des salaires et des promotions, les chercheurs et les docteurs ne bénéficient pas d'une politique de formation continue pour renouveler leurs intérêts, leurs performances, leurs expertises.

Il faudrait aussi favoriser les passerelles entre privé et public pour les chercheurs et les docteurs, avec des évaluations ajustées en conséquence.

Amandine Bugnicourt (Adoc Talent Management) :

Adoc Talent Management est un cabinet spécialisé dans le conseil en recrutement de Docteurs/PhDs, nous accompagnons aussi nos clients dans le montage de projets de recherche en collaboration avec des laboratoires académiques. Les problèmes sont plus prégnants pour les PME et les start-up qui ne savent souvent ni où trouver les docteurs, ni comment évaluer les compétences acquises par la pratique de la recherche. En ce qui concerne les embauches dans les entreprises n'ayant pas l'habitude de recruter sur ce vivier, on observe que les docteurs CIFRE et les docteurs ingénieurs « rassurent ».

Les besoins de compétences recherchées au sein d'un collaborateur en PME sont variés : expertise technique dans le cœur de métier de l'entreprise ; autonomie ; compétence en gestion des projets ; capacité de mener un projet de recherche jusqu'à la fin : jusqu'au prototype et à la commercialisation ; polyvalence ; goût pour la recherche appliquée ; fibre entrepreneuriale.

Les docteurs apportent aussi une connaissance du monde académique et de la recherche, du montage de PCRD, de tout l'écosystème de la recherche. Ils ont ainsi un rôle d'intermédiation qui est très important pour impulser une dynamique d'innovation au sein de la PME.

Fréquemment, toutes ces compétences sont présentes chez les docteurs, mais l'entretien de recrutement, exercice auquel les docteurs ne sont pas préparés, peut être « bloquant ». Il y a notamment la nécessité pour eux de s'adapter au vocabulaire de l'interlocuteur, qui peut être éloigné du langage académique.

Mohamed Amara (Agence Nationale pour la Recherche et Université de Pau) :

L'ANR a engagé, il y a un an, par le biais d'un atelier de réflexion prospective conduit par l'INRIA et la Fédération de Recherche en Mathématiques de Paris, une réflexion sur les relations mathématiques-industrie. Le but est d'émettre des propositions permettant d'améliorer ces relations et l'atelier a porté sur des points aussi divers que : Que faire au niveau des formations ? Comment utiliser des informations comparatives obtenues, notamment celles qui concernent les pays anglo-saxons ? Que faire vers les PME ?...

Les relations entre universités et grands groupes industriels sont anciennes et classiques. Par contre, il reste beaucoup à faire au niveau des petites entreprises innovantes.

Les instruments de l'ANR sont les appels à projets (malheureusement peu adaptés aux relations entre mathématiques et industrie en particulier pour les PME) et d'autres dispositifs de soutien (par exemple, l'éligibilité des projets labellisés ANR au crédit impôt recherche).

■ Discussion ouverte

Laurent Gouzènes :

STMicronics a sanctuarisé les embauches des doctorants, qui sont désormais classées hors gels d'embauches les mauvaises années.

Thierry Nkaoua :

Il faut être très attentif à ce que les sujets de thèses proposés en entreprise soit réellement des sujets avec un potentiel de création de connaissances, l'application en milieu industriel donnant alors une valeur supplémentaire majeure à la thèse. Mais il faut aussi éviter la tentation, grande en période de crise économique, de considérer les thésards comme une ressource d'appoint aux problèmes courants des entreprises.

Erick Lansard :

Dans notre entreprise, pour éviter les thèses de complaisance, toutes les thèses sont dirigées en étroite collaboration avec un partenaire académique. De plus, nous avons créé un comité spécifique chargé de sélectionner et de contrôler le niveau de qualité des thèses au sein de notre entreprise.

Le PDG de notre entreprise a explicitement demandé à la DRH d'être plus volontariste dans le recrutement de chercheurs et doctorants, afin d'en augmenter le nombre.

Dans l'industrie, pour augmenter le niveau et la qualité des embauches de docteurs, il faudrait changer les mentalités de beaucoup de DRH, managers et hauts responsables.

