

A. Bachelot et J.-P. Raoult<sup>1</sup>

Cette contribution présente une synthèse de réflexions sur les relations “Mathématiques — Entreprises”. On a tenté de situer le cadre où se nouent ces liens, et d’examiner le rôle et les possibilités d’insertion du mathématicien dans une entreprise. Nous ne sommes pas partis d’analyses existantes : la méthode employée a consisté à collecter le plus grand nombre de témoignages d’expériences dans ce domaine. La principale difficulté fut d’obtenir des chiffres fiables dans un secteur très dispersé et dans lequel les opinions divergent beaucoup selon les exigences locales : le monde de l’entreprise est beaucoup plus changeant et polymorphe que notre monde académique ! Nous estimons néanmoins qu’en dépit de données quantitatives insuffisantes, nous exposons ici un panorama vraisemblable des interactions possibles entre les mathématiciens et les entreprises.

### 1. Des entreprises...

Une entreprise est un lieu d’échange pour produire de la valeur ajoutée. Elle prend de la matière première, éventuellement grise, chez ses fournisseurs (par exemple des mathématiques ou des mathématiciens issus de l’université !), et propose un produit à ses clients. Ses constantes de temps ne sont pas celles de la recherche académique : on doit respecter des délais de livraison. Avec la fin de la guerre froide, de grands secteurs de recherches appliquées ne sont plus tirés par le militaire et le nucléaire. Ce type d’industrie avait l’avantage d’avoir une vision à long terme et une planification étatique ; ses constantes de temps étaient de même niveau que celles de la recherche universitaire. A présent les constantes de temps semblent s’être beaucoup raccourcies dans les entreprises civiles qui paraissent souvent intéressées par l’achat de logiciels clés en main. Leurs objectifs et leurs méthodes de travail, qui ont évolué, sont fort différents des universités. Il est important de souligner que la structuration en mathématiques est disciplinaire

---

<sup>1</sup> Ce texte a bénéficié des contributions et commentaires de J. Blum, F. Dubois, C. Guillopé, A. Jami, J.-C. Nédélec, B. Prum.

(analyse numérique, probabilités statistiques mathématique discrètes,...) alors qu'elle est fonctionnelle en entreprise; on doit distinguer :

- de grands organismes non représentatifs du monde de l'entreprise (CEA, Cemagref...),
- les très grandes entreprises ayant éventuellement des finalités autres que la production, et une expérience ou un service de recherche (EDF, ELF, Aérospatiale, constructeurs automobiles...) (besoins en calcul scientifique lourd et en traitement de grandes banques de données)
- le secteur bancaire et les assurances (calcul stochastique, optimisation, contrôle...),
- les PME-PMI (tournées vers la production, sans tradition de recherche, avec une trésorerie serrée, une culture peu universitaire, des besoins très spécifiques de modélisations peu évidentes...),
- les sociétés de service, par exemple spécialisées dans le développement de logiciels, à thématique pointue (théorie des nombres en cryptographie, géométrie en visualisation, optique géométrique en radar...), souvent de taille petite ou moyenne et en liaison avec des laboratoires universitaires (CADOE, MOTHEMIM, Sciencetech, SUDIMAGE...), ou plus importantes et associées à de grandes structures (CISI, SIMULOG...).

## 2. Relations laboratoires universitaires entreprises : pourquoi?

### 2.1. Transfert de connaissances dans les deux sens

Pour le partenaire académique, les relations avec les entreprises sont sources de nouveaux sujets de recherches, de thèses, et de domaines d'applications; il en découle une augmentation du nombre de thésards, stagiaires DESS, etc. donc de résultats produits; elles ouvrent aussi des possibilités d'embauches ultérieures des docteurs amorçant des liens dans la durée avec l'entreprise.

Pour l'entreprise la relation avec l'université permet l'acquisition bon marché de concepts nouveaux issus des recherches fondamentales développées à l'extérieur, des contacts enrichissants avec une culture, des compétences et des méthodes de penser et de travailler différentes.

### 2.2. Valorisation

Pour les universitaires c'est la possibilité de trouver des financements spécifiques : Conventions Industrielles de Formation par la Recherche

(CIFRE), Contrats de Thèses CEA-Région (CTCR), contrats divers, prises de brevets, etc. s'ajoutant aux crédits de fonctionnement habituels.

Pour l'entreprise, une relation contractuelle avec l'université permet l'acquisition de compétences à prix réduit, une gestion souple de personnel qualifié mais temporaire et jeune donc bon marché (stagiaires, doctorants), et dans le cas des entreprises de taille moyenne ou petite, de faire l'économie de l'investissement lourd dans un service consacré à la recherche. Par ailleurs, la recherche théorique sert à valoriser une image novatrice et de haut niveau technologique de l'entreprise.

