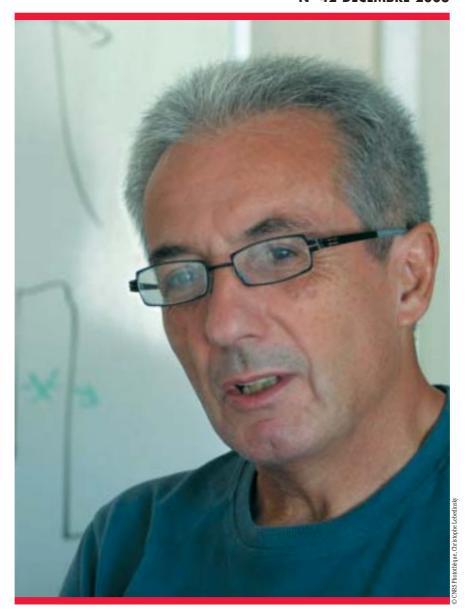
S C I E N C E S PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES

LETTRES DES DÉPARTEMENTS SCIENTIFIQUES DU CNRS

N° 42 DÉCEMBRE 2003









sommaire

Édito Distinctions	3
 Albert Fert, médaille d'or 2003 du CNRS Le prix Abel couronne Jean-Pierre Serre 	5 10
Interdisciplinarité	
 Interdisciplinarité: les sciences de l'univers et le département SPM Des disques stellaires à la dynamique des fluides Un mathématicien pour modéliser le climat 	12 14 15
Vie scientifique • Chemins minimaux et modèles déformables élastiques en analyse d'images	16
Vie du département	
 Mathématiques : les voyage 	S
forment la jeunesse • Portraits d'ITA	18 20
• ENCRe 2003	23
• Que pensez-vous de <i>La Lettre</i> du département ?	24
Culture scientifique	
 Modèles et modélisations : le foisonnement des pratiques 	c
contemporaines exige une	5
réflexion théorique nouvelle	26
Communication • Le CNRS fête les maths	29

Photo de couverture : Albert Fert ©CNRS Photothèque, Christophe Lebedinsky



e département SPM est à nouveau à l'honneur avec la médaille d'or 2003 du CNRS attribuée à Albert Fert, membre de l'Unité mixte de physique CNRS-Thales. Ce physicien, déjà titulaire de plusieurs prix internationaux, est reconnu mondialement pour sa découverte de la magnétorésistance géante.

Il est l'un des fondateurs de « l'électronique de spin », domaine en plein développement, auquel il participe activement. Pour le département il représente un cas d'école, mettant en relief la façon dont des résultats de physique fondamentale originaux peuvent se transférer rapidement vers des développements industriels importants et cela de manière impossible à anticiper. Les succès remportés par Albert Fert doivent nous faire réfléchir sur la nécessité de développer simultanément ces deux types de recherche, fondamentale et finalisée, si possible à l'intérieur des mêmes laboratoires de manière à accroître les interactions entre ces approches différentes.

Les mathématiques ne sont pas en reste avec le prix Abel, décerné à Jean-Pierre Serre. Il s'agit cette fois-ci de la première remise de cette distinction, qui vient d'être créée pour pallier à l'absence de prix Nobel dans ce domaine. C'est donc le deuxième succès mondial consécutif pour cette discipline après la médaille Fields de Laurent Lafforgue l'an dernier. Plusieurs articles concernant les mathématiques figurent d'ailleurs au sommaire de cette lettre :

- le grand succès obtenu par les mathématiques à la Fête de la science « Le CNRS fête les maths »;
- l'importance vitale de la mobilité pour les mathématiciens. Dans l'article Les voyages forment la jeunesse, Christian Peskine exprime une conviction absolue. Je pense que les arguments





qu'il présente ne s'appliquent pas qu'aux seuls mathématiciens et sont tout aussi valables pour d'autres disciplines.

Cette lettre contient aussi une nouvelle rubrique traitant de l'interdisciplinarité. Le premier exemple fait le point sur les interactions
qui existent au CNRS entre les sciences de l'univers et SPM.

Comme promis précédemment, elle s'ouvre également aux ITA
avec une série de portraits destinés à mieux connaître leurs activités
et leurs préoccupations. Enfin, je tiens à vous signaler que la *Lettre*du SPM vous sera adressée par la suite sous forme électronique
associée à une modification de contenu avec de nombreuses
informations pratiques, la fréquence de parution envisagée est
d'une par mois.

Pour terminer, je voudrais évoquer la politique d'embauche et de soutien aux laboratoires qui est en cours d'élaboration actuellement. Comme vous le savez, la campagne de recrutement 2004 est basée sur une reconduction de celle de 2003 mais avec transformation d'une partie des postes permanents en postes contractuels (119 chercheurs, 227 ITA). L'effet de cette réduction du nombre de créations

d'emplois permanents a pu toutefois être atténué. Le résultat est une campagne 2004 un peu inférieure à 2003. La situation pour les postes contractuels n'est pas encore complètement déterminée. Il en est de même pour le budget pour lequel on devrait avoir des informations définitives vers la fin décembre. Quoi qu'il en résulte, la période que nous vivons est difficile et nous ferons tout ce qui nous est possible pour préserver le potentiel scientifique du département.

Michel Lannoo

Directeur du département des sciences physiques et mathématiques

Le département des sciences physiques et mathématiques vous présente ses meilleurs voux pour l'année 2004 vœux pour l'année

Albert Fert Médaille d'or 2003 du CNRS

De la physique fondamentale des spins

à la technologie de pointe appliquée au quotidien

Le CNRS a décerné cette année sa médaille d'or au physicien Albert Fert, professeur à l'université Paris-Sud et directeur scientifique à l'unité de physique CNRS/Thales (associée à l'université Paris-Sud), pour sa découverte de la magnétorésistance géante (Giant magneto-resistance, GMR) et sa contribution au développement de l'électronique de spin. Ce domaine de recherche en nanosciences est aujourd'hui en forte expansion.

La GMR a déjà un impact important sur les technologies de l'information et de la communication. Elle est notamment à l'origine de l'élaboration de têtes de lecture magnétique extrêmement sensibles qui équipent aujourd'hui tous les disques durs. Ces têtes sont produites et commercialisées au rythme de 615 millions par an.

D'autres secteurs pourront bénéficier bientôt d'applications de l'électronique de spin, en particulier la téléphonie mobile, l'informatique portable ou encore l'électronique embarquée.

> lbert Fert s'émerveille de beaucoup de choses : des paysages de ses Pyrénées catalanes bien sûr, de la musique de Thelonious Monk et des films d'Almodovar également, mais aussi parfois, bizarrement, du ronronnement du disque dur de son ordinateur. Ce qui le laisse rêveur, c'est de réaliser que l'énorme ca

pacité des disques magnétiques actuels provient, en bonne partie, de ses élucubrations de jeune chercheur vers 1970, puis de sa découverte de la magnétorésistance géante en 1988. L'introduction de têtes de lecture à magnétorésistance géante est en effet à l'origine de l'augmentation considérable de la densité de stockage d'information sur disque dur. Qui plus est, cette découverte a donné le coup d'envoi à un nouveau domaine de la physique : l'électronique de spin (ou spintronique). Un domaine actuellement en pleine expansion dont Albert Fert est l'un des principaux acteurs. Aujourd'hui, des phénomènes nouveaux continuent d'apparaître, d'autres applications se développent et l'impact de cette nouvelle science sur les technologies du XXI^e siècle s'annonce comme véritablement important.

L'électronique de spin, c'est quoi?

«L'électronique de spin, explique Albert Fert, exploite une caractéristique quantique de l'électron : le spin, que l'on peut imaginer comme une minuscule aiguille de boussole portée par l'électron. Alors que l'électronique classique guide les électrons en exerçant une force sur leur charge électrique, l'électronique de spin

les guide en agissant sur leur spin. Comment trouver une force agissant efficacement sur le spin des électrons ? Réponse : en faisant passer ces électrons au travers de couches ultra-fines de matériaux ferromagnétiques comme le fer ou le cobalt dans lesquels s'exerce une forte interaction entre le spin de l'électron et l'aimantation du matériau ferromagnétique. En orientant cette aimantation, il est donc possible d'agir sur le spin et de contrôler le mouvement des électrons.»

Aux cours de ses recherches fondamentales sur les métaux ferromagnétiques au début de sa carrière, Albert Fert avait clarifié cette influence du spin sur le mouvement des électrons. « Cependant, pour l'exploitation de ces idées et l'éclosion de l'électronique de spin, précise t-il, il a fallu attendre les progrès technologiques de la fin des années 80 qui ont permis l'élaboration de couches ultraminces et de structures artificielles de toute petite échelle. » Les phénomènes intéressants d'électronique de spin sont en effet obtenus dans des «nanostructures magnétiques », des structures artificielles associant plusieurs matériaux dans une architecture à l'échelle du nanomètre (millionième de millimètre). Les premières « nanostructures magnétiques » ont

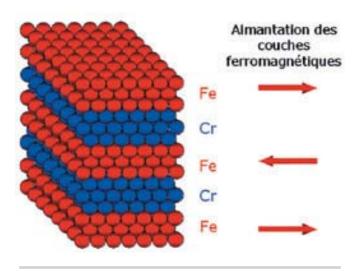


Figure 1 - Dessin d'une multicouche composée de couches de fer et de chrome en alternance. Cette multicouche est semblable à celle de la découverte de la magnétorésistance géante en 1988. Chaque couche est constituée de trois plans d'atomes (représentés par des boules) dans un réseau cubique cristallin centré. Les flèches indiquent l'orientation de l'aimantation des couches de fer avant application d'un champ magnétique.

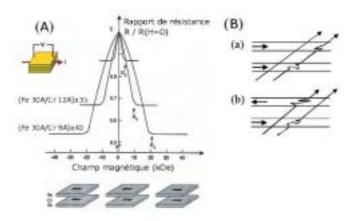


Figure 2 - (A) Variation de la résistance électrique de multicouches fer/chrome en fonction du champ magnétique appliqué (première observation de GMR). Un kiloOersted correspond à un dixième de Tesla. Les schémas en dessous de la courbe représentent la configuration des aimantations de couches de fer successives à diverses valeurs du champ. Dans le cas de la multicouche où l'épaisseur de fer est de 30 angströms (1 Å= 10⁻¹⁰m), et celle du chrome de 9 angströms, la variation relative de résistance (magnétorésistance) s'élève à 80%.

Figure 2 - (B) Illustration du mécanisme de la GMR. Les grandes flèches horizontales représentent les aimantations de deux couches ferromagnétiques successives. Les lignes obliques représentent des trajectoires d'électrons. On suppose que ces derniers se propagent plus facilement à l'intérieur d'une couche quand leur spin (petites flèches horizontales) est parallèle à l'aimantation. Dans la configuration (a) où les couches ferromagnétiques ont des aimantations parallèles, la moitié des électrons se propagent facilement partout, ce qui se traduit par un effet de court-circuit par un canal de conduction de faible résistance électrique. Dans la configuration (b) d'aimantation « antiparallèle », les électrons des deux directions de spin sont ralentis dans une couche ferromagnétique sur deux. l'effet de court-circuit n'existe plus et la résistance est beaucoup plus élevée.

été des multicouches empilant en alternance des strates d'un métal ferromagnétique et d'un métal non-magnétique. Par exemple, du fer peut alterner avec du chrome. (figure 1)

Les débuts de la spintronique

La première manifestation d'électronique de spin a été la magnétorésistance géante des multicouches magnétiques (figure 2A). Vers le milieu des années 80, Albert Fert, alors au laboratoire de physique des solides d'Orsay, établit une collaboration pour l'étude de multicouches magnétiques avec Alain Friederich, directeur à Thomson-CSF d'un département de recherche qui maîtrisait la technique d'« epitaxie par jets moléculaires » (technique de croissance sous ultra-vide) pour le dépôt de couches ultra-minces. Albert Fert raconte : « Nous avons découvert la magnétorésistance géante en 1988 sur des multicouches de fer et de chrome. Pour certaines épaisseurs des couches de chrome, les aimantations de couches de fer successives s'orientent en sens opposé, dans une configuration dite antiparallèle. Dans l'expérience de 1988, nous avons aligné ces aimantations en appliquant un champ magnétique et provoqué ainsi une forte chute de la résistance électrique de la multicouche. L'amplitude de l'effet a dépassé toutes nos espérances!». La variation de résistance d'un conducteur induite par un champ magnétique s'appelle magnétorésistance et l'effet observé en 1988, beaucoup plus important que dans les conducteurs classiques, a été appelé magnétorésistance géante. L'interprétation (figure 2B) des effets observés s'appuyait sur les résultats antérieurs d'Albert Fert qui lui avaient permis d'analyser l'influence du spin sur la conduction dans les métaux ferromagnétiques. Les expériences révélant l'effet GMR et leur interprétation ont été publiées dans un article de la revue *Physical Review* Letters. (Phys. Rev. Lett. 61, 2472, 1988) considéré comme l'article fondateur de l'électronique de spin. Il est cité près de 2500 fois dans la littérature scientifique, ce qui l'a classé au 6° rang du «Top Ten» des articles de Physical *Review Letters* les plus cités depuis la création de cette prestigieuse revue, il y a 50 ans. L'équipe de Peter Grünberg à Jülich en Allemagne a publié peu après (Phys. Rev. B39, 4828, 1989) des résultats expérimentaux similaires (quoique avec une magnétorésistance plus modeste). « Grünberg et moi, raconte Albert Fert, avons toujours été d'accord pour considérer que nos expériences avaient été réalisées quasi simultanément et que nous partagions la découverte de la GMR.»