Pierre-Louis Lions :

Dans beaucoup de thèses de mathématiques appliquées il y a très peu d'informatique, et cela manque. Par ailleurs, j'ai entendu parler du problème de manque de « sens physique » chez les doctorants ; je pense qu'il s'agit d'un faux problème,

car on observe ce manque aussi chez les ingénieurs. Ce qu'il faut à un doctorant c'est du recul sur les problèmes à résoudre.

Quant au manque de qualité de beaucoup de thèses réalisées dans l'industrie, il faut reconnaître que le niveau n'est pas toujours bon non plus à l'université. Il faut progresser partout. Ceci dit, je pense qu'il vaut mieux embaucher un docteur après une thèse moyenne que quelqu'un sans thèse.

Les jeunes entreprises innovantes (JEI) recrutent énormément de chercheurs en France, ce qui leur donne un avantage concurrentiel clair par rapport à d'autres pays.

Les entreprises doivent aider à la reconnaissance du diplôme de doctorat. En parallèle, les universités doivent faire des progrès en termes de sujets, d'ouverture vers l'industrie, de formation, de pluridisciplinarité, de capacité à travailler en équipe. Il faut aussi éviter la tentation d'orienter les bons thésards vers le monde académique exclusivement.

Les hauts salaires attirent vers les banques des docteurs de très haut niveau. Cet attrait n'existe pas dans l'industrie française. L'incitation par le salaire joue un rôle important et indéniable pour attirer les jeunes brillants.

Les mesures d'accompagnement pour favoriser l'embauche des docteurs doivent être très différentes pour les docteurs ingénieurs d'écoles de niveau A, pour les docteurs ingénieurs d'écoles de niveau B et pour des docteurs non ingénieurs.

Jean-François Boulier et Stéphane Tyc :

Il n'y a pas que le salaire qui attire, il y a aussi le sens de l'aventure, l'attrait de problèmes nouveaux et importants à résoudre. Il faut faire rêver les jeunes, leur donner envie de participer à des aventures au cœur de l'innovation et des nouvelles technologies.

Martine Pretceille :

La plupart des DRH sont formés à l'université. Il faudrait donc que les universités leur expliquent clairement l'intérêt du doctorat dans les entreprises et mettent en avant le fait que les docteurs sont des individus bien formés avec une personnalité forte et un esprit de plus en plus ouvert au monde de l'entreprise.

Erick Lansard :

Un doctorat est un master + 3 à rémunérer en conséquence. Chez Thales, on embauche un docteur de l'École Polytechnique à 3 800 € mensuels (brut) et un docteur universitaire à 3 300 € ou plus en fonction de son origine. Chez Thales Alenia Space, le niveau de salaire est un peu inférieur car il est tenu compte également

des salaires de l'environnement dans lequel va évoluer le docteur (le différentiel historique Alcatel n'est pas encore gommé après 2 ans de rattachement au groupe Thales).

Martine Pretceille :

Un docteur non ingénieur est parfois embauché à un niveau de salaire inférieur à un ingénieur, mais nous avons observé que le rattrapage est rapide ensuite.

Erick Lansard :

Ce n'est pas clair que ce soit vrai partout. On observe en général chez nous qu'il est très difficile de rattraper de mauvaises conditions initiales d'embauche.

François Blanc :

Les entreprises qui embauchent peu de docteurs recrutent plutôt des docteurs qu'elles connaissent a priori, ce qui n'est pas nécessairement le cas des grands groupes.

Laurent Gouzènes :

La SMAI pourrait œuvrer pour changer l'image du doctorat, et surtout du doctorat universitaire, vis à vis des entreprises, en expliquant son importance pour réussir de bonnes modélisations ; en montrant des exemples de belles réussites ; en créant des liens. Tout cela devrait être fait régulièrement.

Philippe Martin :

Il faudrait reconsidérer la grille des salaires pour mieux valoriser les docteurs. La France a une pratique différente de la plupart des autres pays, où le diplôme de référence est le doctorat. L'internationalisation des entreprises devrait être un levier pour changer les mentalités.

Jean-François Coron :

On recrute un diplôme peut-être, mais surtout on recrute une personnalité, qui se donne, qui crée, c'est cela qui a de la valeur !