### 3. Relations avec les entreprises : comment?

Ces relations prennent des formes différentes selon la fonction de l'universitaire concerné. On distingue :

- le consultant scientifique, dont les liens personnels privilégiés avec l'entreprise ont éventuellement des retombées sur le laboratoire;
- l'ingénieur du laboratoire travaillant sur un contrat. Ce cas suscite deux remarques contrastées : d'une part on peut regretter qu'il n'y ait pas assez d'ingénieurs disponibles pour travailler en collaboration extérieure, d'autre part la compétence de l'ingénieur est tournée vers le laboratoire qui n'a pas vocation à être une société de service. Sur ce point les mathématiciens expriment des opinions variées, et parfois des réticences que n'ont pas des collègues d'autres disciplines, ouvertement appliquées (mécanique, chimie, électronique).
- les doctorants. C'est un cas bien adapté aux grandes entreprises, illustré par l'exemple des conventions CIFRE : de 1989 à 1996, sur 100 bourses CIFRE, 72 concernent de grandes entreprises industrielles, 12 le secteur bancaire et des assurances, 16 les PME-PMI (pour les détails voir les statistiques CIFRE en appendice). Il peut apparaître des difficultés : les compétences du jeune sont encore mal connues (à l'exception de ceux qui sortent des grandes écoles) et les critères de réussite et d'obligations de résultats sont de nature différente pour une thèse et un contrat industriel; ce dernier point est très sensible dans les entreprises moyennes ou dans le cas où la thèse est préparée dans un service éloigné de la recherche.
- les post-doc en entreprise par exemple les conventions INRIA<sup>2</sup>/industries sont très intéressants et devraient être développés.

<sup>2</sup> Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

#### 4. Les mathématiciens en entreprise

Les entreprises ne réclament pratiquement jamais de mathématiciens en tant que tels, mais ont des besoins mathématiques qu'il leur arrive de satisfaire, soit en se débrouillant avec leurs propres moyens, soit (il semble que ce soit actuellement de plus en plus fréquent) en confiant des études, par contrat, à des laboratoires universitaires ou à des sociétés de service, plus ou moins compétentes (encore que ceci ait motivé la création de quelques PME "high-tech" spécialisées), soit enfin en recourant parfois à l'embauche, temporaire ou permanente, de personnels de formation mathématique (et c'est ce qui va nous intéresser ici).

Il faut distinguer les exigences de l'entreprise lors d'un premier contact (convention CIFRE, stage post-doctoral, CDD divers,...) et lors d'une embauche de plus longue durée.

La première entrée se fait souvent sur un thème assez précis, qu'il s'agisse d'un projet doctoral ou d'un besoin d'acquisition de compétences de la part de l'entreprise, sur une technologie ou un ensemble de méthodes dont elle ressent la nécessité. A ce stade, le cursus proprement mathématique de la personne recrutée joue un rôle déterminant. L'acquisition préalable d'une double compétence (aux mathématiques appliquées se joignant par exemple à l'informatique, l'automatique, la mécanique, la biologie, l'économétrie ou la gestion...) peut dans certains cas favoriser le recrutement. Mais ce n'est pas toujours vrai, l'entreprise pouvant préférer que l'initiation nécessaire à son champ d'application se fasse en son sein, ce qui ne va pas sans susciter souvent des difficultés de dialogue, largement inévitables de toute façon. La formation en grande école reste souvent un atout important, surtout là où existe déjà une forte culture "ingénieur" (c'est-à-dire plus en entreprises de production que dans le secteur bancaire ou actuariel); mais une telle formation est, semble-t-il, fréquemment vue plus comme une garantie de haut niveau et de prédisposition à s'insérer dans l'entreprise que comme la preuve d'un ensemble pertinent de connaissances. La capacité du jeune chercheur à s'adapter jouera ensuite un rôle capital : acceptation des buts du service où il est placé, aptitude à lire la documentation technique et à en intégrer le style et le vocabulaire, faculté à mener une étude "jusqu'au bout", en particulier dans sa mise en oeuvre informatique. Il s'agit donc largement alors de qualités intellectuelles et humaines, mais il s'exprime un regret assez général que l'enseignement mathématique français (lycées,



classes préparatoires aux grandes écoles, université) ne favorise pas le développement de ces qualités.