Plus de 200 giga-octets dans un disque dur à magnétorésistance

La GMR, en particulier celle obtenue avec un très petit champ magnétique dans certaines multicouches, a immédiatement attiré l'attention des industriels. Les premières applications, des capteurs de champ magnétique très sensibles, sont apparues dès 1993. «Les applications les plus importantes, explique Albert Fert, ont cependant été les têtes de lecture pour disque dur utilisant la variation de résistance d'une multicouche (c'est-à-dire l'effet GMR) pour détecter les petits champs magnétiques générés par les inscriptions sur le disque » (figure 3). La sensibilité de la détection par GMR a permis de diminuer la taille des

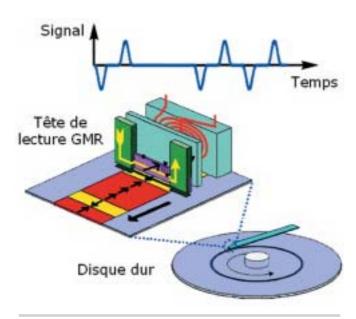


Figure 3 - Dessin schématique d'une tête de lecture de disque dur utilisant la GMR pour une détection ultra-sensible du champ magnétique généré par les inscriptions.

inscriptions et d'augmenter par un facteur d'environ 100 la densité d'information stockée sur le disque. Aujourd'hui, la quasi-totalité des têtes pour disques durs (615 millions de têtes par an) utilisent la GMR et la capacité de certains dépasse les 200 giga-octets. Avec des densités supérieures à 20 gigabits par centimètre carré de disque (l'équivalent d'environ 2500 romans par centimètre carré), on atteint cependant la limite de la GMR classique (celle avec le courant parallèle aux couches). «La prochaine génération utilisera sans doute d'autres effets d'électronique de spin comme la GMR en courant perpendiculaire aux couches ou la magnétorésistance tunnel », confie Albert Fert.

Électronique de spin d'auiourd'hui et mémoires du futur

La découverte de la GMR a déclenché de nombreux travaux de recherche dans le monde entier et les résultats ont rapidement confirmé le potentiel d'une

électronique exploitant le spin de l'électron. Ce nouveau domaine de la physique est aujourd'hui en pleine expansion et Albert Fert joue un rôle majeur dans son développement. Son équipe à l'unité CNRS/Thales a ainsi été l'une des premières en Europe à réaliser des « jonctions tunnel magnétiques » (Magnetic Tunnel Junctions, MTJ) et à faire progresser la compréhension de leurs effets de magnétorésistance (Tunel Magneto-resistance, TMR). Un exemple de contribution significative d'Albert Fert à la théorie de l'électronique de spin est aussi l'introduction du concept d'accumulation de spin, aujourd'hui utilisé dans de nombreux modèles.

« La TMR des jonctions tunnel magnétiques, explique Albert Fert, aura sans doute des applications importantes. » Une MTJ est composée de deux couches ferromagnétiques séparées par une couche isolante d'environ un nanomètre d'épaisseur à travers laquelle les électrons ont une certaine probabilité de passer par un phénomène quantique appelé effet tunnel. Comme pour la GMR. la résistance de la jonction est différente selon que les aimantations des couches ferromagnétiques sont orientées dans le même sens ou en sens opposé (parallèles ou antiparallèles). «Le phénomène avait en fait été déjà observé par Michel Jullière en France dans les années 70, puis oublié car difficilement reproductible. Ce sont des travaux de 1995 aux USA qui ont permis de maîtriser la TMR et de relancer la recherche. La TMR aura bientôt des applications importantes pour la réalisation de mémoires électroniques, les MRAM (Magnetic Random Acces Memory). «L'impact dans la technologie des ordinateurs sera important», précise le médaillé d'or. Alors que les mémoires DRAM (Dynamic Random Access Memory) et SRAM (Static Random Access Memory) à base de semiconducteurs des ordinateurs actuels ont un caractère « volatile » (l'information stockée meurt dès que l'on éteint l'ordinateur), la mémoire des MRAM

est permanente (figure 4). Grâce à cette permanence, il n'v aura plus à stocker les programmes et les données sur le disque dur à l'arrêt de l'ordinateur et à les recharger à la remise en tension, ce qui éliminera la lenteur au démarrage et aussi les pertes accidentelles de données. De plus, contrairement aux mémoires à semiconducteur qui consomment de l'énergie même en période de veille de l'ordinateur ou du téléphone mobile. les MRAM n'ont besoin d'énergie que pendant un travail effectif. Conséquence : un allongement significatif de la durée de vie de la batterie d'un ordinateur ou d'un téléphone portable. « C'est d'ailleurs dans ce créneau de l'électronique nomade que les MRAM s'intègreront sans doute le plus vite. La mise sur le marché de composants fonctionnels est annoncée pour 2004-2005. Il est intéressant de noter que les premiers développements industriels de MRAM devraient être localisés en France, à Corbeil-Essonne (consortium Altis associant IBM et

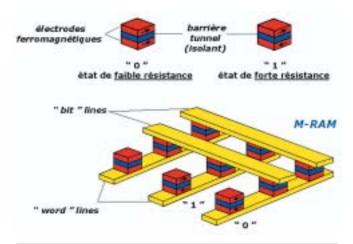


Figure 4 - En haut : cellules mémoires de MRAM constituées d'une jonction tunnel magnétique (MTJ). Les états «0» et «1» des cellules correspondent respectivement aux configurations parallèle et antiparallèle des moments magnétiques des électrodes de la MTJ (états de résistance faible et forte).

En bas : schéma d'une MRAM construite avec des MTJ connectées à un réseau de lignes conductrices appelées « bit » line et « world » line. Ces lignes servent soit à commuter l'état d'une cellule (écriture), soit à lire on état en utilisant l'effet TMR.

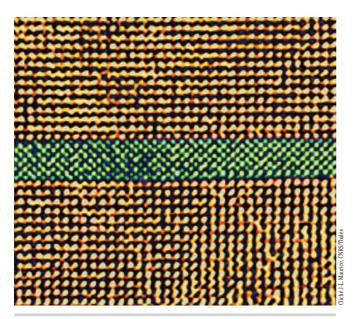


Figure 5 - Image en coupe par microscopie électronique de haute résolution d'une jonction tunnel magnétique composée de deux couches magnétiques d'oxyde de manganèse séparées par une couche isolante de titanate de strontium. On distingue clairement les rangées d'atomes.

la société allemande Infineon) et à Crolles, près de Grenoble (consortium Motorola - ST Microelectronics - Philips) », remarque Albert Fert.

L'importance des MRAM dans les technologies du futur justifie l'effort de nombreux laboratoires pour améliorer la magnétorésistance des jonctions tunnel ou proposer des composants plus sophistiqués et plus performants. Un résultat marquant de l'équipe CNRS-Thales a été la démonstration d'un effet de TMR record (facteur 20 entre résistances des configurations parallèle et antiparallèle) obtenu en utilisant certains oxydes magnétiques dits demi-métalliques (figure 5). Cette magnétorésistance ne subsiste pas à température ambiante dans les oxydes étudiés jusqu'à présent, ce qui exclut des applications, mais une voie est ouverte pour la recherche d'autres matériaux de ce type. « Notre équipe, explique Albert Fert, étudie aussi aujourd'hui un phénomène nouveau qui pourrait

avoir des applications intéressantes pour l'écriture de dispositifs de type MRAM ou d'enregistrement magnétique. Dans la technologie actuelle, on écrit en orientant une aimantation par application d'un champ magnétique créé par une ligne de courant électrique. L'unité CNRS/Thales a été l'un des tout premiers laboratoires à montrer que l'on pouvait aussi orienter l'aimantation d'un petit élément sans champ magnétique appliqué de l'extérieur mais seulement en injectant un courant de spins dans l'élément. On parle de commutation magnétique par transfert de spins et le phénomène est prometteur de nombreuses applications.»

Vers une fusion de l'électronique classique et de l'électronique de spin

Une activité importante aujourd'hui à l'unité CNRS/Thales concerne l'électronique de spin dans des structures dites hybrides associant matériaux ferromagnétiques et semiconducteurs. Ce domaine de recherche, à l'interface entre électronique classique et électronique de spin, est en plein développement, en particulier aux États-Unis et au Japon. Divers concepts ont été proposés pour exploiter le spin de l'électron dans un semiconducteur. On peut imaginer, par exemple, un composant combinant des fonctions de stockage permanent d'information, de traitement logique et de communication optique sur une même puce. De nombreux problèmes fondamentaux restent cependant à résoudre. Comment injecter des électrons d'une même direction de spin dans un semi-conducteur à partir d'un métal ferromagnétique? Comment ensuite manipuler ces spins dans le semicon-

ducteur et les détecter ? Autant de problèmes qui passionnent aujourd'hui Albert Fert et son équipe.

Un objectif des chercheurs dans ce domaine est le contrôle du spin d'un électron unique dans un tout petit objet appelé « boîte quantique ». C'est une direction de recherche prometteuse pour la réalisation - à long terme - d'un nouveau type d'ordinateur extrêmement rapide. l'ordinateur quantique, qui ne combinera plus des données binaires comme dans l'informatique d'aujourd'hui mais les fonctions d'onde de tels « objets quantiques ». « C'est aussi l'une des perspectives fascinantes de la recherche de la prochaine décennie », s'enthousiasme Albert Fert.

De la recherche fondamentale aux avancées technologiques

« Le premier enseignement que je tire de l'aventure est que les avancées technologiques ont en général des racines très anciennes en recherche fondamentale. La magnétorésistance géante et l'électronique de spin ne sont pas nées par génération spontanée en 1988 », explique Albert Fert. Dans les années 30, le prix Nobel de physique Sir Nevill Mott avait déjà proposé que le spin intervienne dans la conduction électrique. La confirmation expérimentale et le développement de modèles datent d'il y a environ 30-35 ans et viennent de quelques laboratoires européens (à Strasbourg autour de François Gautier, à Orsay avec les travaux de Campbell et Fert, aux Pays-Bas également dans le laboratoire d'Eindhoven). « Mais fabriquer des structures artificielles à l'échelle du nanomètre était impensable à l'époque. Le passage à la GMR et à l'électronique de spin

est ensuite venu de la conjonction des idées de physique fondamentale que nous avions développées vers 1970 et des progrès des techniques d'élaboration de nanostructures au milieu des années 80. Par la suite également, les développements de l'électronique de spin ont souvent été liés aux avancées des nanotechnologies. Le problème n'est d'ailleurs pas spécifique à l'électronique de spin, tant il est vrai que de nombreux domaines de la physique de la matière sont actuellement « boostés » de façon fantastique par l'arrivée des nanotechnologies », rapporte Albert Fert.

Pour le physicien, la découverte de la GMR et les développements ultérieurs ont aussi montré l'intérêt d'associer des laboratoires de recherche fondamentale du CNRS ou des universités et des laboratoires industriels. « C'est intéressant par la complémentarité de technologies différentes mais aussi pour que les chercheurs aient une certaine vision des enjeux industriels et que les ingénieurs perçoivent toutes les possibilités offertes par les avancées fondamentales. Dans notre domaine, cela a conduit à la création du laboratoire qui est aujourd'hui l'unité de physique CNRS/Thales, également associée à l'université Paris-Sud », souligne Albert Fert. Il constate: « La France et ses partenaires européens ne sont pas les pays les mieux placés dans les technologies de l'information et de la communication. Les prochaines années verront sans doute des avancées considérables dans ces secteurs et leur

impact dans l'économie sera de plus en plus grand. Il est d'autant plus essentiel que la France et l'Europe puissent rattraper l'avance qu'ont pris les États-Unis et aussi le Japon dans ce domaine».

contact

Albert Fert Unité mixte de physique CNRS/Thales albert.fert@thalesgroup.com

IMPACT ÉCONOMIQUE DE L'ÉLECTRONIQUE DE SPIN

Trois grands domaines d'application sont directement concernés par le développement de l'électronique de spin:

- le domaine de l'enregistrement magnétique avec les têtes de lecture de disques durs;
- les capteurs magnétiques pour des applications dans l'automobile, professionnelles mais aussi éventuellement domestiques;
- les mémoires électroniques avec l'apparition sur le marché annoncée pour l'horizon 2004-2005 des premières générations de MRAM (Magnetic Random Access Memory).

Enregistrement magnétique

- C'est historiquement le premier secteur sur lequel la magnétorésistance géante (GMR) a eu un impact de grande ampleur. A partir de fin 1997, toutes les têtes de lecture de disques durs ont progressivement utilisé la GMR.
- Cette transition a permis de doubler la vitesse de croissance de la densité de stockage de 120 % par an entre 1998 et 2002.
- Le marché actuel des disques durs représente environ 50 milliards d'euros, la part prise par les têtes de lecture représentant plus de 10 %.

Capteurs magnétiques

• Les premiers capteurs magnétorésistifs utilisant la GMR ont été introduits dès 1994 sur des marchés spécifiques.

- Le marché des capteurs magnétorésistifs est complexe. C'est en fait un amalgame de marchés spécifiques de taille plus ou moins grande.
- Les applications peuvent être regroupées en trois grands domaines:
- la détection d'un champ magnétique (boussole, mesure de courant électrique);
- la détection d'un objet via sa signature magnétique (comptage de véhicules, détection de bâtiments maritimes);
- la détection du mouvement d'un objet comportant un aimant (fermeture de portes d'avions, potentiomètre sans contact).
- Le volume du marché actuel est de 800-900 millions d'euros. Sa croissance est largement dépendante de la pénétration de marchés de masse comme l'automobile ou les applications domestiques.

Mémoires électroniques

- C'est le domaine d'application des MRAM, qui devrait être le premier produit utilisant l'effet tunnel dépendant du spin.
- La MRAM est une technologie de mémoire électronique non volatile, dont les performances devraient la rendre compétitive par rapport à l'ensemble des technologies de mémoires actuelles (DRAM, SRAM, Flash). Sa seule concurrente en tant que technologie émergente est la mémoire ferroélectrique. La MRAM a l'avan-

tages de présenter une meilleure capacité d'intégration, un meilleur temps d'accès et une meilleure fiabilité.