Amandine Bugnicourt :

Certaines entreprises recrutent plutôt des ingénieurs parce qu'elles pensent ainsi limiter le « risque » de se tromper puisqu'elles appréhendent bien le socle de compétences de ce vivier. Les compétences acquises par la pratique de la recherche, qu'elles soient dites « d'expertise » ou transverses, peuvent leur sembler plus difficile à évaluer. Elles peuvent éprouver le besoin d'être accompagnées à cette fin, voire, et c'est dommage, préfèrent s'abstenir de s'ouvrir à ce vivier. Concernant les salaires, nous observons classiquement des salaires allant

de 33 000 à 40 000 € bruts annuels lors du premier poste suivant l'obtention du doctorat, en fonction de la discipline et de l'origine, de la fonction et de la structure d'accueil (PME, grands groupes, associations, etc.). Il convient également de préciser que nous nous sommes centrés aujourd'hui sur la R&D, cependant, près d'un docteur sur deux qui rejoint le secteur privé est embauché hors R&D. Par exemple, de nombreux docteurs travaillent à des postes de consultants, chefs de projets ou encore technico-commerciaux.

Frank Pacard :

Il faut mettre en avant le fait qu'un ingénieur est à bac +5 tandis qu'un docteur est à bac +8. Cela devrait faire la différence pour les entreprises.

Par ailleurs, il est dommage que le débat se soit focalisé sur la comparaison ingénieurs versus docteurs. Quid de l'embauche de docteurs par rapport à celle des titulaires d'un simple master ?

Enfin, il faudrait publier des histoires de réussites industrielles de docteurs dans des journaux spécialisés professionnels lus par les professionnels.

Laurent Gouzènes :

Les ingénieurs sont des généralistes, formatés à l'identique, et les docteurs sont des hyper-spécialistes qui, pendant leur thèse, ont su rechercher de l'information, effectuer des choix, rédiger.

6. Conclusion

Les témoignages et contributions de ce Livre Blanc sont d'une grande richesse et d'un grand intérêt. Parmi les faits les plus saillants, on pourrait retenir les suivants.

Les grandes entreprises françaises peuvent être classées en trois grandes catégories. D'une part, celles qui ont une tradition d'embauche de docteurs en mathématiques et qui probablement continueront à en engager, conscientes qu'elles sont de l'importance de ces embauches pour leurs besoins et leur développement. À l'autre extrémité du spectre, les entreprises qui ne voient pas l'intérêt de ce type d'embauches. Enfin, entre les deux, un groupe de plus en plus important d'entreprises qui prennent conscience des apports des docteurs pour monter des projets innovants et pour créer de nouveaux procédés et produits ; certaines de ces entreprises, qui découvrent la différence et la complémentarité entre ingénieurs et chercheurs, commencent à mettre à jour leurs grilles de salaires à l'embauche afin de tenir compte du fait qu'un doctorat est un diplôme bac +8. L'évolution est lente, mais clairement perceptible.

L'internationalisation des entreprises favorise cette évolution : hors de France, le doctorat (PhD) est partout le diplôme de référence et est requis pour un recrutement à un poste de grande technicité ou de direction.

La majorité des personnes qui ont contribué à ce Livre Blanc a une vision très positive de la formation doctorale en mathématiques appliquées et des apports des docteurs au monde industriel. Il est en particulier reconnu, au sein des entreprises comme dans les cabinets de recrutement, que les docteurs en mathématiques appliquées ont non seulement des compétences précieuses sur des sujets de pointe, mais ont aussi et surtout le sens de l'initiative, une vision plus abstraite, générale et rigoureuse face à des problèmes complexes, la capacité d'évaluer une méthodologie avant de la mettre en œuvre, celle d'avoir un regard critique sur les résultats obtenus, le sens du travail en équipe et de l'animation des groupes, et l'habitude d'aller au fond des problèmes. Certaines de ces qualités (rigueur, profondeur d'analyse, recherche de l'existant avant de se lancer) sont certainement l'apanage des docteurs de toutes les disciplines scientifiques ; d'autres sont spécifiques aux mathématiques appliquées (capacité à travailler aux interfaces des mathématiques, expérience en modélisation, en calcul scientifique, en informatique...). Enfin les docteurs conservent en général des relations utiles avec le monde académique, qui leur permettent par exemple de se tenir au courant des dernières méthodes de calcul de pointe. Ils apportent un savoir-faire et une expérience acquis pendant trois années de recherche qui ne résultent pas de la formation

délivrée en école d'ingénieurs.

