

LES LABORATOIRES DE MATHÉMATIQUES A L'INTERFACE DES APPLICATIONS

par

J-C. Nédélec

(Directeur du centre de mathématiques appliquées
de l'Ecole polytechnique)

Participants :

A.Y. Leroux, Professeur de mathématiques à l'université de Bordeaux I

M. Maxant, Chef du département mécanique et modèles Numériques,
Service Informatique et Mathématiques Appliquées, Electricité
de France, Clamart.

J.L. Nicolas, Professeur de mathématiques à l'université de Limoges

J.P. Puel, Professeur de mathématiques à l'université d'Orléans,
Responsable du FIRTECH Calcul scientifique (Université
Paris VI)

C. Saguez, Directeur général de la société SIMULOG

J. Tourneur, Chef du secteur informatique de calcul en électro-
magnétisme, Thomson-CSF.

Objectifs - Pendant les quinze dernières années, un certain nombre de liens se sont noués entre des laboratoires universitaires de mathématiques et des services d'étude (ou des laboratoires) industriels. Ceci résulte de l'émergence de nouveaux besoins chez les industriels, de plus en plus confrontés à la concurrence internationale. Afin de rester compétitifs, ils ont cherché à développer des compétences en Calcul Scientifique, Simulation, CAO, Cryptographie, etc..

Nombre de mathématiciens universitaires ont répondu à cet appel de plusieurs façons. D'une part les besoins ainsi exprimés sont devenus des thèmes de recherche très actifs qui ont fait apparaître de nouveaux problèmes pour les mathématiciens. Ces recherches ont été souvent l'occasion de contrats entre le laboratoire et l'industriel.

D'autre part des DEA spécialisés se sont développés, qui sont l'occasion de nombreux autres liens : stagiaires et thésards dans les entreprises, embauches.

Le but de la table ronde est d'illustrer par un certain nombre d'exemples les différents aspects de ces collaborations. Le temps imparti étant limité, il est clair que seule une petite part de cette activité sera présentée. Nous espérons cependant faire prendre conscience des enjeux importants liés à ces recherches et mettre en évidence leur développement particulièrement rapide. La complexité croissante des problèmes abordés rend l'intervention du mathématicien indispensable.

Présentons rapidement les contributions :

M. Leroux présente les mathématiques appliquées à l'université de Bordeaux I et plus précisément l'activité en calcul scientifique.

M. Maxant traite des activités mathématiques aux Etudes et recherches de l'EDF. Il faut souligner le rôle historique qu'a joué cet organisme au début du calcul scientifique en France.

M. Nicolas est le créateur du DEA de cryptographie au département de mathématiques de l'université de Limoges, dont l'originalité a permis d'établir des liens avec le secteur bancaire.

M. Puel explique ce qu'est le FIRTECH CALCUL SCIENTIFIQUE. Cette nouvelle structure a pour but de favoriser les liens Université-Industrie. Elle est liée au DEA d'analyse numérique de l'Université Paris VI (Directeur : P.A. Raviart) qui est le plus gros DEA de mathématiques en France.

M. Saguez présente l'entreprise SIMULOG de création récente avec pour objectif initial la commercialisation de logiciels de calcul scientifiques développés dans un contexte universitaire (INRIA et PARIS VI).

M. Tourneur est le chef d'un groupe spécialisé dans les calculs d'électromagnétisme à Thomson-CSF. Ce type de simulation connaît actuellement un développement très rapide.

I. CRYPTOGRAPHIE ET OPTIMISATION A L'UNIVERSITE DE LIMOGES par J.L. Nicolas

Le développement des applications des mathématiques à Limoges est le fruit du hasard et de la nécessité.

Au commencement = Deux équipes de recherche : des théoriciens des nombres intéressés par les ordinateurs, et des spécialistes d'analyse non linéaire et d'optimisation.

Le hasard = La découverte par Rivest, Shamir, Adleman, d'un nouveau système de cryptographie (c'est-à-dire transmission secrète des messages) basé sur les nombres premiers.

Le grand intérêt porté à ce système ouvre aux applications une partie des mathématiques restée jusqu'alors très classique : la théorie des nombres, et la théorie des courbes elliptiques.

Les entreprises (banques, matériel informatique, télécommunications, armée) font appel à des mathématiciens pour assurer la sécurité de leurs transmissions.

La nécessité = En enseignement, notre licence et notre maîtrise de mathématiques se vidaient, nous n'avions pas de DEA, d'où la mise en place d'une maîtrise ingénierie mathématique, avec une part importante d'informatique.

Le hasard intervient encore sous la forme d'un mathématicien travaillant dans l'industrie et qui soutient notre projet de DEA "Cryptographie et Optimisation", devant la commission d'habilitation.

En recherche : dans une petite université, dans une région peu industrialisée, il faut, pour survivre, trouver des créneaux originaux, à l'échelle nationale.

Le D.E.A. "Cryptographie et Optimisation". La première promotion de 6 étudiants est entrée en Octobre 86, 2 français et 4 étrangers ; 4 ont été reçus, un a abandonné, un redouble.

5 sur les 6 ont fait le stage obligatoire de 3 mois en entreprises. La nouvelle promotion comprend 7 étudiants, 5 français et 2 étrangers, sélectionnés sur 50 demandes.

Les luttes : Il a fallu arracher à l'université des crédits d'enseignement pour ce DEA. Nous nous sommes battus, jusqu'à présent sans succès, pour obtenir un poste de professeur supplémentaire : il est clair qu'un tel DEA, avec le suivi des stages industriels, puis des thèses, est plus lourd qu'un DEA classique de mathématiques. Il y a également eu quelques réticences de mathématiciens devant ce genre de mathématiques.