- La première génération de produits est annoncée pour 2004-2005. Les deux premières lignes de production des acteurs occidentaux (Europe et États-Unis) devraient se situer en France à Crolles (consortium ST Microelectronics, Philips, Motorola) et à Corbeil-Essonne (consortium Altis: IBM, Infineon). Il y a d'autres acteurs en Asie (Japon, Corée).
- Le marché global des mémoires électroniques en 2002 est d'environ 25 milliards d'euros. Il se décompose en trois secteurs :
- les mémoires pour appareils nomade, domestique et grand public (agendas électroniques, appareils photos), pour lesquelles le facteur dominant est la recherche d'un composant à faible coût. Ce secteur représente 9 milliards d'euros en 2002. On peut raisonnablement penser que c'est le premier auquel s'attaqueront les produits MRAM;
- les mémoires pour ordinateurs (DRAM, SRAM) qui sont le résultat d'un compromis performance/coût. Ce secteur représente 15 milliards d'euros en 2002;
- les mémoires pour applications militaires et spatiales. Une caractéristique importante dans ce domaine est la tenue aux radiations.

Le prix Abel couronne Jean-Pierre Serre



A l'occasion du bicentenaire de la naissance du mathématicien norvégien Niels Henrik Abel (1802-1829), l'Académie norvégienne a créé un grand prix annuel de mathématiques, discipline qu'Alfred Nobel n'avait pas intégrée dans son système de récompenses. Jean-Pierre Serre, professeur honoraire au Collège de France, est le premier lauréat de ce prix, qui a été remis le 3 juin dernier à Oslo.

rime avec Nobel; peut-être cela aidera-t-il le prix Abel, créé l'année dernière par l'Académie norvégienne des sciences et des lettres, à s'imposer durablement comme la plus haute récompense dans le domaine des mathématiques. En tout cas, la décision d'attribuer la première édition de ce prix à Jean-Pierre Serre, ainsi que la somme rondelette qui y est attachée (environ 770 000 euros), vont dans ce sens.

De l'avis unanime, Jean-Pierre Serre, chercheur français aujourd'hui âgé de 77 ans, est l'une des figures dominantes du demi-siècle mathématique qui vient de s'é-

ler. Cet ancien élève de l'École normale supérieure a obtenu son doctorat de la Sorbonne en 1951.

cou-

Chercheur au CNRS de 1948 à 1954, puis enseignant à l'université de Nancy, il a été nommé en 1956 professeur à la chaire d'algèbre et géométrie du Collège de France, fonction qu'il occupera jusqu'à sa retraite en 1994.

Jean-Pierre Serre était l'un des principaux membres du groupe Bourbaki – groupe qui a engagé à partir de 1935 une vaste refonte des mathématiques - qu'il a rejoint à la fin des années 40 et où il est resté actif jusqu'aux années 70. Une bonne partie des mathéma-

ticiens qui ont influencé Serre ont d'ailleurs fait partie du groupe Bourbaki : Henri Cartan, le père des mathématiques françaises de l'aprèsguerre. André Weil qu'il admirait pour «son style, sa façon de voir les mathématiques et son imagination qui lui faisait voir des liens inattendus entre différentes branches des mathématiques ». Alexandre Grothendieck qui a révolutionné la géométrie algébrique, Armand Borel avec qui il a travaillé sur la théorie des groupes.

Les contributions essentielles de Serre aux mathématiques ont démarré dès sa thèse de doctorat. Dans celle-ci, intitulée « Homologie singulière des espaces fibrés », Serre a utilisé une notion inventée quelques années plus tôt par le mathématicien français Jean Leray, les suites spectrales, pour mettre au point des méthodes puissantes dans le domaine de la topologie algébrique. Un peu plus précisément, ces techniques (des techniques d'algèbre dite homologique) ont rendu possible le calcul de certains invariants, appelés groupes d'homotopie, de divers objets topologiques, notamment les sphères dans des espaces de dimension donnée. « Ces travaux ont révolutionné la topologie algébrique de l'époque», explique Jean-Marc Fontaine, mathématicien à l'université Paris-Sud et considéré comme l'élève de Serre. En tout cas, ils ont valu à ce dernier une médaille Fields en 1954, alors qu'il avait moins de 28 ans. Aujourd'hui encore, c'est le record de jeunesse pour ces médailles, attribuées tous les quatre ans à des mathématiciens âgés de moins de 40 ans et qui, iusqu'à présent, étaient considérées comme la palme suprême en mathématiques.

Après son incursion dans le domaine de la topologie algébrique et tout au long de sa carrière, Serre s'est attaqué avec succès à une multitude de sujets. Les principaux domaines concernés sont la théorie des groupes, la géométrie algébrique et la théorie des nombres. Ainsi, il crée en 1955 la théorie des « faisceaux algébriques cohérents » qui, explique-t-il, « est de la géométrie algébrique inspirée par de la topologie ». La notion de faisceau avait été introduite, comme celle de suite spectrale, par Jean Leray dans les années 40 puis reprise par Henri Cartan, dont Serre a été l'élève. « Les faisceaux cohérents jouent un rôle fondamental en géométrie algébrique et dans la théorie des fonctions de plusieurs variables complexes», précise J.-M. Fontaine.

Un autre travail qui a contribué à la célébrité de Serre est sa « Géométrie algébrique et géométrie analytique » de 1956, dans laquelle il dresse un pont entre la géométrie algébrique et la géométrie analytique - celle-ci ne signifiant pas la géométrie des coordonnées apprise au lycée, mais l'étude des variétés analytiques complexes. Cette œuvre s'est rendue tellement utile que les mathématiciens en ont abrégé le titre en «GAGA» et qu'on les entend dire par exemple que tel ou tel résultat « se démontre par GAGA »...

Depuis le milieu des années 1960 jusque vers 1990, Serre a travaillé entre autres sur les formes modulaires, objets relevant plutôt de l'analyse mais qui sont au carrefour de la géométrie algébrique, de la théorie des groupes et de la théorie des nombres. Dans ce cadre, il a notamment contribué à l'idée d'associer aux formes modulaires des « représentations galoisiennes », idée qui a été déterminante dans les recherches ayant mené à la démonstration par Andrew Wiles du grand théorème de Fermat, en 1994. Plus généralement. l'influence de Serre en théorie des nombres est, selon J.-M. Fontaine, comparable à celle qu'a exercée dans les années 60 Alexandre Grothendieck en géométrie algébrique – ce qui n'est pas peu dire. « Les mathématiciens utilisent aujourd'hui de façon naturelle une multitude de concepts et techniques dont il est à l'origine ».

Bien que retraité, ce mathématicien pur, et qui se réclame comme tel, continue à travailler et à produire, à un rythme peut-être légèrement moins soutenu qu'avant. Depuis une dizaine d'années, il se consacre à la théorie de la représentation des groupes. « Je travaille autant mais je rédige beaucoup moins », affirme-t-il cependant. Dommage pour la communauté mathématique, car Jean-Pierre Serre est également réputé pour ses rédactions, caractérisées par beaucoup de clarté, de rigueur et de précision. La plupart de ses ouvrages sont devenus des références classiques. D'ailleurs, parmi ses innombrables distinctions, dont certaines fort prestigieuses (médaille Fields en 1954, prix Balzan en 1985, médaille d'or du CNRS en 1987, prix Wolf en 2000, etc.), figure le prix Steele décerné 1995 par l'American Mathematical Society et qui récompense une personne pour sa manière d'exposer des mathéma-

A l'oral. Jean-Pierre Serre ne brille pas moins qu'à l'écrit. Au Collège de France, « une très belle institution, tout à fait originale, la seule en France qui puisse dispenser des cours d'un niveau aussi élevé à un auditoire aussi grand », sa chaire consistait à donner 18 heures de cours chaque année. Leur préparation nécessitait « un lourd travail », effectué chez lui à son domicile, et ils attiraient plusieurs dizaines de mathématiciens, dont certains venaient exprès de province.

En fait, Serre travaillait à ses recherches chez lui, puis venait « raconter» celles-ci au Collège de France, « sans notes écrites », ce qui est une belle prouesse. Qui plus est, «raconter» est un mot faible, car Serre tient à expliquer à fond ses travaux, jusqu'aux détails des démonstrations, chose que les conférenciers font rarement. Si ses cours du Collège de France se sont arrêtés, ce mathématicien réputé modeste, toujours disponible et prêt à discuter ou à aider, continue à «faire des exposés ici et là »; et il continue, comme dit J.-M. Fontaine, « à faire sentir aux autres que les mathématiques sont un plaisir».

Par Maurice Mashaal



Interdisciplinarité: les sciences de

Depuis un certain nombre d'années, les grands organismes de recherche comme le CNRS militent en faveur de l'interdisciplinarité. Vœu pieux ou réelle volonté qui se traduit concrètement dans le quotidien des chercheurs et des laboratoires ?

Pour faire le point sur les interactions qui existent au CNRS entre les sciences de l'univers et les sciences physiques et mathématiques, nous avons interrogé Philippe Gillet, ex-directeur scientifique du département SDU (sciences de l'univers) et de l'INSU (Institut national des sciences de l'univers), et recueilli le témoignage de deux chercheurs, Bérengère Dubrulle et Claude Basdevant.

Dans quelle mesure l'interdisciplinarité est-elle une nécessité au sein du département SDU et à l'INSU?

Philippe Gillet : Les sciences de l'univers ont la particularité de s'intéresser à l'étude d'objets variés - depuis l'intérieur de la terre jusqu'aux objets galactiques en passant par les enveloppes les plus superficielles de notre planète que sont l'atmosphère, l'océan et la surface des continents.

Comprendre l'origine, la structure et l'évolution de ces objets fait appel à des compétences scientifiques qui vont bien audelà de celles des seuls chercheurs du département des sciences de l'univers.

Un exemple simple permet de mettre cette nécessaire interdisciplinarité en avant.

Comprendre et anticiper le changement du climat de la planète, d'origine naturelle ou induit par l'activité humaine, passe bien sûr par une étude et une compréhension du phénomène climatique. Mécanique des fluides, photochimie dans l'atmosphère, croissance de la végétation sont autant de domaines de recherche qu'il faut marier pour appréhender et comprendre la complexité du climat. Physiciens, mathématiciens, chimistes et biologistes

ont donc leur mot à dire! Mais cela va plus loin encore. Le changement climatique a aussi des implications sur la vie des sociétés et leur développement et demande donc que les sciences humaines et sociales s'approprient les résultats des recherches des autres champs disciplinaires. De plus, la minimisation et les anticipations de l'activité humaine sur le climat appellent la mise en œuvre de technologies nouvelles de dépollution, de nouvelles formes de production et de stockage d'énergie et donc des collaborations accrues entre climatologues, physiciens, chimistes, biologistes et ingénieurs.

La situation actuelle des interactions entre disciplines, avec la physique et les mathématiques en particulier, y est-elle satisfaisante?

Ph. G.: Ces interactions existent et je m'en félicite, mais elles sont potentiellement plus riches encore. Je crois que les physiciens, en particulier, peuvent trouver dans les phénomènes et objets de l'univers, matière à des recherches qui enrichiront davantage encore le cœur de leur discipline. Mon expérience de chercheur me montre que les interactions

entre chercheurs de champs disciplinaires différents sont une réalité dans de nombreux laboratoires. Elles sont néanmoins à développer, notamment dans le domaine des nanomatériaux naturels. Notre travail au niveau institutionnel est, quant à lui, plus difficile à mettre en œuvre dans une structure organisationnelle découpée en départements. Nous y arrivons malgré tout, grâce à la concertation entre les directions scientifigues des différents départements et grâce à la mise en place de GDR (Groupements de recherche) par exemple. En ce qui concerne la physique plus particulièrement, l'existence des grands équipements comme les synchrotrons (Lure, ESRF et bientôt SOLEIL) a été indéniablement le creuset d'excellentes interactions scientifigues et de la construction, dans la durée, de collaborations sur des sujets par essence interdisciplinaires.

L'interdisciplinarité est-elle véritablement réciproque ? Autrement dit, les sciences de l'univers fertilisent-elles les sciences mathématiques et physiques autant qu'elles les utilisent ?

Ph. G.: Je crois que oui. De manière générale, on peut aussi affirmer que les objets de l'univers, au sens le plus large possible, constituent une extraordinaire source de questionnements scientifiques qui peuvent enrichir le cœur de disciplines comme la physique, la chimie ou encore la biologie. Pour illustrer cela, je prends un exemple qui me tient à cœur : celui du comportement de la matière sous

Svlvie Joussaume

est aujourd'hui directrice de l'Institut national des sciences de l'univers-INSU, et du département des sciences de l'univers-SDU **Philippe Gillet**

est désormais directeur de l'École normale supérieure de Lyon



l'univers et le département SPM

des conditions extrêmes de pression et de température.

A la fin des années 80, nous autres chercheurs des sciences de la terre avions décidé de nous lancer sérieusement dans l'étude des matériaux dans les conditions de pression et de température censées régner à l'intérieur de la terre. Pour ce faire, nous avons pris des contacts avec des physiciens. L'accueil a été excellent et ils nous ont réellement aidé à monter des expériences tout à fait originales. A présent, les physiciens utilisent le savoirfaire des « géologues » en matière de haute pression et il n'est plus rare de voir des publications communes dans les plus grandes revues internationales de physique.

Y a-t-il des obstacles, des réticences vis-à-vis des travaux interdisciplinaires? De quelle nature ?