La formation des docteurs en mathématiques appliquées qui iront travailler dans l'industrie ou les services doit tenir compte du fait qu'ils devront s'intégrer au sein d'équipes variées, en collaboration avec des ingénieurs, des développeurs de codes et des chercheurs d'autres disciplines. Les industriels s'attendent non seulement à ce qu'ils soient capables d'avoir un raisonnement rigoureux, mais aussi à ce qu'ils sachent programmer et qu'ils aient des connaissances dans d'autres disciplines, comme la mécanique, la physique ou la chimie par exemple. La formation devrait aussi comprendre une préparation à l'embauche et au travail en entreprise.

Les thèses CIFRE sont particulièrement appréciées par nombre d'entreprises, par la formation mixte qu'elles permettent de donner aux docteurs. Ces thèses réalisées en interne sont particulièrement appréciées par les entreprises embauchant peu de mathématiciens.

Enfin, toutes les entreprises, ou presque, sont très intéressées par le double profil ingénieur - chercheur, car ce double profil réunit toutes les compétences.

Quant à eux, les jeunes mathématiciens travaillant en entreprise témoignent d'expériences variées, le plus souvent satisfaisantes. La plupart de ces jeunes sont contents de leur choix et de leur travail. Même si certains sont déçus de ne pas exercer un métier plus proche de la recherche, l'avis général est que l'expérience doctorale a été un élément essentiel de leur réussite professionnelle.

En conclusion, la SMAI constate avec joie la richesse croissante des perspectives offertes par le monde industriel aux docteurs en mathématiques appliquées : les parcours professionnels sont de plus en plus variés ; les entreprises reconnaissent de mieux en mieux, par les salaires et les responsabilités, les connaissances et les qualités humaines engrangées pendant une thèse ; le développement de stratégies de recherches innovantes et l'internationalisation contribuent aux besoins en docteurs. La SMAI souhaite que les entreprises et les écoles doctorales continuent de conjuguer leurs efforts pour offrir à nos futurs jeunes docteurs des carrières diversifiées, passionnantes, utiles aux avancées technologiques et scientifiques.

■ Annexe

Quelques documents relatifs au sujet de ce Livre Blanc

- Des publications de l'ANDÈS (Association nationale des docteurs) :
<http://www.andes.asso.fr/PUBLI.htm>
 - Les Docteurs : des compétences sous-utilisées :
<http://www.andes.asso.fr/download/fiche-competences-docteurs.html>
 - Les docteurs dans la haute fonction publique :
http://www.andes.asso.fr/download/rapport_hfp2008.pdf
- Quelques publications de membres de l'IREDU (Institut de Recherche sur l'Éducation : Sociologie et Économie de l'Éducation) :
<http://iredu.u-bourgogne.fr/>
 - Quelle formation pour les docteurs face aux évolutions du marché du travail ? :
<http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/05/02/58/PDF/02120.pdf>
 - Why Grandes écoles are so valued ? :
<http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/41/93/88/PDF/09033.pdf>
 - French Engineering Graduates in Corporate R & D : Is it worthwhile ? :
<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00283558/en/>
 - Étude sur la mobilité des jeunes docteurs :
<http://ideas.repec.org/p/hal/journal/halshs-00005800.html>
- Rapport public : Rapport relatif au statut et aux conditions de travail des jeunes chercheurs et des jeunes enseignants-chercheurs FRANCE. Conseil supérieur de la recherche et de la technologie :
<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/074000657/index.shtml>

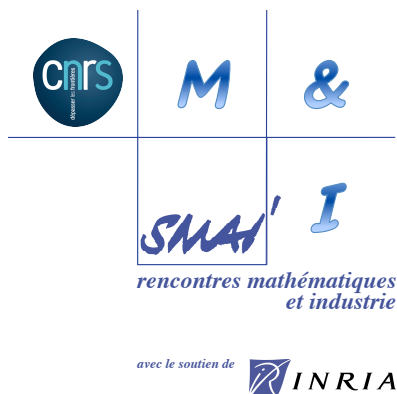
Autres documents d'intérêt :