Une embauche plus stable n'est effectuée en général que si l'entreprise considère qu'elle a la garantie, souvent obtenue à l'occasion d'un séjour préliminaire ou d'une expérience du même ordre dans une autre firme, que le personnel recruté lui assurera une compétence originale mais aussi constamment renouvelée en fonction de l'évolution de ses besoins. C'est souvent l'esprit même du mathématicien (capacité à modéliser, formaliser, effectuer des synthèses, proposer des solutions neuves) qui sera invoqué aussi bien pour le refuser que pour l'accepter, plutôt que sa culture mathématique elle-même. Le travail proposé sera généralement plutôt celui d'un ingénieur de recherche, voire d'un informaticien de conception, et consistera à assurer une veille technologique sur les outils de mathématiques appliquées, traduire les travaux théoriques en un langage plus compréhensible en milieu industriel ou bancaire, et les appliquer, souvent à un niveau très inférieur à leur puissance réelle, pour obtenir des résultats dans les délais impartis. Une bonne part de diplomatie est aussi indispensable pour concilier ces résultats avec la tradition de l'ingénieur ou le flair du banquier, tout en acceptant dans certains cas d'avoir plus servi à la réputation de l'entreprise, qui peut faire ainsi état de l'existence en son sein d'études au plus haut niveau, qu'à l'avancée réelle de la technologie.

A ces deux niveaux de carrière, la question de la possibilité de mener en parallèle des travaux plus académiques (exigés bien sûr quand il s'agit d'une convention CIFRE) et de leur utilité pour la carrière (en particulier celle d'une thèse, voire une habilitation, pour un ingénieur) est controversée. On retrouve ici, en fonction en particulier des cultures d'entreprise, l'opposition crainte-attraire que nous relevons plus haut face aux caractéristiques traditionnelles du mathématicien de formation lors d'une embauche.

Pour une bonne part, ces remarques étaient déjà vraies il y a dix ans. Les éléments nouveaux de la période actuelle tiennent à trois facteurs :

- les difficultés économiques, qui pèsent prioritairement sur une embauche peu traditionnelle comme celle des mathématiciens (voir la chute importante du nombre de conventions CIFRE en 1996), la diminution des budgets des secteurs militaires (après la fin de la guerre froide) et de l'aérospatiale (Hermès), grands utilisateurs classiques de

calcul scientifique, la mondialisation du marché des logiciels avec la concurrence de pays en voie de développement,

- l'émergence de formations d'ingénieurs ou autres spécialistes de niveau Bac+5 orientées vers les mathématiques appliquées (DESS, certains INSA) dont l'impact n'a pu être pris en compte dans la présente étude,
- la montée en puissance de nouveaux secteurs d'emploi pour les mathématiciens, le plus marquant étant bien sûr le secteur bancaire ou actuariel (gourmand en modélisation stochastique : processus, équations aux dérivées partielles) mais aussi divers secteurs liés à la biologie, à l'environnement, ou à la santé (statistiques en industrie pharmaceutique), sans qu'il soit possible d'apprécier lesquelles de ces tendances se confirmeront dans les années à venir, passée la période de découverte actuelle.

## 5. Annexes

### 5.1. Les bourses CIFRE

Les bourses CIFRE et leur évolution sont un excellent indicateur des besoins des entreprises en mathématiques, des moyens qu'elles leur consacrent et des possibilités d'embauches qu'elles offrent dans ce secteur. On renvoie aux statistiques et analyses données en appendice.

### 5.2. Le devenir des docteurs

Il est difficile d'avoir ici des données chiffrées.

Cependant, en ce qui concerne les spécialités proches de l'analyse numérique, le calcul scientifique, ou plus généralement les sciences de l'ingénieur au sens traditionnel du terme, un indicateur est fourni par la liste des adhérents anciens et actuels de la SMAI. Outre les vrais adhérents, elle comprend ceux qui l'ont été un an ou deux, par leur adhésion à la SMAI à l'occasion d'une manifestation organisée par elle (colloque national d'analyse numérique par exemple). Cela représente environ 800 personnes et 334 organismes non universitaires.

Près de 50% de ces personnes sont dans des organismes de recherche publiques ou étatiques : EDF-GDF 101, CEA 124, DGA 33, IFP 28, CNET 23, et aussi CNES, ONERA, IFREMER, CERFACS. Le reste est réparti sur les grosses entreprises industrielles dont beaucoup sont aussi étatiques : *Aérospatiale*

40, Dassault 22, CISI 23, Matra 15, Snecma 13, Peugeot Citroen 10, SNPE 10, et aussi Renault, Air Liquide, Alcatel, ELF, Michelin, SEP, ...

On doit sans doute multiplier par deux pour estimer le nombre des gens concernés de près ou de loin par le calcul scientifique. Mais il faut aussi tenir compte des évolutions de carrière et essayer de savoir combien d'années les ingénieurs restent dans ce métier.