Ph. G.: Il existe bien sûr des obstacles. Au premier rang se trouve la difficulté de notre système d'évaluation, qui est « sectorisé », à juger de manière pertinente des travaux ne se situant pas dans ce que nous appelons communément le cœur des disciplines. Je suis persuadé que la notion de discipline et le sentiment d'appartenance à un champ disciplinaire constituent l'un des principaux obstacles à la construction dans la durée de l'interdisciplinarité. En effet, les chercheurs ont souvent tendance, ce qui peut se comprendre, à se réclamer de la discipline de leur formation initiale. Il est plus rare de voir un chercheur

se présenter avant tout par son objet d'étude ou les questions scientifiques qu'il se pose. Je pense que les difficultés que nous avons à posséder cette culture de l'approche interdisciplinaire ne sont, en fin de compte, qu'une conséquence de notre système éducatif : l'enseignement secondaire et universitaire est très cloisonné en disciplines. Les choses bougent bien sûr, mais à une vitesse qui n'est pas adaptée aux changements que connaît actuellement la science.

Quelle est la stratégie de l'INSU et du SDU pour renforcer l'interdisciplinarité? Quels sont les moyens mis en œuvre ?

Ph. G.: Nous avons déjà des laboratoires qui relèvent de nos deux départements à la fois, laboratoires où le brassage des cultures s'opère. Un exemple est celui du Laboratoire de minéralogie et de cristallographie de Paris, qui relevait du département SPM et qui intègre à présent un groupe de chercheurs en sciences de la terre. Mais il reste des efforts à faire en ce sens. Nous nous sommes mutuellement engagés à rattacher certains de nos laboratoires aux deux départements pour claire-

ment afficher notre volonté d'asseoir l'interdisciplinarité. Cela touche des domaines aussi variés que la matière condensée, la physico-chimie de l'atmosphère ou encore l'astronomie. Pour ce qui est des recrutements, les objets et questions soulevées par l'étude de la terre et de l'univers amènent de nombreux jeunes chercheurs issus de la physique ou des mathématiques à poser leur candidature à des postes dans des laboratoires de sciences de l'univers ; c'est une excellente chose, qui est favorisée par l'existence de commissions interdisciplinaires (comme la commission Astroparticules). Il est pour l'instant plus difficile de voir la réciproque se réaliser mais là, à nouveau, cela commence à changer et c'est tant mieux. Au niveau de l'INSU, les choses sont plus simples. L'Institut est une agence de moyens qui

recherche incita-

tifs. Nombre

de ces pro-

grammes

ont des ap-

pels

d'offres très larges et qui couvrent de nombreux domaines de recherche, allant de la cosmologie au fonctionnement de la biosphère. Il en est ainsi, par exemple, du programme national de chimie atmosphérique ou du programme national de physique et chimie du milieu interstellaire. Ces programmes sont des outils privilégiés pour que des chercheurs d'horizons différents mettent en commun leurs compétences sur des projets ciblés. Je crois qu'ils représentent, à l'instar des grands appareils de la physique, l'une des opportunités pour construire l'interdisciplinarité sur le terrain, c'est-àdire dans les laboratoires.

> Propos recueillis par Maurice Mashaal



Lettre du SPM N° 42 décembre 2003



Des disques stellaires à la dynamique des fluides

irectrice de recherche au CNRS, Bérengère Dubrulle travaille depuis deux ans au Service de physique de l'état condensé (SPEC), une unité de recherche associée CEA/CNRS et située sur le site du CEA de Saclay (Orme des Merisiers), dans la banlieue parisienne. Auparavant, elle effectuait ses travaux au service d'astrophysique du CEA. Son champ de recherche? La dynamique des fluides, et plus particulièrement le cisaillement et la rotation de fluides comme ceux présents dans les disques de matière autour des étoiles. «La dynamique des fluides est un domaine pluridisciplinaire par essence, qui mêle aspects mathématiques et théoriques, simulations numériques et expériences de laboratoire, et qui touche autant le secteur industriel que la géophysique ou l'astrophysique », précise-t-elle, en ajoutant qu'au moins quatre sections différentes du CNRS sont concernées. Si personnellement Bérengère Dubrulle relève de la section 13 (physique et chimie de la terre) du département SDU, son laboratoire est rattaché à la section 6 (matière condensée, structures et propriétés électroniques) du département SPM. Il faut dire aussi qu'une part importante des activités du service de physique de l'état condensé porte sur l'étude des propriétés électroniques de la matière à une échelle où importe la nature quantique des phénomènes.

L'ouverture interdisciplinaire, Bérengère Dubrulle la fait remonter à sa formation doctorale : « Pour ma thèse, j'ai eu la chance d'être encadrée à la fois par un physicien de la turbulence et par

un véritable astrophysicien », indique-t-elle ; « j'ai dû apprendre à parler les deux langages correspondants ». Par ailleurs, un séjour post-doctoral au centre américain NCAR, à Boulder, lui a fait découvrir un troisième milieu, celui des géophysiciens. Ainsi, elle a appris que l'on pouvait aborder les problèmes de plusieurs façons différentes. Ce qui n'est pas encore complètement entré dans les mœurs: «J'ai parfois du mal à faire comprendre que l'on peut étudier un écoulement astrophysique en réalisant des expériences de laboratoire sur un litre de liquide ».

La pratique interdisciplinaire peut revêtir une forme plus organisée, notamment à travers les Groupements de recherche (GDR). Bérengère Dubrulle a ainsi participé à un GDR « Turbulence », à un GDR « Mécanique des fluides et astrophysique », qui « étaient très fructueux ». Elle et ses collègues ont même récemment créé un GDR «Dynamo» regroupant 76 personnes - mathématiciens, simulateurs, géophysiciens, physiciens – et qui, dit-elle, a suscité beaucoup d'enthousiasme. Mais elle est un peu découragée par la difficulté posée par la nécessité de solliciter séparément chaque direction concernée pour aboutir à un financement suffisant. Dans ce cadre, l'interdisciplinarité devient un frein au développement d'une initiative. Pourtant, affirme-t-elle, les GDR constituent un moyen efficace et peu onéreux pour le CNRS d'encourager l'interdiscipli-

Il lui semble qu'un autre biais par lequel on peut renforcer l'interdisciplinarité est la formation

des étudiants. « Il faut favoriser le partage des étudiants entre disciplines, diversifier les origines des étudiants qui sont recrutés pour effectuer une thèse : une direction de thèse bicéphale, à l'image de ce qui se fait au CEA où chaque thésard a un directeur de thèse et un responsable au CEA, est peut-être une idée à creuser». Bérengère Dubrulle admet en tout cas qu'il est parfois difficile de pratiquer l'interdisciplinarité, dans la mesure où elle peut aussi constituer un inconvénient sur les plans des recrutements et des avancements de carrière. « Il n'est pas facile de faire la démarche, d'autant qu'elle prend du temps avant de porter ses fruits. Mais il faudrait pouvoir étendre à d'autres les soutiens et les opportunités dont j'ai bénéficié ».

Par Maurice Mashaal

contact

Bérengère Dubrulle Service de physique de l'état condensé (SPEC) URA 2464 CNRS-CEA bdubrulle@cea.fr



Un mathématicien

pour modéliser le climat

a météorologie et la climatologie constituent un bon exemple de domaine impliquant un large éventail de disciplines scientifiques. Pour comprendre le fonctionnement de la machine climatique, pour réaliser des prévisions météorologiques, on doit faire appel à de la mécanique, de la physique, de la chimie, des mathématiques, de l'informatique, etc. De plus, comme le climat a des incidences directes sur les sociétés humaines et que celles-ci commencent apparemment à influencer le temps qu'il fait ou fera sur notre planète, géographes, économistes, politiques et industriels sont également concernés.

La présence d'un mathématicien comme Claude Basdevant au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD, laboratoire CNRS associé à l'École normale supérieure, à l'École polytechnique et à l'université Paris 6) ne doit donc pas surprendre. Ce professeur de mathématiques à l'université Paris-Nord a débarqué dans le monde de la climatologie « à la suite de circonstances fortuites ». Après un DEA de mathématiques plutôt fondamentales, cet ancien élève de l'École normale supérieure a intégré le LMD au début des années 70, époque où la simulation numérique en météorologie commençait à se développer. Après une thèse sur la modélisation de la turbulence (études théoriques, simulations et expérimentations numériques), Claude Basdevant s'est consacré, jusqu'à aujourd'hui, à la modélisation de la circulation atmosphérique générale au sein du LMD, laboratoire qu'il a même dirigé pendant six ans.

Il est ainsi habitué à travailler avec des chercheurs d'origines différentes, ce qu'il trouve passionnant. «J'aime être au carrefour de plusieurs domaines, collaborer avec des personnes extérieures à ma communauté habituelle », explique Claude Basdevant. De ce point de vue, le LMD est un endroit qui convient bien. Les chercheurs et les étudiants de ce laboratoire proviennent de formations très diverses, tout en n'étant pas étiquetés en fonction de leur origine. Et le fait que le LMD soit localisé en trois sites différents « apporte une grande richesse sur le plan du recrutement des étudiants, malgré les inconvénients géographiques ». Par ailleurs, le LMD fonctionne avec beaucoup de financements extérieurs (Europe, CNES, etc.), avec des contrats qui exigent des complémentarités avec d'autres laboratoires français ou étrangers.

Toutefois, se trouver au carrefour de plusieurs disciplines ne présente pas que des avantages. « On se sent parfois un peu mal à l'aise, car on n'est alors pas vraiment le spécialiste de quelque chose : je ne suis ni mathématicien à part entière, ni météorologue». Cela pose, selon Claude Basdevant, des problèmes de reconnaissance au sein de la communauté scientifique.

Chercheur, Claude Basdevant est aussi enseignant, ce qu'il apprécie beaucoup. Il se soucie donc naturellement du sort des étudiants qui s'engagent dans des voies interdisciplinaires: « il est un peu angoissant de lancer des jeunes sur de telles voies, alors que le système est très cloisonné ». Les recrutements et les promotions de carrière peuvent être plus difficiles. « De tels parcours sont assez dangereux, car on n'est jamais au centre des préoccupations des commissions de recrutement ou d'avancement », dit-il. Il pense notamment aux commissions de recrutement du CNRS, qui ont tendance à privilégier les parcours individuels brillants indépendamment d'objectifs scientifiques. Pour lui, il y a une trop faible corrélation entre les recrutements et les objectifs scientifiques que le CNRS se donne. « Particulièrement dans les domaines de l'environnement que je connais, le CNRS se donne des objectifs ambitieux, demandant un travail à long terme d'équipes pluridisciplinaires, donc des aventures collectives, et paradoxalement le système de recrutement et de promotion privilégie les parcours individuels et les projets personnels ». Pour décloisonner le système, donc, Claude Basdevant estime qu'il faudrait trouver un compromis entre le recrutement des « meilleurs » et l'adéquation à une politique scientifique.

Par Maurice Mashaal

contact

Claude Basdevant Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) **UMR 8539 CNRS** Basdevan@lmd.ens.fr

Chemins minimaux et modèles déformables élastiques en analyse d'images

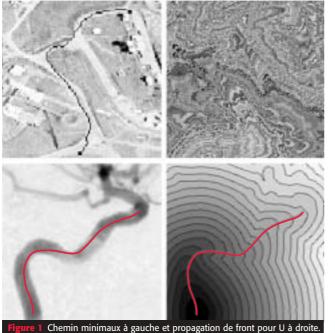
un des problèmes les plus importants en analyse d'images est l'extraction automatique des objets visibles sur une image. Cela signifie de trouver les contours de certains objets ou de séparer l'image en parties qui correspondent aux objets et au fond. Un modèle de contour actif est initialisé grossièrement par l'utilisateur autour d'un objet. Il se déforme sous l'action de forces liées à l'information présente dans l'image et à la géométrie de la courbe à travers la minimisation d'une énergie. Ainsi le modèle converge pour entourer l'objet recherché de manière précise. Les modèles déformables ont été introduits il y a près de 15 ans et utilisés pour de nombreuses applications en analyse d'images. Leur utilisation est particulièrement intéressante pour l'analyse de structures déformables dans les images médicales, aériennes ou industrielles. Ces méthodes sont basées sur la minimisation d'une énergie formée de termes de lissage et de termes d'attraction vers les régions pertinentes de l'image, l'intégrale le long de la courbe d'une fonction de potentiel P. Par exemple, ce potentiel peut être une fonction du gradient de l'image pour détecter des contours, ou une fonction du niveau de gris pour détecter des zones sombres ou claires.

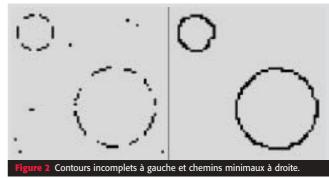
Bien que ces approches soient très utiles, leurs principaux défauts sont la sensibilité du résultat à l'initialisation et l'arrêt dans un minimum local. Plusieurs de nos travaux ont permis de simplifier l'initialisation et d'éviter les minima locaux. Le modèle de « ballon » gonfle la courbe pour extraire la frontière fermée d'un objet en étant peu exigeant sur la courbe initiale. Pour cela, on ajoute une force de pression dans la direction normale à la courbe et

celle-ci se comporte comme un ballon qui se gonfle à l'intérieur d'une région et se bloque en atteignant les contours, épousant automatiquement la forme de l'objet. Cette idée est à la base de nombreuses approches par ensembles de niveau et propagation de fronts. Dans cet esprit, nous avons défini en collaboration avec le Technion Institute, une approche rapide par chemins minimaux pour trouver le minimum global de l'énergie.

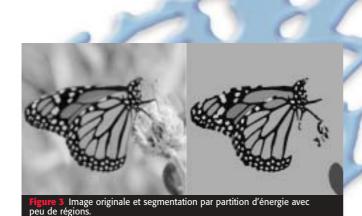
Le problème est alors la recherche d'une courbe de longueur minimale entre un point de départ et un point d'arrivée, relativement à une distance pondérée par le potentiel. Il y a une certaine similarité entre notre problème et l'optique géométrique, car le chemin suivi par la lumière minimise le temps. La résolution par l'algorithme de Fast Marching est à la fois rapide et précise du point de vue mathématique.