Quelques remarques : L'unité de notre DEA se fait dans le souci commun de former nos étudiants aux mathématiques effectives, c'est-à-dire de traiter un problème complètement, jusqu'à la résolution numérique sur ordinateur.

La collaboration avec les industriels est en général franche et agréable, une fois les premiers contacts pris.

Les deux équipes de recherche continuent la recherche classique parallèle avec les recherches appliquées. Les jeunes chercheurs sont invités à faire un "petit cours" d'une douzaine d'heures dans le cadre du DEA.

L'avenir : Les mathématiciens de Limoges, placés devant la nécessité de survivre, ont su faire preuve d'ingéniosité pour développer leur discipline. Si les prédateurs divers et variés n'empêchent pas leur évolution, nul doute que cette expérience devrait se développer et contribuer à donner aux mathématiques une nouvelle image de marque, et à l'université de Limoges une filière d'avenir.

II. LES ACTIVITES MATHEMATIQUES AUX ETUDES ET RECHERCHES DE L'EDF par M. Maxant

EDF a-t-elle besoin d'autres outils que ceux que lui fournit l'Analyse Numérique, autres par exemple que des solveurs performants en algèbre matricielle linéaire ?

Cette question, mis à part son aspect quelque peu réducteur, en appelle une autre : quel dialogue peut s'établir entre l'ingénieur chargé d'étudier des matériels de centrale et le chercheur en mathématiques ?

Nous nous proposons de donner quelques éléments de réponse au pourquoi et au comment des mathématiques dans une entreprise comme EDF.

Un bref regard en arrière nous permet de mieux cerner le problème. Dès sa création en 1946, EDF s'est dotée d'une Direction des Etudes et Recherches (DER), qui devait entre autres choses favoriser le contact entre les ingénieurs chargés d'études et les théoriciens. A cette époque toutefois, la plupart des disciplines étaient du ressort de l'étude expérimentale, sur site ou sur maquette. Seuls quelques domaines nécessitaient un apport mathématique : essentiellement celui des études de réseaux électriques et celui de l'optimisation des investissements.

C'est d'ailleurs là que l'informatique scientifique fait ses premiers pas dix ans plus tard, avec par exemple la résolution des premiers "grands" calculs de programmation linéaire par la méthode de Dantzig. L'importance des enjeux stratégiques liés aux calculs d'économétrie conduisent la Direction Générale d'EDF à créer un Service spécialisé, qui lui est directement rattaché. Il faut faire un nouveau bond de dix ans (fin des années 60) pour voir apparaître les premiers modèles de simulation en physique, traités sur ordinateur et concernant le fonctionnement des centrales : modèles thermo-hydrauliques, mécaniques et bientôt neutroniques. La méthode des éléments finis fait son entrée, mise en oeuvre par une petite équipe d'ingénieurs, bien avant que les mathématiciens ne lui apportent ses bases théoriques. Aujourd'hui où en sommes-nous ?

1. **Les besoins, ou des mathématiques, pour quoi faire ?**

En bornant l'analyse à la DER, on classera les champs d'application des mathématiques en quelques grands domaines :

- La résolution des équations de la mécanique et de la physique.
- Les problèmes liés à la programmation mathématique, continue ou discrète.
- La représentation de la connaissance et l'intelligence artificielle.

Il est clair que la DER n'a pas pour vocation de conduire des recherches en mathématiques pures, mais bien de résoudre des problèmes d'ingénierie, dans le cadre d'une mission générale d'aide à la conception des matériels et d'aide à leur exploitation. Le chercheur DER attend donc des laboratoires de mathématiques d'abord des méthodes et des outils qui soient adaptés à ses problèmes, mais aussi, et peut-être surtout, une aide à la modélisation.

Si l'on se replace dans la décomposition classique - modèle mathématique, modèle numérique, programmation et exécution sur ordinateur - le mathématicien intervient pour étudier les propriétés mathématiques du modèle, en fixer les limites ou en faire l'analyse numérique et en guider la résolution :

C'est ainsi qu'il proposera des éléments finis adaptés au phénomène d'incompressibilité en mécanique, déterminera des conditions aux limites absorbantes en propagation des ondes, précisera la singularité des solutions des problèmes de mécanique de la rupture,

soit pour éviter, soit pour exploiter ces phénomènes, etc. Mais derrière ces interventions "classiques", le mathématicien a un rôle plus fondamental, d'ouverture vers des modèles non standard ou inconnus de l'ingénieur.

En effet celui-ci a parfois trop tendance à utiliser son acquis mathématique et numérique et a souvent une idée trop limitative des modèles qu'il peut utiliser.

Le mathématicien pourra lui proposer d'autres modèles, conduisant peut-être à des algorithmes plus efficaces. En mécanique des fluides, l'ingénieur, après avoir utilisé les méthodes de différences finies ou d'éléments finis, pourra s'intéresser aux méthodes spectrales ou aux méthodes particulières. En mécanique de la rupture ou en élastodynamique, des méthodes intégrales appropriées pourront être concurrentes des traditionnelles méthodes d'éléments finis. Pour développer des modèles de poutres hétérogènes en matériau composite, on fera appel aux méthodes des développements asymptotiques. Un dernier exemple concernera la stabilité des systèmes dynamiques : un transformateur électrique, relié à un alternateur par une ligne, peut, par la non-linéarité qu'il présente, provoquer des instabilités graves sur le réseau, dans certaines conditions initiales et certaines caractéristiques électriques. L'étude de ce phénomène, appelé ferrorésonance, fait appel à la théorie des catastrophes de Thom.