- Compte rendu de l'Atelier de Réflexion Prospective de l'ANR (Agence nationale de la recherche) « Enquête sur les mathématiques au cœur de l'innovation industrielle » :
http://smai.emath.fr/spip/IMG/pdf/rapport_ARP_public.pdf
- Rapport final du « Forward Look Mathematics & Industry » de l'ESF (European Science Foundation), élaboré en collaboration avec le comité de mathématiques appliquées de l'EMS (European Mathematics Society) :
<http://www.ceremade.dauphine.fr/FLMI/>

■ Table des matières

1. Présentation du Livre Blanc	3
2. Le diplôme de docteur en mathématiques appliquées : qu'en pensent les entreprises ?	7
– Michel Crouhy, Natixis	7
– Jean-Christophe Culioli, Air France	8
– Thierry Druot, Airbus France	8
– Eric Duceau, EADS Innovation Works	10
– Richard Epenoy, Centre National d'Études Spatiales (CNES)	11
– Claude Guet et Bruno Scheurer, Commissariat à l'Énergie atomique (CEA) ..	11
– Erick Lansard, Thales Alenia Space	13
– Jean-Michel Lasry, groupe Crédit Agricole	17
– Ali Rezgui, Michelin	18
– Etienne de Rocquigny, EDF R&D, actuellement École Centrale Paris	19
– Didier Roux, Saint-Gobain	23
– Bruno Stoufflet, Dassault Aviation	24
– Yves Tourbier, Renault	26
3. Témoignages de jeunes docteurs en entreprise	27
– Annalisa Ambroso, AREVA	27
– Olivier Bardou, GDF SUEZ	28
– Laurent Benoit, GDF SUEZ	29
– Jonathan Chetboun, Dassault-Aviation	30
– Nicolas Dicesare, Natixis	32
– Gabriela Dobranszky, Initiative Technologie	32
– Karima El Ganaoui, NTConseil, Géosciences	33
– Nicolas Gilardi, CEA	37
– Pascal Havé, IFP Énergies nouvelles	38
– Nicolas Lantos, Natixis	40
– Pascal Minini, Sanofi-Aventis	41
– Jacques-Olivier Moussafir, Saint-Gobain, actuellement BNP	41

4. Le diplôme de docteur en mathématiques appliquées : passeport ou handicap pour un recrutement?	43
– Amandine Bugnicourt, Adoc Talent Management	43
– François Coquet, ENSAI	48
5. Compte rendu de la Table Ronde sur la valorisation dans l'industrie du diplôme de docteur en mathématiques appliquées	49
6. Conclusion	67
Annexe : Quelques documents relatifs au sujet de ce Livre Blanc	69



Les rencontres Math-Industrie de la SMAI

« Les industriels et les mathématiciens se parlent »

À l'initiative de la SMAI et du CNRS, avec le soutien de l'INRIA et en association avec la SFdS, la SMF ou autres associations selon les thématiques, un cycle de journées est organisé pour présenter les applications des mathématiques dans l'industrie et les services de façon à renforcer les liens entre mathématiciens et industriels et à les étendre à de nouveaux domaines. Ceci concerne les mathématiques « déjà » appliquées (au premier rang desquelles le calcul scientifique, les statistiques, la modélisation, l'optimisation...) et aussi des mathématiques plus traditionnelles (géométrie, algèbre, analyse, logique, systèmes dynamiques...).

■ Parmi les thèmes des précédentes rencontres :

- Enjeux Mathématiques du Calcul scientifique à Haute Performance
- Interactions entre mathématiques et industrie pharmaceutique
- Mathématiques et Géosciences
- Evaluation des Risques
- Mathématiques et sécurité informatique
- Mathématiques et environnement
- Aéronautique et espace
- Simulation numérique en aéroacoustique
- Applications médicales et gènes pathogènes
- Voile et innovation mathématique.

■ **Contact** : smat-vp-industrie@emath.fr

SMAT'