Cette approche est très efficace pour rechercher des objets fins tubulaires, comme des routes dans des images aériennes, ou des vaisseaux en imagerie médicale à deux ou trois dimensions (figure 1). Nous avons étendu récemment les chemins minimaux à la détermination d'un ensemble de chemins reliant entre eux un ensemble de points. Cela dans le but de reconstituer une courbe complète à partir d'une partie de ses points (figure 2). L'idée est de propager





DÉPARTEMENT SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUE



des fronts simultanément à partir des différents points et d'analyser les points de rencontre de ces fronts.

Un développement récent de ces approches est l'extraction des différents objets présents dans une image en niveau de gris ou en couleur. Ayant déterminé un ensemble de points de départ, à chaque point est associée la région formée des points de l'image plus proches de ce point de départ, au sens d'une distance adaptée, que de tous les autres (figure 3).

Par ailleurs, le Fast Marching est aussi un moyen d'extraire la frontière complète de ces objets tubulaires. Avec une définition adéquate du potentiel P, le front se propage rapidement à l'intérieur d'un objet et est ralenti lorsqu'il atteint la frontière de l'objet. Ainsi la position du front lorsqu'il se stabilise donne une bonne approximation de la frontière de l'objet afin de le segmenter. Le Fast Marching permet alors une implémentation du modèle de ballon très rapide.

Lorsque l'objet est fin et long, le temps long mis par le front, parti d'un point de départ à une extrémité, pour atteindre l'autre extrémité de l'objet peut entraîner un débordement de la frontière de l'objet autour du point de départ. En effet, le front n'est pas tout à fait à l'arrêt à la frontière, mais se déplace très lentement pendant un temps trop long. Un contrôle local de la vitesse d'évolution permet de « geler » certains points qui évoluent lentement pendant longtemps. Une segmentation rapide et correcte de structures tubulaires arborescentes dans une image 3D est rendue possible (figure 4).

Des applications de nos travaux se sont concrétisées à travers des collaborations industrielles (CEA, EADS, Philips). En particulier, ces approches ont permis récemment la reconstruction 3D de structures tubulaires à partir d'images industrielles, la reconstruction 3D de sites géographiques à partir de cartes ou d'images aériennes et la

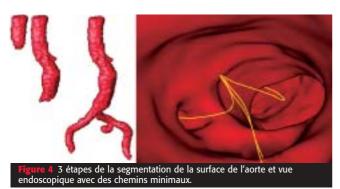
détermination automatique de trajectoires centrées pour l'endoscopie virtuelle à partir d'un seul point donné sur une image 3D. Pour cette dernière application, une trajectoire pour une caméra virtuelle est obtenue comme un chemin minimal à l'intérieur d'une image médicale 3D de scanner. La frontière de la zone à explorer (colon ou vaisseaux) est segmentée simultanément. Seul le point de départ est nécessaire, le point d'arrivée étant trouvé automatiquement. Le rendu d'images que prendrait une caméra en chaque point de la trajectoire dans la direction tangente et leur animation fournit, sans être invasif, une visualisation saisissante de l'intérieur du colon, de l'aorte ou de vaisseaux du cerveau (figure 4 et démonstration sur le site web).

contact

Laurent Cohen
CEREMADE, UMR 7534 CNRS.
Université Paris 9 Dauphine
cohen@ceremade.dauphine.fr
Démos et publications sur
www.ceremade.dauphine.fr/

Références :

- 1 Global minimum for active contour models: A minimal path approach, avec R. Kimmel, International Journal of Computer Vision. 24(1):57-78, August 1997.
- **2** Fast extraction of minimal paths in 3D images and application to virtual endoscopy, avec T. Deschamps, Medical Image Analysis. 5(4):281–299, Dec. 2001.
- **3** Multiple contour finding and perceptual grouping using minimal paths, Journal of Mathematical Imaging and Vision. 14(3), 2001.
- 4 Chemins minimaux et modèles déformables en analyse d'images. Conférence plénière invitée, actes Journées SEE : Le traitement d'images à l'aube du XXI° siècle, mars 2002.
- **5** Energy Partitions and Image Segmentation, *avec P. Arbelaez, 2003, à paraître.*



Mathématiques

les voyages forment la jeunesse

En mathématiques, la mondialisation existe depuis longtemps. Les nouvelles technologies de communication renforcent et facilitent cet aspect de la discipline, mais elles ne sauraient remplacer l'indispensable développement des relations internationales des mathématiciens. Selon Christian Peskine. directeur scientifique adjoint pour les mathématiques au CNRS, les chercheurs français ne sont pas assez mobiles, surtout quand ils sont jeunes, et ils seraient même plutôt moins mobiles que par le passé.

Quels sont les aspects internationaux de la politique menée par le CNRS pour les mathématiques?

Christian Peskine: Je voudrais avant tout rappeler quelques idées fortes sur lesquelles repose cette politique:

- recherche et formation sont intimement liées, on ne le répète iamais assez:
- on doit conforter simultanément l'unité des mathématiques et leur ouverture à d'autres domaines; les recherches fondamentales et appliquées se nourrissent mutuellement; - une politique ambitieuse des ressources humaines est nécessaire, notamment en accordant une priorité aux mobilités géographiques et thématiques, à la transparence des recrutements et à la formation des responsables;
- les mathématiques doivent donner une image plus moderne d'elles-mêmes, tant au sein de la communauté des mathématiciens qu'à l'extérieur de celle-ci.

Conformément à ces principes généraux, en particulier en ce qui concerne la formation et la mobilité, il me paraît important d'encourager les jeunes chercheurs ou enseignantschercheurs à effectuer des séjours de longue durée (un an ou plus) dans des laboratoires de haut niveau à l'étranger.

En quoi de tels séjours sontils bénéfiques ?

C. P.: Un séjour long dans des conditions et un environnement différents de ceux auxquels on est accoutumé joue un rôle important dans la for-

mation des individus. Je ne parle pas seulement de formation scientifique au sens strict: il s'agit aussi et surtout d'enrichir la personnalité, d'améliorer les facultés de communication, d'ouvrir les esprits à d'autres manières de penser ou de travailler, de développer les capacités à prendre des initiatives et à dynamiser le travail d'un groupe. Après un long séjour dans un laboratoire de haut niveau à l'étranger, un mathématicien français sera mieux armé pour exercer une influence scientifique positive autour de lui. Il aura mieux appris à transmettre ses connaissances par tous les moyens, et non pas seulement par l'œuvre écrite qui, pour cela, ne suffit que très rarement.

La situation actuelle n'est pas

vraiment satisfaisante. Depuis toujours, le CNRS recrute en mathématiques ceux qu'on estime être les meilleurs d'une classe d'âge. Et pourtant, une quinzaine d'années plus tard, on est frappé de constater que nombre de ces chercheurs. souvent très actifs, n'ont qu'une influence limitée; probablement parce que ces mathématiciens, très prometteurs à leurs débuts, n'ont pas joui d'un environnement permettant à leurs qualités de s'épanouir. Beaucoup d'entre eux n'ont jamais quitté le laboratoire où ils ont été formés. A l'inverse, on peut constater qu'une bonne partie des mathématiciens français les plus éminents ont fait de longs séjours à l'étranger au début de leur carrière, notamment comme coopérants scienti-

figues à l'occasion du service militaire. Jusqu'à il y a une vingtaine d'années, passer une ou plusieurs années à l'étranger était une pratique assez répandue chez les jeunes mathématiciens français. Elle a régressé et il faut inverser cette évolution.

Comment le CNRS compte-t-il encourager la mobilité internationale?

C. P.: Le projet est d'associer au CNRS un certain nombre de laboratoires étrangers – de haut niveau bien sûr, mais aussi remarquables par les différences qu'ils présentent par rapport aux modèles français en termes de fonctionnement et de stratégie – où de jeunes chercheurs ou enseignantschercheurs pourront aller travailler pour des périodes d'environ une année, avec une incitation financière s'il le

Nous disposons déjà de deux exemples. Le premier est le Centre de modélisation mathématique (CMM), unité mixte de recherche franco-chilienne créée en avril 2000. Cette unité, de l'université du Chili, à Santiago, est adossée à la grande école d'ingénieurs chilienne; les interactions avec les industriels y sont naturelles et régulières, et une partie de son fonctionnement dépend de contrats industriels. Ce laboratoire est d'un haut niveau scientifique, jouit d'une organisation remarquable et offre de très bonnes infrastructures et conditions de travail aux doctorants et aux post-doctorants venus de divers pays.

Depuis sa création, le CNRS y a envoyé chaque année un jeune chercheur ou enseignantchercheur pour un an, et souvent des chercheurs confirmés pour des durées plus courtes (moins de 10 mois).

Le deuxième exemple existant est le laboratoire franco-russe créé en mars 2002 en coopération avec l'université indépendante de Moscou. Centré sur les mathématiques et leurs interfaces avec l'informatique et la physique théorique, ce laboratoire est installé dans des locaux de l'université indépendante, dans le centre de Moscou. Il a accueilli dès l'automne 2002 ses deux premiers jeunes chercheurs français (l'un du département SPM, l'autre du département STIC) ; des chercheurs seniors peuvent y séjourner pour des durées de quelques mois.

Là encore, l'environnement est exceptionnel car l'école mathématique russe, réputée pour son excellence, se distingue par son ouverture aux autres sciences.

Ce laboratoire franco-russe constitue pour des Français un lieu de rencontres privilégié avec l'ensemble du milieu mathématique moscovite.

Avez-vous d'autres projets d'association de laboratoires?

C. P.: Nous avons deux autres projets d'association de laboratoires, dans le même esprit. Le CNRS est en cours de négociation avec l'institut Wolfgang-Pauli à Vienne et l'IMPA (Institut de mathématiques pures et appliquées) à

Rio de Janeiro. L'institut Pauli réunit des laboratoires de mathématiques, d'informatique, de physique, etc., de renommée internationale. L'IMPA est un centre de mathématiques du plus haut niveau mondial dans le domaine des systèmes dynamiques, et complètement exceptionnel dans le système brésilien. De nombreux chercheurs français de haut niveau y ont d'ailleurs séjourné dans leur jeunesse.

Le séjour de mathématiciens français dans les laboratoires étrangers associés n'est pas le seul objectif poursuivi, dans ce cadre, par le CNRS. Il est également souhaitable que les partenaires étrangers envoient des enseignants-chercheurs passer une année sabbatique dans des laboratoires français (ces échanges sont d'ailleurs prévus dans le projet d'association avec l'institut Wolfgang-Pauli).

D'autres actions internationales sont elles envisaaées?

C. P.: Un autre type d'actions internationales, plus classique, consiste à financer le séjour en France de doctorants et postdoctorants issus de pays de haut niveau scientifique, mais ayant des difficultés à les financer pour des raisons économiques notamment. Ainsi, sur le modèle du jumelage instauré en 2000 entre le CNRS et l'université indépendante de Moscou, qui permet à de jeunes post-doctorants russes d'effectuer des séjours d'un ou deux mois dans des laboratoires français, on pourrait envisager des partenariats analogues avec des pays comme la Roumanie ou l'Inde.

Plus généralement, toute action internationale du CNRS concernant les mathématiques doit s'insérer dans les axes forts de notre politique. Les laboratoires ont déjà les moyens récurrents pour soutenir les coopérations scientifiques internationales entre chercheurs de haut niveau. Nos moyens spécifiques (parmi lesquels les postes de chercheurs associés et les PICS) seront réservés aux projets ayant un impact positif sur la formation des jeunes, l'unité et l'ouverture des mathématigues, une meilleure gestion de nos ressources humaines et l'image des mathématiques. Typiquement et à titre d'exemple, un chercheur étranger invité par le CNRS doit contribuer à la formation de nos jeunes chercheurs, dans le cadre d'un projet structurant (c'est l'ensemble du projet qui sera sélectionné plutôt que le seul CV de l'invité).