2. Les moyens, ou quel type de relations entre ingénieurs et mathématiciens ?

Après le constat précédent, il apparaîtrait naturel de rencontrer un certain nombre de mathématiciens à la DER. En fait EDF n'embauche pas de mathématiciens. Quelques exceptions, positives, confirment la règle : il s'agit de titulaires de DEA ou de thèse en analyse numérique, qui se spécialisent rapidement dans une discipline physique ou en calcul scientifique. Une situation plus fréquente est celle d'ingénieurs ayant un complément de formation en mathématiques appliquées. Au total, dans les quelques départements de la DER ayant une activité directement liée aux mathématiques appliquées, le quart des chercheurs possède de bonnes connaissances dans ce domaine. Ce brassage des formations est une condition nécessaire pour constituer des équipes de recherche de qualité.

Une deuxième voie est l'accueil de stagiaires et de thésards : outre l'intérêt que peut en retirer EDF, elle a l'avantage de sensibiliser l'étudiant aux problèmes concrets qu'il rencontrera dans sa vie active.

Une troisième voie concerne les contrats de collaboration entre un laboratoire de recherche et EDF, avec des finalités variées : transmission de savoir-faire, développement de méthodes nouvelles, mise au point d'un outil commun.

Dans tous les cas, le dialogue, pour être bénéfique, doit éviter l'écueil le plus fréquent : un langage mathématique trop fermé pour un non-spécialiste.

Pour que celui-ci utilise au mieux les méthodes et les outils mis au point par les mathématiciens et fasse autre chose que de l'utilisation en boîte noire sur un ou deux cas d'école, il est impératif qu'il ait compris le raisonnement, les possibilités et les limites de la méthode.

L'utilité et la nécessité des mathématiques dans l'activité de recherche d'EDF sont évidentes. Aux mathématiciens de poursuivre leur effort pour former des jeunes, conscients de l'intérêt des problèmes concrets qui leur sont proposés. Les ingénieurs attendent d'eux une nouvelle manière d'aborder les problèmes, une recherche systématique d'ouverture qui permettra d'élargir le champ des modélisations et des algorithmes de résolution, dans les domaines tels que les problèmes inverses, les méthodes stochastiques, la programmation automatique ou la représentation des connaissances.

m. LABORATOIRE D'ANALYSE NUMERIQUE DE L'UNIVERSITE P. ET M. CURIE ET FIRTECH "CALCUL SCIENTIFIQUE" par Jean-Pierre Puel

Le Laboratoire d'Analyse Numérique de l'université Pierre et Marie Curie (LAN) s'est trouvé être, par vocation et par volonté, l'un des premiers laboratoires "universitaires" de mathématiques à avoir une réelle interface avec les applications, l'accent étant mis principalement sur les applications à la Physique, la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur, avec le plus souvent des implications industrielles.

Cette relation avec les applications s'est faite sur trois plans qui ont eu bien sûr une forte interaction entre eux :

- les sujets de recherche individuels des membres du LAN ;
- le travail de petites équipes sur "contrats" ;
- la formation assurée dans le LAN et principalement le DEA et l'encadrement de thèses.

Elle a eu une profonde influence sur la structure et la vie du LAN, sur le comportement des personnes et leurs relations, et elle pose quelques questions sur l'avenir du laboratoire.

Le LAN est constitué de plusieurs équipes recouvrant des sensibilités et des compétences différentes (analyse mathématique, modélisation, méthodes d'analyse numérique, calcul scientifique, ...), le tout cherchant, selon le voeu de son fondateur, à faire une chaîne allant de l'expression et de l'étude mathématique d'un problème à l'obtention de résultats quantitatifs utilisables par un ingénieur par exemple. Le programme est vaste et n'est que rarement pleinement réalisé, mais il est. Dans ce cadre, l'orientation vers des thèmes de travail plus étroitement liés aux applications était naturelle, et même si elle n'est pas générale, elle s'est manifestée soit par des reconversions complètes (de l'analyse "presque pure" aux problèmes de l'extraction du pétrole), soit par un plus grand nombre d'études (mêmes lorsqu'elles restent qualitatives) de problèmes posés par des ingénieurs et/ou à application directe (matériaux composites, différents problèmes d'élasticité, de plasticité, de mécanique des fluides, problèmes de maillage automatique et de codes d'éléments finis d'utilisation générale, etc.). De manière plus diffuse, la préoccupation de l'utilité des recherches s'est accrue (la question : "à quoi cela sert-il ?" s'est beaucoup répandue).

Le LAN a recherché, sans frénésie, à travailler sur des contrats. Outre la motivation que procure l'apport financier au laboratoire (qui peut vite engendrer une dépendance), ils constituent un "challenge" qui lui permet de se situer dans un environnement industriel et économique et de se donner des gages d'utilité. Certains contrats passés avec des organismes publics ou para-publics (DRET, Ministère de la Recherche, INRIA, ATP, ...) relèvent de l'incitation à travailler sur certains thèmes appliqués et n'appellent que peu de remarques. Les contrats passés directement avec des industriels (Aérospatiale, Delas-Weir, Elf-Aquitaine, AMD-BA, ...) posent davantage de problèmes. Comment faire une juste évaluation du coût d'une étude ? Peut-on s'engager à payer un étudiant pour un travail sur contrat, responsabilité qui est généralement refusée par l'industriel ? Jusqu'à quel stade de développement une étude faite dans le cadre d'un

laboratoire de recherche universitaire peut-elle aller (l'industriel désirant en général un produit le plus directement utilisable) ? Voilà quelques questions qui se posent très périodiquement et qui restent toujours sans réponse et même sans vraie réflexion. Il faut aussi pouvoir déterminer quel est l'apport scientifique d'un contrat. Permet-il d'aborder un domaine qui serait autrement resté sans étude ? Est-il l'occasion d'une vraie recherche qui fait progresser la connaissance scientifique ? Apporte-t-il à l'étudiant qui, en général, fait le travail effectif, une bonne formation et un bon démarrage vers d'autres recherches futures ? Bien sûr il y a de bons et de mauvais contrats ; il serait intéressant de déterminer la proportion de ceux qui ont été fructueux scientifiquement.