On ne dispose pas, sauf étude plus fine non encore effectuée, d'un indicateur analogue pour les spécialistes de probabilités et statistiques : leur représentation à la SMAI, via le groupe MAS "Modélisation Aléatoire et Statistique", n'est que partielle (seulement 9 adhérents de la SMAI dans le secteur bancaire), l'ASU (Association pour la Statistique et ses Utilisations) ne comprend que peu d'économètres ou de probabilistes appliqués, la SSF (Société Statistique de France, qui fédère MAS, ASU et d'autres composantes) comprend la plupart des statisticiens professionnels, mais qui ne sont pas du tout mathématiciens.

### 5.3. Deux exemples

On présente, comme exemple de relations contractuelles liées à la formation doctorale, la situation dans deux types d'établissement : la grande école et l'université.

#### Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique (CMAPX).

De 1987 à 1991 le CMAPX a passé 27 contrats, notamment : *Aérospatiale* (3), BNP (1), CEA (3), DRET (3), EDF (3), ELF (3), SNPE (7), pour un montant de 8,3MF. De 1989 à 1991, deux thèses bénéficiaient d'un financement CIFRE.

De 1992 à 1996 le CMAPX a passé 23 contrats, notamment : *Aérospatiale* (1), BNP (1), CEA (6), CNES (2), *Dassault* (1), DRET (2), EDF (3), SNPE (3), pour un montant de 4,1 MF. Durant cette période, quatre thèses étaient préparées dans le cadre CIFRE.

L'exemple du CMAPX illustre le cas des grandes écoles associées à une formation doctorale. Depuis sa création, le CMAPX a formé 86 docteurs, dont 26 polytechniciens et 18 normaliens. 54% occupent un emploi dans la recherche ou l'enseignement supérieur, 34% dans l'industrie, 5% sont post-doc. La tendance est à l'augmentation du nombre des orientations vers l'enseignement supérieur et la recherche, et au développement des post-doc et ATER dans l'attente d'un poste définitif.

### Laboratoire de Mathématiques Appliquées CNRS-Université Bordeaux-1.

De 1993 à 1995 ce laboratoire a passé 28 contrats avec notamment : CEA-CESTA (15), CEA-CELV (1), CETE (1), GDF (2), IFP (2), MATRA (2), SETRA (2), SNPE (2), pour un montant de 3,3 MF, auxquels s'ajoutaient 5 CIFRE.

L'exemple de l'école doctorale de Bordeaux illustre le cas des grands centres mathématiques de province, non irrigués par des écoles d'ingénieurs, ni par les ENS (à l'exception notable des AMN<sup>3</sup> en mathématiques pures). De 1992 à septembre 1996, 99 thèses ont été soutenues (44 mathématiques pures, 55 mathématiques appliquées). Dix-sept docteurs (10 purs, 7 appliqués) ont un poste de maître de conférences. Vingt-deux (mathématiques appliquées) ont un emploi d'ingénieurs.

### 5.4. Dictionnaire des sigles

Ce lexique donne quelque éclairage sur la nature des principales entreprises ayant des contacts avec les mathématiciens (les sigles bien connus, BNP, EDF, ELF, GDF, ont été omis).

CADOE : *Calcul Adaptatif par Dérivée d'Ordre Elevé;*

CEA : *Commissariat à l'Energie Atomique;*

CELV : *Centre d'Etudes (du CEA) de Limeil-Valenton;*

CESTA : *Centre d'Etudes (du CEA) Scientifiques et Techniques d'Aquitaine;*

CEMAGREF : *Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts;*

CERFACS : *Centre Européen de Recherches et de Formation Avancée en Calcul Scientifique;*

CETE : *Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement;*

CISI : *Compagnie d'Informatique Scientifique Internationale;*

CNES : *Centre National d'Etudes Spatiales;*

CNET : *Centre National et d'Etudes en Télécommunications;*

DGA : *Direction Générale de l'Armement;*

DRET : *Direction des Etudes et Recherches Techniques;*

IFP : *Institut Français du Pétrole;*

IFREMER : *Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer;*

INSA : *Institut National des Sciences Appliquées;*

MOTHESIM : *Modélisation Théorie et Simulation;*

ONERA : *Office National d'Etudes et Recherches Aérospatiales;*

SEP : *Société Européenne de Propulsion;*

SIMULOG : *Simulation de Logiciels*

SNECMA : *Société Nationale d'Etudes et de Construction de Moteurs d'Aviation;*

SNPE : *Société Nationale des Poudres et Explosifs.*

---

<sup>3</sup> Assistants Moniteurs Normaliens