> Propos recueillis par Maurice Mashaal



Christian Peskine Directeur scientifique adjoint au département SPM christian.peskine@cnrs-dir.fr

«C'est très difficile

de travailler avec trois administrations

différentes »

« A chaque fois que je le peux, j'essaie de créer des espaces de rencontres, surtout au niveau de l'ensemble de l'institut. Les matheux m'ont touiours amusée, avec leur tendance à un certain enfermement ». Rosita Monchanin est – depuis 1996 – administratrice de l'Institut de mathématiques: 58 chercheurs CNRS, 150 enseignants chercheurs, 15 IATOS, 130 doctorants. « Quand j'ai accepté ce poste, mon premier en laboratoire, je ne savais pas exactement ce que j'allais faire. Il s'agissait d'une nouvelle structure qui se formait à peine, produit de la fusion de plusieurs équipes, chacune avec une culture propre. Je savais juste que je devais restructurer tout cela. J'y suis allée car je sentais un vrai choix politique pour cet institut, et cela m'a plu. J'avais le soutien du département et également du directeur de la structure. » A l'époque, l'institut est éparpillé entre plusieurs sites à Jussieu, les équipes sont dispersées. Rosita Monchanin va donc chercher à rendre tout cela plus cohérent. « Travailler avec des matheux, je connaissais : au Comité national, je suivais la section mathématique. J'ai donc créé des lieux de rencontres, pour les amener à se connaître, à se côtoyer.»

contact

Rosita Monchanin Institut de mathématiques UMR 7586 CNRS mchanin@math.jussieu.fr

Mais c'est le déménagement rue du Chevaleret, pour cause d'amiante à Jussieu, qui est décisif. « Ce fut une étape importante, un grand pas en avant: d'un seul coup la dispersion prend fin. Toutes les équipes ont en effet choisi de rester unies, en particulier pour conserver leur lien avec la bibliothèque, qui déménageait avec

Si au sein de l'administration du laboratoire, les rapports humains sont bons, l'administratrice reconnaît qu'il lui faut perpétuellement lutter contre la propension de chacun à rester dans son coin. Elle utilise pour cela des techniques éprouvées et efficaces. « Le portail Chevaleret, par exemple. Pour expliquer son intérêt, son fonctionnement, j'ai organisé avec l'ingénieur réseau du laboratoire une petite session adressée aux IATOS des laboratoires de maths de Chevaleret. Cela a plu à ceux qui sont venus nous voir. Du coup, on en discute à la cantine et le bruit circule que c'était bien. Au final, on vient me demander quand aura lieu la prochaine session. » Autre rendez-vous que Rosita Monchanin cherche à mettre en place, les conférences « A quoi ça sert les maths? ». « La première traitait du codage et a été un gros succès. Malheureusement, j'ai du mal à organiser la suivante. Là, le blocage n'est pas du côté du public, plutôt du côté des chercheurs, qui n'aiment pas beaucoup vulgariser. »

Rosita Monchanin a commencé sa carrière comme secrétaire au

service du personnel. « Je suis partie d'un très petit poste, et j'ai fait mon trou petit à petit », confiet-elle. Sa carrière l'a menée du service du personnel à celui de la direction des relations internationales, comme assistante, puis au Comité national. C'est à ce moment-là qu'elle entre au département Sciences physiques et mathématiques. « J'ai travaillé d'abord comme assistante de gestion pour les sections du Comité national, puis sur l'emploi chercheur du département SPM. J'ai appris à connaître les laboratoires et je me suis dit qu'il serait intéressant de mettre cette expérience à profit en en rejoignant un. » Elle se retrouve ainsi administratrice de l'Institut de mathématiques. « Ma logique professionnelle a toujours été : une fois un travail bien connu, je change. Pas par ambition, mais pour voir si je suis capable d'y arriver. Je n'ai pas fait d'études, alors cela est ma façon d'évoluer. » Le principe de la mobilité a été déterminant dans son évolution : « Quand je voyais que c'était bloqué, je bougeais. Toujours volontairement, en utilisant les possibilités offertes par le système. La mobilité, c'est bien. Et la mécanique des concours aussi. »

Aujourd'hui, sa fonction consiste à faire vivre les instances du laboratoire - le directoire, le conseil de laboratoire –, préparer les gros dossiers, comme par exemple le contrat quadriennal et son mi-parcours - l'institut est une unité mixte de recherche -, prévoir les

actions spécifiques, aider les chercheurs à effectuer certaines demandes, établir le budget, etc. Au quotidien, il lui faut aussi penser à une multitude de petites choses nécessaires à la vie quotidienne: l'approvisionnement en papier, en eau, en thé (pour la pause thé qu'elle a instituée), la gestion des salles, etc. «Je ne travaille jamais avec ma porte fermée, afin de rester disponible autant que possible ». « Mais je fais surtout beaucoup d'accueil, des chercheurs invités, des arrivants, etc.» estime-t-elle. Normal, quand on administre un institut d'une telle taille: quelques visites en perspective... Un aspect de son travail qui ne la gêne pas le moins du monde.

En fait, le plus gros écueil qu'elle affronte est « de travailler avec trois administrations différentes. Ce qui signifie trois budgets, trois logiciels de gestion différents, trois facons différentes d'aborder la gestion.

Par exemple le CNRS gère ses crédits sur Xlab, les universités gèrent les leurs sur Nabuco! De même, comment faire côtoyer en toute harmonie des personnels de statuts différents? Et comment assurer la continuité du travail en milieu universitaire pendant les périodes de vacances universitaires. Les services ne sont plus assurés : pas de courrier, et nous n'avons pratiquement plus d'interlocuteurs... voilà des problèmes difficiles à gérer»

Interview réalisée par Eric Glover

Ce que j'aime dans mon métier, c'est résoudre...

Jean-Luc Beaumont. vous êtes aujourd'hui administrateur de l'Institut non linéaire de Nice Sophia Antipolis (INLN).

Comment êtes-vous entré au CNRS?

A la base, j'ai une formation de gestionnaire, avec un bac G2. Puis j'ai travaillé une dizaine d'années comme libraire, pour vivre dans un milieu culturel et avec indépendance. Pour des raisons personnelles, je suis revenu à une activité de gestion et je suis devenu directeur administratif et financier d'une entreprise. Avant de rejoindre le CNRS en 1999.

Le hasard et la nécessité. J'ai

Pourquoi le CNRS ?

été licencié d'une entreprise, pour raisons économiques. A 44 ans, ce n'était alors pas évident de retrouver un emploi. L'univers de la science et la connaissance m'ont toujours intéressé. Cet intérêt m'a amené à l'automne 1997 à visiter un stand du CNRS lors de la fête de la science. Dans ce stand, on sensibilisait aux différents métiers du centre. Je me suis aperçu que certains me plaisaient et que je pouvais encore passer des concours. Ce que j'ai donc fait, avec succès. Je ne le regrette pas et je suis toujours très enthousiaste.

En quoi consiste exactement votre travail? Avez-vous un genre de « journée type » ?

Tous les matins quand j'arrive, vers 8 h 30, je commence par lire mes e-mails et me mettre au courant des événements prévus pour la journée. Mais je n'ai pas pour autant une journée type même si parfois, selon les périodes, elles peuvent se ressembler. Je dirais que mes tâches se divisent en gros en trois grandes catégories: les tâches impromptues, les actions à programmer et les phases critiques. Mon quotidien consiste entre autres à trouver des solutions à des situations pas forcément évidentes, à spontanément pouvoir répondre à différentes demandes, à gérer tous les aspects non scientifiques de l'institut, que cela soit lié à l'informatique bureautique, à l'infrastructure du bâtiment, à la gestion financière ou au personnel auxiliaire. Dans ces cas d'urgence, l'important est qu'un certain nombre de tâches soient effectuées dans un délai bref. Par ailleurs, il est évident que je travaille aussi en planifiant au mieux : j'administre une unité mixte de recherche d'environ 80 personnes, chercheurs, enseignants-chercheurs, ITA, postdoc, dont une cinquantaine de permanents et une douzaine d'ITA, tout ce monde dans un bâtiment de 2000 m². Pour cela, je suis entouré d'une équipe de collaboratrices et collaborateurs. Enfin, il existe des phases plus critiques, quand arrive le moment de produire et coordonner la rédaction du rapport d'activité, tous les deux ans pour le texte intermédiaire, tous les quatre ans pour le rapport de contractualisation. Là, je dois réunir de grandes masses d'informations, un travail que je partage avec le directeur du laboratoire, les responsables d'équipe et notre documentaliste de labo, qui collecte les informations. C'est une période intense, qui demande beaucoup de disponibilité. Dans ces instants, c'est important d'être bien secondé par une équipe, comme je le suis.

Qu'est-ce qui vous plaît dans cette profession?

Ce que j'aime dans mon métier, c'est résoudre, trouver les solutions. Je cherche toujours à améliorer notre milieu de travail. Et les moyens budgétaires ne sont pas toujours la réponse. D'autres approches existent, par exemple en montant des projets ou en trouvant des financements extérieurs. Pour ne pas rester coincé à cause d'équipements défectueux, on peut chercher des coopérations avec d'autres structures, pour mutualiser un nouveau matériel. Ce que je



Ce que j'aime dans mon métier,

c'est résoudre

fais n'a cependant rien à voir avec une activité de recherche. Il existe une énorme différence : si je résous, je ne me pose pas de problème, je ne m'interroge pas sur les choses en elles-mêmes. Je considère que ma mission doit être la plus transparente possible, afin que les chercheurs n'aient pas à se demander comment marche le labo. Le but ultime serait de faire oublier l'administration et ses contraintes réglementaires, toutefois nécessaires.

Quels sont les problèmes majeurs auxquels vous êtes confronté?

J'en ai un précis actuellement : à cause des circonstances - des membres du laboratoire ont réussi des concours et sont en partance - je vis une période particulière où je n'ai pratiquement plus de personnel. Or, nous savons bien que la mobilité existe, que des personnes sont amenées à partir, avec un savoir, un savoir-faire. D'un autre côté, il n'y a pratiquement pas de pré-formation aux emplois de nos établissements. Du coup, celle ou celui qui part est très difficile à remplacer, d'autant que les moyens humains ne sont pas mis en place systématiquement pour assurer un remplacement plus en douceur. Jamais je n'ai vu un remplacement assuré antérieurement au départ de quelqu'un. Dans le meilleur des cas, le nouveau arrive un ou deux mois après le départ. Je sais qu'il est très difficile de modifier quelque chose à cette

façon de faire car tout cela est régit par des textes ou des procédures, mais quelque part il y a un gâchis humain: les services s'en trouvent déstabilisés. Il faudrait donc pérenniser les savoir-faire, améliorer la gestion des ressources humaines. Je pense que c'est là une piste qui vaut la peine d'être creusée. Autre secteur où je suis confronté à des problèmes : les procédures de traitement des documents administratifs et de gestion. A la différence de la comptabilité privée, qui contrôle a posteriori, en comptabilité publique les nombreux contrôles sont faits a priori. D'où une cascade de vérifications qui, certes, permettent de garantir la bonne utilisation de l'argent public dans la forme, mais qui multiplient les procédures de traitement et peuvent créer un climat de soupçon permanent. Compte tenu des moyens technologiques dont nous disposons aujourd'hui et dans l'ère du «light», ces procédures pourraient être allégées avantageusement et mieux centralisées, et puis généralisées et uniformisées afin que l'ensemble des organismes de tutelle (CNRS, université, ministère, Union européenne...) emploient les mêmes méthodes. Le CNRS a déjà entrepris des réformes utiles dans ce sens, notamment en matière de gestion financière et budgétaire. Reste à espérer que les autres organismes et ministères en feront bientôt autant.

Interview réalisée par Eric Glover

contact

Jean-Luc Beaumont Institut non linéaire de Nice Sophia Antipolis (INLN) UMR 6618 CNRS Jean-Luc.Beaumont@inln.cnrs.fr



École des nouveaux chargés de recherche

'école ENCRe 2003 des nouveaux chargés de recherche du département SPM s'est tenue du 1er au 6 juin dernier au centre Paul-Langevin, à Aussois.

Conférences scientifiques, rencontres avec les personnes du département, des assistantes de gestion scientifique aux directeurs scientifiques, débats et promenades en montagne ont bien rempli le temps. Des affiches, et surtout des « groupes de travail », ont permis aux uns et aux autres de faire connaissance, de savoir quels sont les thèmes de recherche du département et quels sujets sont activement portés par de jeunes collègues.

La présence de nombreux chercheurs sur des sujets aux interfaces des mathématiques ou de la physique avec d'autres disciplines a permis de sensibiliser les participants à l'intérêt et aux enjeux de la pluridisciplinarité, ainsi qu'aux problèmes concrets liés à sa pra-

tique. Des ateliers ont permis de répondre aux questions sur les relations internationales, sur la communication ou la valorisation.

Bien d'autres sujets ont été abordés: tout cela doit permettre aux chercheurs présents à Encre de mieux connaître leur organisme et ses attentes vis-à-vis d'eux. Comme Michel Lannoo l'a rappelé en conclusion, on attend d'eux qu'ils expriment leur originalité. Il a aussi insisté sur l'importance de bien connaître le cadre dans lequel cette originalité peut s'exprimer, c'est-à-dire les priorités et les moyens que le CNRS met à leur disposition.

En 2001 et 2002, plus de 140 chargés de recherche ont été recrutés au département SPM, soit dans des laboratoires du département, soit par des sections du Comité national qui évaluent les activités de mathématiques et de physique. 84 chargés se sont inscrits à l'École, et des problèmes de santé, ou de transport principalement, ont fait que seuls 69 y ont participé.

Trois des 15 inscrits absents n'ont pas pris la peine de prévenir les organisateurs. Parmi la quarantaine d'absents qui se sont excusés, une vingtaine seulement ont avancé des raisons sérieuses, telles que la participation à un colloque de la discipline, un séjour à l'étranger, l'attente d'un enfant, etc. Enfin, près d'une vingtaine de nouveaux chercheurs, embauchés au CNRS et ayant reçu l'invitation et les informations pratiques, n'ont pas jugé utile d'émettre la moindre réponse.

Les organisateurs regrettent que tous les chercheurs appelés à participer à cette réunion et non empêchés n'aient pas profité de cette opportunité d'intégration dans le département et d'échanges avec leurs collègues. Le département SPM, soucieux de fournir par le moyen d'une telle école à ses entrants chercheurs, des outils au service de leur plus grande efficacité, et du développement de leur recherche, s'inquiète de la passivité de nombre d'entre eux devant cette activité organisée à leur intention.

Des informations plus détaillées, des interviews, des images que la Lettre ou le site du SPM présenteront bientôt, permettront à tous de mieux appréhender le contenu et l'ambiance de Encre 2003 que l'ensemble des participants et des intervenants ont jugé très positifs.

Le comité d'organisation Jean-Michel Lemaire, Angel Alastuey, Louis Bonpunt, Anna da Costa

SCIENCES PHYSIQUES E MATHÉMATIQUES

LETTRES DES DÉPARTEMENTS SCIENTIFIQUES DU CNRS

Que pensez-vous de la *Lettre* du département?

Une enquête a été réalisée auprès des lecteurs potentiels de la Lettre du département fin janvier 2003.

Notre but était de connaître la vision qu'ont les chercheurs et ITA du département de ce qui devrait être un outil de communication pour notre communauté. Comme aucune étude sur vos avis n'avait été menée, nous avons demandé à une enquêtrice indépendante d'interroger, par téléphone, une centaine de personnes afin de recueillir leurs réponses sur cinq questions. Voici les questions, vos réponses, et les enseignements que nous en tirons.