L'existence, le fonctionnement et l'orientation d'un DEA et d'une formation doctorale constituent une plaque tournante pour un laboratoire, en particulier pour ses relations avec l'extérieur. Le DEA d'Analyse Numérique de l'université Pierre et Marie Curie, qui est maintenant habilité conjointement avec l'université Paris Nord et l'École Polytechnique, joue depuis de nombreuses années un rôle primordial dans la formation de chercheurs en Mathématiques Appliquées et d'ingénieurs mathématiciens de haut niveau, tant pour le système académique que pour les laboratoires de recherche industriels. L'équilibre maintenu entre les cours de caractère théorique donnant accès aux méthodes et résultats les plus récents et performants en équations aux dérivées partielles et en analyse numérique, et les cours de caractère plus pratique développant le savoir-faire dans l'implémentation des méthodes numériques, la politique volontariste de stages industriels (entre 20 et 30 par année) ont permis de développer ce double rôle de formation de chercheurs pour le système université-CNRS et d'ingénieurs de recherche pour l'industrie. L'effectif nombreux (plus de 60 étudiants) ainsi que les besoins ont permis et peut-être amené cette bivalence qui autorise une hétérogénéité des valeurs et des centres d'intérêt. Bien entendu, cette politique du DEA a beaucoup contribué à l'ouverture du LAN vers l'extérieur. En particulier, de nombreuses thèses, suite naturelle du DEA, ont été soutenues sur des sujets appliqués ou même directement industriels par des étudiants travaillant soit au LAN ou au Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique (CMAP) (qui sont étroitement associés), soit dans des laboratoires industriels avec la collaboration et l'encadrement de chercheurs du LAN ou du CMAP. Cette situation de fait s'organise depuis deux ans dans le cadre du FIRTECH (Formation des Ingénieurs à la Recherche et à la Technologie) "Calcul Scientifique" qui tend à la développer et à la

structurer. Le FIRTECH constitue un groupement, autour du DEA et de la formation doctorale, de laboratoires de recherche "universitaires" (principalement le LAN et le CMAP, mais d'autres laboratoires sont associés) et de partenaires industriels. Ses buts sont de former des étudiants de haut niveau, et d'assurer les moyens de cette formation, principalement dans le cadre de thèses, sur des sujets de caractère appliqué ou industriel décidés par le groupement. Ces sujets pourront être, selon la volonté des partenaires, des sujets d'application directe à court terme ou des sujets plus fondamentaux nécessitant le moyen ou long terme. Dans un premier temps, le FIRTECH a reçu des moyens spécifiques du Ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche qui permettent actuellement un équipement progressif des laboratoires en moyens informatiques de calcul. Dans un deuxième temps (après quatre ans), les financements des partenaires industriels doivent assurer au FIRTECH une autonomie de fonctionnement. Il est prévu, outre les moyens informatiques, de bibliothèque, etc, le financement de bourses de thèse (ou de complément de bourses).

Ces quelques éléments tendent à décrire la réalité et la variété de ce qu'on appelle l'interface avec les applications pour un laboratoire comme le LAN. Il convient d'apprécier maintenant les apports, les dangers et les difficultés d'une telle situation.

L'aspect formation est à l'évidence très positif. Il a permis de nombreux débouchés pour les étudiants vers des métiers intéressants et valorisant leur formation, en même temps qu'il a apporté à de nombreux laboratoires d'entreprises des compétences mathématiques et numériques à leur grande satisfaction dans la grande majorité des cas. D'autre part, il a poussé les chercheurs du laboratoire à s'ouvrir vers l'extérieur et par exemple à s'intéresser à des problèmes industriels. Il a également facilité la poursuite de certains travaux sous forme de contrats entre le laboratoire et des partenaires industriels, et nous avons vu plus haut l'intérêt et les limites possibles de ces contrats qui sont toutefois nécessaires pour assurer au laboratoire un niveau de financement décent.

L'orientation d'un laboratoire vers les applications nécessite des moyens spécifiques. Bien sûr, cela implique des moyens matériels et je ne veux pas insister sur ce point même s'il est important. Car de manière primordiale il y a un besoin de chercheurs, de techniciens et de secrétariat. Il convient de prendre conscience que l'encadrement de recherche appliquée, les relations industrielles sont dans la situation actuelle assez épuisants et peu gratifiants pour un chercheur de

laboratoire universitaire. La variété des sujets abordés, dont aucun n'est exactement dans le domaine précis de compétence du chercheur, les longues discussions avec des ingénieurs ou des non mathématiciens dont très peu débouchent sur des problèmes intéressants ou solubles, les réunions de toutes sortes sur les différents programmes d'action, la recherche de moyens financiers pour du matériel, pour des bourses ou compléments de bourses afin de pouvoir garder de bons étudiants convoités à prix alléchants par le secteur industriel, la recherche de stages, tout ceci demande énormément de temps et d'énergie. Il est alors très difficile d'avoir devant soi plusieurs heures calmes d'affilée, ce qui empêche toute concentration nécessaire à un effort de recherche.

