

Les sciences du numérique



Maud Fontenoy et Claudie Haigneré
Rencontre entre deux
femmes d'exception



Pas besoin de beaucoup parler pour vous convaincre de l'importance du numérique. Les doigts occupés à taper un SMS, les oreilles sous un casque diffusant de la musique, les yeux rivés sur un écran (de console, d'ordi ou de télé), c'est à peine si vous percevez la question : «Ça vous branche, les sciences du numérique ?»

Mais on a raison de vous en parler, car si vous plébiscitez ces nouvelles technologies, vous hésitez à passer de l'autre côté de l'écran. Les utiliser, oui. Mais les comprendre, les concevoir ? Les filières scientifiques voient leurs effectifs chuter année après année. L'image de la recherche n'est pas valorisante. Et les facultés de physique et de chimie ont perdu près de 46 % de leurs effectifs entre 1995 et 2002.

Pourtant, inventer les technologies de demain est une aventure qui vaut bien une partie de *World of Warcraft*. Claudie Haigneré, la première Française à avoir voyagé dans l'espace, prosaïque, dit que «pour bien utiliser la technologie, il faut comprendre comment elle a été développée». Et quand elle pense aux projets qui restent à monter, elle évoque «une aventure où l'on essaie d'avancer aux marges de l'ignorance...» De quoi passionner les jeunes.

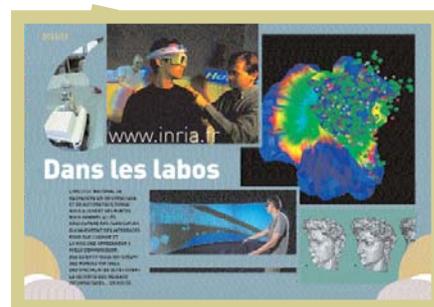
Pour vous en persuader, l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) nous a ouvert ses portes en grand. Dans cet organisme de recherche, on a pu découvrir toutes les facettes d'une science en mouvement. Les équations et les algorithmes a priori abscons, mais qui permettront de créer les révolutions techniques des prochaines années. Et les applications spectaculaires d'aujourd'hui : les opérations chirurgicales à distance, les robots dotés de vision, le climat simulé sur une planète virtuelle... De quoi trouver nos téléphones sophistiqués encore bien incomplets, nos ordinateurs un peu limités avec leurs souris et clavier... De quoi donner surtout l'envie de se retrousser les manches, d'aller apporter de nouvelles idées à des scientifiques dont la curiosité n'est pas la moindre des qualités.

DAVID GROISON



PAGE 4 : Le numérique, une révolution en marche

Du boulier aux écrans plats, plus de 5000 ans d'histoire et de progrès.



PAGE 12 : Dans les labos

Poussez la porte des laboratoires de l'INRIA, à la rencontre de ceux qui inventent le futur.

PHOSPHORE

Bayard, 3-5, rue Bayard
75008 PARIS.
Tél. : 01.44.35.60.60
Fax : 01.44.35.60.42.

INRIA

BP 105, Domaine de Voluceau
ROCQUENCOURT
78153 LE CHESNAY cedex
Tél. : 01.39.63.55.11.

PHOSPHORE

Rédactrice en chef: Béatrice Toulon.
Secrétaire générale de rédaction: Sophie Beauvieux.
Chef de rubrique photo (pôle jeunes adultes): Dominique Alfonsi.
Mise en pages: Virginie Lafon. Secrétariat de rédaction: Astrid Jarry.
Rédacteurs: David Groison (coordinateur), Frédéric Vladyslav.
Fabrication: Charles Pedergrana.
Impression: SIB, ZI de la Liane, 62205 Boulogne-sur-Mer.

INRIA

Direction de l'information scientifique et de la communication:
Christine Genest (coordinatrice), Bernard Hidoine, Lisette Calderan (iconographe).
Chargées de communication: Rose-Marie Cornus, Marie Collin, Marie-Agnès Enard.
Chercheurs: Pierre Alliez, Raphael Marvie.

CE SUPPLÉMENT NE PEUT ÊTRE VENDU



**PAGE 6 : Le numérique,
de l'océan à l'espace**

Rencontre entre Maud Fontenoy
et Claudie Haigneré.



PAGE 10 : Au cœur de l'INRIA

Deux responsables de l'Institut nous
expliquent le travail des chercheurs.



PAGE 14 : Images et réalité virtuelle

page 14 : Plongée
dans la réalité virtuelle
page 16 : Donner du sens aux images



PAGE 18 : Modéliser/simuler

page 18 : Comment la vision est traitée
par le cerveau
page 20 : Mieux prévoir
les phénomènes naturels



PAGE 22 : Le monde des réseaux

page 22 : Des codes très secrets
page 24 : Des réseaux à la carte



**PAGE 26 : Études scientifiques :
comment ça marche ?**

Le point sur toutes les filières.



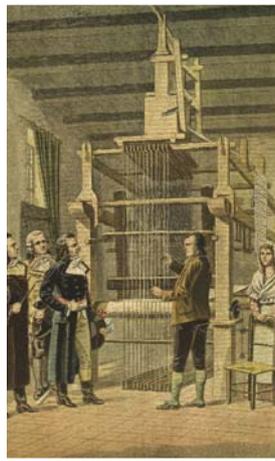
**PAGE 30 : Ils ont choisi les études
de science et l'INRIA**

Portraits de trois jeunes chercheurs.

Le numérique : UNE



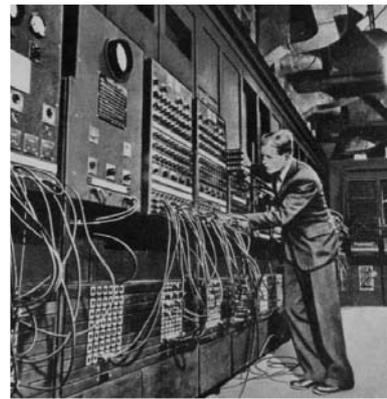
DELIS/VEBEMAGE



AKG



RUE DES ARCHIVES



AKG

- 3500 AV. J.-C

1801

1874

1946

45 millions : c'est le nombre de téléphones portables en France ! Ils sont devenus un objet de la vie courante, emblème de la révolution du numérique. Une révolution débutée il y a à peine plus de 50 ans avec l'arrivée de l'informatique. D'abord réservée aux spécialistes, celle-ci s'est immiscée dans notre vie de tous les jours. Les usages se sont multipliés avec l'essor d'un outil fabuleux : Internet. En 2005, on compte plus d'un milliard d'internautes qui envoient des e-mails, partagent de la musique, surfent pour le plaisir de découvrir... Du côté des entreprises, les nouveaux modes de communication ont bouleversé les échanges. La production évolue aussi avec les outils assistés par ordinateur ou l'automatisation des tâches. L'informatique permet surtout un nouveau regard sur le monde grâce à sa puissance de calcul et ses capacités de représentation. On peut se promener dans des bâtiments pas encore construits, manipuler un robot sur Mars... Autant d'avancées issues des recherches sur les sciences du numérique. Pour en arriver là, la route a été longue...

FV

- 3500 av. J.-C. : le boulier, première machine à calculer. «Calcul» vient du latin «calculus» qui signifie caillou. Avant les premières inventions, les hommes utilisaient des osselets ou des cailloux pour compter. La première «machine» est le boulier dont chaque boule représente une unité, une dizaine ou une centaine. Il permet d'effectuer des additions, des soustractions, des multiplications et des divisions.

- 1801 : la machine à cartes perforées de Jacquard. Joseph-Marie Jacquard construit un métier à tisser automatique commandé par un système de cartes perforées changées en fonction des motifs désirés. C'est le tout premier système de traitement automatique de l'information utilisant des cartes perforées, qui sera à la base de nombreuses inventions. Sa machine suscite la méfiance des ouvriers qui se révoltent en l'accusant de prendre leur travail.

- 1840 : Ada Lovelace définit le principe des algorithmes, itérations successives dans l'exécution d'une opération.

- 1854 : Boole définit la logique binaire. La logique booléenne démontre que tout processus logique peut être décomposé en une suite d'opérations logiques (et, ou, non) appliquées sur deux états (zéro-un, oui-non, vrai-faux, ouvert-fermé).

- 1874 : brevet pour le téléphone d'Alexander Graham Bell. Un saut immense est franchi dans l'histoire des télécommunications avec l'invention du téléphone, attribuée à Alexander Graham Bell. Auparavant les signaux ou les pigeons voyageurs avaient été supplantés par le télégraphe, mais la voix n'était pas transportée à distance.

- 1937 : la machine de Turing, d'Alan M. Turing. Sorte d'ordinateur logique très simple, cette machine résout des problèmes mathématiques. C'est un modèle abstrait du fonctionnement d'un ordinateur et de sa mémoire. Cette machine idéale n'a jamais été construite.

- 1946 : Eniac (Electronic Numerator Integrator Analyser and Computer). L'Eniac est le premier ordinateur. Il pèse près de 30 tonnes, mesure 24 mètres de long pour 5,5 mètres de haut et une surface au sol de 160 m² ! Utilisé par l'armée, il permettait de calculer la trajectoire d'un projectile en 20 secondes (un homme la calcule en trois jours).

- 1971 : premier e-mail envoyé via le réseau expérimental Arpanet, de l'armée américaine, créé en 1969.

- 1971 : le microprocesseur d'Intel. Intel construit son premier microprocesseur (processeur tenant sur un circuit

RÉVOLUTION EN MARCHÉ



intégré), le 4004, avec une fréquence de base de 108 kHz. Aujourd'hui, les derniers microprocesseurs grand public dépassent les 3 GHz (3 millions de KHz).

- 1976 : Steve Wozniak et Steve Jobs fabriquent l'Apple 1. Doté d'un processeur de 1 MHz, l'ancêtre du «Mac» voit le jour dans un garage, fabriqué par deux informaticiens de 21 et 26 ans. Le boîtier est en bois et l'Apple I se branche sur un écran de télévision.

- 1979 : Philips et Sony sortent le CD audio. C'est la fin annoncée de la cassette audio. Le nouveau support d'enregistrement offre une qualité audio inédite.

- 1980 : démarrage d'Internet. Vinton Cerf propose un plan d'interconnexion entre les réseaux universitaires déjà existants (CSNET et ARPANET), en utilisant le protocole TCP/IP. Ce protocole (règles définissant un langage afin de faire communiquer plusieurs ordinateurs) est toujours utilisé aujourd'hui.

- 1981 : le PC (Personal Computer) d'IBM. Le premier micro-ordinateur grand public est commercialisé avec le système d'exploitation MS-DOS de Microsoft. Baptisé IBM PC, il marque le passage du terme PC dans le vocabulaire commun. Une version «haut de gamme» seize couleurs est disponible.

- 1984 : Apple lance le Macintosh, ordinateur avec une interface graphique. Le Macintosh embarque un processeur cadencé à 8 MHz, 128 Ko de Ram, 64 Ko de Rom. Il est équipé d'une souris et d'un écran noir et blanc intégré de neuf pouces d'une résolution de 512x384 pixels.

- 1989 : le Web, créé par Tim Berners-Lee au Cern. Tim Berners-Lee propose un système hypertexte destiné à améliorer la diffusion des informations internes au Cern (Centre européen pour la recherche nucléaire). Le World Wide Web est né.

- 1991 : Linux, mis au point par Linus Torvalds. Linux est un système d'exploitation développé avec l'aide de nombreux bénévoles. Aujourd'hui, le noyau est disponible sur PC et sur Mac, ainsi que sur les stations de travail Sun, Silicon Graphics et autres, accompagné de logiciels libres de droits de copie. La majorité des serveurs Web fonctionnent sous Linux.

- 1993 : Mosaic. Mosaic est le premier navigateur web à avoir une large diffusion sur tous les systèmes informatiques. Suivra Netscape, sa version commerciale.

- 1997 : le format DVD. Après la cassette audio, c'est au tour de la cassette vidéo de progressivement disparaître avec

l'arrivée du format DVD. Aujourd'hui, les ordinateurs grand public sont presque tous équipés de graveurs de DVD.

- 1998 : le MPman, premier lecteur MP3. Quasiment devenu synonyme de piratage, le format de fichier MP3 permet d'enregistrer du son, donc de la musique, en utilisant peu de mémoire. Les fichiers peuvent facilement être échangés sur Internet. Le premier lecteur MP3 commercialisé par MPman avait une capacité de 32 Mo (soit environ huit chansons).

- 1998 : l'appareil photo numérique. La révolution numérique s'empare de la photographie. Les ventes explosent, avec un total de 74 millions d'appareils photo numériques vendus en 2004 (source IDC).

- 2001 : le téléphone mobile - appareil photo numérique. On assiste à une convergence entre les appareils. Les premiers téléphones portables capables de prendre des photos numériques apparaissent en 2001. Aujourd'hui, les téléphones mobiles lisent les MP3 et permettent de surfer sur Internet.

- 2002 : les écrans plats grand public. Petite révolution sur les bureaux : l'écran se fait plus discret et moins encombrant grâce à l'arrivée des écrans à cristaux liquides. L'ordinateur gagne progressivement les autres pièces du logement.

RENCONTRE



STÉPHAN ZAUBITZER

Le numérique, DE L'OcéAN À L'ESPACE !

D'UN CÔTÉ, MAUD FONTENOY, PREMIÈRE FEMME À AVOIR TRAVERSÉ LE PACIFIQUE À LA RAME. DE L'AUTRE, CLAUDIE HAIGNERÉ, PREMIÈRE FEMME FRANÇAISE DANS L'ESPACE. DEUX AVENTURIÈRES, DEUX FEMMES EXCEPTIONNELLES, QUI SE SONT RENCONTRÉES À LA RÉDAC DE *PHOSPHORE* POUR PARLER DE LEUR EXPÉRIENCE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES.

PROPOS RECUEILLIS PAR FRÉDÉRIC VLADYSLAV



Maud Fontenoy et Claudie Haigneré.
Les yeux dans les vagues et la tête
dans les étoiles, grâce à la technologie.

CLAUDIE HAIGNERÉ : Toutes les deux, nous avons utilisé les nouvelles technologies dans les aventures que nous avons vécues. Maud, comment le numérique vous a-t-il aidée lors de vos traversées ?

MAUD FONTENOY : Mon bateau est tout petit, avec peu de technologie : un GPS, un téléphone satellite, les moyens de recevoir des informations météo par satellite, mais pas d'ordinateur de bord. Ces technologies permettent de communiquer avec la terre. Mais en plein océan, je suis très isolée. Si j'ai un problème, un cargo dérouté peut mettre dix jours à arriver...

CH : En revanche, on sait où vous trouver...

MF : Oui, une balise Argos donne ma position exacte. Mais la technologie m'a

surtout aidée à la préparation du projet, avec Internet, à trouver des partenaires, à accéder aux expériences d'autres aventuriers et me renseigner sur le matériel qu'ils avaient utilisé. Le projet a été monté en un an. Il y a dix ans, cela aurait pris quatre ou cinq ans. La technologie permet de partager les expériences, c'est un énorme soutien et cela permet d'être moins solitaire. J'étais en liaison par téléphone une fois par semaine avec des écoles. Il y a un petit côté magique !

CH : Moi aussi, je communiquais avec des jeunes ! Ils m'envoyaient des SMS à bord de la station spatiale européenne : je les recevais sur l'ordinateur de bord. Il y avait toutes les possibilités d'être en liaison avec le sol. On captait même les radios amateurs ! Mon mari est égale-

ment astronaute, il a fait un vol de six mois au cours duquel il passait tous les deux jours au-dessus des îles Kerguelen, et il communiquait avec des scientifiques coupés du monde sur leur base ! Dans la station spatiale où j'ai passé dix jours, nous avions près de 90 % de couverture du réseau téléphonique...

MF : Vous passiez des coups de fil ?

CH : Oui, j'appelais ma fille de 3 ans et demi à la maison qui me disait : «Maman, rappelle-moi plus tard, je n'ai pas fini mon jeu !» sans se rendre compte que j'étais en orbite ! Les nouvelles technologies permettent de créer ou de maintenir des liens avec les autres, de se sentir moins isolé, mais également de bénéficier de plus de sécurité. En mission, tout ne se passe jamais exactement comme prévu. Alors si on a un problème dans l'espace, on télécharge des logiciels ou alors les personnes au sol nous disent d'essayer de faire ceci ou cela... C'est un peu du télétravail !

MF : Dans le Pacifique, j'ai aussi aidé à tester Mercator, un programme de recherche scientifique sur les courants marins. Ils regardaient ma position et me disaient : «Décale-toi, tu avanceras un peu plus vite.»

CH : C'est génial ! Mercator est un programme scientifique très pointu... Vous étiez le petit bouchon qui valide le modèle ! Les chercheurs font des prévisions, des simulations en utilisant des modèles, et vérifient avec vous sur place grâce à votre localisation par satellite.

MF : Comparé à l'espace, l'océan me paraît tout de même moins dangereux. Dans votre cas, n'est-ce pas trop inquiétant de déléguer énormément au matériel informatique ?

CH : S'il y a le moindre problème, il y a des sécurités et des systèmes de sauvegarde. C'est effectivement l'ordinateur qui gère les paramètres d'orbite et s'occupe de l'amarrage à la station spatiale, mais on est entraîné pendant des mois et des mois à reprendre en pilotage manuel. On pourrait, en dernière extrémité, reconstituer sa position à partir de celle des étoiles, par exemple, mais il y a beaucoup d'alternatives avant d'en arriver là.

MF : Je dis toujours qu'on emmène la chance avec soi par la préparation, la

RENCONTRE

discipline, le travail au quotidien. Autant d'atouts que l'on met de son côté.

CH : Les nouvelles technologies ne sont pas une fin en soi mais un outil. Il ne faut pas tout faire reposer sur une technologie, c'est ce que j'ai appris du côté russe.

MF : Les technologies sont utiles, mais il ne faut pas en être totalement dépendant. Il me fallait des compétences techniques pour pouvoir réparer mon désalinisateur, qui me permettait d'avoir de l'eau douce. Lors de ma traversée de l'Atlantique, il est tombé en panne. J'ai dû boire de l'eau de mer, boire mon urine, ça a été très dur.

CH : Les jeunes et les moins jeunes doivent avoir conscience que la technologie ne fait pas tout. Pour bien l'utiliser, il faut comprendre comment elle a été développée. À la base, on trouve la science ! Une aventure où l'on essaie d'avancer aux marges de l'ignorance... On n'est jamais savant, on est chercheur : on se pose des questions par rapport à ce que l'on ne sait pas et on se donne les moyens d'y répondre.

MF : C'est la curiosité qui anime les scientifiques, ce sont des passionnés.

CH : Le domaine du spatial est un peu particulier car c'est une aventure à la fois scientifique, technique et humaine fabuleuse que seuls quelques privilégiés ont vécue. C'est avec l'appétit de découvrir, de connaître plus, que l'on devient un bon chercheur. Il faut conserver sa capacité d'émerveillement. Le scientifique n'est pas un barbichu en blouse coupé du monde, il diffuse la connaissance, il transmet.

MF : Vous connaissez bien le numérique et les nouvelles technologies. Comment percevez-vous leur évolution ?

CH : Je les connais bien parce qu'elles sont fondamentales dans la recherche. En 1985, c'étaient les balbutiements, nous avions des ordinateurs monstrueux qui occupaient des pièces entières, les enregistrements étaient sur bande magnétique... Le numérique modifie tout. On le voit avec le projet de bibliothèque numérique : la possibilité de tout numériser est formidable. On peut, par exemple, mettre à la disposition de tous des livres rares qui, aujourd'hui, ne sont consultables que par quelques spécialistes. Mais il est important qu'il y ait différents regards sur la sélection des textes à numériser, la diffusion et les moteurs de recherche.



PHOTOS STEPHAN ZAUBITZER

MF : Le risque est qu'on oriente les gens vers certains contenus plus que d'autres.

CH : Oui, Internet et les nouvelles technologies offrent une liberté exceptionnelle, mais il faut que l'on sache les gérer, les organiser, les réguler, pour que chacun y trouve son compte. Cela passe par l'éducation, la lutte contre le piratage, la protection des données personnelles... Quand j'ai été nommée ministre, c'était la première fois que les nouvelles technologies avaient un ministre et étaient associées à la recherche.

MF : Qu'offre justement la recherche dans ce domaine ?

CH : La possibilité d'être à la fois dans un processus de recherche très conceptuel, très fondamental, sur les outils mathématiques notamment, et à la fois sur des sujets d'applications comme le développement des services. Les sciences du

numérique sont des outils en or pour organiser son avenir au service des autres. Ces technologies permettent de s'ouvrir à tous les domaines. Si vous êtes un bon spécialiste de l'informatique, des nouvelles technologies, de l'électronique, vous pourrez travailler où vous voudrez. Les jeunes doivent être conscients qu'à partir de cet outil merveilleux que sont les technologies numériques, ils ont la capacité d'embrasser le monde.

MF : Comment se situe la France ?

CH : En France, la recherche dans ce domaine se fait à l'université, au CNRS et surtout à l'INRIA. C'est un bel organisme, avec une recherche très fondamentale en mathématiques, informatique, électronique, mais aussi une capacité à s'ouvrir sur le monde de l'entreprise et sur les applications. Il y a une grande ouverture d'esprit dans cet institut. La France



Claudie Haigneré

Première femme française dans l'espace, Claudie Haigneré voulait, au départ, devenir professeur d'éducation physique. Gymnaste de compétition, très bonne élève, elle passe son bac avec deux ans d'avance... Trop jeune pour intégrer l'Insep (Institut national du sport et de l'éducation physique) elle décide de patienter en médecine où elle est reçue 1^{re} sur 600 : une nouvelle orientation s'impose à elle. Devenue médecin rhumatologue, elle s'intéresse au fonctionnement du corps en apesanteur et passe un doctorat de neurosciences. Sélectionnée en 1985 pour le programme spatial, elle effectuera deux missions dans l'espace. Claudie Haigneré a été ministre de la Recherche et des nouvelles technologies de 2001 à 2004 avant d'être ministre des Affaires européennes jusqu'en juin 2005. Elle entend désormais se consacrer aux projets spatiaux au niveau européen.

a notamment beaucoup travaillé sur ce qu'apporte l'outil spatial, comme le positionnement par satellite, l'exploitation des données d'observation de la Terre pour la météo ou la cartographie (SIG).

MF : À mon niveau, j'ai vécu l'arrivée du numérique avec le DVD, qui a petit à petit remplacé le CD, avec Internet, l'ordinateur portable, le Wi-Fi... Aujourd'hui, on vit presque avec un téléphone portable dans la main ! Comme avancée, je verrais bien des voitures qui se conduisent toutes seules pour éviter les accidents...

CH : La recherche sur les voitures pilotées automatiquement avance : il y a déjà les métros sans conducteur. Les rêves d'aujourd'hui sont les réalités de demain ! Je me souviens d'une expérience extraordinaire : une intervention chirurgicale depuis New York sur un patient français à Strasbourg.

MF : Le chirurgien commandait un robot à distance par ordinateur ?

CH : Oui, c'était très impressionnant. Mais c'est un exemple un peu marginal. Nous ne devons pas oublier aussi que nous parlons en tant que privilégiées. Et les technologies peuvent apporter beaucoup aux pays en voie de développement. Par exemple, les satellites d'observation de la Terre peuvent servir à l'agriculture, pour connaître les ressources en eau, savoir comment les gérer... Les technologies de l'information permettent aussi de faire de l'humanitaire avec la télé-

médecine, l'éducation à distance, les campus numériques, etc.

MF : Autant de sujets dont les jeunes doivent se préoccuper, ce sont eux l'avenir !

CH : Oui. Et il est dommage que peu de jeunes filles s'orientent vers des carrières de chercheurs ou d'ingénieurs dans les nouvelles technologies. Il faut que les pouvoirs publics les y incitent car elles apportent une richesse, une démarche complémentaire. Et il ne faut pas que nous, femmes, nous nous mettions des barrières. Certaines jeunes filles se disent qu'elles ne pourront pas avoir des enfants, ou les élever, dans de bonnes conditions. Je suis l'exemple inverse, même si ce n'est pas facile à gérer et qu'il faut s'organiser. Avant mon premier vol spatial, je n'avais pas eu la possibilité d'avoir un enfant. Ce n'est qu'après que j'ai eu ma fille. On fait des choix, on ne peut pas tout avoir en même temps. Il faut que l'on soit aidée et que l'on fasse en sorte d'améliorer cet accompagnement.

MF : Vivre intensément sa passion ne facilite pas la vie de famille. Mais il faut voir le côté positif : être une femme m'a permis de faire une première féminine, ce qui aide, avouons-le, à trouver des financements.

CH : On se réalise aussi parce qu'on va au bout de l'engagement. Il ne faut pas s'empêcher de rêver. Il faut se fixer des objectifs au-delà de ce que l'on se sait capable de faire. Un petit cran en plus. Après, c'est une question de passion et de courage.

Maud Fontenoy

Première femme à traverser l'Atlantique Nord à la rame en 2003, elle est aussi la première à avoir traversé le Pacifique début 2005. Du Pérou à la Polynésie, une aventure de 7 000 km... et 73 jours. Née en 1977, Maud Fontenoy traverse pour la première fois l'Atlantique sur la goélette familiale... sept jours après sa naissance ! Elle passe son enfance à naviguer dans les îles, tout en suivant sa scolarité par correspondance. Formée à la navigation à l'école des Glénans, en Bretagne, elle est aujourd'hui responsable d'une agence immobilière et fut la fondatrice de la Fédération française des bateaux à voile et avirons traditionnels. Elle a également créé une association dont le but est de faire naviguer des jeunes de quartiers difficiles. Maud Fontenoy est l'auteur d'un livre sur sa traversée de l'Atlantique. Elle termine la rédaction d'un second ouvrage racontant le Pacifique, et prépare son prochain défi, sur un bateau à voile cette fois-ci.

INTERVIEW

«Les chercheurs en sciences du numérique collaborent avec des scientifiques de toutes les disciplines»

Gilles Kahn

GILLES KAHN

Le président directeur général de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) explique à quoi servent les sciences du numérique.

À quel niveau interviennent les sciences du numériques ?

Les chercheurs en sciences du numérique collaborent avec des scientifiques de toutes les disciplines : ils travaillent en effet sur des problèmes du monde réel qui concernent vraiment tous les domaines ! Pour réussir à améliorer les outils d'imagerie du cerveau, par exemple, il faut travailler avec des chercheurs en neurosciences.

Quels sont aujourd'hui les principaux défis à relever ?

Ils sont nombreux ! L'un des plus importants est la fiabilité et la sécurité du logiciel, car les erreurs peuvent avoir des conséquences très graves... Je pense aux transports ou à la médecine, par exemple. Par ailleurs, la protection du caractère privé de l'information est essentielle. Il y a également le défi du sens, c'est-à-dire faire que les ordinateurs soient capables de manipuler le langage, la parole ou les images en tenant compte de leur signification. Autre défi : les interfaces entre l'homme et les machines. Modélisation et simulation sont également un axe important pour comprendre le monde réel, le simuler afin d'interagir ensuite avec lui. Dans ce domaine notamment, les applications

PHOTOS JIM WALLACE



www.inria.fr www.inria.fr

Au cœur

des sciences du numérique au monde de la santé laissent entrevoir des perspectives très importantes.

Quelles difficultés doivent surmonter les sciences du numérique ?

Aujourd'hui, nous avons des mesures de plus en plus nombreuses ainsi que des modèles de plus en plus complexes. Effectuer des prévisions météorologiques ou climatiques, calculer le comportement aérodynamique d'un avion ou décrypter le génome d'un organisme vivant sont des cas qui demandent une forte puissance de calcul. Nous développons donc des algorithmes les plus astucieux possible afin d'obtenir le résultat en effectuant un minimum d'opérations. Même dans le calcul, il existe une notion

d'économie et de gain de temps ! Nous travaillons également sur les «grilles de calcul» qui permettent de répartir les opérations sur de nombreux ordinateurs en même temps.

Quels enjeux se cachent derrière ces avancées scientifiques ?

Aujourd'hui, l'informatique s'intègre dans toutes les activités scientifiques, technologiques et économiques. Elle modifie notre manière de travailler, de comprendre le monde et d'interagir avec lui. Cela pose des questions de société sur l'accès à l'information, notamment. On peut parler de révolution numérique, au minimum il s'agit d'un bouleversement.

PROPOS RECUEILLIS PAR FV



www.inria.fr www.inria.fr

de l'INRIA...

SOPHIE CLUET

La directrice de l'unité de recherche de Rocquencourt, qui regroupe environ 500 personnes dont près de 300 scientifiques, nous présente l'INRIA.

Qu'est-ce que l'INRIA ?

C'est un établissement public à la pointe des recherches sur les technologies de l'information et de la communication. Créé en 1967, l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) répond à la nécessité qu'ont tous les pays industrialisés de faire progresser les technologies qui façonneront la société dans les années à venir et au-delà. Plus généralement, l'INRIA participe à un niveau mondial à l'avancement

des sciences du numérique. Il dépend à la fois du ministère de la Recherche et de celui de l'Industrie.

Comment l'Institut est-il organisé ?

L'INRIA est constitué de six grandes unités de recherche (UR) qui sont réparties sur le territoire français afin de bénéficier de toute la richesse géographique du pays et des spécialisations développées dans certaines régions. L'organisation est très décentralisée, les UR sont assez indépendantes même si leur budget est fixé par la direction générale, car elles bénéficient également de ressources propres générées par les projets de recherche : des contrats avec l'industrie, des moyens provenant de la communauté européenne et d'autres sources publiques ou non.

«Un environnement de travail très dynamique»

Sophie Cluet

Quels sont les rapports de l'INRIA avec l'industrie ?

Nous signons des contrats avec des industriels : ils nous soumettent un problème et si ce problème peut faire l'objet d'un travail de recherche – par exemple la création d'un nouveau logiciel, nous travaillons à sa conception et nous leur fournissons des prototypes qui permettent de le tester. Le passage par la recherche est aussi un excellent tremplin pour la création d'entreprise. L'INRIA aide ses chercheurs qui veulent se lancer dans l'aventure. Aujourd'hui plus de 80 start-up dans les nouvelles technologies ont ainsi été créées par des chercheurs de l'INRIA.

Quel statut ont les chercheurs de l'INRIA ?

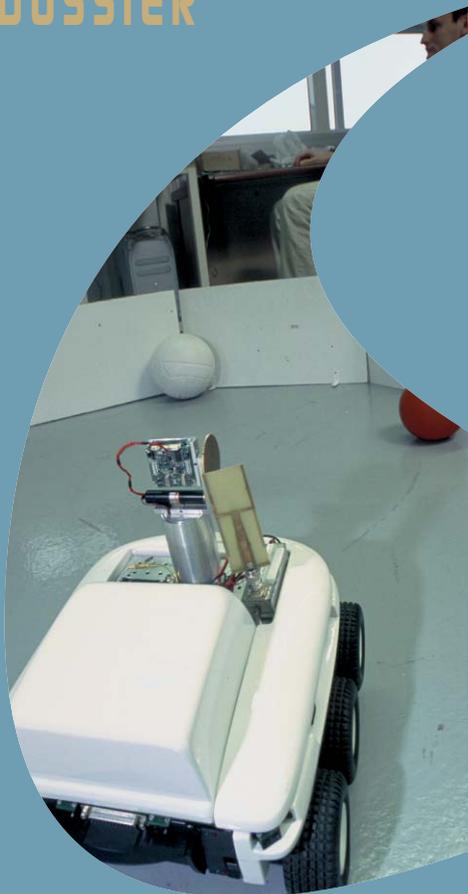
Beaucoup de jeunes chercheurs viennent ici effectuer leur thèse ou leur post-doctorat. Ils sont en CDD, sont parfois cofinancés par un industriel et certains bénéficient de bourses de recherche. Il y a aussi des stagiaires, notamment des étudiants d'écoles d'ingénieurs. Tous ces jeunes chercheurs bourrés d'idées créent un environnement de travail très dynamique. Les chercheurs dits « permanents » sont, eux, fonctionnaires et bénéficient donc d'une certaine liberté que l'on ne trouve pas dans l'industrie. L'INRIA veille à conserver un bon équilibre entre recherche appliquée et recherche fondamentale (en amont des applications de la vie courante).

Quelle taille fait l'équipe d'un projet ?

C'est de l'ordre d'une quinzaine de personnes : chercheurs permanents, doctorants, ingénieurs, et quelques chercheurs invités. Ce sont de petits groupes réactifs avec une hiérarchie qui n'est pas pesante, beaucoup de dialogue et une grande proximité. Et il y a tout le temps du mouvement : la majorité des personnes ne restent que trois ans (la durée d'une thèse). L'ambiance est cosmopolite, nous recrutons en effet beaucoup d'étrangers : européens, africains, asiatiques, américains, indiens, etc. L'ambiance est détendue, même si le travail est très sérieux !

PROPOS RECUEILLIS PAR FV

DOSSIER



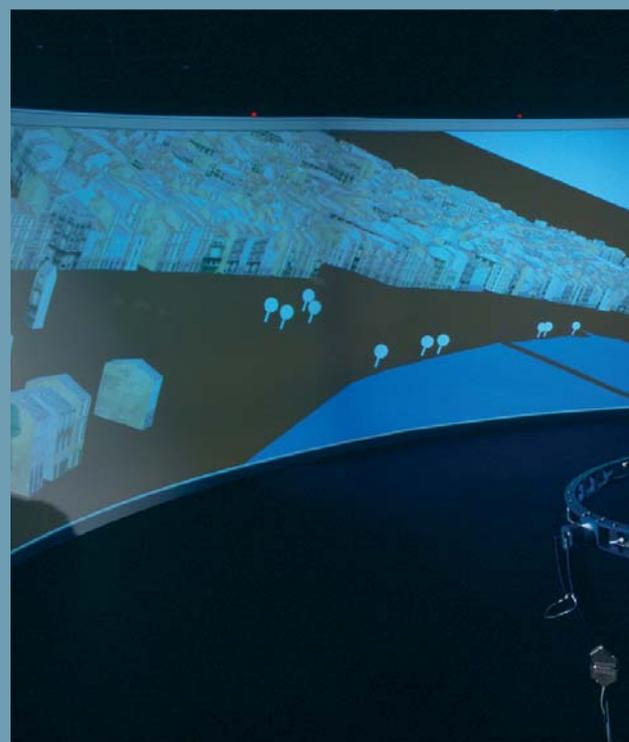
INRIA/V. LAMOUREUX



www.inria.fr

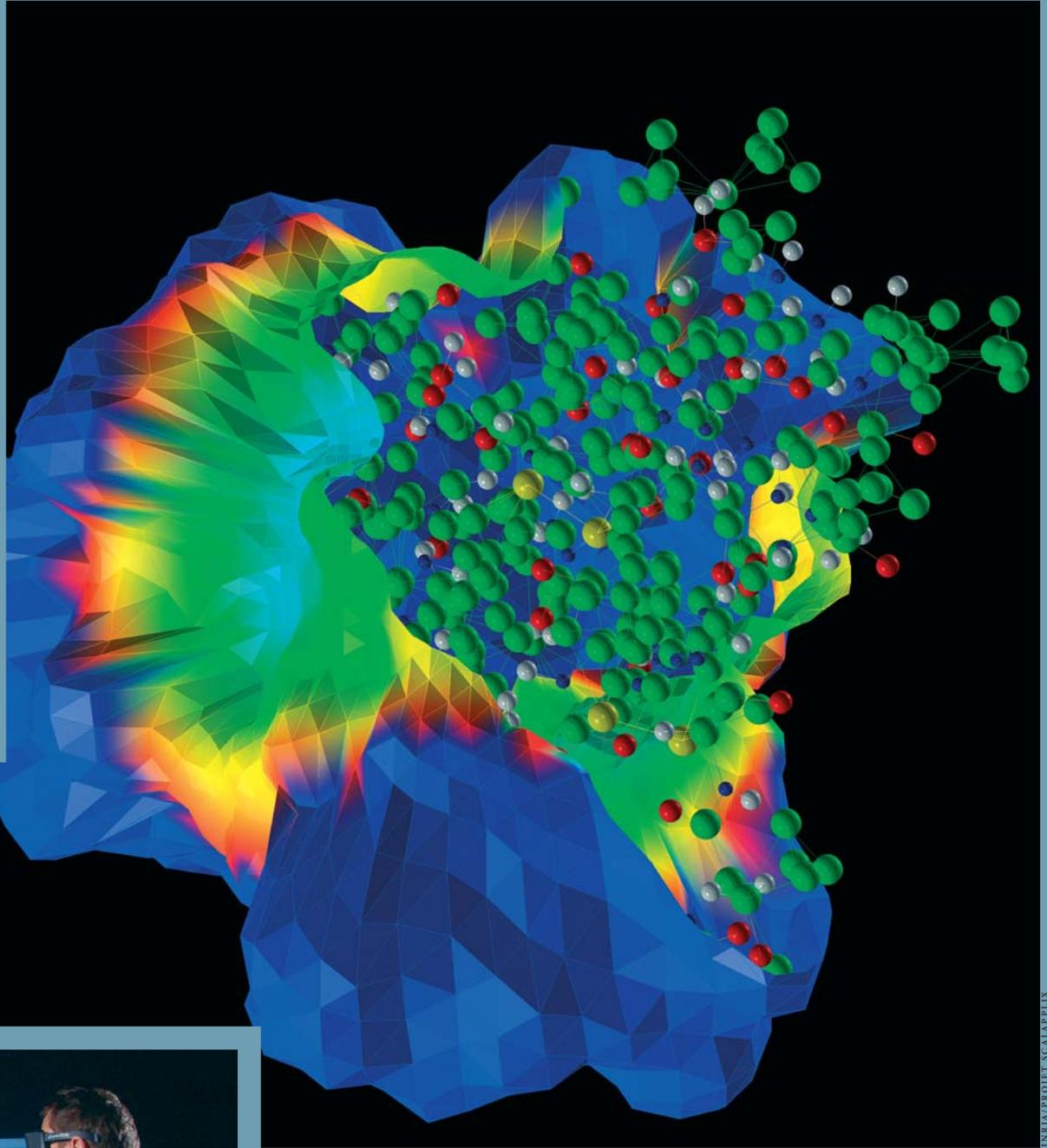
Dans les labos

L'INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (INRIA) NOUS A OUVERT SES PORTES. NOUS SOMMES ALLÉS RENCONTRER DES CHERCHEURS QUI INVENTENT DES INTERFACES POUR QUE L'HOMME ET LA MACHINE APPRENNENT À MIEUX COMMUNIQUER, DES SCIENTIFIQUES QUI CRÉENT DES MONDES VIRTUELS, DES SPÉCIALISTES QUI ÉTUDIENT LA SÉCURITÉ DES RÉSEAUX INFORMATIQUES... EN ROUTE.





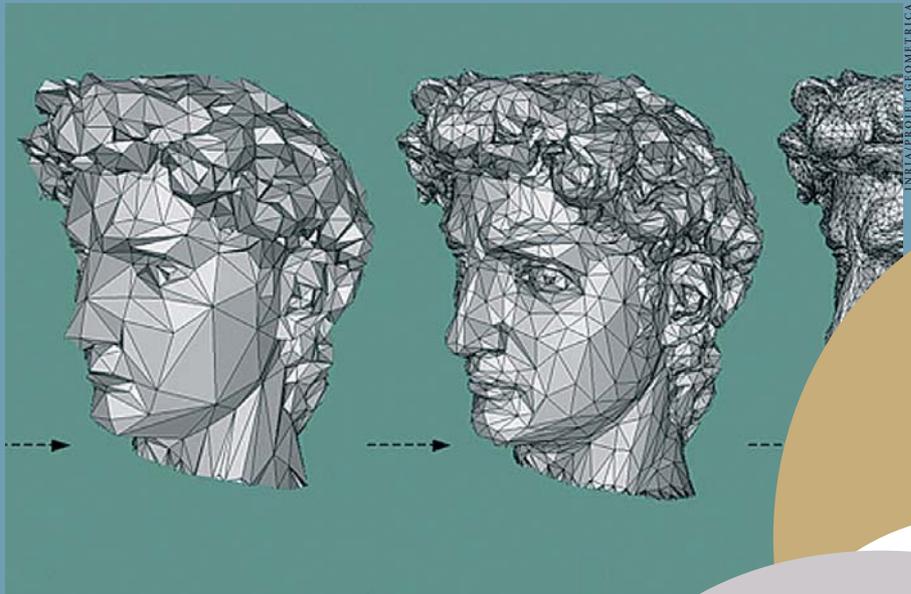
INRIA / C. MOSCHETTI - REA



INRIA / PROJET SCALAPLIX



INRIA / JIM WALLACE



INRIA / PROJET GEOMETRICA





Sabine Coquillart dirige le projet i3D à L'INRIA.

INRIA/A. EIDELMAN



Manipulation d'objets virtuels 3D dans une salle de réalité virtuelle (projet Siames).

INRIA/J.-C. MOSCHETTI - REA



PLONGÉE DANS LA réalité virtuelle

AVEC DES LUNETTES SPÉCIALES SUR LE NEZ, ON VOIT DES OBJETS VIRTUELS EN 3D. EN PASSANT UNE BAGUE AU BOUT DE SON DOIGT, ON PEUT MÊME LES TOUCHER : CARROSSERIE ET ACCESSOIRES DE VOITURE, OUTILS DE TRAVAIL... LA RÉALITÉ VIRTUELLE PROGRESSE À GRANDS PAS.

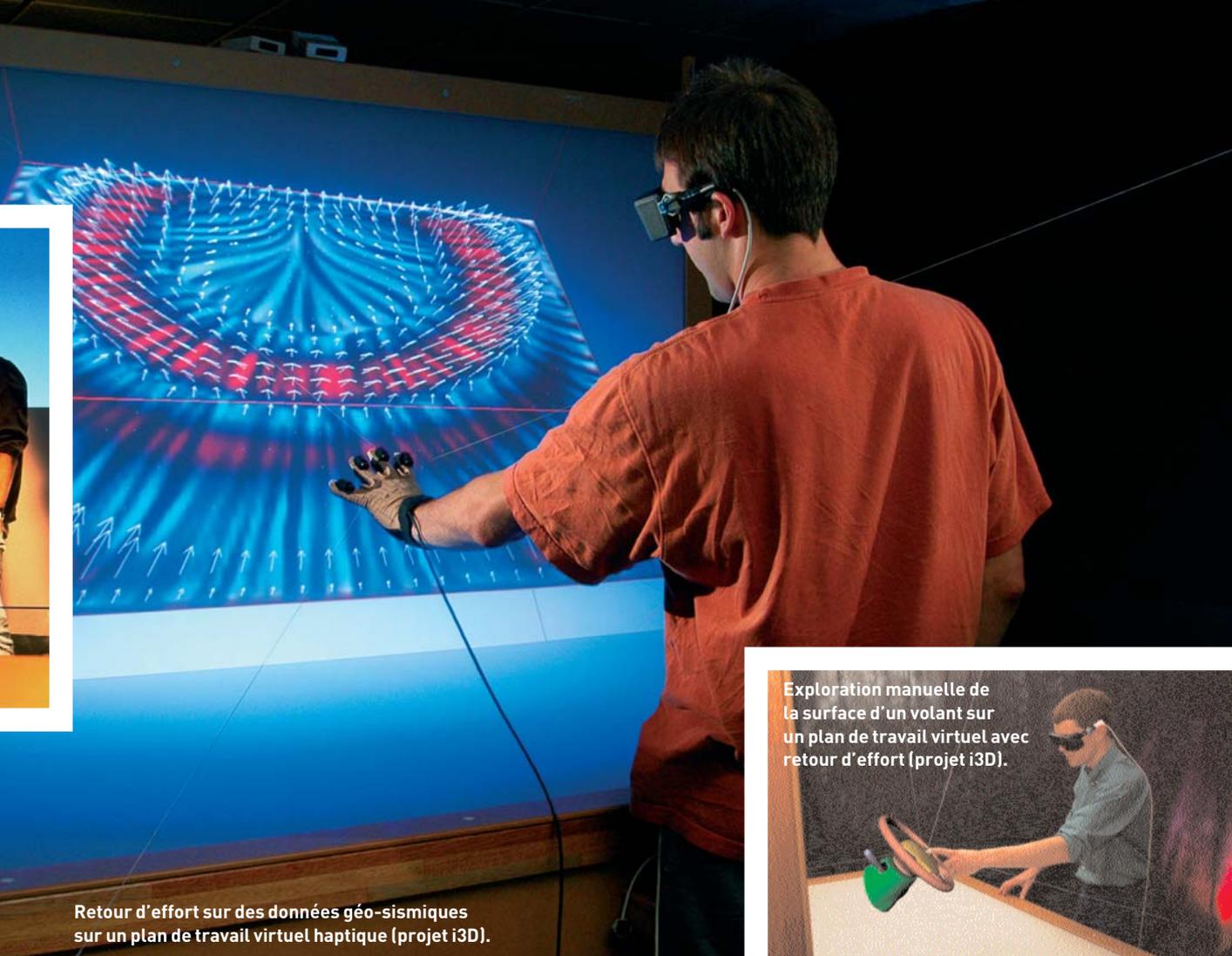
L'expérience est unique, impressionnante : muni de lunettes spéciales, on voit jaillir un habitacle de voiture, une forme virtuelle en trois dimensions. Mieux : on peut la manipuler au moyen d'un rayon tout aussi virtuel, la tourner dans tous les sens. Nous sommes près de Grenoble, dans le laboratoire du projet i3D dirigé par Sabine Coquillart. «Maintenant, vous allez toucher les objets que vous avez vus grâce à un retour haptique», propose la chercheuse. «Haptique» vient du grec «toucher». Effectivement, en passant le doigt dans une bague reliée à des fils, on arrive à suivre les contours d'un volant virtuel en 3D, au relief saisissant, sans possibilité de le traverser. Bien sûr, il y a l'informatique. Mais pour concevoir ce «workbench» («plan de travail») qui est un premier prototype de travail, les scientifiques ont dû faire preuve d'ingé-

niosité : étais de maçons, épingles de couturière, fils de pêche, petits moteurs issus de la robotique... Les chercheurs rivalisent d'astuces pour mettre en place leurs expériences.

DES IMAGES PLEIN LES YEUX

Comment fonctionne cette surprenante réalité virtuelle ? D'abord il y a les écrans : on en compte deux, placés à 90° l'un de l'autre, le premier à l'horizontale comme un plan de travail, le second au-dessus, vertical. L'image provient de deux gros projecteurs. La qualité est impressionnante : la résolution est celle d'un bon écran d'ordinateur, pour une taille bien supérieure : 1m80 par 1m10 pour chaque écran. La vision en 3D est possible grâce à des lunettes stéréoscopiques. Pour voir en relief, notre cerveau utilise le décalage de position entre les deux yeux. La vision stéréoscopique utilise ce principe. Les lu-

nettes sont synchronisées avec l'affichage des écrans. L'image correspondant au point de vue de l'œil droit est projetée en même temps que le verre de l'œil gauche est très brièvement obturé par polarisation. Puis c'est au tour de l'image de l'œil gauche d'être projetée tandis que le verre du droit est assombri. L'alternance entre les deux yeux et les deux images est si rapide qu'on ne la perçoit pas. La fréquence est en effet de 96 Hz (soit 48 images par seconde pour chaque œil, ce qui correspond à peu près à la fréquence d'une télévision classique). La vision en 3D est encore améliorée grâce à la présence sur les lunettes d'un capteur électromagnétique qui permet au système de déterminer la position de la tête de l'expérimentateur et d'adapter l'angle en fonction : on peut se pencher pour regarder l'objet virtuel de côté. Pas de bricolage ici !



Retour d'effort sur des données géo-sismiques sur un plan de travail virtuel haptique (projet i3D).



Exploration manuelle de la surface d'un volant sur un plan de travail virtuel avec retour d'effort (projet i3D).

INRIA/JIM WALLACE (DONNÉES CEA/DIF)

INRIA/G.PIGOT - (DONNÉES RENAULT)

On pense aux jeux vidéo, mais aujourd'hui, les principales applications se trouvent dans l'industrie. «Nous avons travaillé avec l'industrie aéronautique, et nous collaborons de manière très fructueuse avec l'industrie automobile», précise Sabine Coquillart.

Michaël Ortega est l'un des doctorants de cette équipe d'une demi-douzaine de scientifiques. Il effectue une thèse cofinancée par un industriel : PSA-Peugeot Citroën. Dans un coin de la salle du workbench 3D trône une partie de la carrosserie de la dernière voiture du constructeur : la 1007. Le travail de Michaël consiste à réaliser une simulation en réalité virtuelle de la pose de joints sur cette partie de la carrosserie. «C'est une étape délicate dans la construction d'une voiture. La réalité virtuelle permet de tester les manipulations avant de mettre en place la chaîne de montage», raconte le jeune chercheur. On s'y croirait : la carrosserie en 3D apparaît face à nous, et avec un vrai pistolet pour la pose de joints, relié à des câbles, on applique une couche de mastic

virtuel sur une carrosserie virtuelle... mais avec toutes les sensations du réel ! On glisse le long des tôles, on dérape sur les aspérités... Le résultat est saisissant.

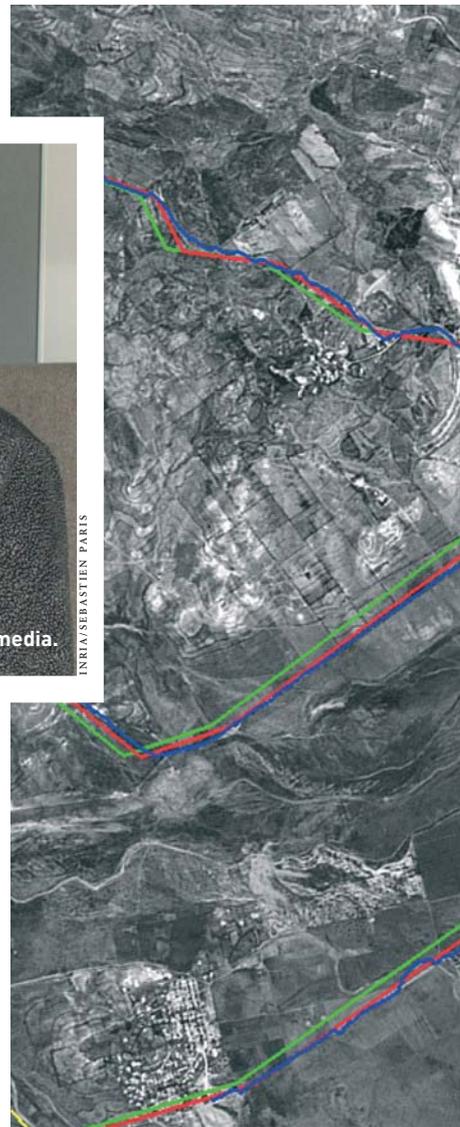
LE VIRTUEL À PORTÉE DE MAIN

Dans une autre partie du laboratoire, on utilise un autre type de lunettes : un masque avec un petit écran en face de chaque œil, et à l'extérieur, deux minuscules caméras qui filment précisément ce que l'on voit. L'ordinateur mixe le réel et le virtuel : un objet virtuel, une voiture par exemple, est incrusté dans le décor. On peut passer sa propre main derrière la carrosserie et elle disparaît ! Le programme utilise un système infrarouge et tient compte en temps réel de la position de la main et de la tête de l'expérimentateur.

Là aussi on cherche à ajouter le toucher avec un système haptique. «Le problème est l'intégration d'un système haptique sans détériorer les performances du masque, en particulier la taille de l'espace de travail et la mobilité», souligne Sabine Coquillart. Nous cherchons

aussi à intégrer l'utilisation d'objets réels, comme le pistolet pour la pose de joints.» Autre axe de recherche : la perception humaine. Les chercheurs collaborent avec des spécialistes de la cognition et des psychologues, afin de mieux comprendre le fonctionnement du toucher, par exemple, pour améliorer les systèmes virtuels.

Les applications de cette réalité virtuelle ne semblent avoir de limites que celles de l'imagination. Pourquoi pas des musées virtuels où l'on pourrait manipuler virtuellement des objets rares... Ces systèmes peuvent permettre des collaborations à distance, voire des simulations pour la médecine ou des environnements dangereux. Avec la baisse du prix des équipements et l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, il faut s'attendre à un développement de la réalité virtuelle. Acheté en 1998, le workbench 3D utilise un ordinateur coûteux prenant la place de deux gros frigos, en cours de remplacement par quatre PC un peu gonflés... Ça, c'est bien réel. FV



INRIA/SEBASTIEN PARIS



Nozha Boujemaa, responsable du projet Imedia.

Donner du sens AUX IMAGES

POUR ARCHIVER, CLASSER ET TROUVER DES IMAGES, ON PASSE PAR DES MOTS-CLÉS. FACE À LEUR ORDI, LES SCIENTIFIQUES CHERCHENT À SE PASSER DE MOTS ET À FAIRE PARLER LES IMAGES.

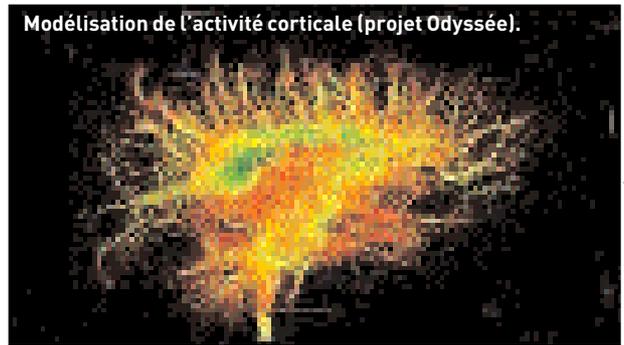
Pour rechercher des reportages sur un même sujet ou retrouver une séquence vidéo dans laquelle apparaît quelqu'un de particulier, TF1 utilise les technologies développées par l'équipe du projet Imedia. La police les emploie aussi pour trier certaines images ou recouper des scènes de crime. «En fait, nous travaillons avec tous ceux qui exploitent des collections d'images», explique Nozha Boujemaa, la responsable du projet. Avec le développement du numérique, la masse de contenus visuels a explosé, la quantité d'archives devient très importante et il faut des outils pour l'exploiter. Nous aidons à trouver la bonne image en se basant sur le contenu et non pas en effectuant une recherche uniquement textuelle.» C'est l'exemple de l'interrogation d'un moteur de recherche pour trouver une image à partir du mot «avocat»: les résultats comprendront des photos de

fruits et de juristes. «Les résultats non pertinents forment ce que l'on appelle le bruit, et tous les documents pertinents qui ne sont pas indexés, donc pas affichés dans les résultats, correspondent au silence. Nous cherchons à réduire à la fois le bruit et le silence.»

AVIS DE RECHERCHE

Rechercher une image à partir de son nom ou d'annotations ne suffisant pas, les chercheurs du projet Imedia s'intéressent à l'image elle-même. Ainsi le logiciel utilisé par TF1 permet aux journalistes de retrouver des séquences comportant une personne en particulier même sans annotation, sans qu'elle soit signalée. Le programme compare les archives avec une photo de référence et reconnaît la bonne personne. Dans le cas de la police, les technologies ont déjà été utilisées pour traiter de grandes quantités de photos pédophiles afin d'effectuer des recoupements

entre les lieux photographiés: reconnaître un détail du mobilier, par exemple. Car les outils développés concernent tous types d'images, pas seulement les visages. Les généticiens peuvent notamment s'en servir pour comparer des images de plantes et les regrouper en catégorie selon leur morphologie: grandes feuilles, taches, feuilles claires, etc. Autre exemple: sur une base de données photographiques de la flore du Laos, le logiciel est capable de reconnaître de quelle plante il s'agit uniquement à partir de sa photo! Les applications semblent infinies. Tout l'art consiste en fait à analyser les images pour en extraire des «signatures». «Une signature correspond à une caractéristique de l'image», explique Nozha Boujemaa. Nous avons fait le choix de travailler sur un nombre limité de signatures: cinq ou six au maximum, ce qui permet de traiter rapidement de très grandes quantités de



Recherche d'images par le contenu visuel avec le logiciel Ikona.

Navigation Panel: Prev, Next, Back, Shuffle

Query Panel: Retrieve, Feedback, Region, Keywords

photos. Les principales signatures sont la couleur, la forme et la texture.» Pour comprendre comment fonctionne le logiciel, il faut avoir à l'esprit que l'image numérique correspond à un tableau de nombres. Chaque case du tableau comprend des nombres qui codent la couleur de chaque pixel. L'ordinateur calcule la fréquence d'apparition de chaque couleur, il différencie les contours en fonction des variations afin de déterminer des formes, et il retrouve des textures en s'attachant à la granularité. Au final, il forme des catégories d'images et propose celles qui ressemblent à l'image de référence. Ainsi Ikona, un prototype de logiciel développé par l'équipe Imedia en démonstration sur leur site web*, permet de rechercher dans une base d'images toutes celles qui s'apparentent visuellement à une image en particulier. En sélectionnant une photo de citrons sur un citronnier, une recherche avec

ce logiciel propose comme résultats des images de fruits jaunes ou orangés sur un feuillage vert et des photographies de fleurs jaunes dans des prairies vertes.

EMPREINTE FACIALE

Pour les bases au contenu spécialisé, comme une collection de photos de visages par exemple, on peut créer de nouvelles signatures spécifiques. Dans un premier temps, il faut détecter le visage dans l'image, puis vient le calcul des signatures, et enfin l'identification, voire la proposition d'un nom si le visage correspondant existe dans la base de données. «Nous travaillons également sur le contrôle de pertinence, poursuit Nozha Boujemaâ. L'idée est d'interagir avec l'utilisateur en lui demandant de choisir, parmi les images qui lui sont proposées, celles qui correspondent le mieux à sa cible. Le programme effectue alors une nouvelle re-

cherche plus personnalisée.» Une autre idée est d'exploiter également les informations textuelles présentes. Il faut pour cela développer des solutions permettant de combiner les deux systèmes. Avec ou sans texte, en demandant plus ou moins à l'utilisateur de participer, la recherche et l'indexation d'images intéressent tout le monde. «On peut imaginer de l'aide à la décision pour interpréter une radiographie médicale : le médecin se verrait proposer des cas similaires. Plus proche de nous, il y a aussi tous les appareils qui stockent des images : aujourd'hui il existe des magnétoscopes numériques, et les téléphones permettent de prendre des photos et de réaliser de petits films, autant d'images numériques que l'on veut exploiter au mieux.» Pensez aux nombreuses photos numériques qui s'accumulent sur le disque dur de votre ordinateur...

FV

*[<http://www-rocq.inria.fr/imedia/ikona.html>]

INRIA/PROJET ODYSSEE

INRIA/PROJET IMEDIA



INRIA/R. LAMOUREUX

Plate-forme expérimentale pour des tests de comportement à l'image : ici, suivi d'un ballon rouge (projet E-Motion).



COMMENT la vision EST TRAITÉE par le cerveau

QUE SE PASSE-T-IL ENTRE LES YEUX ET LE CERVEAU ? COMPRENDRE LES MÉCANISMES DE LA VISION PERMETTRAIT DE CONCEVOIR DES ROBOTS QUI VOIENT COMME DES HUMAINS, MAIS AUSSI, POURQUOI PAS, DES PROTHÈSES ÉLECTRONIQUES POUR LES AVEUGLES !

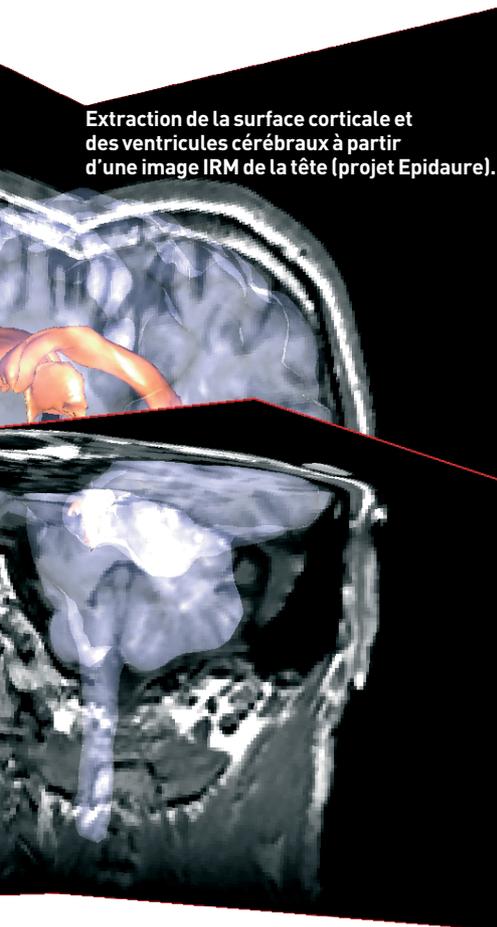
Vous connaissez Aibo, le petit chien robot ? Il se promène tranquillement dans la maison en évitant les meubles, retrouve son maître, essaie de lire une émotion sur son visage... S'il y arrive, c'est qu'il est doté d'une vision robotique : des capteurs le renseignent sur son environnement, et son ordinateur interne analyse ces données pour lui permettre de s'orienter. La vision par ordinateur, c'est la spécialité d'Olivier Faugeras, l'un des experts mondiaux du domaine. Robots jouets, industrie – avec les chaînes de montage automatisées – analyse d'images aériennes, surveillance et imagerie médicale : la

vision par ordinateur possède de nombreuses applications. « Ces systèmes marchent bien, explique le chercheur, mais il faut pour cela que l'environnement soit bien contrôlé, avec une bonne lumière, des conditions stables. » Conditions que l'on peut facilement obtenir dans une usine, pour observer une ligne de montage régulière. Tout se corse quand il s'agit d'apprendre au système à reconnaître des formes en extérieur. Un dalmatien sur la neige, par exemple : le cerveau humain n'a aucun mal à y voir un chien, alors que l'ordinateur ne percevra que des tâches noires. « L'idée est donc de s'inspirer de la perception biologique »,

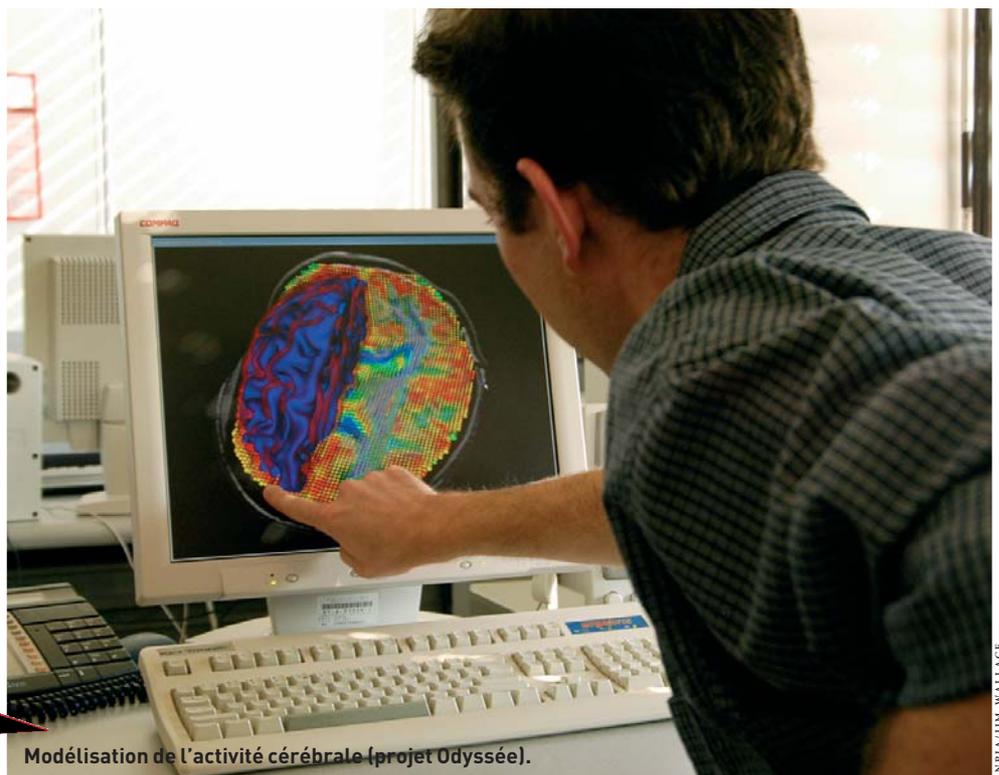
explique Olivier Faugeras, qui a créé pour cela l'équipe Odyssée au sein de l'unité de recherche de Sophia Antipolis, près de Nice. Objectif : comprendre la vision humaine pour ensuite l'appliquer aux robots.

LA MISE AU POINT DES IMAGES

La première phase, pour ces scientifiques, est de s'atteler à la maîtrise des techniques de traitement et d'analyse de l'image applicables à l'imagerie médicale. Leur but : améliorer les images qui nous renseignent sur comment fonctionne la vision au niveau du cerveau. Les techniques existantes fournissent des renseignements différents et complémentaires. Ain-



Extraction de la surface corticale et des ventricules cérébraux à partir d'une image IRM de la tête (projet Epidaure).



Modélisation de l'activité cérébrale (projet Odyssee).



Chercheurs du projet Reves autour d'un plan de travail virtuel.

si l'IRM fonctionnelle (imagerie par résonance magnétique) mesure la variation de déoxyhémoglobine dans le sang, ce qui renseigne sur l'activité des neurones. L'électroencéphalogramme (EEG) mesure l'activité électrique d'un certain type de cellules. Il y a aussi la MEEG, magnétoélectroencéphalographie, qui mesure à la fois les champs magnétiques et les champs électriques émis par les groupes de neurones. EEG et MEEG permettent un suivi dans le temps à l'échelle de la milliseconde là où l'IRM n'est qu'au dixième de seconde. Par contre, leur résolution spatiale n'est que de l'ordre du centimètre contre un dixième de millimètre pour l'IRM.

«Nous avons mis au point de nouveaux algorithmes (cf. p. 4), pour améliorer et combiner l'imagerie fonctionnelle du cerveau, qui permettent de reconstituer l'activité», raconte Olivier Faugeras. Grâce aux nouvelles méthodes de calcul, on peut par exemple différencier en MEEG une centaine de régions d'ac-

tivité, alors que les précédents logiciels de traitement des signaux n'en distinguaient que deux ou trois.

DES CALCULS EN PUISSANCE

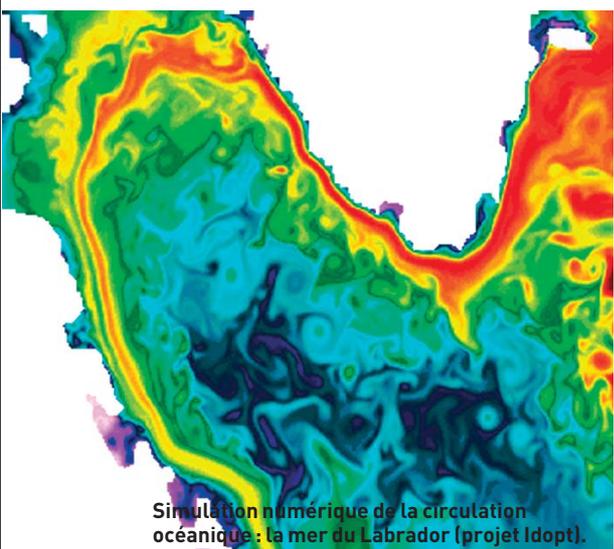
L'autre axe de recherche porte sur la modélisation du fonctionnement du cerveau. La difficulté est que celui-ci exploite des millions de neurones. Pour simuler leur fonctionnement, il faut des capacités de calcul énormes. «Nous nous intéressons de près au "grid-computing", le fait de cumuler la puissance de calcul de nombreux ordinateurs. Récemment, un étudiant de l'équipe a réussi à simuler l'activité d'une partie d'un réseau de neurones, plusieurs dizaines de milliers, en utilisant les capacités de consoles vidéo du commerce associées entre elles !»

L'équipe travaille donc à la frontière entre plusieurs disciplines, et multiplie les échanges. «C'est à la fois difficile et passionnant. Nous sommes entre l'informatique et les mathématiques appliquées, la médecine et les neurosciences. Il

a fallu nouer des collaborations avec des équipes en France, en Europe, dans le monde entier.» Les premiers succès sont encourageants. «Grâce à nos résultats, on commence à regarder comment les zones impliquées dans l'activité visuelle communiquent entre elles. On voit que telle zone agit avant telle autre... C'est un grand succès qui va permettre de tester des modèles du fonctionnement de ces zones.»

Olivier Faugeras se prend à rêver : «Du côté des applications futuristes, on peut imaginer la mise au point de prothèses visuelles, ce qui reviendrait à brancher directement des caméras sur le cerveau !» Dans un futur plus proche, il s'agira d'appliquer cette compréhension du cerveau humain à la vision robotique. Avant de la transposer aux autres sens : «L'audition possède de nombreuses similarités, souligne le chercheur. L'odorat est en revanche très différent.»

FV



Simulation numérique de la circulation océanique : la mer du Labrador (projet Idopt).



Modélisation de la croissance d'une tumeur cérébrale (projet Epidauré).

MIEUX PRÉVOIR LES phénomènes naturels

UNE MÊME MÉTHODE MATHÉMATIQUE POUR SIMULER LA POUSSE DU BLÉ, LES COURANTS MARINS ET LA STRUCTURE DU PLASMA ! QUI A DIT QUE LES MATHS NE SERVAIENT À RIEN ?

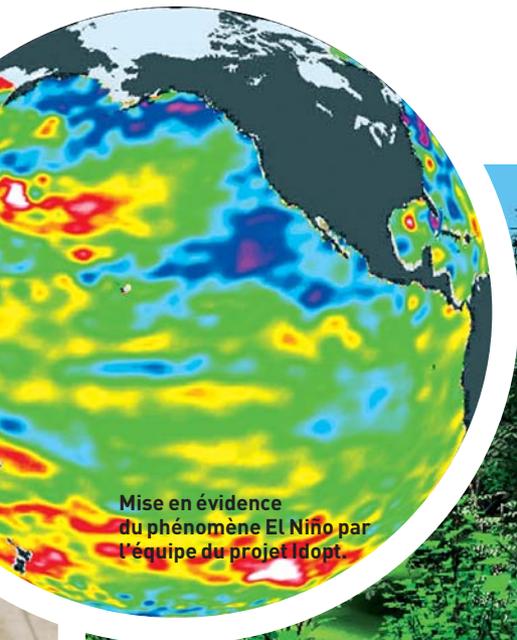
Pour optimiser la pousse du blé, les agriculteurs peuvent expérimenter en plein champ. Ajouter de l'eau, utiliser un nouvel engrais, réduire l'ensoleillement... Mais ils devront attendre la récolte pour savoir si la stratégie était bonne. Et la saison suivante pour l'améliorer... Les scientifiques ont la solution : ils font pousser des plants sur leur ordinateur. Des pousses virtuelles, où chaque caractéristique est validée par les données biologiques. Ils peuvent ainsi faire tourner des algorithmes (cf p. 4) en modifiant les fertilisants, l'apport d'eau... Et obtenir, sans se salir les mains, des récoltes idéales ! Impliquant plusieurs équipes de recherche de l'INRIA mais aussi d'autres instituts de recherche français et chinois, ce programme de modélisation en agronomie fait appel à des méthodes mathématiques développées par l'équipe du projet Idopt, de l'unité de recherche INRIA Rhône-Alpes. Il s'agit

d'une méthode «d'assimilation des données» proposée il y a une vingtaine d'années par François-Xavier Le Dimet, qui dirige l'équipe. Elle est notamment employée par de grands centres de météorologie, comme Météo France, et sera prochainement utilisée par le programme de recherche Mercator Océan, qui délivre des analyses et des prévisions océanographiques. Celui-là même qui fournissait à Maud Fontenoy une précieuse description en temps réel des courants de surface, lors de sa traversée du Pacifique.

UN OCÉAN DE POSSIBILITÉS

Les modèles océaniques font justement partie des spécialités des scientifiques du projet Idopt. Ces modèles permettent d'anticiper les effets d'une marée noire en prévoyant la trajectoire des hydrocarbures. Ils servent aussi pour la navigation, pour la pêche ou encore pour l'aménagement du littoral, en simulant l'érosion de la côte.

«Les fluides géophysiques possèdent des propriétés communes, ce qui permet d'employer des méthodologies comparables en océanographie, en météorologie ou en hydrologie», généralise Éric Blayo, qui va succéder à François-Xavier Le Dimet à la tête de l'équipe. La difficulté pour effectuer des prévisions en météorologie, par exemple, est de déterminer «l'état initial» : qualifier le temps qu'il fait aujourd'hui pour prévoir comment il va évoluer. «Pour cela, nous avons d'une part des mesures, d'autre part des modèles construits à partir des lois physiques, précise François-Xavier Le Dimet. Cela donne des équations très complexes. Certains modèles météorologiques tiennent compte de six millions de variables à chaque instant !» Les chercheurs d'Idopt développent des méthodes mathématiques qui permettent d'optimiser la modélisation et de prendre en compte un maximum de données. Des méthodes qui doivent être validées sur



Mise en évidence du phénomène El Niño par l'équipe du projet Idopt.



Simulation de la croissance des plantes et de leur réaction à leur environnement lumineux (projet Imagis).

INRIA-GRAVIR/PROJET IMAGIS

des cas réels, ce qui demande une grande puissance informatique. «La phase de mise au point requiert des calculs de quelques dizaines de minutes à une heure environ. Ici, nous avons l'équivalent de la puissance d'une cinquantaine de PC du commerce. La simulation de validation se fait ensuite sur des supercalculateurs mis à disposition de la recherche publique. Elle nécessite souvent quelques centaines d'heures de calcul !»

PLUS ON EST DE MODÈLES...

La collaboration avec les physiciens est très poussée : «Nous leur fournissons des outils logiciels et mathématiques pour améliorer leurs modèles, et en contrepartie nous bénéficions d'une validation de nos travaux sur des cas réels», reprend François-Xavier Le Dimet, pour qui le principal défi est de parvenir à coupler des modèles différents. «Faire de la climatologie en ne considérant que l'atmosphère n'a pas de sens. Il faut aussi considérer et donc modéliser l'océan, les eaux continentales et la végétation, dont l'influence sur le climat est grande.» Cependant les cons-

tantes de temps et d'espace sont très différentes entre ces milieux. De plus, les météorologues, océanographes et hydrologues n'ont pas les mêmes langages ou cultures. «C'est un des rôles des mathématiciens d'être un dénominateur commun, de bâtir des ponts entre les disciplines», souligne François-Xavier Le Dimet. Les ouragans d'Amérique du Nord sont un «exemple typique de couplage atmosphère-océan». «Le comportement relativement précis d'un ouragan est prévisible avec 48 heures d'avance en utilisant un modèle atmosphérique, un modèle océanique et des données de ces deux milieux. Cela laisse le temps d'évacuer les populations. L'exemple tragique de Katrina l'illustre : sans une bonne prévision, le bilan des pertes humaines aurait été beaucoup plus lourd. Il est vraisemblable que le coût des recherches météorologiques, océanographiques et mathématiques est faible par rapport aux dommages causés par de telles catastrophes.» Travailler à améliorer les prévisions prend tout son sens. FV

Trucage numérique et images de synthèse.

Minority Report, Le Pacte des loups, Un long dimanche de fiançailles, Harry Potter et la chambre des secrets, Buffy contre les vampires, Shaolin Soccer : tous ces films utilisent des logiciels commercialisés par Realviz, une société fondée par trois chercheurs en traitement d'images 2D et 3D, collègues d'Olivier Faugeras, et trois responsables techniques et commerciaux d'une filiale de Canal+. Basée à Sophia Antipolis, Realviz développe des logiciels de traitement d'images permettant la création d'animations en images de synthèse, d'images en 2D et 3D et de trucages numériques. Ses clients sont l'industrie cinématographique, l'industrie du multimédia et la production audiovisuelle. Un bel exemple de réussite pour une technologie issue de la recherche en sciences du numérique !

MODELISER / SIMULER

Des codes TRÈS SECRETS

ON PEUT CASSER N'IMPORTE QUELLE CLÉ, TROUVER N'IMPORTE QUEL MOT DE PASSE. SIMPLE QUESTION DE TECHNIQUE ET DE PUISSANCE DE CALCUL. DES CHERCHEURS ESSAIENT DE COMPLIQUER L'AFFAIRE...

Billets de trains, alimentation, DVD... Désormais, tout s'achète sur Internet. Les systèmes qui permettent de confier sans inquiétude son numéro de carte bleue en ligne font appel à la cryptologie, la science du chiffrement. En gros, les codes secrets. Emmanuel Thomé en est un spécialiste. Jeune chercheur, il travaille à Nancy dans l'équipe Spaces de l'INRIA, qui regroupe plusieurs mathématiciens autour d'un projet dont le nom signifie «Systèmes polynominaux, arithmétiques, calculs efficaces et sûrs». «Nous sommes une équipe de mathéux. Nous travaillons sur des mathématiques qui ont des applications dans la robotique, l'aviation ou encore la cryptanalyse, les systèmes de cryptologie. Mais nos travaux ne sont pas guidés par l'applicabilité, ils restent très fondamentaux.»

Les huit chercheurs de l'équipe ont l'habitude des grands nombres. «Le fait de savoir travailler sur de grands nombres permet de résoudre des systèmes d'équations très complexes, comme la trajectoire d'un robot. L'évolution des mathématiques suit celle des ordinateurs et de la puissance de calcul. Nous flirtons avec les limites de la technologie. J'ai récemment fait un calcul avec un fichier temporaire de 170 Go (l'équivalent de plus de 240 CD-Roms, ndr!), une taille que l'on ne peut charger en mémoire vive. Il faut donc ruser pour exploiter au mieux la machine.»

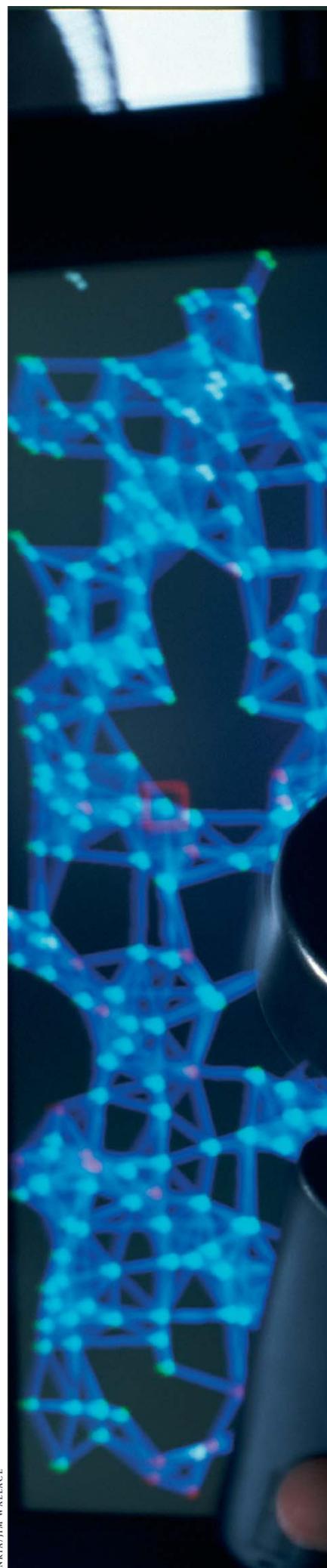
En cryptologie, la technologie impose en effet une taille maximale de données traitées : on ne peut

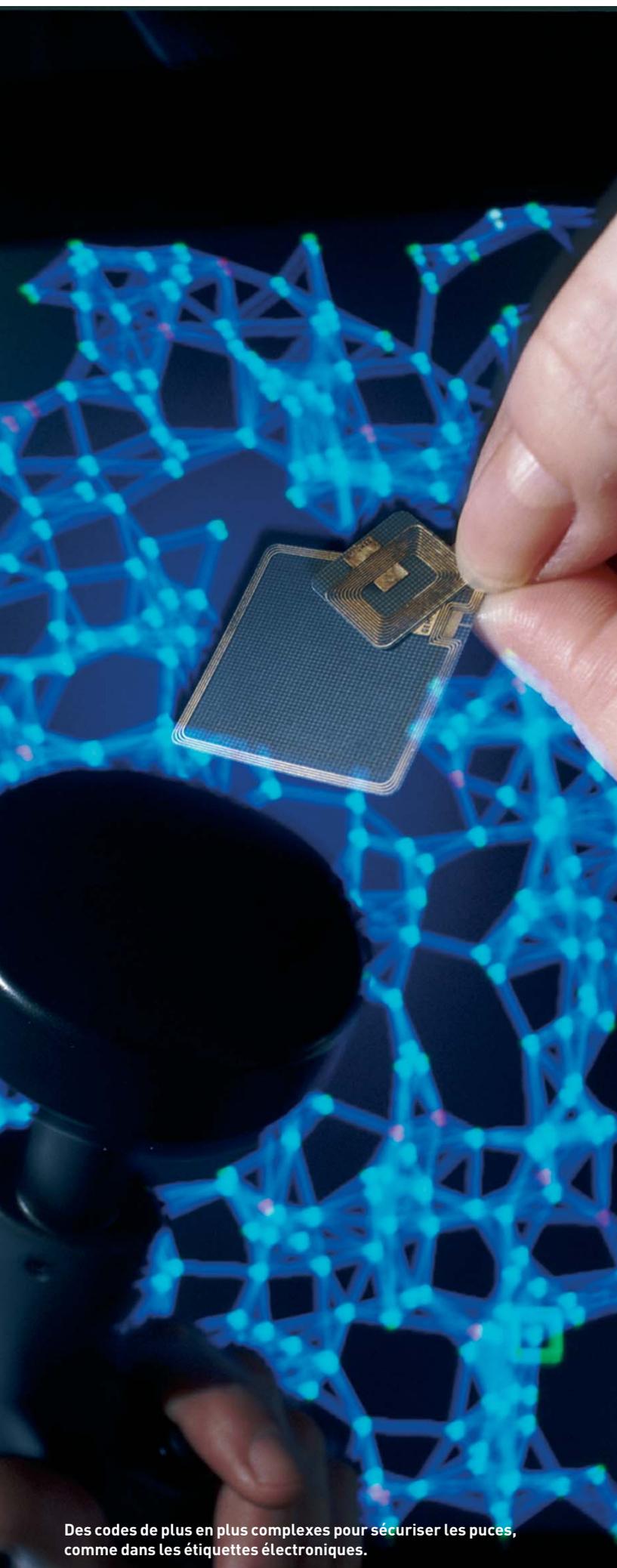
pas faire tenir plus d'une certaine quantité de données sur un ordinateur, encore moins sur une puce. Par exemple pour RSA, un algorithme souvent utilisé pour sécuriser les transactions sur les sites de commerce électronique, la taille de la clé de chiffrement est de 1024 bits, soit 128 octets, ce qui correspond à un nombre à 300 chiffres décimaux (un nombre de l'ordre du milliard possède neuf chiffres décimaux). «On sait qu'une machine à 200 millions de dollars serait capable de casser une clé RSA en un an de calcul, dit Emmanuel Thomé. Nous travaillons sur de nouveaux systèmes de déchiffrement, plus sûrs et surtout plus rapides.»

DES ARRONDIS BIEN AU CARRÉ

Les «cryptosystèmes» servent à crypter des données sur un réseau pour éviter qu'elles puissent être espionnées, mais on les trouve aussi dans les cartes à puce type carte bancaire, carte d'accès ou encore carte téléphonique. «Les objets de la vie de tous les jours qui embarquent de l'électronique et qui utilisent des cryptosystèmes, comme les assistants personnels ou les téléphones portables, sont soumis à une forte contrainte en termes de ressources : il faut économiser au maximum les batteries et éviter que cela chauffe. Notre but est de développer des systèmes plus efficaces, plus sûrs, et les moins chers possible.»

L'équipe développe également des outils mathématiques utilisés pour certains calculs complexes comme les nombres réels (nombres à virgule) avec un nombre arbitraire de





Des codes de plus en plus complexes pour sécuriser les puces, comme dans les étiquettes électroniques.

La télémédecine au service des patients

Les reins débarrassent le sang de ses déchets, sauf chez les personnes atteintes d'insuffisance rénale chronique. Ces malades sont soit hospitalisés, soit traités par dialyse péritonéale. Ils peuvent alors rester chez eux, mais le traitement est contraignant et entraîne des risques d'accident. Afin de réduire ces risques, la start-up Diatélic propose un système de télémédecine basé sur les technologies développées au Loria*. Les patients relèvent leurs paramètres médicaux (tension, volume et nature des poches de dialyse...) et les envoient à leur médecin grâce à une connexion à une base de données. Le système analyse ces chiffres et peut directement alerter le médecin en cas de problème. Le système est en cours de déploiement à grande échelle en Lorraine. Une première mondiale.

* Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications, qui regroupe des chercheurs du CNRS, de l'INRIA et des universités de Nancy.

chiffres après la virgule. «Toute la difficulté est de garantir un arrondi juste, explique Emmanuel Thomé. C'est quelque chose d'extrêmement important. Des erreurs de calcul ont, par le passé, coûté des vies humaines. Un exemple connu est celui d'un missile irakien qui a touché une base américaine parce que le missile antimissile était parti quelques fractions de seconde trop tôt à cause d'une erreur d'arrondi. C'est en considérant ce genre d'incident que l'on se rend compte de l'utilité de nos recherches.»

CHERCHEURS EN RÉSEAU

Emmanuel Thomé décrit son domaine comme animé par «au total à peine quelques centaines de chercheurs. Nous formons des groupes de gens, aux quatre coins de la planète, qui travaillent sur les mêmes sujets, se connaissent et se rencontrent.» Quant à savoir si son métier lui plaît... «J'ai toujours aimé faire des maths et j'ai toujours été curieux des technologies. Cet environnement mathématique et technologique me plaît, c'est très exaltant.» La prochaine fois que vous achetez en ligne, pensez à lui et aux codes secrets que vous utiliserez sans même le savoir...

FV

DES réseaux à la carte

PRÉVOIR UNE IRRUPTION VOLCANIQUE AVEC DES CAPTEURS POSÉS SUR LE FLANC DU VOLCAN, SAVOIR QUELS PRODUITS SONT EN STOCK EN LISANT LEURS ÉTIQUETTES RADIO, COMMUNIQUER SANS PASSER PAR UNE ANTENNE RELAIS... TOUT CELA GRÂCE À DES RÉSEAUX AUTONOMES ET EFFICACES ? POSSIBLE, DISENT LES SCIENTIFIQUES.

Et si des capteurs répartis sur la surface de l'océan signalaient automatiquement toute variation anormale du niveau de la mer ? Les tsunamis n'échapperaient plus au contrôle humain. Imaginez un système identique à la surface des volcans, afin de prévoir les éruptions. Le savoir pourrait progresser. Ce sont quelques-unes des applications que l'on peut envisager grâce aux Pops (petits objets portables sécurisés).

David Simplot-Ryl dirige l'équipe Pops de l'INRIA. Dans son bureau, sur le campus de l'université scientifique de Lille, trois écrans lui font face. «Ça fait Matrix», plaisante-t-il, en précisant que c'est uniquement parce qu'il «transfère des données sur un ordinateur portable». Sur l'un des écrans tourne une simulation de réseau de type Ad hoc. «C'est une idée très séduisante de réseau sans opérateur», explique David Simplot-Ryl. Pas de serveur central, mais un relais entre utilisateurs. «On pourrait, par exemple, distribuer un PDA (*assistant personnel de type Palm, ndlr*) à chaque étudiant sur le campus, et on ferait transiter de la voix de l'un à l'autre, jusqu'au destinataire, sans passer par aucune antenne relais.»

Sur son écran, on distingue des points reliés entre eux. Certains sont bleus, d'autres rouges. «Ce sont ceux qui n'ont plus de batterie, car ils sont situés au centre et supportent la majorité des communications, donc ils consomment plus. Nous travaillons notamment à répartir la charge pour éviter

ce problème.» La consommation d'énergie est l'une des trois principales contraintes créées par la petite taille des Pops, les deux autres étant la mémoire et la puissance de calcul.

DES PUCES PLUS SAVANTES

Le travail de l'équipe est de permettre d'exploiter au mieux ces capacités limitées. «Les cartes à puces contiennent 27 mm² de silicium – c'est à peu près 50 fois plus petit qu'un processeur d'ordinateur – et les étiquettes électroniques à peine 3 mm² – soit 500 fois moins ! Les programmer pour les utiliser au mieux demande une grande expertise. Nous cherchons à fournir des logiciels de base et des outils aux programmeurs qui travaillent dessus.»

Parmi les défis à relever : la communication sans fil, avec le développement de systèmes d'échange de données pouvant s'adapter à des environnements différents. Par exemple à très haute température, près d'un volcan. Mais il faut aussi prendre en compte le type de données à transmettre, la nécessité de les obtenir en temps réel ou pas, à plus ou moins longue distance, etc. Il faut également optimiser la gestion de l'espace mémoire en développant des algorithmes adaptés : «Windows, par exemple, utilise près de 200 Mo au démarrage, explique David Simplot-Ryl. Ce n'est pas adaptable aux petits objets, il faut utiliser d'autres systèmes.»

Le dernier «verrou» est celui de l'efficacité : «Quand votre téléphone portable met cinq secondes à dé-



INRIA/JIM WALLACE

marrer, c'est parce que la carte à puce est lente. Or ce n'est pas parce qu'on est petit qu'on doit être lent ! Nous travaillons à des langages intermédiaires entre le matériel et le langage des programmeurs, pour générer des instructions plus efficaces.» C'est pourquoi l'équipe Pops regroupe une vingtaine de personnes aux compétences complémentaires. «Certains sont spécialistes en matériel, d'autres en protocoles de communication ou encore en logiciels de base... Ceux qui font la recherche sont avant tout les doctorants.»

OUVRIRE LE MARCHÉ AUX PUCES

À l'INRIA, l'équipe du projet Pops collabore beaucoup avec les industriels, qui viennent lui soumettre des problèmes à résoudre. «Cela nous permet de centrer notre recherche sur les applications, même si, en parallèle, nous



L'informatique portable (petits objets portables sécurisés) : ordinateur portable, PDA... Le travail du projet Pops.

faisons de la recherche fondamentale. Au final, on se rend compte que cela converge», se félicite David Simplot-Ryl.

L'une des plus grandes fiertés du jeune patron de l'équipe est sans doute la mise au point d'un «protocole d'anticollision» pour les étiquettes électroniques, ces petites puces qui font leur apparition sur le marché. Remplaçant les étiquettes de prix traditionnelles, elles peuvent être lues à distance car elles transmettent leurs informations sans fil, par la seule voie des airs. Cela permet, par exemple, de retrouver un animal de compagnie perdu, de classer très facilement les ouvrages dans les bibliothèques, de suivre les bagages dans les aéroports ou encore de mieux gérer les stocks en magasins (on peut savoir immédiatement quand le produit est passé en caisse et n'est plus en rayon)...

«L'idée est apparue en 1998. Nous avons déposé le brevet en 1999, et les premières véritables applications arrivent aujourd'hui. Un magasin l'a mis en test non loin d'ici. Je vais y courir ce week-end, j'ai hâte de voir ça!» David Simplot-Ryl et ses collègues ont réussi à mettre au point une technologie permettant une lecture très rapide des informations contenues dans un grand nombre d'étiquettes électroniques : jusqu'à 200 à la seconde. «Un succès comme celui-là, on en a un tous les cinq ans», relativise le chercheur.

Pour connaître d'autres succès, son objectif est de mettre désormais à disposition en open-source (c'est-à-dire avec le code du programme accessible à tout le monde) une plate-forme de référence, sorte de boîte à outils pour les programmeurs et les fabricants de puces. «Cette plate-forme regrou-

perait toutes les dernières avancées en termes de gestion de mémoire, d'efficacité, de communication, afin de leur permettre de réaliser au mieux leurs projets.»

LES POPS BIENTÔT AU TOP

Qu'il s'agisse des cartes à puces, des étiquettes électroniques ou des capteurs autonomes, l'utilisation des Pops est en plein essor. «Ce sont les performances réalisées dans la miniaturisation qui ont permis cela, explique David Simplot-Ryl. Faire du pair à pair a du sens, contrairement aux réseaux centralisés autour d'un chef d'orchestre, une station de base. On le voit bien avec la téléphonie mobile : aujourd'hui, on a atteint les limites de la technologie GSM, le réseau est à saturation. Pour moi, l'avenir se trouve dans les réseaux Ad hoc.»

FV

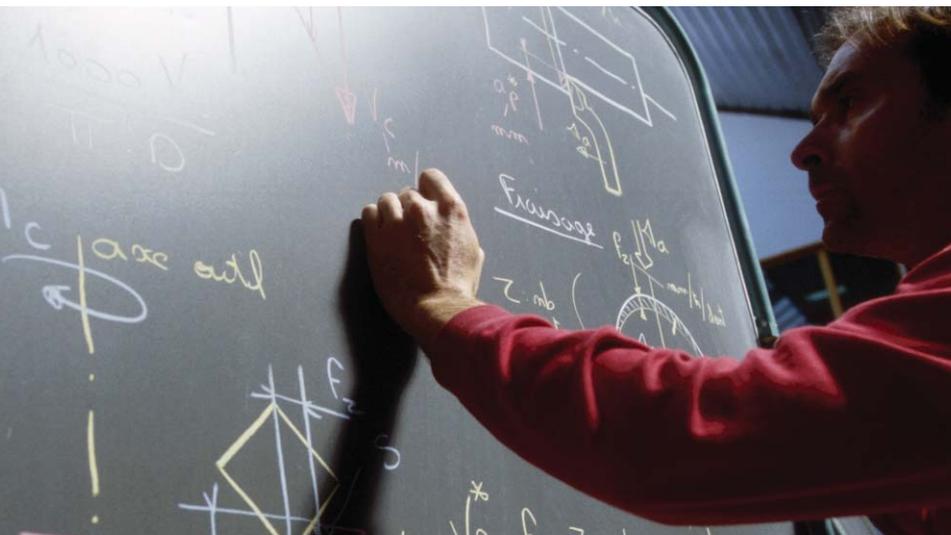


Études scientifiques : COMMENT ÇA MARCHE ?

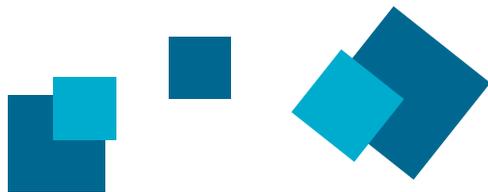
**FILIÈRE PAR FILIÈRE,
PHOSPHORE FAIT LE POINT SUR
LES ÉTUDES DE SCIENCE.
CELLES QUI PROMETTENT... ET
CELLES QU'IL FAUT ÉVITER.**

Pour réussir dans les sciences du numérique, il faut suivre une filière maths, physique ou informatique. Un parcours universitaire classique et brillant (licence, maîtrise, doctorat, post-doc...) ou une école d'ingénieurs. Mais ces voies royales ne sont pas les seules qui mènent à la recherche scientifique. Le numérique a besoin de biologistes, de physiciens, de chimistes, de compétences variées... Et de techniciens. BTS et DUT permettent d'obtenir avec succès ce type de postes, grâce à un enseignement pratique. Ces filières courtes voient leur nombre d'étudiants augmenter chaque année. Ils trouvent facilement leur place sur le marché de l'emploi, les plus demandés étant ceux qui réalisent une année supplémentaire et se spécialisent avec une licence professionnelle. Les élèves de fac qui ne sont pas

major de promo doivent prouver leur débrouillardise en se frottant à la réalité des entreprises, ou s'offrir une «double compétence» qui différencie un cursus. Les entreprises s'arrachent les spécialistes en propriété industrielle et en affaires réglementaires : pourquoi ne pas opter pour un troisième cycle de droit après une maîtrise de sciences ? Dans des labos qui travaillent sur des sujets de plus en plus complexes, maîtriser deux matières (les maths et la bio, par exemple) est un vrai plus. Préférer les chemins de traverse, rester curieux, ne pas avoir de tabou, du style «la recherche fondamentale, c'est formidable, la recherche appliquée, c'est sale»... Ne pas se cantonner à une spécialité, voyager et parler anglais... Vous voilà prêt à vous lancer dans l'aventure scientifique.



JEAN-FRANÇOIS MARIN/EDITINGSERVER.COM



MATHÉMATIQUES

Pour les férus de maths fondamentales, de nombreux postes d'enseignants se profilent actuellement. Les maths appliquées intéressent, elles, les secteurs de pointe... à condition d'avoir un double profil.

OBJECTIF BAC +4/5

À L'UNIVERSITÉ

• **LES LICENCES** : Plusieurs licences à dominante mathématique coexistent. Pour les maths pures, l'algèbre et la géométrie, il faudra opter pour une mention mathématiques, idéale pour préparer le Capes. Ceux qui veulent se tourner vers la programmation pourront choisir Mathématiques et informatique (aussi appelé Mias, Mathématique et informatique appliquées aux sciences). Les Mathématiques appliquées aux sciences sociales (Mass), permettent d'acquies une double compétence : maths et économie, maths et psychologie, socio ou gestion.

• **LES IUP (instituts universitaires professionnalisés)** : il en existe en génie mathématique et informatique ou génie électrique et informatique industrielle.

• LES MASTERS

Les masters pro appliquent les maths à l'informatique, aux sciences sociales ou à la physique, par des mentions telles que Cryptologie et sécurité, Informatique, représentation, Modélisation et gestion sociale des risques, Ingénierie des données en sciences sociales, Filtrage et traitement des données...

Les masters recherche : mathématiques pures, appliquées, recherche opérationnelle et combinatoire... Toute la science mathématique peut être explorée !

EN ÉCOLE

• LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS

Les options de maths appliquées se dé-

veloppent dans les écoles d'ingénieurs, en particulier au Cust de Clermont-Ferrand, à l'Enseeiht de Toulouse, à l'Enserg, à l'Ensimag de Grenoble...

• LES ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES

Accessibles après une classe prépa (MP, PC, PSI), elles sont la voie royale pour l'agrégation de maths. L'entrée est sélective : 5% des candidats sont admis.

✓ Plus d'infos

- *L'âge du capitaine*, de Stella Baruk, collection Point Sciences Seuil, 1998, 7,95 €.
- *Maths à l'université : quels débouchés ?*, collection Infosup de l'Onisep, 2001, 4,88 €.
- La Société de mathématiques appliquées : <http://smai.emath.fr>.
- La Société mathématique de France : <http://smf.emath.fr>.

Les conseils de Phosphore

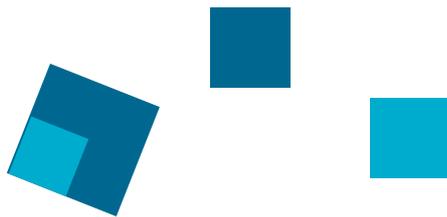
- **Accrochez-vous.** Les premières années de fac sont souvent dures à avaler et l'encadrement des étudiants y est bien plus lâche qu'au lycée. Ne commencez pas à remettre à demain ce que vous devez faire aujourd'hui. L'échec serait alors assuré.
- **Travaillez les langues.** Si les sciences pures vous passionnent, les langues vous seront indispensables : chercheur, il vous faudra être capable de publier en anglais, employé d'une entreprise, les langues dynamiseront votre carrière...

Les débouchés

Les entreprises des secteurs de pointe raffolent des matheux pour faire des prévisions, de la finance, des stats, etc. Elles fournissent l'essentiel des débouchés aux mathématiciens. À condition d'avoir un haut niveau de formation, voire un double profil école d'ingénieurs et master d'université. Les mathématiciens purs se dirigent plutôt vers l'enseignement, prometteur dans le futur : 1 310 postes ont été proposés au Capes en 2005 et 388 postes à l'agrégation.

Focus sur... la filière prépa Maths Physique (MP)

Pour les fans de sciences «dures» qui n'ont pas peur du travail, la prépa Maths Physique est la voie royale qui mène aux écoles d'ingénieurs les plus prestigieuses. Attention : le programme, concentré sur ces deux matières, est très costaud : 12 heures de maths hebdomadaires, et 7 ou 8 heures de physique ! Le reste des enseignements est éparpillé entre les sciences de l'ingénieur, la chimie, l'informatique, etc. Le cursus, particulièrement compétitif, opérera une sélection naturelle parmi les élèves, et seuls les meilleurs arriveront jusqu'aux concours. Les autres pourront retourner vers l'université, avec une bonne méthode de travail en poche.



PHYSIQUE

Université ou école, les cursus sont nombreux de bac + 2 à bac + 8. BTS et DUT ont aujourd'hui leur carte à jouer. Côté fac, tablez au moins sur un bac + 5 pour décrocher un emploi.

OBJECTIF BAC +2/3

EN STS (section de technicien supérieur)

- **LE BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE** offre une formation de technicien supérieur spécialisée dans les mesures (pression, température, débit, etc.)
- **LE BTS BIOPHYSICIEN DE LABORATOIRE** est dispensé par une seule école (l'École technique supérieure de laboratoire) et s'intéresse à tous les matériaux d'origine biologique.

EN IUT (institut universitaire de technologie)

- **LE DUT MESURES PHYSIQUES** offre deux options : Mesure et contrôle physico-chimique et Techniques instrumentales.

À L'UNIVERSITÉ

- **LES LICENCES PRO** offrent des spécialités principalement orientées vers la production industrielle : Gestion de la production industrielle, Génie des matériaux, Énergie et génie climatique, etc.

OBJECTIF BAC +4/5

À L'UNIVERSITÉ

- **LES LICENCES** : Chimie, Physique, Physique-chimie, Biochimie ou encore Phy-

sique et applications : toutes ces mentions ouvrent une poursuite d'études en masters de physique-chimie.

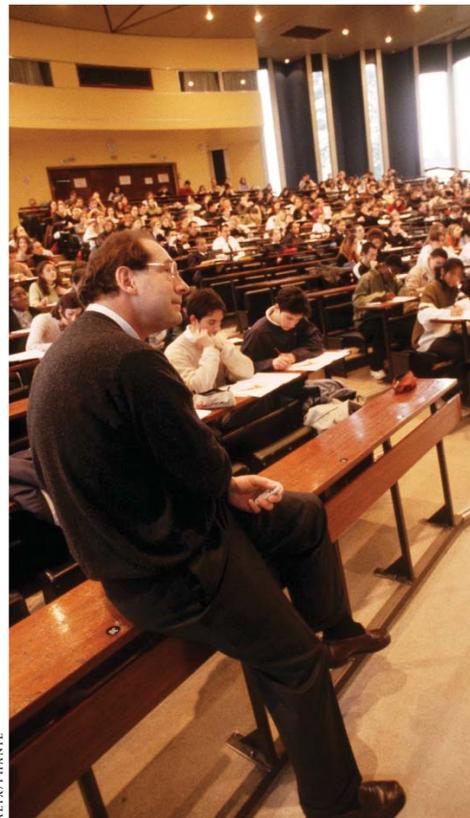
- **LES IUP** : On peut rejoindre un IUP Génie des systèmes industriels, Génie électrique et informatique industrielle.
- **LES MASTERS**
- **Les masters pro** concernent l'énergie, le génie des matériaux, l'acoustique, l'optique, etc.
- **Les masters recherche** approfondiront l'astrophysique, la physique des matériaux, la physique subatomique, etc.

EN ÉCOLE D'INGÉNIEURS

- Certaines écoles proposent une filière complète en physique (Cust de Clermont-Ferrand, Ensieg, les ENSCP...) ou en chimie (CPE Lyon, les Insa...).
- D'autres, plus généralistes, proposent des options les deux dernières années, voire la dernière année (les Mines de Paris, d'Alès ou de Saint-Étienne, Centrale Paris, Lyon, Lille, Nantes...).

✓ Plus d'infos

- *Le Temps existe-t-il ?*, d'Étienne Klein, collection les Petites pommes du savoir, Pommier éditeur, 2002, 4 €.
- *Les métiers de l'énergie*, collection Parcours de l'Onisep, 2003, 12 €.
- *Les Métiers de la chimie et de la biologie*, Studyrma/Jeunes Éditions, 2004, 10,95 €.



AUXIPHANIE

Les conseils de Phosphore

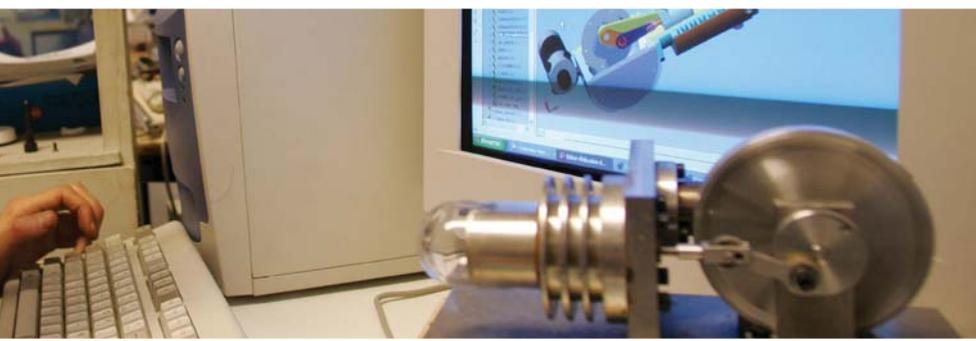
- **Misez sur les doubles compétences.** Un diplôme en commerce ajouté à un titre d'ingénieur rendra votre profil très complet pour les entreprises.
- **Jouez la carte des applications.** À moins de souhaiter devenir profs, le meilleur calcul est de cibler les secteurs d'applications de la physique comme l'optique, l'électronique, la mécanique...

Les débouchés

Les secteurs de la physique et de l'énergie recrutent à un haut niveau. Ils placent en effet les physiciens au cœur des avancées technologiques. Dans l'enseignement, le nombre de places a sensiblement augmenté en 2005 : 830 postes étaient proposés au Capes 2005 contre 663 en 2004.

Focus sur... les écoles d'ingénieurs à prépa intégrée.

Le bac en poche, plutôt que d'attendre deux ans en prépa pour passer les concours, il est possible d'avancer cette échéance. De nombreuses écoles d'ingénieurs à cycle préparatoire intégré (CPI) recrutent après le bac. Elles proposent des cursus de cinq ans, répartis entre deux années préparatoires (dont le programme se rapproche des prépas classiques) et trois années de cycle ingénieur. Elles ont toutes leur spécialité (il y en a beaucoup en physique-chimie). Parmi elles, les cinq instituts nationaux des sciences appliquées (Insa) ont très bonne réputation.



RICHARD DAMORET/REA

INFORMATIQUE

Les bac + 2 comme les bac + 5 sont appréciés des recruteurs. Les nouveaux informaticiens doivent faire preuve de qualités relationnelles et bien connaître le monde de l'entreprise.

OBJECTIF BAC +2/3

Il faut d'abord passer un bac S, STI, ou STT Informatique et gestion.

EN STS

• **LE BTS INFORMATIQUE DE GESTION** apporte une vraie culture technique, il est orienté vers la gestion de l'entreprise.

• **LE BTS INFORMATIQUE INDUSTRIELLE** est une autre possibilité. Il est, lui, orienté vers la production industrielle.

EN IUT

• **LE DUT INFORMATIQUE** est conseillé.

• **LES DUT GÉNIE ÉLECTRIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE** ou un DUT Génie des télécommunications et réseaux sont aussi possibles selon les domaines qui vous intéressent.

À L'UNIVERSITÉ

• **LES LICENCES PRO** proposent de nombreuses spécialités en réseaux et télécommunication, commerce électronique ou nouvelles technologies de l'information.

OBJECTIF BAC +4/5

À L'UNIVERSITÉ

• **LES LICENCES** : une licence mention Informatique ou Mathématiques et informatique constitue la base du cursus.

• **LES IUP** : on peut également suivre un IUP en Miage, en génie mathématique et informatique ou encore en génie électrique et informatique industrielle.

• **LES MST (maîtrise de sciences et techniques)** : en informatique et statistiques appliquées aux sciences de l'homme ou en méthodes informatiques appliquées à la gestion... Elles s'adressent aux bac + 2.

LES MASTERS

• **Les masters pro** envisagent tous les aspects de l'informatique sous l'angle de leurs applications professionnelles.

• **Les masters recherche** explorent l'informatique fondamentale, les modèles et les algorithmes, la cryptologie...

EN ÉCOLES D'INGÉNIEURS

• **Les généralistes** : une trentaine d'écoles offrent une spécialisation en 2^e ou 3^e année : l'École centrale, les écoles des Mines, Supélec, Télécoms...

• **Les spécialisées** : une quarantaine d'écoles proposent une filière complète dans un domaine précis, comme le génie informatique (UTBM, UTC), la modélisation et les maths appliquées (Enseeiht, Ensimag...), l'informatique industrielle (Esia, ENI...).

✓ Plus d'infos

- *Histoire des codes secrets*, de Simon Singh, au livre de Poche, 2001, 6, 10 €.
- *Les Métiers de l'informatique*, Studyrama/Jeunes Éditions, 2003, 10,95 €.
- La chambre syndicale des sociétés de service et d'ingénierie (Syntec) : www.syntec-informatique.fr.

Les métiers de l'INRIA

Et à l'INRIA, qui embauchent-ils ? Sur le site de l'institut de recherche, une rubrique «recrutement» permet de faire le point sur les places disponibles, le type de profils recherchés. En plus, des dossiers thématiques et les pages des chercheurs permettent d'en savoir plus sur les projets en cours et les applications futures. www.inria.fr

Les conseils de Phosphore

- Ouvrez-vous aux autres ! Gérer une équipe, répondre aux attentes des clients : ces tâches des informaticiens modernes nécessitent de bonnes qualités relationnelles !

Les débouchés

Bonne nouvelle : la reprise se confirme dans ce secteur qui pendant quelques années a souffert de l'éclatement de la «bulle internet». Dans les banques et assurances, dans l'industrie, les télécoms et le secteur tertiaire, des postes se créent. Ces entreprises cherchent des spécialistes pour améliorer leur fonctionnement et sécuriser les données informatiques, ou pour assurer l'assistance technique. Du coup, elles recrutent, notamment des jeunes diplômés. Et cela devrait continuer : les employeurs redoutent un manque d'ingénieurs informaticiens vers 2005-2008.

Focus sur... la filière Miage (Méthodes informatique appliquées à la gestion de l'entreprise)

Vieille de plus de 30 ans, la filière Miage applique l'informatique à la gestion de l'entreprise. Ses enseignements se partagent entre l'informatique, les mathématiques de la décision, les technologies de l'information d'une part et la gestion et les techniques de communication d'autre part. Le cursus s'intègre en année de Licence 3 pour une durée de trois ans, il est sanctionné par un master. Ses débouchés se situent principalement dans les services informatiques des organisations (entreprises, administrations, etc). Les diplômés Miage sont très recherchés pour leur double compétence en informatique et en gestion.

ILS ONT CHOISI LES études de sciences et l'INRIA

«Je n'exclus pas d'aller travailler en entreprise»

MAJA D'HONDT

Post-doctorante

Elle habite à Bruxelles et prend tous les jours le train pour venir au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille. «J'ai un laptop, je travaille dans le train, explique Maja D'Hondt avec un petit accent flamand. En plus, je ne viens pas tous les jours. Avec Internet on peut travailler de chez soi. Mais il est important d'être présent physiquement le plus souvent possible.»

À tout juste 30 ans, cette jeune chercheuse est post-doctorante à l'INRIA, dans le Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (Lifl). Lorsque'elle avait 17 ans, Maja aimait les sciences, «surtout les maths, mais je redoutais le côté trop théorique» et voulait s'orienter vers un domaine «plus appliqué». C'est ce qui l'a menée à l'informatique à l'université.

«Ce qui est frappant quand on parle d'informatique, c'est que les gens pensent aux garçons qui passent des heures à jouer en réseaux, à ceux qui sont forts pour installer Windows. Mais l'informatique n'est pas ça du tout ! C'est une science, de la théorie, de la programmation.» La programmation, justement, lui plaît beaucoup. «C'est une manière de résoudre des problèmes qui demande de la créativité. Il faut être astucieux, car il existe toujours plusieurs solutions.

Le challenge, c'est de trouver la meilleure, et quand cela fonctionne, on est content !» Son «licenciaat» en informatique en poche (l'équivalent d'un master), la jeune étudiante à l'université libre flamande de Bruxelles (VUB) a déjà des propositions d'embauche. Mais plutôt que d'aller travailler en entreprise, elle préfère s'orienter vers la recherche qui «offre plus de liberté et d'indépendance» tout en souhaitant toujours conserver une dimension «appliquée».

Son domaine sera celui de la programmation orientée aspects, un domaine en plein essor qui possède de nombreuses applications en entreprise. «Pour simplifier, cela permet de définir des "règles métiers" et de transposer informatiquement des contraintes de la vie réelle, par exemple pour un site d'e-commerce.» Elle effectue sur ce sujet sa thèse de doctorat qu'elle soutient en 2004.

C'est notamment en collaborant à un réseau européen sur le développement logiciel orienté aspects, auquel participe l'INRIA, que Maja D'Hondt prend contact avec des scientifiques de l'institut français. «L'INRIA est très connu à l'étranger. Il possède une très bonne réputation.» Après plusieurs années au même endroit, la jeune docteur souhaite découvrir de nouveaux

collègues et de nouvelles façons de travailler. Elle place l'INRIA en tête de liste pour poursuivre un post-doctorat débuté à Bruxelles. Son objectif ? Devenir chercheur permanent. «Ce statut n'existe pas en Belgique, où il faut devenir professeur pour faire de la recherche. Or, dans le système belge, il y a un grand fossé à franchir pour être professeur, ce qui n'est pas le cas ici où c'est beaucoup plus progressif.» Maja D'Hondt n'exclue pas pour autant d'aller travailler en entreprise, voire de créer sa propre société. D'ailleurs, elle commence déjà à prospecter.



«J'avais envie de travailler sans la pression de l'application directe»

DAVID REY

Ingénieur de recherche (développement et expérimentation)

Au lycée, même s'il était bon en maths et en physique, David Rey aimait avant tout la musique. Son bac scientifique en poche, il choisit pourtant de s'inscrire en prépa. «Je n'étais pas trop mal classé et c'est ce qui pouvait m'ouvrir le plus de portes». Le change-





MAÏJA D'HONDT



DAVID REY



JING-REBECCA LI

PHOTOS DR

ment est radical : «La différence de niveau était énorme, c'est très exigeant. En plus, pour la première fois, je ne vivais plus chez mes parents. C'était très dur.»

David rêve de devenir pilote, voire astronaute... Petit à petit naît l'envie d'être scientifique dans l'astronomie ou l'aéronautique. Son succès à un concours dès la première année précipite les choses : il est reçu à l'Isima (Institut supérieur d'informatique, de modélisation et des applications), une école d'ingénieurs à Clermont-Ferrand. L'informatique est un domaine que David connaît par son père, qui programme, et par une option prise en T^h. «Mais je n'ai eu mon premier PC qu'en deuxième année d'école d'ingénieurs» précise-t-il.

Outre les mathématiques et la physique, matières principales, et l'informatique pure, les cours à l'Isima sont nombreux et variés. «On apprend à aborder des problèmes concrets et à aller chercher l'information pour les résoudre» précise David. Rapidement, le jeune homme est attiré par le secteur public. «Le privé ne me convenait pas, je sentais quelque chose qui s'éloignait de mes idéaux. J'avais envie de travailler sans la pression de l'application directe.»

Il trouve sa «liberté intellectuelle» lors d'un stage au CNRS dans la physique corpusculaire et entame, parallèlement à sa troisième année d'ingénieur, un DEA d'informatique avec une option Imagerie médicale, qu'il poursuivra par une thèse à l'INRIA. «Un environnement formidable» s'enthousiasme-t-il.

Il effectue ensuite un post-doctorat industriel dans une petite entreprise, hésite entre l'enseignement et la recherche et présente les concours de recrutement des scientifiques dans la fonction publique. C'est ainsi qu'il est embauché fin 2003 en tant qu'ingénieur de recherche à l'INRIA. «Je travaille dans une petite équipe de sept personnes, qui est au service des autres, explique David Rey. Nous les aidons à développer des logiciels et à effectuer des expérimentations. En tant qu'ingénieur, mon rôle est de permettre aux chercheurs de travailler sur leurs recherches. Je leur apporte un soutien technique.» Il effectue des missions, de trois mois à un an, directement au sein des équipes ou depuis son bureau. «On passe beaucoup de temps devant la machine, à regarder ce qui se fait, chercher des informations. On fait aussi pas mal de développement, de l'écriture et de la modification de codes informatiques, des tests.»

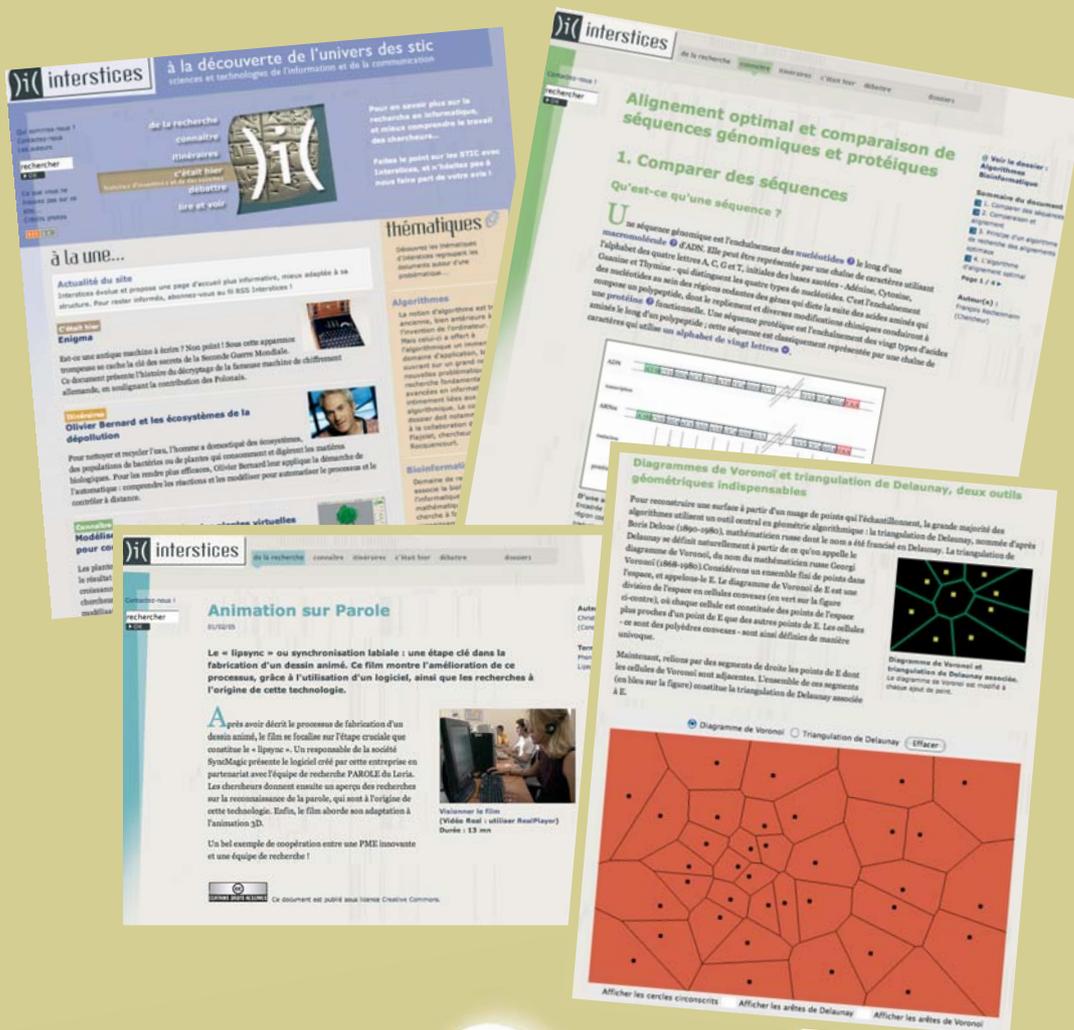
Pour David, la sécurité de l'emploi qu'offre le statut de fonctionnaire est «indéniable». Mais c'est avant tout le fait qu'il s'agisse d'un «travail de service public» qui «donne du sens». Quant à son conseil aux jeunes qui seraient attirés par des parcours similaires, il est très clair : «Tout en gardant l'esprit ouvert, quoi qu'il arrive, il faut vraiment bosser pour faire partie des meilleurs.» À bon entendeur...

«Posséder un esprit logique, être curieux et patient»

JING-REBECCA LI

Chercheur permanent

Jing-Rebecca Li a suivi des études universitaires aux États-Unis où elle est arrivée à 12 ans. «J'ai toujours aimé les maths et la physique. La manière d'aborder les problèmes et de les résoudre logiquement, étape par étape, est très naturelle pour moi», explique la jeune Chinoise. Venue en France avec son mari qui l'a «persuadée des excellentes perspectives en termes de travail et de cadre de vie», elle travaille au sein de l'équipe Ondes (modélisation et simulation de phénomènes de propagation d'ondes). «La majeure partie du temps, j'écris du code sur ordinateur. Puis je teste le programme pour confirmer ou réfuter nos idées et nos conjectures.» Elle donne aussi des cours dans une école d'ingénieurs. Pour elle, l'un des principaux intérêts du travail de scientifique est l'indépendance, «qu'il s'agisse de notre choix de recherche, de l'approche que l'on privilégie ou des horaires.» Pour suivre cette voie, il faut «posséder un esprit logique, être curieux et patient». Et évidemment être bon en maths !



Vous voulez en savoir plus sur LES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION (STIC), vous voulez découvrir ce qui se cache derrière des technologies que vous utilisez souvent sans y penser, vous voulez comprendre le travail des chercheurs... LE SITE INTERSTICES VOUS INVITE À LA DÉCOUVERTE.

Ce site, destiné à un large public, a été créé à l'initiative de l'INRIA et se développe en partenariat avec le département STIC du CNRS, les Universités et l'ASTI.

Découvrez les rubriques du site : **DE LA RECHERCHE, CONNAÎTRE, ITINÉRAIRES, C'ÉTAIT HIER, DÉBATTRE, LIRE ET VOIR ET LES THÉMATIQUES.**

Accédez aux contenus multimédias : des textes, mais aussi des photos, des vidéos, des animations interactives...

<http://interstices.info>