1. Lisez-vous régulièrement la Lettre du département ? La feuilletez-vous ou la lisezvous attentivement?

La *Lettre* est lue régulièrement par 76 % des personnes interrogées, tous grades confondus. La différence entre les ingénieurs et les chercheurs est légèrement marquée à ce niveau-là (80 % pour les premiers contre 72 % pour les seconds). Une grande majorité de personnes feuillettent la Lettre (77 % des personnes interrogées). Beaucoup néanmoins déclarent que le degré de lecture est très variable selon l'in-

térêt des sujets abordés et, notamment pour les ingénieurs, le niveau de difficulté des articles. De nombreux ingénieurs déclarent d'emblée que, n'étant pas scientifiques, ils parcourent la *Lettre*, certains articles n'étant pas « abordables » pour eux (12 d'entre eux – soit 24 % des ingénieurs - déclarent soit que la Lettre s'adresse aux chercheurs et non pas à eux administratifs ou techniciens ou, ce qui revient au même, que n'étant pas « matheux », ils ne peuvent que survoler la publication).

2. Vous souvenez-vous d'un article de la Lettre ? Lequel ?

De manière générale, les personnes interrogées ne se souviennent pas, à près de 58 %, du titre d'un article lu dans la *Lettre*. Le pourcentage de ceux qui peuvent citer un article est cependant plus élevé que celui de ceux qui déclarent lire attentivement la Lettre (22 %). La différence est cependant assez forte entre l'ensemble des ingénieurs et des chercheurs, les premiers citant le titre d'un article à seulement 32 %, contre près de 52 % pour les seconds.

La grande majorité des personnes ayant cité un article a donné le titre soit de la médaille Fields soit des nanotechnologies/nanostructures. Tous grades confondus, ce chiffre est de 79 % (dont près de 49 % pour la médaille Fields et 30 % pour les nanostructures). La médaille Fields semble avoir intéressé davantage les chercheurs, qui la citent à près de 60 % parmi ceux qui ont donné un titre, contre 31 % pour les ingénieurs, qui ont eu une légère préférence pour les nanostructures (ayant indiqué ce sujet pour près de 44 % de ceux qui ont donné un titre).

3. Pensez-vous que la Lettre est utile, par rapport au Journal du CNRS et aux Images de la Physique?

De façon générale, tous grades confondus, les personnes interrogées pensent, à 65 %, que la *Lettre* est utile par rapport aux deux autres publications indiquées (15 % ayant donné une réponse négative et 18 % n'ayant pas d'opinion).

du départemen

DÉPARTEMENT SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES



lité réside en la spécificité de la Lettre au département SPM, cela recouvrant plusieurs considérations : une spécialisation dans les sujets traités, des informations propres aux laboratoires du département et, notamment pour les administratifs, des renseignements pratiques les concernant plus

- 11 personnes (dont 3 ingénieurs et 8 chercheurs) considèrent que La Lettre double le Journal ou les Images et

publications; - 7 personnes pensent qu'ils trouvent les mêmes informations, plus vite, sur le Web, et

pourrait donc être englobée

dans l'une ou l'autre de ces

considèrent donc que la Lettre est de ce fait en « décalage » et reprend des informations déjà obtenues par ailleurs.

Certaines personnes préfèrent le Journal (car ils le considèrent comme plus « accessible » [3 IA], voire plus « démocratique ») et d'autres préfèrent les Images car les articles y sont plus approfondis.

4. Avez-vous remarqué une évolution récente de la Lettre ? La trouvez-vous positive?

Tous grades confondus, les personnes interrogées n'ont pas remarqué de changement dans la Lettre, à 74 %.

5. Pouvez-vous suggérer des thématiques ou de nouvelles rubriques à traiter ?

Tous grades confondus, 50 % des personnes interrogées ne savent pas répondre à la question ou déclarent qu'elle demande plus de réflexion.

Parmi ceux qui proposent une thématique, environ un tiers, tous grades confondus, estime qu'il faudrait intégrer davantage d'informations pratiques. A ce niveau-là, l'inclusion de davantage d'informations pratiques intéresse légèrement davantage les ingénieurs que les chercheurs, qui proposent quant à eux plus de thématiques ou sujets.

Parmi les informations pratiques citées, on peut signaler : principalement des informations d'ordre administratif (gestion du personnel, postes vacants, notamment pour les emplois des jeunes chercheurs - ce qui ferait que ces derniers la liraient davantage -, les retraites), des informations relatives aux perspectives des laboratoires, des « annonces » concernant le matériel : prêts, commandes, etc.; des informations relatives à des bourses, aux financements, aux subventions de stagiaires, aux problèmes d'emploi des jeunes chercheurs, les postes de postdocs, les relations du département avec le CNRS et d'autres organismes, notamment européens, l'actualité des programmes internationaux, les échanges, les subventions et les colloques.

BILAN : DEUX DIRECTIONS D'ÉVOLUTION

- Il faut que la *Lettre* soit plus intéressante pour les ITA, ce que nous allons faire en incluant des interviews de responsables administratifs, pour décrire leur travail, leurs contraintes...
- ▶ Il faut inclure plus d'informations pratiques, et surtout les donner rapidement. Cela exige une parution électronique, (voir l'encadré de la page 32). L'articulation entre cette lettre électronique mensuelle et le support papier reste à discuter (une lettre papier par an ?). Toutes vos remarques sont bienvenues.

Modèles et modélisations :

le foisonnement des pratiques contemporaines exige une réflexion théorique nouvelle

Depuis les années 1930, historiens et philosophes des sciences ont appréhendé les modèles, à partir des théories scientifiques ou comme des entités intermédiaires entre théories et objets réels. Pourtant, un aperçu des pratiques scientifiques depuis quelques décennies, en particulier celles que l'ordinateur et les simulations numériques ont suscitées, montre que ce cadre problématique est très insuffisant pour rendre compte de la fonction actuelle des modèles.

odèles et modélisations sont incontestablement devenus des maîtres-mots de l'activité scientifique contemporaine¹.

Chaque scientifique entend ces termes dans une acception spécifique et leur associe des qualifications variées : « schéma théorique », « microscope intellectuel », « expérimentation numérique », « laboratoire d'imagination », etc. Il serait très présomptueux de ma part de vouloir mettre de l'ordre, selon la cartographie disciplinaire, dans ces usages ou prétendre embrasser toutes ces pratiques. En parcourant le spectre des significations, on note qu'au-delà de la polysémie du terme (copier, réduire, représenter, simuler...), le sens du terme modèle oscille, dès l'origine, entre le concret et l'abstrait, l'original et la copie, la figuration et la norme. Rappelons quelques points saillants de l'histoire, déjà longue, de la pensée des modèles pour expliciter la thèse que j'entends soumettre ici.

La notion de modèle émerge, dans les années 1930, avec deux sens bien définis. Le premier est dit « logique », bien qu'il soit apparu d'abord en mathématiques à la fin du XIX^e siècle, quand Henri Poincaré (suivi par Félix Klein ou Beltrami) construit un « modèle euclidien » pour les géométries non euclidiennes (ainsi, la sphère de l'espace R³ moyennant certaines conventions – telles que les méridiens privés de pôle sont des droites - est un modèle de la géométrie riemanienne, pour laquelle par un point il ne passe aucune parallèle à une droite donnée). Dans ce cas, le modèle est une représentation concrète d'énoncés considérés d'abord comme for-

mels (les axiomes de ces géométries et les relations que l'on en déduit); on dit que le modèle fournit alors une interprétation de ces énoncés dans laquelle ceux-ci sont vrais. A la suite des travaux de Hilbert, Gödel et Tarski, cette notion de modèle devient un concept de la logique mathématique et donne naissance à la « théorie des modèles ». Le deuxième sens, le plus courant, apparaît dans le contexte des sciences empiriques pour penser l'articulation entre des systèmes physiques, économiques et sociaux et leurs représentations formelles; ce processus est inverse du précédent puisqu'il consiste à associer un schéma symbolique à un phénomène ou des données empiriques. Dans les deux acceptions que l'on vient de rappeler, logique ou empirique idéalisé, le modèle est un médiateur, un objet transitionnel, sans signification close ou univoque, entre un champ théorique dont il offre une interprétation et un champ empirique dont il constitue une formalisation.

C'est dans ces mêmes années 30, que les discours théoriques sur les modèles et leur rôle dans la connaissance scientifique prennent naissance et s'élaborent. Les problématiques sont celles de la vérification des théories scientifiques (positivisme logique du cercle de Vienne) ou bien celles de leurs falsifications empiriques (l'épistémologie de Karl Popper). Le point de départ est toujours la théorie, et le modèle est principalement appréhendé comme une entité intermédiaire entre la théorie et l'objet réel déterminé. Les philosophes s'interrogent sur les liens entre modèle et théorie, sur

le réalisme des modèles et sur la pureté des méthodes (en particulier le rôle des analogies ou des métaphores).

Une enquête historique (impossible à développer dans ce cadre) montre que, dès les années 50, de nombreuses pratiques scientifiques ne correspondent déjà plus à cette vision première. Surgis dans le contexte de la seconde guerre mondiale et de la guerre froide, et des activités multidisciplinaires qu'elles ont suscitées, bénéficiant aux États-Unis du grand essor des mathématiques appliquées, les modèles en recherche opérationnelle, en analyse des systèmes, en ingénierie de communications (électriques, téléphoniques, servo-mécanismes...) etc, comme les premiers travaux de simulation dans le domaine de la recherche nucléaire militaire ou en météorologie, offrent une panoplie d'exemples où les modèles se sont développés avec des objectifs très pragmatiques, en l'absence presque totale de théorie.

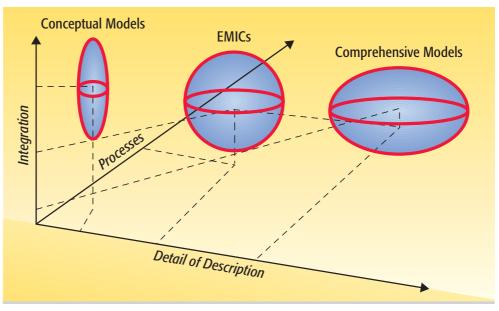
En fait, la modélisation de l'aprèsguerre est fondée sur le triple abandon du réductionnisme mécaniste, de l'espoir d'une science unitaire et de la quête d'une vérité universelle. John von Neumann affirme à ce moment que les sciences n'essaient pas d'expliquer, elles ne font que construire des modèles dont la seule justification est de fonctionner². Outre la bipolarité abstrait-concret, les pratiques de modélisation se déploient entre deux autres pôles : l'un est prédictif et opérationnel, l'autre est cognitif et explicatif. La dualité entre comprendre et prédire, entre modèles cognitifs et modèles prédictifs, devient de

1 Depuis le dossier déjà ancien du CNRS «Le temps des modèles », en 1994, jusqu'à la lettre du département SHS du CNRS en 2003, les livraisons et les dossiers se sont multipliés à ce propos. 2 « Methods in the Physical Sciences », Works, VI, p. 491.

plus en plus fréquemment un espace de tensions et de compromis. Le modèle doit être suffisamment simplifié et idéalisé pour être manipulable ou favoriser la compréhension causale de divers facteurs, il ne peut l'être trop sous peine de s'éloigner à l'excès du système et d'interdire toute prédiction. C'est d'ailleurs dans un tel contexte de discussions que le météorologue Edward Lorenz construit un « modèle de laboratoire » très simplifié pour explorer le comportement dynamique de l'atmosphère et exhibe en 1963 le caractère chaotique de son système.

A partir des années 1980, il ne paraît plus possible d'analyser les modèles, leur construction et leur fonction, ni de décrire les pratiques variées de modélisations et comprendre leurs enjeux, à partir du socle épistémologique ancien. Établi sur des préoccupations fondationnelles et normatives, ce dernier se révèle décidément trop étriqué. En effet, l'ordinateur a modifié profondément tant la conception des modèles que les pratiques de modélisation et de simulation. Ce tournant méthodologique s'est conjugué avec le changement dans les objets, les phénomènes et les systèmes considérés, changement conditionné lui-même par la présence des ordinateurs qui permettent d'appréhender des systèmes de plus en plus complexes, par la multiplicité des interactions et rétroactions qu'ils concentrent, et par la multiplicité des échelles et des temporalités qui doivent y être incorporées.

Sur le premier point, on constate la tendance croissante, d'une part à considérer le modèle comme un agent autonome, un objet en soi, et d'autre part, au fait que les fonctions d'instrument et de représentation du modèle s'articulent de



Les EMIC entre modèles conceptuels et modèles réalistes.