D'autre part, un danger doit être absolument évité sur le plan scientifique : celui de négliger la recherche de méthodes et la recherche sur des problèmes très difficiles un peu en amont des applications. Il est plus facile de faire vivre un jeune chercheur qui travaille sur un problème industriel d'intérêt à court terme, mais souvent ce genre de sujet ne fait pas progresser notablement la connaissance scientifique. Comme plusieurs thèses de troisième cycle n'ont jamais fait une bonne thèse d'état, on ne participera pas à la résolution de grands problèmes (appliqués ou non) qui résistent à la recherche mathématique par une multitude de résolutions de petits problèmes à court terme. Il est primordial mais difficile de savoir, en l'espèce, conserver un savant équilibre, et il faudrait que le secteur industriel se rende compte qu'il a intérêt à participer au soutien d'une recherche à caractère plus fondamental, étant entendu qu'il serait alors associé à la définition des thèmes soutenus.

Il serait souhaitable de remettre en valeur la notion de *consulting*, finalement très peu utilisée, et qui permettrait des échanges scientifiques et un réel encadrement par des chercheurs "universitaires" de personnes travaillant dans les entreprises. Ceci laisserait plus de responsabilité aux entreprises et ferait remonter aux laboratoires des sujets de recherche appliqués mais à plus long terme, ce qui est plus conforme à leur vocation.

Il y a une quinzaine d'années, le secteur économique et industriel pouvait à juste titre se plaindre du fait que les laboratoires de mathématiques vivaient dans leurs nuages et en circuit fermé. La situation a évolué de manière considérable, et à l'heure actuelle certains, au moins, des laboratoires peuvent se retourner vers le

secteur économique et industriel en lui demandant de faire la part d'effort qui lui revient pour qu'une recherche cohérente et efficace soit maintenue et développée dans notre pays.

IV. LES MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES A BORDEAUX par Alain Yves Le Roux

1. L'équipe

Elle se compose d'une quinzaine de personnes en poste soit à l'université de Bordeaux I, soit à l'université de Bordeaux II et véritablement actives. Cette dimension correspond à celle des trois autres équipes de mathématiciens de Bordeaux : Théorie des nombres, Analyse et Informatique.

Il faut ajouter une vingtaine de chercheurs de troisième cycle, sur poste MRT, ou sur contrat et en formation par la recherche.

Le spectre des compétences est très large et continu ; il va de l'analyse des équations aux dérivées partielles à la génération de codes de calcul importants.

2. L'environnement

L'environnement bordelais, et c'est aussi le cas de la plupart des villes de taille comparable en province, est assez favorable au développement de relations extérieures pour une telle équipe.

La présence du CESTA (CEA) à Marcheprime (12km au sud de Bordeaux) a traditionnellement permis une bonne collaboration (MM. Artola, Charrier, Hanouzet, Haugazeau, Langlais). Quelques étudiants embauchés y exercent actuellement des responsabilités, ce qui est toujours favorable. Cette collaboration s'étend au niveau de la CLSI-Bordeaux, où nos anciens étudiants sont aussi présents.

Des industries de pointe, dans les industries spatiales notamment, sont présentes dans la région : l'Aérospatiale, la SEP et la SNPE ; des relations se sont développées : MM. Charrier, Laborde, Le Roux.

L'équipe entretient des activités avec des centres plus éloignés : le Centre d'Études de Gramat (MM. Le Roux, M.N. Le Roux, Colombeau) et l'Aérospatiale (Toulouse) en région Midi Pyrénées, le Centre d'Études de Limeil-CEA (M. Artola) et la S.G.N. (M. Le Roux) en région parisienne, ainsi que Michelin (M. Charrier).

Enfin, des collaborations réelles existent avec d'autres laboratoires de type universitaire : Mécanique-LEPT (MM. Fabrie, Morel), Cristallographie (M.N. Le Roux), CICBx / graphisme (M. Le Roux), Fondation Bergonié / centre anticancéreux (M.N. Le Roux), U8-INSERM / cardiologie (M.N. Le Roux, M. Le Roux), ENSERB / projet CHEOPS (M. Charrier), ENSC-Rennes (M. Le Roux), PMI-X (M. Le Roux), INSA-RENNES / Métallurgie et semi-conducteurs (M.N. Le Roux), ainsi qu'une convention avec la DRET (MM. Colombeau, Le Roux). D'autres collaborations ont eu lieu dans le passé : Cellulose du Pin, Lectra System, Chantiers Modernes.

3. Les conditions

L'environnement est donc assez favorable et il n'est pas utile de développer plus de contacts pour l'instant, car ceux qui existent donnent déjà suffisamment de travail. Ces collaborations, lorsqu'il s'agit d'établissements industriels, s'articulent autour de conventions et le plus souvent correspondent à l'activité de recherche d'un étudiant en thèse. Celui-ci peut être soit boursier MRT, soit rémunéré par l'établissement contractant, soit encore rémunéré par l'université sur un contrat prévu à cet effet.

De façon générale, le directeur de thèse est amené à s'investir complètement dans les recherches à développer car, et ceci est différent de la recherche traditionnelle à l'université, il y a obligation de résultat en temps fini. De plus, dans les établissements concernés, l'encadrement est très rarement disponible et suffisamment compétent pour mener à bien une recherche de haut niveau en mathématiques. Enfin le choix du sujet échappe à l'initiation des universitaires, et il y a un risque important de dispersion des intérêts de recherche.

4. La contrepartie pour les étudiants

Ces conditions ne doivent pas être considérées comme des inconvénients majeurs, et il faut y voir aussi des avantages. Les contreparties au niveau de la scolarité et des débouchés des étudiants sont des plus convaincantes. Les étudiants issus des DEUG bordelais sont véritablement intéressés par la formation de mathématiques appliquées, surtout depuis la mise en place du Magistère MATMECA. La maîtrise d'ingénierie compte plus de 40 inscrits, et le DEA entre 15 et 20 (ce nombre est limité par nos capacités d'accueil), dont 90% de nationalité française.

Les étudiants issus de cette formation, qui correspond à des besoins réels de l'industrie, trouvent avec une relative facilité du travail et pour des salaires honorables. Très souvent, l'entreprise cherche à embaucher l'étudiant qui a effectué un travail de thèse pour elle (exemples : CEA-CESTA, GRAMaT, SNPE). D'autres se sont mis à leur compte : le Cabinet "SCALAIRE", créé il y a trois ans par deux étudiants de Bordeaux a déjà embauché une quinzaine de personnes, dont deux polytechniciens et deux Sup de Co...

5. Le point de vue financier

Une fois prélevée une part importante destinée à la survie de notre bibliothèque, qui est presque complètement à la charge du laboratoire, le budget de l'équipe est de l'ordre de 60 à 70 kF par année civile. Il doit permettre de couvrir les invitations, nos déplacements, le téléphone, la maintenance du matériel, etc... Il s'agit d'un budget qui n'est pas ridicule : nombreux sont les laboratoires qui en ont beaucoup moins. Il n'est cependant pas compatible avec le type d'activité qui est le nôtre, et avec le nombre d'étudiants que nous encadrons en troisième cycle.

En tenant compte des contrats et conventions diverses, ce budget est en fait environ dix fois plus élevé, et la moitié est utilisée en rémunération d'étudiants. Il faut aussi ajouter quelques ATP-CNRS, de 30 à 50 kF par an, mais cette source est actuellement en voie de tarissement.

Un point important doit être souligné : cet apport financier extérieur permet de solliciter des subventions auprès de la région Aquitaine qui veut encourager et développer les relations université-industrie. L'équipe a ainsi pu obtenir 110 kF en 1986 et 150 kF en 1987, pour des achats d'équipement.

On peut regretter l'attitude du ministère qui n'a jamais facilité la rémunération des étudiants sur contrat : le principe de la circulaire Payan, bien qu'un peu allégé, est toujours en vigueur. Il est incompatible avec une rémunération sur contrat universitaire d'un étudiant pour la durée de la thèse. Ces contraintes sont évidemment contournables, à condition d'y consacrer beaucoup de temps et d'énergie. On pourrait souhaiter, sinon des mesures d'encouragement du ministère, au moins la possibilité de prendre nos propres initiatives, ce qui est bien dans l'esprit de l'autonomie des universités (sujet qui n'est plus à l'ordre du jour !).

6. Les incidences sur **la** recherche

Le nombre de thèses à venir est en augmentation depuis deux ou trois ans. Le contenu de ces thèses a aussi beaucoup changé : on conserve une partie théorique (type existence, unicité, régularité,...) mais la partie numérique est souvent bien plus importante, et les tests sont développés bien au-delà de ce qu'on est capable de traiter correctement sur le plan théorique. Il est largement tenu compte des composantes informatiques et graphiques du travail : il n'est pas rare de constater que, dans un code de plus de 10 000 instructions par exemple, la partie concernant la méthode numérique proprement dite ne compte qu'une cinquantaine de lignes. Quand le mathématicien dit "Soit Ω un ouvert de \mathbb{R}^3 ", le logiciel correspondant fait tout de suite plus de 5 000 instructions.

Bien qu'en théorie, le choix des sujets nous échappe, ces relations nous font découvrir des sujets nouveaux, souvent très intéressants, et surtout de première main. Le problème vient surtout de l'inertie des autres mathématiciens, particulièrement des referees qui cherchent à se couvrir, car il s'agit quelquefois de problèmes trop neufs sur lesquels il y a peu de feedback. Un des principaux exemples est le cas de l'élastodynamique : quel mal pour faire prendre conscience du fait que la loi de Hooke n'est pas conservative ! D'autres exemples de problèmes elliptiques non linéaires, ou de diffusion-réaction pourraient aussi être cités.

L'équipe connaît aussi une dynamique différente : les contacts avec d'autres établissements, les relations hors de l'université ou avec d'autres disciplines, sont très motivants et permettent de changer d'horizon, ce qui est très bénéfique en cette période où il n'y a pratiquement plus de variation dans les effectifs universitaires et où on ne voit toujours que les mêmes têtes ...

Il faut être vigilant quant au risque de dispersion. Ceci n'est cependant pas un problème à Bordeaux : il y a beaucoup d'interactions entre les sujets, dont 75% concernent l'hydrodynamique ou l'élastodynamique, le reste correspondant à des problèmes de réaction-diffusion. On ne traite pas de statistiques par exemple.

7. **La** crédibilité

Elle s'appuie sur plusieurs principes. On ne peut plus se contenter de donner les propriétés essentielles de la solution d'un

modèle qu'on a simplifié pour le ramener à la mesure de ses propres compétences, mais il faut fournir le code numérique, et présenter les résultats de façon immédiatement exploitable à l'utilisateur. Tous nos étudiants utilisent et quelquefois développent des logiciels graphiques, et nous avons la chance de bénéficier de logiciels GKS-3D générés par la G5G et le CICBx, ou des compétences de quelques collègues informaticiens travaillant sur le projet LUMIERE.

Il faut aussi assurer une maintenance des produits générés à l'université. Or les étudiants disparaissent au bout de trois ans, et si le produit n'est pas repris immédiatement en charge par un autre, il risque de ne jamais être réutilisé. Il n'y a pas de personnel technique (ingénieur ou technicien) qui pourrait se charger de cette tâche. Le problème se pose pleinement pour la commercialisation d'un produit.

8. La continuité

A la maintenance des produits vient s'ajouter le problème de la maintenance du matériel, pour laquelle les crédits universitaires sont dérisoires. Il nous est arrivé de renoncer à la réparation d'une machine devant les devis qui nous étaient proposés. Un technicien pourrait aussi assurer de petites réparations, ce qui permettrait de substantiels bénéfices.

Certains calculs, en deux ou trois dimensions d'espace notamment, exigent l'utilisation des services d'un Centre de Calculs. Nous avons des subventions pour le CIC-Toulouse, mais pas pour le CIC-Bordeaux ! Or un DEA, pour une formation correspondant à un stage en industrie, peut nous coûter entre 4 000 F et 6 000 F. Un effort financier pourrait être effectué en vue de permettre à des universitaires d'avoir suffisamment de moyens pour calculer sur leur propre Centre de Calculs, à Bordeaux en ce qui nous concerne.

Enfin, un outil est indispensable pour travailler avec l'extérieur : un téléphone en état de marche. A Bordeaux, ce luxe est pour 11988.

V. LA COMMERCIALISATION DE LOGICIELS DE CALCUL SCIENTIFIQUE par C. Saguez

Les mathématiques appliquées au travers des techniques de modélisation, de simulation et d'optimisation interviennent potentiellement dans tous les secteurs industriels comme outils d'aide à la compréhension de phénomènes physiques, à la conception de

nouveaux produits ou systèmes et à l'exploitation ou à la conduite de procédés. De plus, l'évolution des matériels, supercalculateurs qui permettent de traiter des problèmes jusqu'alors inaccessibles ou stations de travail qui fournissent sans nécessiter des investissements importants l'accès à ces techniques, permet une large diffusion des méthodes numériques.

Créée en 1984, la Société SIMULOG a pour objet de fournir sur les marchés français et internationaux, une gamme complète de prestations industrielles, en valorisant les importants travaux de recherche français en modélisation - simulation et optimisation. S'appuyant sur des méthodes mathématiques récentes, la Société propose des logiciels scientifiques notamment dans les domaines suivants :

- Calcul scientifique - Résolution d'équations aux dérivées partielles en thermique-diffusion, mécanique des fluides, mécanique des milieux continus, électromagnétisme, ... notamment à partir des travaux de recherche des équipes de l'INRIA et du club MODULEF.
- Simulation de processus industriels et aide à la conception d'automatismes, notamment au travers de la diffusion du logiciel BASILE, développé à l'INRIA.
- Modélisation et simulation de systèmes à flux discrets (architectures informatiques - réseaux - ateliers de production - magasins, ...) avec le logiciel QNAP2, initialement conçu dans le cadre d'une collaboration entre BULL et l'INRIA.

Dans ces secteurs, les prestations de SIMULOG concernent :

- la diffusion de produits logiciels
- le développement de logiciels spécifiques
- la réalisation d'études
- la formation autour des produits.

En quatre ans la Société a ainsi acquis de nombreuses références auprès de plus de 60 grands groupes français et étrangers. A titre d'illustration, le produit QNAP2 est utilisé actuellement dans près de 100 sites industriels et universitaires à travers le monde, et deux clubs en France et au Royaume Uni réunissent les utilisateurs du produit.

Cette expérience montre le rôle essentiel des collaborations entre les différents acteurs économiques (laboratoires, sociétés de services,

utilisateurs) pour le développement et la diffusion des mathématiques appliquées. Nous indiquons, ci-après, deux points qui nous semblent essentiels dans ce contexte :

1/ La nécessité d'échanges croisés entre les laboratoires de recherche et l'industrie, doit se traduire par le détachement à la fois de chercheurs dans l'industrie et d'ingénieurs dans les laboratoires de recherche. Ces échanges présentent de nombreux intérêts : établissement d'un langage commun, expression des besoins et de problèmes réels, transferts directs des méthodologies récentes ... Ainsi, par exemple, très souvent la connaissance physique de phénomènes fournit la base intuitive d'une formulation mathématique ou de méthodes numériques de résolution, citons par exemple les nombreuses méthodes fondées sur les concepts d'énergie. Les mathématiques appliquées sont une science interdisciplinaire nécessitant un dialogue permanent entre les différents acteurs, de l'établissement des modèles à la mise en oeuvre des méthodologies.

2/ La réalisation d'un produit logiciel est un travail long et complexe, où chacun doit apporter ses compétences spécifiques. Schématiquement le laboratoire de recherche travaille sur l'élaboration d'un formalisme mathématique adéquat, la mise au point de méthodologies nouvelles et la validation de celles-ci sur un ou deux exemples industriels ; la société de logiciels assure la mise au point et la diffusion du produit (validation et fiabilité, interfaces utilisateurs, documentation, portabilité et mise aux normes, réalisation de différentes versions, maintenance et interface utilisateurs) et l'industriel utilisateur spécifie les problèmes à résoudre et les contraintes d'utilisation. Le respect de ces différents rôles, complémentaires entre eux, doit permettre à la fois la poursuite de la mise au point de nouvelles méthodes et la diffusion sur une base industrielle large de celles-ci.

L'évolution des techniques et des besoins rend de plus en plus indispensable l'usage des mathématiques et des outils logiciels issus de ces travaux. De par leur caractère général, l'approche mathématique et les méthodologies numériques permettent de créer un langage commun pour aborder de nombreux secteurs (de la médecine à la sidérurgie, de l'économie à la chimie, ...). Les laboratoires de recherche, les sociétés de logiciels et les utilisateurs industriels doivent unir complémentamment leurs efforts pour pouvoir répondre aux grands défis industriels des années futures.

VI. COMPTE RENDU ET SYNTHÈSE DE LA DISCUSSION

THEME I. LA POLITIQUE DES CONTRATS

- . La répartition Math. pures / Math. appliquées
- . Le choix : déontologie
- . La liberté de recherche

THEME II. L'ENTREPRISE

- . Avenir des étudiants en DEA de Mathématiques Appliquées
- . Recrutement des entreprises
- . Conseils scientifiques

THEME III. COMMUNICATION

- . Langage entre entreprises et laboratoires
- . Prise en compte des publications d'ingénieurs dans les carrières universitaires et thèses

THEME IV. DIVERS

- . Relations entre laboratoires de mathématiques et PME
- . Taille des équipes au sein de l'industrie.

1. La politique des contrats

Les dernières années ont vu se généraliser le financement partiel des laboratoires de mathématiques par des contrats avec des entreprises privées ou nationalisées. Nombre de questions se rapportent à ce développement de la politique contractuelle :

- a - Y a-t-il une redistribution au sein des départements de mathématiques des sommes ainsi obtenues ?

La pratique est pour l'instant variable : J.L. Nicolas répond qu'à Limoges le partage est complet ; A.Y. LeRoux signale qu'à Bordeaux cela se passe souvent différemment.

- b - Le choix des contrats n'amène-t-il pas une déviation dans le choix des thèmes de recherche ?

C. Saguez répond non, si l'on fait la différence entre développement et recherche.

J.C. Nédélec signale qu'il y a de bons et de mauvais contrats ; tout responsable de laboratoire se doit de développer des thèmes de recherche spécifiques, indépendamment des contrats à court terme permettant au laboratoire d'avoir une avance sur l'industrie.

Un intervenant pense que l'auto-financement total des laboratoires par contrats est dangereux à long terme.

A la question sur l'intérêt des unités mixtes CNRS-entreprises, J.P. Puel répond qu'il faut éviter l'écueil d'une absence de diversité des thèmes de recherche.

J.C. Nédélec signale que ce genre d'association a un avenir certain, probablement avec plusieurs entreprises simultanément et non une seule.

2. Avenir des étudiants en mathématiques appliquées

a - Etudiants en DEA : Qui sont-ils ? Que deviennent-ils ?

J.P. Puel fournit d'abord les chiffres suivants : sur 60 étudiants suivant le DEA d'Analyse Numérique de Paris VI, il y a environ 10 échecs ; 30 DEA débouchent sur une thèse au sein de l'industrie ou non. 15% des étudiants de DEA proviennent de l'université, les autres des grandes écoles d'ingénieurs. Un nombre croissant d'étudiants choisit de faire plutôt un DES.

b - Qui sont les mathématiciens en entreprises ?

Une réponse de M. Maxant concernant EDF donne les chiffres suivants : sur les 2700 employés d'EDF faisant de la recherche, 100 utilisent des mathématiques. 30 d'entre eux font des mathématiques appliquées, dont 10 ont eu une formation universitaire et 20 ont fait une grande école. Un nombre croissant d'étudiants en DES sera recruté dans les années à venir. L'évolution de carrière de ces mathématiciens les amènera soit à se spécialiser en mathématiques appliquées, soit à exercer une autre fonction : dans ce cas, avoir fait des maths ne constitue pas un handicap pour la carrière.

c - Et les matheux qui restent dans l'université ?

Il leur reste la ressource d'exercer l'activité de conseiller scientifique pour garder un lien personnel avec l'industrie.

3. Communication industrie - laboratoires

a - Problème de langage

Ce point appelle de nombreuses remarques de la part de l'assistance :

. J.C. Nédélec signale que les deux partenaires doivent faire un effort. La communauté de Mathématiques appliquées a, ces dernières années, fait un effort important pour acquérir le vocabulaire de l'ingénieur. La réciproque se fait progressivement grâce à l'embauche d'ingénieurs formés aux mathématiques.

. J.P. Puel remarque que même au sein des mathématiciens, il y a des problèmes de compréhension.

. Un intervenant suggère la participation des mathématiciens aux congrès d'ingénieurs. Un autre remarque que la difficulté de langage est plus grande en mathématiques pures, et souligne l'effort fait par Alain Connes lors de sa conférence.

b - Problèmes de publications

J.C. Nédélec signale que les publications dans les revues d'ingénieurs (à "référée") ont la même valeur que celles paraissant dans les revues mathématiques.

Le problème des "petits" sujets ne se pose pas en ces termes : l'essentiel est dans l'originalité et l'intérêt des travaux.

4. Relations PME - PMI - Laboratoires

a - Taille minimum des équipes industrielles en relation avec les laboratoires

J. Tourneur remarque que si le sujet est très ponctuel, il n'est pas nécessaire à l'entreprise de disposer d'une équipe importante ; il en va différemment lorsque le sujet amène des développements stratégiques pour l'entreprise.

J.C. Nédélec signale que de telles équipes ne peuvent exister qu'en grande entreprise.

- b - Investissements nécessaires pour que les PME - PMI puissent bénéficier des recherches des laboratoires de mathématiques

C. Saguez et M. Lepetit remarquent que de petits matériels suffisent maintenant pour utiliser des logiciels développés par les chercheurs, bien qu'il faille des outils plus importants pour la phase de développement des logiciels, qui n'est donc pas à la portée des PME/PMI.

5. Conclusions de J.C. Nédélec

- * Le débat a surtout porté sur des exemples d'application de l'analyse (EDF, Thomson, ...).
- * Progressivement, toutes les mathématiques seront concernées par les applications, à l'image de la théorie des nombres.
- * La communication industrie-laboratoires suit un processus lent : elle s'améliore chaque fois que, par exemple, un étudiant ayant un DEA entre en entreprise et devient un interlocuteur.
- * Bien que le développement des mathématiques passe par leur aptitude à se faire utiliser par l'industrie, il faut que les laboratoires respectent une certaine déontologie, les amenant à refuser les contrats n'améliorant pas le savoir scientifique.
- * L'activité de conseil scientifique est trop peu répandue chez les universitaires, elle permet pourtant une meilleure communication, tout en étant une compensation aux salaires publics faibles devant les rémunérations des ingénieurs.