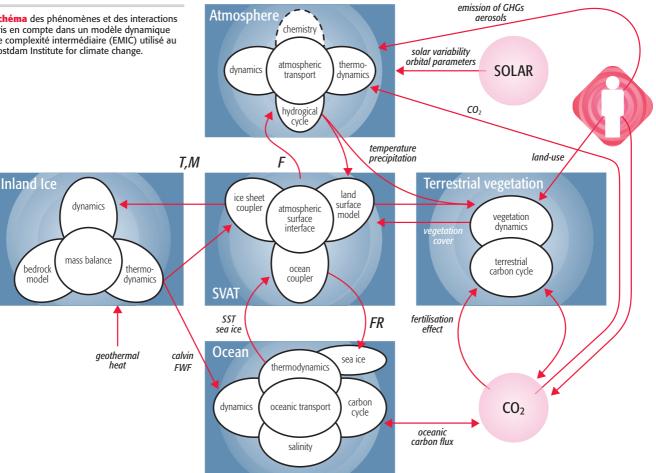
plus en plus étroitement. Ainsi, des modèles comme les automates cellulaires ou le modèle d'Ising, apparus dans des contextes déterminés (cybernétique, physique du solide), parce qu'ils sont bien adaptés à la discrétisation et à la simulation numérique, deviennent une véritable ressource épistémique, une « représentation de représentations », dont la dynamique interne permet de mieux comprendre des systèmes ou des phénomènes très divers (transition de phases, propagation de feux de forêt, etc.). De même, des théories mathématiques (systèmes dynamiques chaotiques, champs fractals...) jouent un rôle de « sources de modèles », pour diverses modélisations phénoménologiques. L'ordinateur et les simulations -qui incitent à jouer avec les modèles - ont privilégié cette pratique de considérer les modèles non plus comme des intermédiaires vers une théorie, mais comme des agents autonomes et de se concentrer sur la dynamique de construction et de manipulation du modèle. Dans certains cas, par exemple la turbulence bidimensionnelle, les principes théoriques ou les équations étaient connus (équations de Navier-Stokes) mais le comporte-

ment phénoménologique ne l'était pas. Ce sont les modèles et l'expérimentation numérique qui ont permis d'exhiber des phénomènes nouveaux : solitons, structures cohérentes, etc.

Quant aux nouveaux objets et systèmes complexes, il suffit de penser par exemple aux modèles climatologiques du système terrestre qui agglutinent des bouts de théories portant sur des domaines très divers (circulation atmosphérique, processus thermiques et chimiques, etc.), des interactions mal connues entre ces domaines (terre, océans, biosphère...), voire l'intégration dans le modèle d'activités humaines les plus disparates (consommation d'énergie, pollutions, etc. dans les modèles dits d'évaluation intégrés). Les difficultés d'échelles sont considérables, comme la variété des temps caractéristiques. La gestion de ressources, les modèles de transport ou de croissance urbaine offrent d'autres exemples analogues de modélisations construites à partir d'éléments hétérogènes que seule la mise en boîte numérique autorise. Là aussi, les modèles fonctionnent comme des instruments pour explorer des processus dont les théories ne rendent pas compte ou bien pour lesquels il n'y a pas du tout de théories. Enfin, des travaux d'anthropologues ont suggéré les « effets de simulacre » possibles que de trop longues recherches pour perfectionner un même modèle peuvent provoquer chez leurs auteurs.

Dans de nombreux cas (sciences du chaos, physique mésoscopique, sciences de la terre, changement climatique, développement durable...), en particulier dans des disciplines historiques où l'expérimentation numérique est devenue enfin possible (paléoclimatologie, théorie de l'évolution, embryologie, etc.), un mot-clé a fait irruption chez les modélisateurs : celui de scénario. Notion intermédiaire entre le modèle et la narration, le scénario permet de circuler aisément entre ce que produit le modèle et les récits qui résument cette production et traduit une certaine modestie par rapport aux résultats des modèles. Il exprime souvent une philosophie de la modélisation plus proche de celle d'un manager ou d'un décideur politique que de celle d'un savant ; si tant est que pour de nombreux systèmes complexes que l'on doit maintenant modéliser, la prévision et l'expertise l'emportent souvent sur l'objectif de compréhension profonde.

Schéma des phénomènes et des interactions pris en compte dans un modèle dynamique de complexité intermédiaire (EMIĆ) utilisé au Postdam Institute for climate change



Soulignons, pour conclure, quatre éléments majeurs qui caractérisent les aspects les plus novateurs dans les pratiques de modélisation:

3 S. Sismondo, Introduction au numéro de Science in Context [1999] consacré aux simulations numériques. 4 On pourra se reporter à l'article de M. Armatte & A. Dahan : « Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », N° spécial Modèles de la Revue d'Histoire des Sciences (à paraître, 2003)

contact

Amy Dahan Dalmedico Centre Alexandre-Koyré d'histoire des sciences UMR 8560 CNRS-FHFSS Amy.Dahan-Dalmedico@ damesme.cnrs.fr

1) le terreau principalement hétérogène sur lequel se construisent un très grand nombre de modèles; l'unité de la science si prompte à être proclamée n'est pas ce qui s'impose, le pluralisme méthodologique semble régner à l'intérieur des sciences sans qu'il y ait lieu d'ailleurs de s'en inquiéter;

2) le rôle de l'ordinateur, outil essentiel pour se saisir néanmoins de cette désunion; non seulement les simulations numériques brouillent les catégories de l'épistémologie classique (théorie versus expérience), mais elles peuvent susciter des controverses liées à leur statut :

- 3) le déplacement nécessaire de l'attention des modèles vers les modélisations, déplacement qui introduit la catégorie des acteurs dans les processus de modélisation. En effet, la plupart des modèles construits sur des systèmes composites sont le fruit d'un travail collectif dans lequel interviennent plusieurs groupes scientifiques qui peuvent avoir leurs logiques disciplinaires et leurs impératifs propres et doivent apprendre à se coordonner;
- 4) enfin, la dimension de prévision est aujourd'hui dans une proximité croissante avec l'action, la boucle de rétroaction faisant souvent partie intégrante du modèle (dans les modèles financiers, par

exemple, les temps de la compréhension et de l'action sont presque fusionnés). La dimension pragmatique des usages des modèles, du pilotage par l'aval, exige une conscience aiguë des incertitudes des modèles et de leurs usages à des fins d'expertise ; et juger de la validité ou des bonnes performances d'un modèle ne peut se faire sans l'identification de cet aval.

En bref, pour reprendre l'expression de S. Sismondo³, les modèles sont devenus une « glue, simultanément épistémologique et sociale», ce qui rend nécessaire qu'on les envisage pour ce qu'ils sont, ce qu'ils font et ce à quoi ils servent. Cette exigence n'est pas seulement théorique, elle est aussi une exigence de réflexion critique vis-à-vis des sciences et de leurs usages sociaux4.

La Lettre électronique

e département SPM a lancé sa E-lettre. Pourquoi avoir adopté ce nouveau support ?

D'abord pour être plus réactifs à l'actualité scientifique, politique et administrative. Ainsi nous répondons au souhait formulé dans l'enquête sur la Lettre du département. Il s'agit aussi d'une mesure d'économie : le département doit, tout comme les laboratoires, s'adap-

ter aux restrictions budgétaires, et une lettre électronique nous permettra de réduire considérablement les dépenses de communication et de diffusion.

La E- lettre est envoyée à tous les personnels SPM dont nous avons les coordonnées (adresse électronique renseignée dans Labintel).

pour vous abonner

anna.dacosta@cnrs-dir.fr

Nouveau site SPM

5 ur l'impulsion de la direction générale, la direction de la communication et la direction des systèmes d'information du CNRS ont lancé dès le printemps 2003 un proiet d'harmonisation des Web CNRS devant répondre à un constat multiple:

- absence d'une identité visuelle stable et homogène sur le Web pour l'institution;
- charte graphique préexistante beaucoup trop légère pour garantir cette identité :
- transversalité trop limitée entre les sites de l'institution :
- logique de structuration des sites peu tournée vers l'utilisateur;
- information indifférenciée entre : information scientifique/administrative, interne/externe, d'actualité/de structure, prioritaire/secondaire...;
- absence d'exploitation de l'iconographie scientifique dont dispose le CNRS.

Outre ce constat de communication, le projet prend source dans le constat de ressources techniques inégales souvent très contraignantes et ne favorisant pas une bonne réactivité vis-à-vis d'un média Web le demandant : de solutions d'édition Web au coût varié et à la performance inégale, de plus non forcément compatibles entre elles.

En première conséquence de cette volonté d'harmonisation des Web CNRS, une nouvelle charte Web a été conçue. Elle rassemble des règles de structuration graphique des sites mais aussi des règles ergonomiques et des préconisations techniques, tout en ayant pour impératif premier de préserver les identités particulières des entités dans une identité générale de l'institution.

Parallèlement à l'émission de la charte Web, le développement des sites s'est appuyé sur le travail réalisé en amont par l'ensemble des départements scientifiques sur la constitution d'un rubriquage leur étant commun et permettant :

- d'asseoir les grands axes de communication de l'organisme;
- de donner aux sites une signalétique de navigation homogène.

Sur ces bases graphiques et éditoriales, le projet d'harmonisation a donc pu être décliné en premier lieu auprès des départements scientifiques dont 6 sont actuellement en cours de développement. Le site des sciences physiques et mathématiques, inscrit dans le projet dès son origine, pourra dès décembre figurer parmi les premiers sites à paraître.

Un second volet du projet comprend l'offre de service, par la direction des systèmes d'information, d'un outil de gestion de contenus permettant notamment la mise en ligne facilitée et dynamisée des contenus d'information. Là encore, le département SPM sera vraisemblablement pilote pour la mise en place de cette solution dans les départements.

contact

Emmanuelle Savignac, DSI/DIST Emmanuelle.Savignac@dsi.cnrs.fr



Le CNRS fête les maths



Fête de la science 2003

Stand du CNRS, à l'initiative du département SPM, sur le village des sciences du ministère délégué à la recherche et aux nouvelles technologies

REMERCIEMENTS AUX MATHÉMATICIENS

« ainsi vous avez contribué à une des missions essentielles pour le CNRS qui est la diffusion des connaissances et la popularisation du savoir »

Omer Adelman Institut de mathématiques, UMR 7586, université Paris 6

David BessisDépartement mathématiques et applications, UMR 8553, École normale supérieurePhilippe BianeDépartement mathématiques et applications, UMR 8553, École normale supérieure

Eric Bonnetier Centre de mathématiques appliquées, UMR 7641, École polytechnique **Charles Boubel** Unité de mathématiques pures et appliquées, UMR 5669, ENS Lyon

Farouk Boucekkine Département mathématiques et applications, UMR 8553, École normale supérieure

Laurent BoudinLaboratoire Jacques-Louis Lions, UMR 7598, université Paris 6Eric BuffetautBiogéosciences-Dijon, UMR 5561, université de Bourgogne

Dominique Cardon Histoire et archéologie des mondes chrétiens et musulmans médiévaux, UMR 5648, université Lyon 2

Mireille Chaleyat-Maurel Laboratoire de probabilités et modèles aléatoires, UMR 7599, université Paris 6

Charles Cochet Institut de mathématiques, UMR 7586, université Paris 6

Dario Cordero Institut de mathématiques, UMR 7586, université Paris 6

Stéphane Cordier Mathématiques, applications, physique mathématique d'Orléans, UMR 6628, université d'Orléans

Cécile DobrzynskiLaboratoire Jacques-Louis-Lions, UMR 7598, université Paris 6Pierre DuchetÉquipe de combinatoire, UMR 7090, université Paris 6

 Damien Gaboriau
 Unité de mathématiques pures et appliquées, UMR 5669, ENS Lyon

 Jean-Marc Gambaudo
 Institut de mathématiques de Bourgogne, UMR 5584, université de Bourgogne

Alexandre Godard Institut de mathématiques, UMR 7586, université Paris 6

Olivier Godard Laboratoire d'économètrie de l'École polytechnique, UMR 7657, École polytechnique

 Gilles Godefroy
 Institut de mathématiques, UMR 7586, université Paris 6

 Olivier Guedon
 Institut de mathématiques, UMR 7586, université Paris 6

 Dominique Guy
 Équipe de combinatoire, UMR 7090, université Paris 6

 Guillaume Havard
 Unité de mathématiques pures et appliquées, UMR 5669, ENS Lyon

 Pascal Havé
 Laboratoire Jacques-Louis Lions, UMR 7598, université Paris 6

David Hernandez Département mathématiques et applications, UMR 8553, École normale supérieure

François Jouve Centre de mathématiques appliquées, UMR 7641, École polytechnique **Jean Jouzel** Institut Pierre-Simon-Laplace, université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

Frédéric Lagoutière Laboratoire Jacques-Louis Lions, UMR 7598, université Paris 6

Hervé Maillot Mathématiques, applications, physique mathématique d'Orléans, UMR 6628, université d'Orléans

Simona Mancini Laboratoire Jacques-Louis Lions, UMR 7598, université Paris 6

Marc Massotv Laboratoire de mathématiques appliquées de Lyon, UMR 5585, université de Lyon 1

Alain Prignet Mathématiques, applications, physique mathématique d'Orléans, UMR 6628, université d'Orléans

Alexandre Rambaud Logique mathématique, UMR 7056, université Paris 7

Eric RobinLaboratoire des sciences du climat et de l'environnement, UMR 1572, CEACharles TorosianDépartement mathématiques et applications, UMR 8553, École normale supérieure

Gérard Tronel Laboratoire Jacques-Louis-Lions, UMR 7598, université Paris 6

ORGANISATEURS CNRS

Christophe Dhenaut, Conceição Da Silva DIS

 Catherine Dematteis, Eric Allermoz
 Communication délégation Paris B

 Frédérique Laubenheimer, Anna da Costa
 Communication département SPM

LA LETTRE SPM

Directeur de la publication Michel Lannoo, directeur du département SPM

Réalisation Communication du département SPM

Frédérique Laubenheimer, Anna Da Costa

Chargé de mission : Pablo Jensen

Comité éditorial Angel Alastuey, Louis Bonpunt, Stéphane Cordier

Michel Enock, Pablo Jensen, Jean Laforest, Frédérique Laubenheimer, Éric Perez, Frédéric Petroff, Philippe Roncin

Maquette, illutrations Bruno Roulet

Mise en page, flashage Service de l'imprimé de la délégation Paris Michel-Ange,

Bruno Roulet

Département des sciences physiques et mathématiques 3, rue Michel-Ange 75794 Paris cedex 16

Téléphone 01 44 96 42 63 et 48 25

Télécopie 01 44 96 53 20

Mél frederique.laubenheimer@cnrs-dir.fr anna.dacosta@cnrs-dir.fr

Web http://www.spm.cnrs-dir.fr



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE