An aerial photograph of a microchip, showing a dense grid of small, square, multi-colored components (red, green, blue, yellow, purple) arranged in a regular pattern. The perspective is from above, looking down at the chip.

Campus

N° 101 décembre 2010-janvier 2011

LA SCIENCE «IN SILICO»

Chasse à l'or
dans les Rhodopes

Une «Nouvelle histoire du Japon»
balaie les idées reçues



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

Crotone, nouvelle terre promise des archéologues genevois



DR

Longtemps oubliée par les chercheurs, la cité calabraise de Crotone abrite de très nombreux vestiges de l'époque grecque. Un patrimoine dont l'exposition présentée cet automne à Uni Dufour par Lorenz Baumer, professeur ordinaire au Département des sciences de l'Antiquité, donne un avant-goût

L'exposition que vous présentez à Uni Dufour est consacrée à Crotone. Qu'est-ce qui fait l'intérêt de cette cité?

LORENZ BAUMER: Crotone est aujourd'hui une petite ville de 60 000 habitants qui ressemble à n'importe quelle autre cité de la région. Mais cela n'a pas toujours été le cas. Le site est en effet peuplé depuis le Néolithique et, au XIX^e siècle, la plupart des grandes familles romaines y possédaient encore un palais. La cité a connu son apogée à l'époque grecque, entre le VI^e et le V^e siècle avant J.-C. C'était alors une des villes les plus importantes du monde grec.

Pourquoi?

Crotone constituait une étape importante dans les circuits commerciaux qui reliaient durant l'Antiquité la Grèce et l'Italie, comme en attestent les nombreuses épaves qui gisent le long de ses côtes. Crotone a également abrité plusieurs personnages célèbres: le général Milon, qui a fait l'objet de maintes représentations picturales ou statuariques à l'époque moderne, mais aussi Pythagore, qui avait établi dans cette ville son école philosophique. La cité était également réputée pour la qualité de ses athlètes, ainsi que pour la grande beauté de ses femmes qui, selon certains auteurs, était sans égale.

Que reste-t-il de cette grandeur?

Le nom de Crotone a longtemps été oublié par les archéologues. Si bien qu'aujourd'hui la ville moderne recouvre presque totalement la cité antique. A l'exception d'un quartier, qui n'a pas encore été étudié, il ne reste donc plus de vestiges apparents dans cette zone. L'arrière-pays abrite en revanche un certain nombre de sites encore visibles ou facilement accessibles. Parmi ceux-ci figurent plusieurs sanctuaires, dont un, celui de Vigna Nuova, est unique.

Dans quelle mesure?

Le fait que des menottes et des morceaux de chaînes y ont été retrouvés laisse penser que ce sanctuaire était consacré aux prisonniers de guerre libérés. Si cette interprétation se confirme, il s'agirait d'une première sur le plan archéologique. Un de nos objectifs est donc de procéder, dès l'an prochain, à une prospection afin d'identifier l'ensemble du site.

Comment en êtes-vous arrivé à vous intéresser à cette région?

La collaboration avec Crotone a commencé avec la stèle d'Héra qui est présentée à Uni Dufour. Des collègues m'ont montré une reproduction de cette pièce lors d'un séjour à Rome. Ils pensaient qu'il s'agissait d'une stèle funéraire, interprétation que j'ai contestée. On m'a alors proposé de venir juger sur pièce et j'ai ainsi pu déterminer qu'il s'agissait d'une stèle cultuelle dont il n'existe qu'un autre exemple similaire au monde. En arrivant sur place, le responsable de la surintendance locale m'a présenté quantité d'autres pièces. J'ai eu l'impression de me retrouver dans une caverne d'Ali Baba. J'ai alors compris l'importance de cette région, dont je connaissais à peine le nom jusqu'alors. Depuis, notre collaboration n'a cessé de se développer.

D'où proviennent les pièces présentées dans le cadre de l'exposition à Uni Dufour?

Elles ont été retrouvées par le responsable local du Ministère des biens archéologiques au cours de fouilles de sauvetage effectuées dans la ville moderne à l'occasion de travaux d'aménagement ou de construction. Ce sont des œuvres d'art d'une qualité exceptionnelle et qui sont souvent uniques de par la finesse de leur facture ou leur rareté.

Quelles conséquences aurait le fait de pouvoir travailler sur le long terme à Crotone pour vos étudiants?

Les stages de fouilles archéologiques font partie du champ d'étude. Or, si l'Université reste partenaire des fouilles suisses en Grèce, elle n'est plus présente en Italie depuis la fin des travaux du professeur Descœudres à Pompéi. Une présence à Crotone permettrait d'y remédier. Par ailleurs, le premier mémoire traitant de Crotone vient d'être soumis. Une thèse sur les sculptures en pierre en Grande Grèce, qui parle notamment des sculptures de Crotone, dont de nombreux exemplaires n'ont jamais été publiés, est également en préparation. Et je dispose encore de matériel pour au moins quatre ou cinq sujets de thèse ou de mémoire.

La région est-elle susceptible d'intéresser des spécialistes d'autres disciplines?

Certainement. Le site de Cerenzia, par exemple, situé à une quarantaine de kilomètres de Crotone, a été continuellement habité entre le Néolithique et le XIX^e siècle. Il présente donc un intérêt évident du point de vue historique. Cette région, où la mer voisine avec des montagnes qui culminent à 1800 mètres d'altitude, constitue également un laboratoire idéal pour tout ce qui touche aux recherches sur les écosystèmes. Les questions qui restent à résoudre sont par ailleurs trop complexes pour être abordées par une seule spécialité. Genève, et c'est l'avantage d'une université réellement généraliste, dispose heureusement de toutes les compétences nécessaires. A nous maintenant de susciter l'intérêt de nos collègues.

Propos recueillis par Vincent Monnet

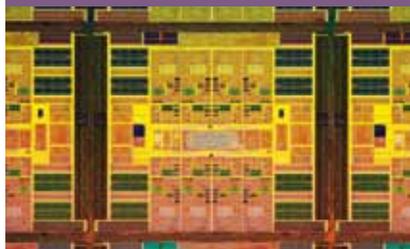
«*Ô dieux de Crotone!*» exposition de photographies archéologiques, Uni Dufour, 1^{er} octobre-22 décembre 2010. www.expo-crotone.com

RECHERCHE

- 4 **Traduction**
Avec une vingtaine d'albums à son actif, Nathalie Sinagra a fait de la traduction de bande dessinée une spécialité. Un exercice qui exige une parfaite connaissance de la langue et de la culture des pays concernés, de la méthode et de la rigueur, mais aussi de la créativité
- 6 **Géographie**
Frontière naturelle, creuset identitaire, ressource économique ou laboratoire du développement durable: depuis le XVIII^e siècle, le regard porté par les sociétés humaines sur la montagne n'a cessé d'évoluer
- 8 **Education**
Dans les pays en voie de développement, le nombre d'enfants scolarisés est en constante augmentation. Le modèle scolaire unique qui est en train de s'imposer tend toutefois à augmenter les inégalités sans garantir un enseignement de qualité
- 10 **Histoire**
Des origines à la récente crise économique, la «Nouvelle Histoire du Japon» que vient de signer Pierre-François Souyri propose de redécouvrir le passé complexe et profondément original de l'Empire du Soleil-Levant. Un récit érudit et captivant

PHOTO DE COUVERTURE: ISTOCK

12 – 27 DOSSIER LA SCIENCE «IN SILICO»



De plus en plus de chercheurs, y compris en sciences humaines, font appel aux grands calculateurs qui offrent une nouvelle approche de leur discipline

Les machines les plus puissantes du monde, qui remplissent des salles entières, ont dépassé il y a une année le seuil du petaflops, c'est-à-dire du million de milliards d'opérations par seconde

En plus d'un supercalculateur basé à l'EPFL, l'UNIGE dispose de nombreuses grappes d'ordinateurs. Petite visite en sciences pharmaceutiques, en biologie moléculaire, en climatologie, en astronomie et en physique des particules

RENDEZ-VOUS

- 30 **L'invitée**
Catherine Cesarsky, Haut-commissaire à l'énergie atomique en France et maîtresse des grands instruments scientifiques
- 32 **Extra-muros**
Un gisement aurifère des Rhodopes, dans le sud-est de la Bulgarie, a longtemps représenté une énigme pour les géologues du fait de sa localisation inhabituelle. Des chercheurs genevois proposent une explication
- 34 **Tête chercheuse**
François-Alphonse Forel a donné son nom à un institut universitaire et à une montagne du Groenland. Pionnier de l'étude des lacs, il fut également l'un des premiers à étudier systématiquement le mouvement des glaciers.
- 36 **A lire**
«Au cœur des émotions», par David Sander et Sophie Schwartz
«Introduction aux réseaux neuronaux», par Armand Savioz, Geneviève Leuba, Philippe G. Vallet, Claude Walzer
«Mourir de soif auprès de la fontaine», par William OSSIPOW (dir.)
- 37 **Actus**
- 38 **Thèses**

Abonnez-vous à «Campus»!

Découvrez les recherches genevoises, les dernières avancées scientifiques et des dossiers d'actualité sous un éclairage nouveau. Des rubriques variées vous attendent, sur l'activité des chercheurs dans et hors les murs de l'Académie. L'Université de Genève comme vous ne l'avez encore jamais lue!

Abonnez-vous par e-mail (campus@unige.ch) ou en remplissant et en envoyant le coupon ci-dessous :

Je souhaite m'abonner gratuitement à «Campus»

Nom: _____ Prénom: _____
Adresse: _____ N° postal/localité: _____
Tél.: _____ E-mail: _____

Université de Genève – Presse Information Publications – 24, rue Général-Dufour – 1211 Genève 4
Fax: 022/379 77 29 – E-mail: campus@unige.ch – Web: www.unige.ch/presse

Quand les bulles voyagent entre les langues

Avec une vingtaine d'albums à son actif, Nathalie Sinagra a fait de la traduction de bande dessinée une spécialité. Plus complexe qu'il n'y paraît, l'exercice exige une parfaite connaissance de la langue et de la culture des pays concernés, de la méthode et de la rigueur. Sans oublier un soupçon de créativité

Si la conception d'une bande dessinée relève de l'art, sa traduction, elle, exige une certaine science. Car l'exercice est plus complexe qu'il n'y paraît de prime abord. Aux difficultés propres au langage, s'ajoutent en effet de multiples contraintes liées à l'interaction entre texte et image qui fait la spécificité du 9^e art. En venir à bout suppose non seulement une excellente connaissance de la culture et des langues de départ et d'arrivée, mais aussi de la méthode, de la rigueur et une bonne dose de créativité.

Autant de compétences qui ne font pas défaut à Nathalie Sinagra. Assistante au Département français de traductologie et de traduction de l'École de traduction et d'interprétation, la jeune chercheuse a déjà à son actif une vingtaine d'albums qu'elle a traduits de l'italien, de l'espagnol ou de l'anglais vers le français pour le compte d'une maison d'édition genevoise. Elle a également choisi de consacrer sa thèse de doctorat à cette discipline encore peu étudiée au niveau académique.

UN LANGAGE SPÉCIFIQUE

«La plupart des gens pensent que ce qu'il y a de plus complexe dans la traduction de bande dessinée, c'est le traitement des onomatopées, explique Nathalie Sinagra. Dans les faits pourtant, c'est un sujet qui est relativement bien connu et qui ne pose généralement pas de problème majeur. Ce dont le public se rend moins compte, c'est que chaque album présente des difficultés qui lui sont propres. Elles peuvent être liées au texte lui-même, mais également aux différents éléments graphiques destinés à apporter des informations au lecteur. De petits détails comme un geste ou un changement de typographie peuvent ainsi constituer un obstacle quasiment insurmontable.» Sur le plan textuel, la principale ca-

ractéristique du 9^e art tient à l'usage d'un style qui se trouve à mi-chemin entre le langage oral et l'expression écrite. Une langue «pseudo-orale», comme disent les spécialistes, qui associe au respect des normes linguistiques (grammaire, syntaxe) un lexique provenant du registre familier. A l'intérieur de ce vaste cadre, le traducteur peut être confronté à des termes issus de l'argot, à des tournures propres au «parler jeune», à des jeux de mots, des néologismes, ou encore à des extraits de pièces de théâtre, de poèmes ou de chansons qu'il n'est pas toujours possible de traduire de façon littérale.

ESPACE LIMITÉ

«Dans une case de BD, l'espace disponible pour le texte n'est en général pas extensible. Il faut qu'il puisse entrer dans la bulle, à moins de pouvoir la faire redessiner par l'auteur, ce qui est rare et peut s'avérer fastidieux, explique Nathalie Sinagra. C'est une contrainte importante pour le traducteur dans la mesure où le français est une langue qui prend plus de place que l'anglais ou l'italien pour dire la même chose. On peut tenter de contourner cette difficulté en reformulant le propos, mais il y a

une limite au-delà de laquelle on ne peut pas aller si on veut rester correct sur le plan de la grammaire.»

Les passages contenant des références culturelles qui ne sont pas partagées par les locuteurs de la langue d'arrivée peuvent également être délicats à traiter ou demander un important travail de documentation, par exemple lorsque l'histoire se déroule dans le Japon du XVI^e siècle, comme c'est le cas pour une série traduite par Nathalie Sinagra (*Usagi* de Stan Sakai).

De nombreux jeux de mots n'ont par ailleurs pas d'équivalent dans les autres langues et perdent tout leur sens comique lorsqu'ils sont traduits à la lettre. De la même façon, une chanson peut être très fortement connotée dans un pays et inconnue dans un autre. Ainsi, dans *L'Improvisateur*, album de Sualzo que Nathalie Sinagra a traduit de l'italien, l'auteur met en scène deux personnages qui entonnent *La Canzone del sole* de Lucio Battisti. Or, si ce titre évoque inmanquablement les soirées à la plage autour d'un feu de camp en Italie, il ne dit absolument rien à la plupart des lecteurs francophones. «Comme l'histoire se



HACHETTE

déroule en Italie et que les deux protagonistes sont Italiens, remplacer cette chanson par un équivalent français n'aurait eu aucun sens pour le lecteur, explique Nathalie Sinagra. Après en avoir discuté avec l'auteur, j'ai donc choisi de m'éloigner du texte original pour chercher à conserver la sensation et l'atmosphère de la scène. Au final, la chanson de Battisti a été remplacée par un morceau des Beatles («Love me do») qui avait le même caractère patrimonial, mais dont la portée était plus universelle.»

LE BON REGISTRE

Outre ces éléments linguistiques, le traducteur de BD doit également s'attacher à l'analyse de l'ensemble des informations non verbales qui contribuent à donner du sens au récit. Les variations intonatives, comme la modification d'intensité de la voix ou du débit d'élocution, sont généralement rendues graphiquement par l'agrandissement ou l'allongement de la typographie. Ce qui donne au lecteur l'impression d'entendre une bande-son. Ne pas restituer ces variations, c'est prendre le risque d'enlever au récit une partie de son relief.

Dans l'album *Astérix légionnaire*, par exemple, Obélix apprend que la jeune femme dont il s'est épris est fiancée à un autre. Il se jette alors dans les bras d'Astérix en s'exclamant: «Bouhouhouhou! Je suis malheureuuuux!». Grâce à la répétition de certaines lettres, qui est ici renforcée par l'ondulation des mots, le lecteur français peut deviner les trémolos dans la voix du personnage. Or, l'éditeur allemand des aventures du petit Gaulois a choisi de ne pas reproduire ces indications, ce qui affaiblit considérablement

la portée comique de la scène. Le diable se cachant souvent dans les détails, un simple geste peut également prêter à confusion. Toujours dans la série *Astérix*, qui fait figure de défi suprême pour les traducteurs, une scène montre ainsi un Romain implorant la clémence du héros moustachu en levant le pouce comme le font les enfants francophones dans les cours de récréation. Cependant, en Grande-Bretagne, ce même geste veut dire que tout va bien.

La marge de manœuvre n'est heureusement pas toujours si restreinte. C'est alors l'imagination et la créativité du traducteur qui font la différence, comme l'illustre ce nouvel exemple tiré de l'album *Astérix légionnaire*. Dans une case de l'épisode, les pirates, dont le navire vient une nouvelle fois d'être coulé, se retrouvent sur une épave dans une configuration identique à celle du célèbre tableau de Géricault intitulé *Le Radeau de la méduse*. Pour renforcer l'allusion, le chef des pirates s'exclame: «Je suis médusé!»

«Un geste ou un changement de typographie peuvent constituer un obstacle insurmontable»

Dans le même ordre d'idées, il arrive également, en particulier dans les bandes dessinées à caractère humoristique, que texte et dessin se trouvent dans un rapport de complicité tel qu'il rend toute intervention très délicate, voire impossible. Dans un album de *Titeuf*, Zep joue par exemple sur l'expression «rouler une pelle» en représentant son héros en train d'imaginer une fille avec une grosse pelle de jardin dans la bouche. L'expression ne renvoyant pas à la même image d'une langue à l'autre, il est dans ce cas impossible de sortir de l'impasse. A moins, une fois encore, de redessiner la case concernée.

Face à ce véritable cas d'école (le sujet a notamment été discuté lors d'un colloque universitaire international auquel participait Nathalie Sinagra l'an dernier), les traducteurs italiens, espagnols et anglais ont opté pour des stratégies différentes. Les deux premiers ont tenté de conserver la référence directe au titre du tableau, mais au détriment de l'effet comique et du sens. Les traducteurs anglais ont en revanche choisi de s'écarter du texte en proposant la réplique «We've been framed by Jericho», ce qu'on peut lire comme «c'est un coup monté par Jéricho». «Dans ce cas, commente Nathalie Sinagra, les traducteurs ont su tirer profit de l'image et du contexte pour créer de nouveaux jeux de mots. En faisant appel à leur créativité, ils sont en outre parvenus à remplacer une référence peu évidente pour leur public par une autre, parfaitement compréhensible par un lecteur anglophone. Le tout sans altérer la cohérence du récit ni son côté comique. A la lecture, c'est parfaitement fluide. On ne sent pas une seconde qu'il s'agit d'une traduction. Et c'est justement en cela que réside toute la difficulté de ce travail: se rendre invisible.» ■

Vincent Monnet



EGMONT EHPAPA VERLAG BERLIN

Cases tirées de l'album «Astérix légionnaire», par René Goscinny et Albert Uderzo.

Et l'homme... créa la montagne

Frontière naturelle, creuset identitaire, ressource économique ou laboratoire du développement durable: depuis le XVIII^e siècle, le regard porté par les sociétés humaines sur la montagne n'a cessé d'évoluer. Parfois au détriment de ses habitants

Les scientifiques s'accordent aujourd'hui à dire que les montagnes (ne) couvrent (que) 25% de la surface de la planète. Peut-on dès lors affirmer, comme le proclamait en 2002 le slogan de l'Année internationale de la montagne, que «nous sommes tous des montagnards»? A la lecture du dernier ouvrage cosigné par Bernard Debarbieux, professeur ordinaire au Département de géographie, et Gilles Rudaz, chercheur au Massachusetts Institute of Technology*, on serait tenté de répondre par l'affirmative. Frontière naturelle, creuset identitaire, réservoir de ressources naturelles ou symbole du développement durable, la montagne est devenue depuis le XVIII^e siècle un objet politique de première importance. Un territoire spécifique qui n'a cessé de faire l'objet de réflexions visant à motiver, accompagner ou rendre possible l'action des pouvoirs publics. C'est particulièrement vrai en Suisse, mais ça l'est également de plus en plus au niveau planétaire. Explications.

«La montagne a toujours fasciné les humains, précise Bernard Debarbieux. L'objectif de ce livre n'est cependant pas d'examiner les très nombreux récits mythiques, religieux ou scientifiques dont elle a fait l'objet au cours des âges. Ce qui nous intéresse ici, c'est de reconstituer la manière dont le regard porté par les sociétés humaines sur ce type de territoire s'est modifié en fonction de l'évolution des connaissances savantes et scientifiques, des représentations sociales et des rapports de forces politiques.»

CONTRÔLER LES MARGES

A cet égard, le siècle des Lumières marque une rupture fondamentale. Pour les Etats modernes, qui sont alors en pleine affirmation, la maîtrise de l'espace et, par extension, le contrôle des frontières, font en effet figure de priorité. Obstacles naturels par excellence, marquant les bornes de la nation tout en lui offrant un rempart contre les agressions extérieures, les montagnes constituent dans cette perspective des lieux d'une importance stratégique considérable. Elles font donc l'objet

d'une attention croissante de la part des gouvernements qui cherchent à assurer au mieux le contrôle de ces territoires longtemps restés en marge.

De façon presque simultanée, la montagne devient également le terrain de jeu privilégié des savants et des naturalistes. Pour les sciences naturelles, qui connaissent alors un essor considérable, l'objectif est notamment de comprendre comment se sont formés les reliefs (explication qui ne sera fournie qu'au début du XX^e siècle, avec la théorie de la tectonique des plaques). A l'image d'Alexandre de Humboldt ou d'Horace-Bénédict de Saussure, de nombreux érudits chaussent donc leurs guêtres pour

gnard est aussi marqué dans son esprit. Pour le pire, comme en Angleterre, où le «Highlander» écossais, réputé brutal, barbare et belliqueux, devient la figure repoussoir par excellence, mais aussi pour le meilleur, comme en Italie, en Ethiopie et, surtout, en Suisse.

LE MYTHE DU «BON SAUVAGE»

Archétype du «bon sauvage», le montagnard est en effet paré de toutes les vertus par des auteurs comme Jean-Jacques Rousseau (*La Nouvelle Héloïse*) ou Albrecht von Haller (*Die Alpen*). Au point de devenir l'incarnation même de l'esprit national. «La Suisse a joué un rôle initiateur qui a été décisif dans l'invention d'un

«La Suisse a joué un rôle initiateur qui a été décisif dans l'invention d'un nouveau rapport à la montagne»

aller arpenter les sommets des Alpes ou des Andes. Observées, mesurées, cartographiées durant des décennies, les montagnes se trouvent englobées dans un vaste mouvement de rationalisation qui en modifie radicalement la perception.

L'exercice n'est pas sans conséquences pour ceux qui habitent ces régions car, comme le souligne Bernard Debarbieux, «redéfinir ce qu'est la montagne, c'est aussi redéfinir ceux que l'on va désormais appeler les montagnards». Sous l'œil des naturalistes en effet, les populations de montagne se voient attribuer un certain nombre de traits spécifiques qui en font une classe d'êtres humains à part, des sociétés primitives, dont le développement et l'évolution sont fortement déterminés par le milieu. Portant sur son corps les traces du vent, du froid et du soleil, le monta-

nouvel rapport à la montagne, commente Bernard Debarbieux. C'est le pays qui a été le plus exploré par les naturalistes, c'est aussi le pays qui, à l'époque, était le plus attractif pour les touristes qui s'intéressaient aux montagnes. Lorsque le pays a cherché à se forger une véritable identité nationale, dans la seconde partie du XIX^e siècle, il était donc relativement logique de s'appuyer sur cette spécificité déjà largement reconnue à l'extérieur de nos frontières. Le stéréotype n'a ensuite cessé d'être renforcé.» C'est à ce point vrai que la Suisse a choisi d'investir 15 millions de francs pour présenter à l'exposition universelle de 2005, organisée à Aïchi (Japon), un pavillon intitulé «yama», soit «la montagne» en japonais (photo ci-contre). De la même manière, la principale attraction du pavillon helvétique présenté cette année à Shanghai est un télé-



Pavillon suisse à l'exposition universelle d'Aïchi (Japon), en 2005.

siège «*high-tech*» (immobilisé durant six semaines suite à un accident).

La montagne n'est cependant pas qu'un support imaginaire. Dès le début du XIX^e siècle, elle devient également un enjeu considérable sur le plan économique. Riches en ressources naturelles (bois et eau principalement), c'est un espace que les pouvoirs publics se doivent de mettre en valeur au profit de la collectivité dans son ensemble. Cette nouvelle conception se traduit un peu partout en Occident par la mise en place de vastes programmes de reboisement. L'idée qui prédomine alors est de lutter contre les éboulements et les glissements de terrain en redonnant à la montagne ce que l'on pense être son équilibre originel. Jugées irresponsables et incapables d'assurer la préservation de leur environnement, les populations locales se voient alors privées de leurs droits séculaires et évincées de la gestion des ressources naturelles de leur habitat traditionnel.

Comme le soulignent les auteurs, l'opposition entre plaine et montagne qui en découle est, dans de nombreux cas, renforcée par le développement des clubs alpins. Se considérant comme les véritables représentants de la montagne, les membres de ces associations sportives qui se multiplient à partir du milieu du XIX^e siècle, tendent également à dépossé-

der les montagnards de leurs territoires séculaires, arguant que ces derniers sont le bien de la communauté nationale dans son ensemble.

L'entrée dans la modernité change considérablement la donne. D'abord parce que le développement des barrages et des installations hydrauliques est un vecteur important de croissance économique. Ensuite, parce que l'avènement de l'Etat providence se traduit par la volonté d'éduquer, de soigner et d'élever le niveau de vie des populations de montagne. Pour lutter contre l'isolement des populations (et donc freiner l'exode urbain), on construit partout des routes, des chemins de fer, des câbles reliant les plaines et les hauteurs.

UN LABORATOIRE DE LA BIODIVERSITÉ

Dans le même temps, l'Etat s'efforce de rationaliser l'économie de montagne, en mettant en place des coopératives laitières ou des politiques spécifiques (aide à l'agriculture de montagne, puis, plus récemment, protection des appellations d'origine contrôlée). De leur côté, les scientifiques manifestent également un regain d'intérêt pour les sociétés montagnardes qui, à partir des années 1950, vont faire l'objet d'une multitude de monographies locales et régionales. Des travaux qui vont mettre en évidence le fait que ces sociétés, jugées jusque-là sous dé-

veloppées, avaient mis en place des systèmes d'adaptation à leur milieu très complexes.

L'ensemble de ces éléments conduit à un nouveau changement de paradigme. A partir des années 1970, en effet, la montagne s'affirme progressivement comme le laboratoire du développement durable. Elle devient un lieu privilégié pour penser la protection et la promotion de la biodiversité. Tendence que la mondialisation ne fera qu'accentuer.

La montagne (au même titre que les océans, les forêts tropicales ou l'Antarctique) fait ainsi son entrée sur la scène mondiale lors du Sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio en 1992. «*A la suite de cette conférence et de la promulgation de l'Agenda 21, on a vu se développer une nouvelle façon de problématiser la montagne, cette fois à l'échelle de la planète, résume Bernard Debarbieux. Ce qui a notamment changé, c'est que les populations locales ne sont plus perçues comme étant responsables des problèmes environnementaux, mais se voient au contraire reconnues pour la spécificité de leurs cultures et de leurs modes de vie. Ce qui en fait des acteurs clés de la préservation du milieu dont le rôle et les prérogatives sont de plus en plus clairement définis par les textes internationaux.*» ■

Vincent Monnet

*«*Les faiseurs de montagne*», par Bernard Debarbieux et Gilles Rudaz, CNRS éditions, 373 p.

Le Sud à l'école de l'inégalité

Dans les pays en voie de développement, le nombre d'enfants scolarisés est en constante augmentation. Imposé par le Nord, le modèle scolaire unique qui est en train de se généraliser tend toutefois à augmenter les inégalités sans toujours garantir un enseignement de qualité

En septembre 2000, 189 Etats signaient les Objectifs du Millénaire. Au point 2 de cette charte destinée à fixer les priorités en matière de développement à l'échelle de la planète figurait l'ambition d'«*offrir à tous les enfants un enseignement primaire gratuit et de qualité*» d'ici à 2015. Dix ans plus tard, une bonne partie du chemin a été parcourue. Ainsi, alors qu'en 1999, on dénombrait 647 millions d'enfants scolarisés au niveau du primaire dans le monde, ce chiffre est passé à 694 millions en 2007. Si bien qu'aujourd'hui on estime que 88% des enfants des pays en voie de développement ont accès à l'école. Ce bilan positif cache cependant une réalité moins souriante. Comme le montrent Abdeljalil Akkari et Jean-Paul Payet, tous deux professeurs à la Section des sciences de l'éducation, dans un récent ouvrage*, la mise en place d'un modèle scolaire globalisé largement imposé par le Nord se traduit dans les faits par une baisse de la qualité de l'enseignement et un accroissement des inégalités dans les pays du Sud.

«*En moins d'un siècle, la scolarisation de masse a cessé d'être un monopole européen ou nord-américain, explique Abdeljalil Akkari. Partout dans le monde, l'instauration de l'école obligatoire est devenue un élément central de l'action des gouvernements. Ce phénomène a apporté d'indiscutables bénéfices aux populations concernées en termes de santé publique ou d'accès à la citoyenneté. Mais sur d'autres aspects, le bilan est plus mitigé. Entre le discours venu d'en haut et la réalité du terrain, il existe en effet souvent un fossé important.*»

En s'appuyant sur des études empiriques menées dans plusieurs pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique

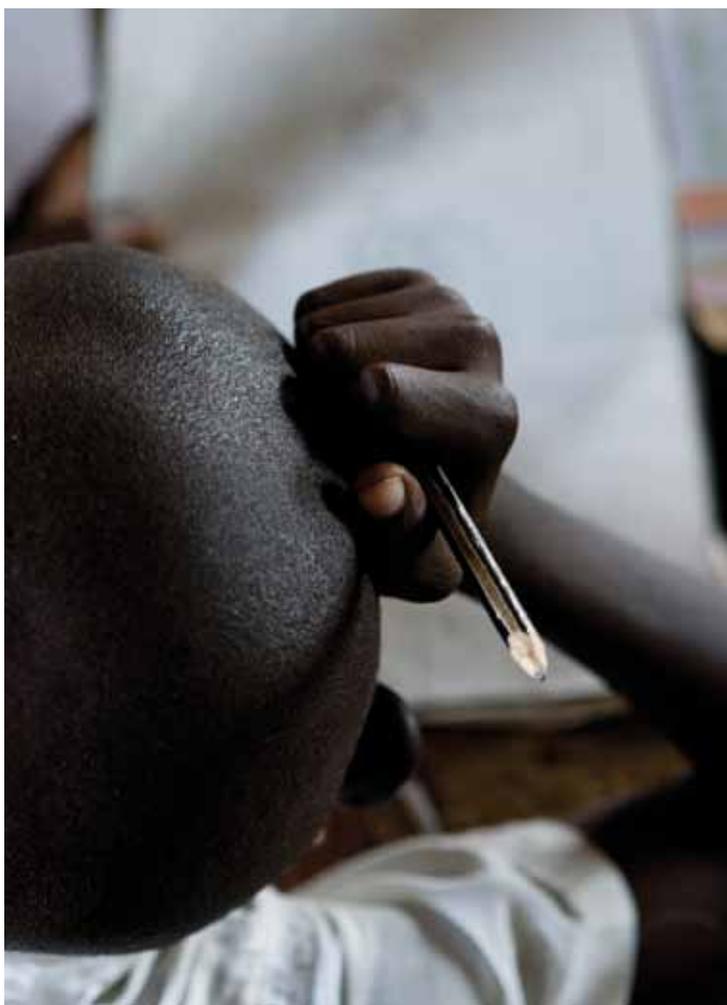
latine, les auteurs mettent tout d'abord en évidence l'émergence d'un modèle éducatif de plus en plus uniformisé dans toutes les régions du monde. Importé du Nord, ce dernier se caractérise par un certain nombre de critères tels que le poids décisif accordé aux mathématiques, aux sciences naturelles et aux langues étrangères, une utilisation accrue des examens

comme baromètre des performances, la formation et la professionnalisation des enseignants, ainsi que l'apprentissage tout au long de la vie. S'y ajoutent des méthodes éducatives basées sur la notion de compétence. Les nouveaux programmes étant basés non plus sur l'apprentissage traditionnel, mais sur la réalisation d'un certain nombre d'objectifs et la résolution de problèmes.

«*Cette conception de l'éducation n'est pas négative en elle-même, explique Abdeljalil Akkari. Mais elle est tout simplement impossible à mettre en œuvre dans une classe de 50 élèves, comme c'est encore souvent le cas dans les pays du Sud. Avant d'adopter ce genre de réformes, il faut donc que les Etats se les approprient. Qu'ils prennent le temps de former des enseignants, de réfléchir aux conditions de leur mise en œuvre, de les adapter au contexte local. Sans quoi cela ne fonctionne pas.*»

Résultat: si de plus en plus d'enfants vont à l'école, ils n'y reçoivent pas forcément un enseignement de meilleure qualité. Dans certains pays d'Afrique, des études montrent ainsi une baisse significative des résultats obtenus dans les tests d'acquisition de connaissances en lecture et en écriture. De la même

Dans de nombreuses régions du monde, investir dans l'éducation n'est pour l'heure rentable ni en termes d'apports financiers ni en termes de progression sociale.



manière, les taux de redoublement restent élevés dans certaines régions du continent (20% environ). A contrario, les pays qui tirent le mieux leur épingle du jeu sont ceux qui, en Asie principalement, ont massivement investi dans l'éducation de base tout en conservant une partie de l'enseignement traditionnel basé sur la mémorisation et la répétition.

Autre inconvénient majeur, le développement de la scolarisation de masse a tendance à augmenter les inégalités plutôt qu'à les réduire. Dans la plupart des pays étudiés, l'introduction de l'école obligatoire n'a en effet pas permis de diminuer les avantages des enfants socialement favorisés par rapport aux enfants moins privilégiés. «*Ce qui se met en place dans de nombreuses régions du Sud, c'est un système à deux vitesses, constate Abdeljalil Akkari. D'un côté, il y a ceux qui ont les moyens de recourir au système privé ou à un tuteur pour compléter l'éducation de leurs enfants. De l'autre, on trouve une majorité de gens à qui l'école, dans sa forme actuelle, n'apportera pas les moyens d'échapper à leur condition et qui se trouveront par conséquent de plus en plus marginalisés.*»

SOLUTIONS ALTERNATIVES

Il existe pourtant des solutions alternatives qui peuvent permettre de limiter les dégâts. Au Brésil, les paysans sans terres ont ainsi décidé de ne plus attendre l'aide de l'Etat et de mettre en place un service éducatif communautaire autogéré se trouvant à mi-chemin entre la structure publique et la structure privée. «*Sans entrer ici dans une discussion sur les enjeux idéologiques de la scolarisation, force est de constater que dans de nombreux pays d'Afrique, l'école coranique paraît mieux adaptée au milieu villageois que le modèle occidental*», précise Abdeljalil Akkari. Plus flexible, ce type d'enseignement adapte ainsi les périodes de vacances aux récoltes ainsi qu'aux rites religieux et s'appuie généralement sur des enseignants provenant de l'intérieur de la communauté qui connaissent donc les us et coutumes locaux.

Autre cas de figure avec l'île Maurice. L'ancienne colonie est aujourd'hui caractérisée par un système éducatif officiel qui permet de former des élites concurrentielles sur le marché international, mais qui est également très discriminatoire envers certaines catégories sociales. Du coup, c'est l'Eglise catholique qui prend aujourd'hui en charge la scolarisation de

près de 20% des élèves du primaire en proposant aux populations les plus défavorisées des programmes bilingues ou en créole. «*Toutes ces initiatives méritent de l'intérêt, explique Abdeljalil Akkari. Ne serait-ce que parce qu'elles montrent que les pays du Sud peuvent également apporter leur contribution à la réflexion internationale sur l'éducation et la pédagogie.*»

Deux éléments contribuent à complexifier encore la situation. Le premier tient au fait que les transformations à l'œuvre au Sud sont de plus en plus souvent pilotées par des agences internationales dans lesquelles les pays du Nord ont un grand poids (FMI, OCDE, Banque Mondiale), au détriment des institutions traditionnellement en charge de ce type de ques-

effectivement plus élevé que celui de leurs homologues européens, on pourrait penser que cette mesure est justifiée, commente Abdeljalil Akkari. Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'en Afrique, le salaire d'un enseignant ne fait pas vivre que l'enseignant et ses proches, mais tout un réseau de relations qui se verra également privé de revenu.»

Le second élément est à mettre en relation avec l'absence de lien automatique entre éducation et productivité. Ainsi, alors qu'un pays comme les Philippines, par exemple, affichait un taux de scolarisation primaire de 65% en 1946, ce chiffre est aujourd'hui passé à 95% sans que la situation économique du pays ait fondamentalement changé. C'est que dans de nombreuses régions du monde, investir dans

«Ce qui se met en place dans de nombreuses régions du Sud, c'est un système à deux vitesses»

tions comme l'Unicef ou l'UNESCO. Or, les recommandations provenant de ces agences, auxquelles nombre de gouvernements n'ont pas d'autre choix que de se soumettre, conduisent parfois à précariser davantage qu'à améliorer la situation sur place.

ENSEIGNANTS TROP PAYÉS?

Comme le montrent les auteurs, la Banque mondiale s'évertue ainsi depuis plusieurs années à faire passer l'idée que, dans les pays du Sud, il vaut mieux investir dans l'éducation de base que dans l'enseignement supérieur. En vue d'assainir les finances publiques, elle incite également les Etats à licencier les enseignants diplômés pour les remplacer par des contractuels. Résultat: si de plus en plus d'enfants ont effectivement accès à l'école, il manque d'enseignants qualifiés pour les encadrer.

La même institution considère par ailleurs que les enseignants sont en règle générale trop payés en Afrique et conseille donc aux gouvernements de réduire leurs traitements. «*Sachant que, proportionnellement au niveau de vie général, le salaire des enseignants africains est*

l'éducation n'est pour l'heure rentable ni en termes d'apports financiers ni en termes de progression sociale. Dans le contexte actuel, il n'y a en effet souvent aucun avantage pour un employeur à recruter un travailleur manuel qui est passé par l'école plutôt qu'un analphabète. De la même manière, l'économie de la plupart des pays du Sud est pour le moment incapable d'absorber les masses de jeunes diplômés ayant achevé un enseignement secondaire, ce qui génère une frustration croissante au sein de ces populations.

«*Le propos de notre ouvrage n'est pas de dire que l'école est inadaptée à certaines cultures ou à certaines régions, conclut Abdeljalil Akkari. Ce que l'on essaie de montrer, c'est que l'école a émergé dans un contexte particulier et qu'elle est aujourd'hui devenue une forme sociale répandue dans le monde entier. Mais cela ne veut pas dire qu'elle doit être la même partout.*» ■

Vincent Monnet

*«*Transformations des systèmes éducatifs dans les pays du Sud. Entre globalisation et diversification*», par Abdeljalil Akkari et Jean-Paul Payet (éd), De Boeck éditions (coll. Raisons éducatives), 328 p.

Le Japon n'est plus ce qu'il était

Des origines à la récente crise économique, la «Nouvelle Histoire du Japon» que vient de signer Pierre-François Souyri propose de redécouvrir le passé complexe et profondément original de l'Empire du Soleil-Levant. Un récit érudit et captivant

«Quand donc l'Occident comprendra-t-il, ou essaiera-t-il de comprendre l'Orient? Nous sommes parfois épouvantés, nous autres Asiatiques, de l'étrange tissu de faits et d'inventions dont on nous a enveloppés», écrivait en 1906 Okakura Tenshin. A un peu plus d'un siècle de distance, le grand critique japonais a été exaucé. Dissiper les préjugés, balayer les idées reçues, mettre en évidence l'originalité et la complexité de la civilisation japonaise en s'appuyant sur les résultats les plus récents de l'historiographie nationale: tel est en effet le projet de la *Nouvelle Histoire du Japon* que vient de publier Pierre-François Souyri, professeur à l'Unité de japonais de la Faculté des lettres.

UN PEUPEMENT HÉTÉROGÈNE

Cette somme, qui se lit comme un roman, s'ouvre logiquement sur la question longtemps controversée des origines. Durant toute la période coloniale du Japon, l'homogénéité ethnique et culturelle de l'Archipel a en effet été érigée en dogme. Selon la thèse officielle, les Japonais descendraient en droite ligne de populations venues du continent qui, grâce à leur supériorité technique, seraient parvenues à conquérir le pays et à en chasser les populations indigènes. Comme le montre Pierre-François Souyri, cette lecture ne tient pas face aux découvertes archéologiques récentes qui montrent que l'Archipel est habité depuis 40 000 à 30 000 ans et non depuis l'époque Jōmon (-12 000 environ) comme on le croyait jusqu'au milieu du XX^e siècle. Par ailleurs, le peuplement du Japon est plus hétérogène qu'on ne le pensait. Dans les faits, les Japonais de l'époque historique sont le produit du mélange de deux populations principales – l'une provenant de Sibérie orientale et d'Asie, l'autre venant de la péninsule coréenne – elles-mêmes partagées en de nombreuses sous-cultures spécialisées.

Pour justifier l'apparition de traits spécifiques à la culture japonaise à partir de l'époque Jōmon, les historiens ont en outre longtemps défendu l'idée que le Japon préhistorique était un territoire isolé dont les frontières recou-

vraient presque parfaitement celle de l'Etat moderne. Or, de nombreux travaux montrent aujourd'hui que des échanges précoces au-delà de la mer du Japon existaient, preuve de contacts avec la Chine, la Corée, la Sibérie et l'Asie du Sud-Est. Comme le souligne Pierre-François Souyri, il reste cependant vrai que «les hommes qui vivaient sur l'Archipel ont longtemps ignoré la plupart des grandes innovations continentales: la métallurgie du bronze, l'élevage, l'agriculture sèche et inondée mettront des siècles à franchir l'obstacle de la mer». La culture du riz inondé, encore souvent considérée comme le fondement de la civilisation japonaise, ne devient ainsi un élément essentiel de l'alimentation des populations qu'à partir du XVII^e siècle.

Dans le long processus qui débute vers le IV^e siècle et qui va conduire à l'unification politique du pays, achevée finalement au XIX^e siècle, Pierre-François Souyri relève également l'influence considérable exercée par la Chine. L'écriture, les techniques d'administration, le calendrier impérial, l'organisation du territoire, le bouddhisme, le taoïsme et le confucianisme sont tous empruntés à l'Empire du milieu. «La monarchie japonaise se présente comme une réplique de la monarchie chinoise, résume l'auteur. *Un monde en petit par rapport à son voisin, dont elle n'admet d'ailleurs pas la prédominance.*» Et dont elle s'efforce de se démarquer.

Au VIII^e siècle, le Japon, qu'on nommait jusque-là Yamato, prend son nom actuel. Un siècle plus tard, on voit émerger une langue et un système d'écriture propres à l'Archipel. A la tête du pays, l'empereur n'a alors qu'un pouvoir symbolique. Dans les faits, ce sont les ministres et la noblesse qui dirigent le pays. Dans les provinces, où le contrôle de l'Etat central reste faible, les élites s'appuient sur des forces armées privées dont la multiplication donne naissance à un nouveau groupe social: les samouraïs. A la fin du XII^e siècle, le pays entre de plain-pied dans ce que les Japonais appellent «le temps des guerriers».

Caractérisée par un système féodal comparable à celui qui est alors en place en

Occident, cette période est dominée par la figure du «shōgun». Maître du pays, ce dernier est le seul à avoir le droit d'assurer l'ordre. Il est suffisamment fort pour repousser les envahisseurs mongols, mais pas pour assurer durablement un équilibre politique intérieur. A partir de 1333, le pays connaît ainsi trois siècles de guerre quasi permanente. Cet «automne flamboyant» n'est cependant pas la période noire souvent décrite par les historiens. Certes la violence se banalise, mais l'économie connaît un important développement. Le niveau de vie augmente, les mœurs se débrident, l'art floral (*ikebana*) s'épanouit.

LE CHOC DES CANONNIÈRES

La marche vers l'unification du pays reprend vers 1600 avec l'émergence d'un nouvel Etat fort. De vastes travaux de régulation des fleuves et de mise en culture de nouvelles terres permettent d'élever la productivité et les rendements. Cette période de stabilisation est interrompue au XIX^e siècle par la conjugaison de deux éléments: de graves famines débouchant sur des révoltes sociales sans précédent et l'évolution des relations internationales. Isolé depuis des siècles, le Japon reçoit un premier choc lorsque les Britanniques remportent la Guerre de l'opium contre la Chine en 1842. Et un second, bien plus brutal encore, quand les canonnières américaines de l'amiral Perry forcent les portes du pays.

Pour les anciens samouraïs, le seul moyen de dépasser la crise est de bâtir un Etat-nation à l'occidentale, capable de soutenir durablement le développement économique du pays. D'où un changement de cap radical. En 1868, l'empereur reçoit pour la première fois en audience les ambassadeurs des Pays-Bas, de la Grande-Bretagne et de France. Trois ans plus tard, la moitié du gouvernement japonais fait le tour du monde pour observer les progrès accomplis par les Occidentaux. Ils en reviennent persuadés de la supériorité des systèmes étrangers. Il s'agit donc de se mettre au travail. Des étudiants sont envoyés à l'étranger, tandis



I STOCK/BERNARD ALLUM

Gravure sur bois dant de 1850 environ représentant un samuraï luttant contre les démons.

qu'on invite dans l'Archipel des ingénieurs, des techniciens et des professeurs occidentaux pour une mise à niveau. Sur le plan étatique, les ministères sont redéfinis et placés sous l'autorité d'un premier ministre. Un Parlement est mis en place et une nouvelle Constitution, influencée par celle dont s'est dotée l'Allemagne de Bismarck, est adoptée le 11 février 1889.

LE «DEMI-SIÈCLE TERRIBLE»

Menée tambour battant, la modernisation du pays apporte des résultats spectaculaires: la production est multipliée par deux entre 1895 et 1905, tandis que la proportion de personnes employées dans l'agriculture passe de 73% en 1872 à moins de 50% en 1930. Le volume de la flotte est, pour sa part, multiplié par sept entre 1914 et 1919.

Car cet essor est indissociable d'une politique extérieure de plus en plus agressive. De 1894 à 1945, le pays, rebaptisé «L'Empire du Grand Japon», se lance dans une série d'opérations impérialistes contre les pays voisins qui n'a aucun équivalent dans l'histoire de l'Archipel. Ce «demi-siècle terrible», qui fait du Japon la première puissance non occidentale colonialiste, s'ouvre sur une série de victoires. Taïwan,

le sud de Sakhaline, la Corée, la Mandchourie, une partie de la Chine, puis Hong Kong, l'Indochine, la péninsule malaise, les Indes néerlandaises, les Philippines et la Birmanie tombent sous le giron impérial.

Sur le plan intérieur, cette course en avant s'accompagne d'une série de glissements qui conduisent à l'instauration d'une dictature dirigée par les «cliques militaires» au sein de laquelle le contrôle de l'opinion devient de plus en plus systématique. Ce qui n'empêche pas la voie de la guerre de déboucher sur une impasse.

Bloqué sur le continent par la résistance chinoise, repoussé par les Soviétiques, lâché par Berlin, confronté à l'hostilité croissante des Anglo-Saxons, le Japon n'a plus de véritable projet. C'est dans ce contexte et avec l'idée qu'une guerre courte et limitée pourrait faire plier les Américains, qu'est décidée l'attaque sur Pearl Harbor. Avec les suites que l'on sait. Le 14 août 1945, sans doute autant effrayé par la menace d'une invasion soviétique que par les bombes américaines, l'empereur Hirohito capitule.

«La sinistre épopée de l'Empire du Grand Japon s'achève sur un désastre historique comme rarement un pays en a connu», résume Pierre-François Souyri: une défaite militaire totale, deux bombarde-

ments nucléaires, l'effondrement de l'Empire colonial et l'occupation – pour la première fois dans l'histoire du Japon – du pays par une armée étrangère.»

Le long après-guerre qui commence alors constitue paradoxalement une sorte d'âge d'or. Doté de nouvelles institutions voulues par les vainqueurs, mais qui répondent aux aspirations populaires, le Japon profite pleinement des «Golden sixties». Guerre froide oblige, il s'agit pour les Etats-Unis de faire de l'Archipel un rempart contre le communisme et une vitrine du projet américain pour les sociétés d'Extrême-Orient.

L'ARCHIPEL ISOLÉ

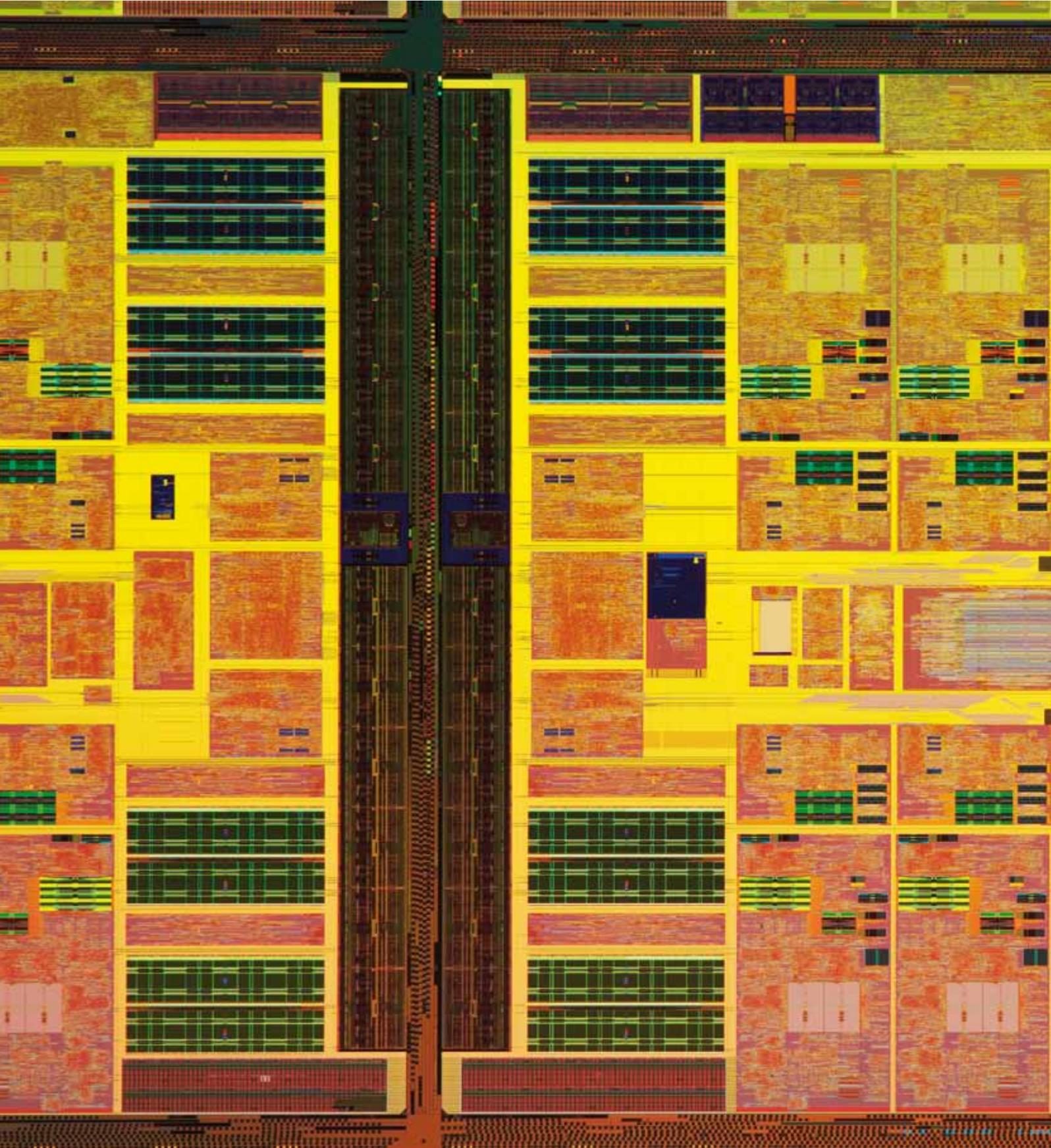
Dopée par les commandes militaires de l'occupant, l'économie de l'Archipel redémarre à plein régime. Entre 1955 et 1973, le PNB du pays est ainsi multiplié par cinq. Deuxième plus grande puissance économique au monde, le Japon est désormais le principal concurrent des Etats-Unis. Selon Pierre-François Souyri, ce bilan radieux, qui a donné à de nombreux Japonais le sentiment d'avoir enfin comblé leur retard sur les Occidentaux, doit toutefois être nuancé pour au moins deux raisons. La première tient aux conséquences écologiques de ce développement. Même si de nombreux progrès ont été accomplis depuis en la matière, Tokyo est en effet, durant les années 1970, la ville la plus polluée au monde.

La seconde porte sur la position dans laquelle se trouve aujourd'hui le Japon sur la scène diplomatique mondiale. «Méprisé par son principal allié, les Etats-Unis, à peu près ignoré par les Européens, incapable de s'entendre avec son voisin russe sur une frontière communément admise, suscitant toujours autant d'antipathie chez son voisin sud-coréen et menacé de ses fusées par Pyongyang, tenu à distance par une Chine prompt à raviver les cicatrices de la guerre, le Japon est pour ainsi dire inaudible sur les grands problèmes du monde contemporain», conclut Pierre-François Souyri. ■

Vincent Monnet

«Nouvelle Histoire du Japon», par Pierre-François Souyri, Editions Perrin, 627 p.

LA SCIENCE «IN SILICO»



ISTOCK

Les chercheurs, y compris en sciences humaines, font de plus en plus souvent appel aux grands calculateurs qui offrent une nouvelle approche de leur discipline

Les machines les plus puissantes du monde ont dépassé il y a une année le seuil du petaflop, c'est-à-dire du million de milliards d'opérations par seconde

En plus d'un supercalculateur basé à l'EPFL, l'UNIGE dispose d'un grand nombre de grappes d'ordinateurs. Petite visite en sciences pharmaceutiques, en biologie moléculaire, en climatologie, en astronomie et en physique des particules

Dossier réalisé par Anton Vos

LE CALCUL DE HAUTE PERFORMANCE À L'UNIGE

L'Université de Genève possède un superordinateur qu'elle partage avec l'Université et l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Plusieurs groupes disposent également de «grappes d'ordinateurs» de petite à moyenne puissance. Les sciences humaines font également leur entrée dans ce champ dominé par les sciences naturelles et médicales

Il faut vivre avec son temps. De plus en plus, les chercheurs, quelle que soit leur spécialité, se tournent vers les supercalculateurs, ces nouveaux outils dont la puissance de calcul augmente de manière vertigineuse d'année en année et dont l'usage se répand progressivement dans les universités. Autrefois réservés à quelques chercheurs spécialisés, les superordinateurs offrent en effet une

nouvelle approche méthodologique dans de nombreux domaines, et pas seulement celui des sciences exactes. Même les sciences humaines devraient franchir le cap. C'est en tout cas l'avis de Bastien Chopard, professeur au Centre universitaire d'informatique (CUI), pour qui «modéliser» et «simuler» sont des termes qui devraient entrer dans le langage courant des académiciens, tout comme l'a fait le vocabulaire spécifique aux ordinateurs personnels et à Internet. Pour lui, les ordinateurs de «très haute performance», dont les meilleurs sont capables d'effectuer plus d'un million de milliards d'opérations par seconde, permettent d'aborder la science autrement, grâce à la restitution virtuelle des phénomènes étudiés. Une approche que l'on appelle *in silico*, en référence à la matière dans laquelle sont taillés les microprocesseurs.

LE PLUS RAPIDE DE L'OUEST HELVÉTIQUE

L'Université de Genève, comme ses consœurs, se fraye un chemin dans cette direction. Preuve en est la création récente de Cadmos (*Center for Advanced Modeling Science*), dont Bastien Chopard préside le Comité de direction. Il s'agit d'une coopération entre les Universités de Genève et de Lausanne ainsi que l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Cette structure possède depuis août 2009 l'ordinateur le «plus rapide de l'Ouest» helvétique, un BlueGene/P d'IBM (lire ci-contre) dont les performances spectaculaires sont à la disposition des scientifiques des trois institutions lémaniques.

Afin d'encourager ses chercheurs à développer cette nouvelle approche, l'Université de Genève a nommé le 1er juin dernier Jean-Luc Falcone, collaborateur scientifique au

CUI, au poste d'«analyste d'application HPC» (pour *High Performance Computing*). En langage commun, cela signifie qu'il jouera le rôle de conseiller et d'intermédiaire pour toutes les personnes intéressées par l'utilisation du BlueGene ou d'une autre «grappe d'ordinateurs» (*cluster*) de l'Université.

«L'idée est d'aider les chercheurs qui désirent se lancer dans la modélisation, explique-t-il. Il s'agit de leur fournir l'accès à cette méthodologie, les clés d'entrée d'une telle machine, les familiariser avec le code informatique, évaluer les véritables besoins en calcul de leur projet, les informer des limites du système, etc.»

Jean-Luc Falcone ne manquera sans doute pas de travail tant est grand le potentiel de croissance du nombre d'utilisateurs. A l'heure actuelle, même si l'Université de Genève compte dans ses rangs des pionniers et de fréquents utilisateurs des supercalculateurs, ils ne forment qu'une petite minorité. Sur la bonne quinzaine de projets retenus pour bénéficier de temps de calcul sur le BlueGene, seuls trois viennent ainsi du bout du lac. Les autres ont été proposés par des chercheurs de l'EPFL. Il faut dire que ces derniers sont habitués à considérer des applications qui nécessitent des ressources de calcul impor-

«A l'heure actuelle, même si l'Université de Genève compte dans ses rangs des pionniers et de fréquents utilisateurs des supercalculateurs, ils ne forment qu'une petite minorité»



NCE SE POPULARISE

tantes et à utiliser les ordinateurs puissants disponibles sur le campus.

L'Université de Genève, elle, n'est pas dotée d'une puissance de calcul exceptionnelle. En plus du BlueGene, qui est installé à l'EPFL, elle possède des clusters de taille modeste à moyenne. Leur puissance de calcul suffit cependant aux besoins des groupes de recherche qui en disposent.

CENTRALISER LES ORDINATEURS

«La politique actuelle de l'Université en la matière est de laisser chaque groupe acheter son cluster si nécessaire et l'équiper avec les logiciels de son choix, explique Bastien Chopard. Cette stratégie n'est cependant pas toujours la plus simple, puisqu'elle exige de la place. Tout le monde ne possède pas une ou plusieurs salles pour accueillir ces machines. C'est pourquoi la réflexion se poursuit sur la meilleure manière de procéder. Peut-être qu'il vaudrait mieux centraliser toutes ces grappes d'ordinateurs à un endroit. La distance entre les utilisateurs et le calculateur ne joue pas de rôle, puisque l'Université dispose de connexions rapides.»

Le cluster le plus puissant prévu à l'Université est celui de la Faculté de médecine dont le but sera de renforcer la plateforme VITAL-IT, pour les applications liées à la bio-informatique (lire en page 21). Ce cluster comptera pas moins de 1000 cœurs – autrement dit, 1000 microprocesseurs travaillant en parallèle. Le Département d'informatique, quant à lui, vient d'acquérir un calculateur de 240 cœurs, dont l'usage sera réservé aux simulations de systèmes complexes. «Sa puissance est ajustée aux besoins de la plupart de nos projets», précise Bastien Chopard. Autres traditionnels amateurs de grande puissance de calcul, le Département d'astronomie et celui de physique nucléaire et corpusculaire possèdent chacun leur calculateur propre. A cela s'ajoutent plusieurs groupes disposant dans leur laboratoire de petits clusters contenant entre 8 et 32 cœurs. ►

► **Flops.** Les flops sont une unité mesurant la performance d'un ordinateur. Il s'agit de l'acronyme anglais pour *Floating Point Operations per Second*, ou opérations à virgule flottante par seconde. Ces dernières comprennent toutes les opérations (additions, multiplications, soustractions et divisions) impliquant les nombres réels. En 1960, les performances des meilleurs ordinateurs atteignaient 250 kiloflops. Aujourd'hui, le record est de 1,76 petaflop, soit 7 milliards de fois plus.

► **Cluster.** Un *cluster*, ou grappe d'ordinateurs (parfois aussi appelé *farm/ferme*), est un ensemble d'ordinateurs reliés par des connexions très rapides fonctionnant comme un seul superordinateur ayant une plus grande capacité de stockage et une plus grande puissance de calcul. C'est la configuration idéale pour réaliser des calculs en parallèle. Chaque serveur d'une telle grappe, appelé nœud, peut effectuer une partie du calcul de son côté avant de communiquer ses résultats aux autres.

► **Cœur.** Jusqu'en 2005, les microprocesseurs n'étaient composés que d'un seul cœur: ils ne pouvaient lire et effectuer qu'une seule instruction à la fois. Aujourd'hui, les fabricants conçoivent des microprocesseurs contenant deux, quatre, six voire huit cœurs, c'est-à-dire autant d'unités de calcul indépendantes, reliées entre elles et compactées dans une seule puce.

► **CPU.** Le *Central Processing Unit* (CPU) est le composant de l'ordinateur qui exécute les programmes informatiques. Il s'agit donc d'un microprocesseur.

► **GPU.** Le *Graphics Processing Unit* (GPU) est un microprocesseur présent sur les cartes graphiques au sein d'un ordinateur ou d'une console de jeux vidéo. Il se charge des opérations d'affichage et de manipulation de données graphiques. Moins cher et moins gourmand en énergie, le GPU est cependant plus limité et plus spécialisé qu'un microprocesseur conventionnel. Il entre néanmoins de plus en plus souvent dans la conception des superordinateurs les plus rapides du monde.



Le BlueGene/P, copropriété de l'UNIGE, est installé à l'Ecole polytechnique fédérale de lausanne (EPFL). Il s'agit d'un superordinateur massivement parallèle. Il possède 4096 nœuds de calculs, soit autant de microprocesseurs Power PC. Cette machine est capable d'effectuer 56 mille milliards d'opérations par seconde et offre une capacité de stockage de 16 terabytes, soit 16 mille milliards d'unités d'informations. Actuellement, une quinzaine de projets, issus des trois instituts universitaires lémaniques, se partagent l'essentiel du temps de calcul.

Un nuage plane sur le parc informatique

Relier les ordinateurs personnels entre eux pour mettre en commun leur puissance de calcul est une stratégie très répandue et très prometteuse. L'Université de Genève participe à cet effort qui devrait aboutir à un «nuage de PC» genevois, voire suisses

L'Université de Genève (UNIGE), en collaboration avec la Haute Ecole du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (Hepia), a pour projet de mettre en réseau la puissance de calcul de tous leurs ordinateurs personnels, ceux qui trônent dans les bureaux administratifs, les laboratoires et les salles informatiques des étudiants. Au total, plusieurs milliers de machines sont concernées.

L'idée n'est pas nouvelle. Ces appareils ne fonctionnant que lors des heures de bureau, le reste du temps, la nuit ainsi que les samedi et dimanche, leur capacité de calcul dort alors qu'elle pourrait servir à l'avancement de la science. C'est pour exploiter ce potentiel que l'EZ-GRID, une infrastructure de calcul distribué, a été développée par le Centre universitaire d'informatique (CUI), la Division informatique de l'UNIGE et l'Hepia.

CENT MILLE ORDINATEURS

Le principe est le même que le *Worldwide LHC Computing GRID* (WLCG) élaboré par le CERN afin de stocker, traiter et analyser les montagnes de données fournies par les détecteurs de l'accélérateur de particules LHC. Le WLCG exploite en continu les performances de pas moins de plus de 100 000 microprocesseurs répartis sur 130 sites, eux-mêmes distribués dans 34 pays (lire en page 26).

Cette stratégie est particulièrement à la mode puisqu'une compagnie internationale très active dans la vente par correspondance de livres et de musique sur Internet a également décidé de mettre à disposition les ressources de ses énormes serveurs de commandes qu'elle possède à travers le monde. Ces derniers sont en effet inutilisés à des moments précis (la nuit, certaines heures de la journée lorsque le nombre de commandes est faible, etc.). Le service, dans ce cas, n'est en revanche pas gratuit.

MATURITÉ SUFFISANTE

L'EZ-GRID, lui, est bien plus modeste. Il permet également d'utiliser les ressources de toutes les machines qui font partie du réseau dès qu'elles sont en veille. Le potentiel est tout de même assez important, puisque plusieurs milliers de PC sont répartis entre l'UNIGE et l'Hepia. Ce qui correspond à un supercalculateur comptant des milliers de microprocesseurs travaillant en parallèle.

«Le système a atteint un stade de maturité suffisant et nous avons réalisé des projets tests sur quelques centaines de machines partagées entre l'Université et la Haute Ecole», précise Bastien Chopard, professeur au CUI. Si les résultats sont satisfaisants, il sera souhaitable que l'EZ-GRID se déploie sur le parc informatique de l'alma mater. Par ailleurs, toutes ces machines sont aussi reliées à un

projet de réseau encore plus grand qui couvrirait toute la Suisse.» Le Swiss Multiscience Computing GRID (SMSCG) vise en effet à connecter des ordinateurs d'un grand nombre d'universités et hautes écoles du pays (www.smscg.ch).

QUELQUES LIMITATIONS

Une telle infrastructure, bien que très puissante, bute néanmoins sur quelques limitations. «Dans le cadre de l'EZ-GRID, chaque ordinateur personnel est capable de faire des morceaux de calcul, mais il ne peut pas communiquer facilement avec les autres», précise Bastien Chopard. Ce genre de réseau est donc destiné à réaliser des calculs qui peuvent se séparer en un grand nombre de tâches indépendantes les unes des autres. Il ne peut dès lors pas se substituer à un superordinateur parallèle classique dans lequel les microprocesseurs échangent sans cesse des informations entre eux.»

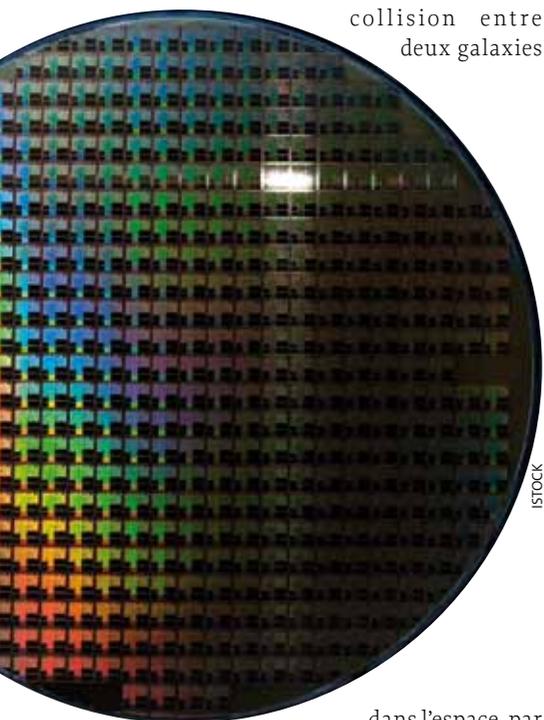
En d'autres termes, s'il s'agit de simuler l'effet d'un million de molécules différentes sur un même récepteur cellulaire, il serait judicieux de passer par l'EZ-GRID, chaque calcul étant indépendant des autres et pouvant être réalisé par une machine différente. En revanche, si l'on veut modéliser un écoulement sanguin dans une artère, où chaque élément de calcul a sans cesse besoin du résultat de plusieurs autres éléments de calcul, il est préférable de faire appel à un superordinateur ou une grappe d'ordinateurs

(cluster) avec un réseau d'interconnexions très rapides.

Il y a d'autres difficultés liées au déploiement d'une infrastructure de calcul distribué. Si, a priori, l'exploitation à des fins de calcul scientifique des parcs informatiques destinés aux étudiants ne pose pas de problèmes (puisque les appareils n'appartiennent à personne), la gestion administrative de ces postes et des salles où ils sont installés est souvent peu compatible avec les besoins de disponibilité requise pour EZ-GRID. En effet, l'électricité est parfois coupée dans certaines salles durant le week-end ou la nuit, ce qui empêche le «réveil à distance» des PC arrêtés. L'utilisation des appareils du personnel de l'Université serait dans ce sens plus aisée.

En revanche, il n'est pas sûr que tout le monde soit d'accord de confier facilement son ordinateur aux techniciens de l'EZ-GRID. Certaines personnes pourraient craindre, en effet, que cette infrastructure n'entraîne des dysfonctionnements ou un ralentissement de leur machine, sans même parler du sentiment d'atteinte à leur sphère privée. Et ce, même si le projet contient, selon Bastien Chopard, toutes les garanties en matière de confidentialité et de sécurité. ■

Toutes ces (plus ou moins super-) machines offrent aux chercheurs une nouvelle manière de faire de la science. Elles permettent de simuler des phénomènes très divers et de réaliser des prédictions sans devoir passer par la réalité parfois trop coûteuse, parfois inaccessible. Le film accéléré d'une collision entre deux galaxies



ISTOCK

en plus réduit et avec une précision de plus en plus grande, de simuler des phénomènes climatiques et météorologiques, l'écoulement du sang dans un vaisseau sanguin, le comportement d'une poche magmatique sous un volcan, l'effet probable d'une molécule sur une cible thérapeutique, les mécanismes d'une avalanche ou de l'explosion d'une arme à destruction massive.

dans l'espace, par exemple, n'est pas un événement que l'on peut observer à l'envi. Un supercalculateur permet de le réaliser (bien qu'il faille réduire le nombre d'étoiles contenues dans les galaxies en question). Il permet également de proposer des scénarios probables pour expliquer les images figées que les astronomes observent aujourd'hui avec leurs télescopes.

De la même manière, grâce aux superordinateurs, il est possible, en un temps de plus

Cela dit, les grandes puissances de calcul n'intéressent pas seulement les chercheurs en sciences naturelles et médicales (lire les pages 20 à 27). La finance est depuis longtemps une grande utilisatrice des supercalculateurs. Au début des années 2000, durant dix-huit mois, la machine la puissante de Suisse appartenait d'ailleurs à Credit Suisse.

Plus récent est l'intérêt des sciences humaines pour le calcul de haute performance. Luka Nerima, chargé d'enseignement au Laboratoire d'analyse et de traitement du langage (Faculté des lettres), par exemple, a participé l'année dernière à un projet international, PASSAGE 2, visant à évaluer un analyseur syntaxique du français. Pour l'analyse d'un corpus comptant plus de 200 millions de caractères (articles de presse et tirés de Wikipédia, l'encyclopédie en ligne ainsi que des textes littéraires), le chercheur a utilisé une dizaine d'ordinateurs fonctionnant en parallèle. Le travail a duré un jour au lieu de dix s'il n'avait utilisé qu'une seule machine.

«Jusqu'à récemment, ce genre d'ordinateurs de haute performance était trop cher pour les sciences humaines, estime Luka Nerima. Maintenant que leur usage se démocratise, nous les utilisons plus souvent. Et nous sommes intéressés à aller plus loin encore dans cette direction. Si nous avions accès à un Grid plus important, nous pourrions réduire encore le temps de calcul de nos analyses syntaxiques, ce qui est essentiel pour pouvoir améliorer nos outils informatiques.» ■

Les cartes graphiques: rapides et bon marché

Une des stratégies suivies par les constructeurs de supercalculateurs pour augmenter la puissance de leurs appareils consiste à exploiter les performances exceptionnelles des cartes graphiques. Développées à l'origine pour les jeux vidéo, ces cartes peuvent compter plusieurs centaines de microprocesseurs très puissants (GPU, pour Graphics Processing Unit). Une seule d'entre elles peut aujourd'hui atteindre une vitesse de calcul d'un teraflop (mille milliards d'opérations) par seconde.

La différence entre ces petites cartes et les énormes supercalculateurs massivement parallèles, c'est que les premières sont spécialisées dans un type de calcul simplifié et ne peuvent de loin pas réaliser ce dont un microprocesseur traditionnel et moins rapide est capable. Il faut dire que leur usage premier est le traitement d'images graphiques, de vidéos et de rendus en trois dimensions.

Certains chercheurs et fabricants de superordinateurs tentent d'exploiter ces propriétés à des fins de recherche scientifiques. C'est notamment le cas de la firme chinoise Dawning, qui a construit le superordinateur Nebulae, qui pointe à la deuxième place du dernier classement des ordinateurs les plus rapides du monde publié en juin 2010 (www.top500.org). Cette machine possède probablement (les informations ne viennent pas directement du fabricant, pas très bavard, mais de spéculations de spécialistes) un tiers de GPU pour deux tiers de microprocesseurs conventionnels.

LE JAGUAR AMÉRICAIN TALONNÉ PAR LA NÉBULEUSE CHINOISE

Deux fois par année, une liste des 500 superordinateurs les plus puissants du monde est publiée. La dernière, datant du mois de juin, a placé pour la première fois une machine chinoise à la deuxième place

La définition d'un superordinateur varie avec le temps, et très rapidement. Le record mondial de vitesse de calcul est ainsi multiplié par un facteur d'environ 10 tous les cinq ans. En juin 1993, lorsque la Conférence internationale de calcul scientifique à Mannheim en Allemagne a publié sa première liste des 500 meilleures machines du monde, la première place était occupée par un appareil capable d'effectuer 60 milliards d'opérations (giga-flops) par seconde. Il appartenait à une institution de recherche en Californie spécialisée dans l'armement nucléaire (*Lawrence Livermore National Laboratory*). Cette performance est aujourd'hui à la portée d'un très bon ordinateur de bureau.

Depuis une année, le record est détenu par un superordinateur Cray, le Jaguar, installé au *Oak Ridge National Laboratory* au Tennessee. Ce caïd, qui occupe 400 m² au sol, peut réaliser 1,76 million de milliards d'opérations (petaflops) par seconde. Ses domaines de prédilection sont les simulations du climat, de matériaux supraconducteurs, de réactions chimiques, d'astrophysique ou encore de processus de combustion.

ASCENSION INEXORABLE

Le Jaguar est talonné, c'est une première, par un concurrent chinois, le Nebulae, installé à Shenzhen, près de Hong Kong. Cette machine confirme l'ascension inexorable de la Chine dans ce domaine technologique. Il y a un an, elle possédait une machine occupant la cinquième position et il est probable que la première place lui revienne dans un proche avenir.

Le 500^e mondial, selon le dernier palmarès publié en juin 2010 (le prochain doit paraître en novembre 2010), dépasse les 24 mille milliards d'opérations (teraflops) par seconde. Le BlueGene/P installé à l'École polytechnique



Le superordinateur Jaguar installé au Oak Ridge National Laboratory au Tennessee, Etats-Unis.



Le superordinateur Monte Rosa est le plus puissant en Suisse. Il est installé au Centre de Calcul scientifique à Monna au Tessin. Vingt-septième dans le classement mondial des supercalculateurs du mois de juin 2010, cette machine est capable de 168 mille milliards d'opérations par seconde.

fédérale de Lausanne et dont l'Université de Genève est copropriétaire, lui, se porte honorablement, puisqu'il dépasse les 47 teraflops par seconde (117^e mondial).

La Suisse possède cependant quelques machines plus rapides. La plus puissante est un Cray, baptisé Monte Rosa et installé au Centre suisse de calcul scientifique à Monna au Tessin. Pointant à la 27^e place mondiale, il atteint les 168 teraflops par seconde (lire ci-contre).

COURSE EN AVANT

La course en avant des supercalculateurs bute aujourd'hui sur un certain nombre d'obstacles techniques. Le principal est la surchauffe. Plus les microprocesseurs réduisent leurs composants et augmentent leur cadence de travail, plus ils dégagent de chaleur. Le défi consiste à refroidir suffisamment la machine pour qu'elle puisse continuer à fonctionner. Le Jaguar est doté d'un système très sophistiqué basé sur le changement de phase d'un liquide de refroidissement (le R134A). Le BlueGene lémanique, lui, est refroidi à l'air et à l'eau.

Par ailleurs, la miniaturisation extrême des puces provoque la fuite d'électron d'un circuit vers un autre. La seule façon de gagner encore en performance, avec la technologie actuelle, c'est d'augmenter le nombre de mi-

croprocesseurs contenus dans un supercalculateur. Mais cela pose ensuite le problème de l'interconnexion et du développement de logiciels capables de gérer une telle complexité.

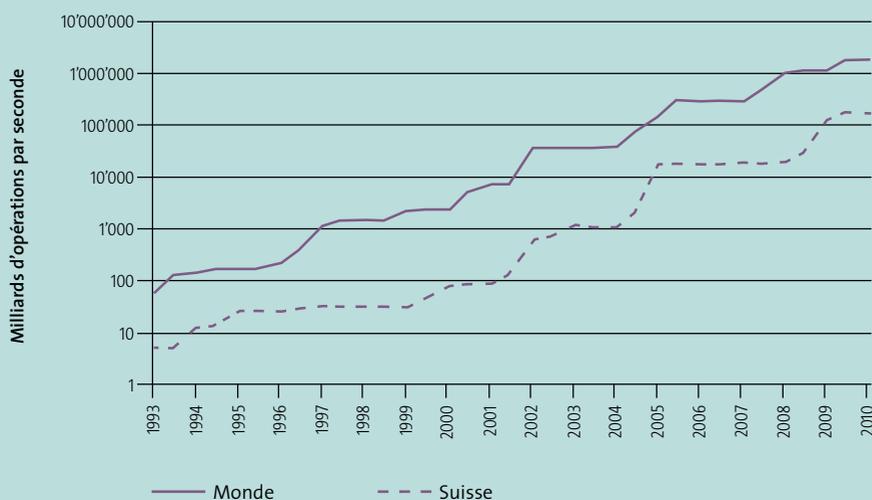
SCIENCE-FICTION

Pour ces diverses raisons, d'aucuns pensent que l'évolution des superordinateurs est dans sa dernière ligne droite. Mais c'est compter sans l'inventivité des professionnels de la branche. Les ingénieurs des grandes entreprises ou, plus souvent encore, de petites start-up, ont jusqu'à maintenant à chaque fois trouvé des moyens de contourner les obstacles. Résultat: le rythme de progression de la rapidité des machines se maintient sans faillir depuis bientôt vingt ans.

D'ailleurs, les constructeurs affirment déjà être dans la course pour l'exaflop (un milliard de milliards d'opérations) par seconde. L'objectif devrait, selon eux, être atteint dans dix ans (sans qu'ils sachent exactement comment ils y parviendront). Certains parlent déjà du zettaflop (mille fois plus rapide). ■

www.top500.org
www.cscs.ch
www.cadmos.org
www.nccs.gov/jaguar

Performance des meilleurs superordinateurs



La Chine prend la première place

Au moment de mettre sous presse, la dernière liste des 500 supercalculateurs les plus puissants du monde, prévue pour la mi-novembre, n'était pas encore publiée. Plusieurs annonces dans la presse laissent néanmoins entendre que la Chine aurait raflé la première place avec le Tianhe-1A dont la puissance de calcul atteindrait les 2,507 petaflops, soit deux fois plus rapide que le Jaguar. Pour toutes informations supplémentaires sur cette compétition frénétique: www.top500.org.

LA PHARMA VIRTUELLE: UNE APP DE LA RÉALITÉ

La simulation de médicaments par ordinateur est devenue chose courante. Mais l'amélioration de la puissance de calcul va de pair avec une complexification des simulations créées par les chercheurs. Pour s'approcher chaque fois un peu plus de la réalité

«C'est une histoire sans fin: plus nous disposons d'ordinateurs puissants, plus nous complexifions les problèmes que nous voulons résoudre. Et nous avons de la marge puisque les modèles que nous créons, bien qu'ils soient suffisants pour obtenir des résultats utilisables, ne représentent encore qu'une très grande approximation de la réalité.» Pierre-Alain Carrupt, professeur à l'École de pharmacie Genève-Lausanne et président de la Section de pharmacie (Faculté des sciences), sait de quoi il parle: cela fait plus de trente ans qu'il utilise des ordinateurs parmi les plus rapides que l'on puisse trouver pour simuler l'action de médicaments, ou plus précisément de composés bioactifs sur des cibles thérapeutiques.

La simulation par ordinateur est bien implantée en sciences pharmaceutiques. Les chercheurs ne se contentent plus, en effet, d'identifier des substances qui pourraient posséder un pouvoir curateur. Ils les construisent sur ordinateur, prédisent leur efficacité à se lier à leur cible, tentent de simuler leur effet chimique, avant même de les synthétiser ou les tester en conditions réelles. C'est ce qu'on appelle le *drug design*. Une technique qui entre aujourd'hui, à un degré plus ou moins élevé, dans la conception de n'importe quel nouveau médicament.

La dorzolamide, un médicament indiqué pour le traitement contre une pression intraoculaire élevée, est le premier traitement né sur ordinateur à être commercialisé en 1995. Plus connu est le cas de l'oseltamivir (vendu par Hoffman-la-Roche sous le nom de Tamiflu), un médicament contre la grippe et dont l'action bloque une enzyme du virus

impliquée dans sa réplication. Dans ces deux cas, la cible thérapeutique était connue et les chimistes ont façonné par ordinateur des composés capables de la neutraliser.

Car la simulation ne peut pas tout. Avant de faire chauffer les processeurs, le chercheur doit d'abord avoir une idée assez précise de la problématique. Dans le cas d'une maladie, il est indispensable d'avoir identifié une cible d'intérêt thérapeutique, qu'il s'agisse d'une enzyme, d'une autre protéine ou encore d'un acide nucléique. Il doit ensuite déterminer sa structure moléculaire et spatiale afin de la recréer sur un

écran. Le site actif de cette cible forme souvent une cavité et c'est pourquoi les chercheurs la surnomment la «poche». Le composé capable de s'y fixer, lui, est nommé le ligand.

«Il est préférable de connaître déjà un ligand à l'avance, précise Pierre-Alain Carrupt. Cela permet de donner une idée de la forme que pourrait prendre notre futur médicament. La dopamine, par exemple, est un neurotransmetteur impliqué, entre autres, dans la maladie de Parkinson. Cette molécule et son récepteur associé qui se trouve à la surface des neurones s'imbriquent selon une géométrie très précise. Si on la connaît, on peut commencer à chercher, par simulation, une substance qui remplacerait la dopamine. L'ordinateur permet ainsi de tester très rapidement de nouvelles substances. Sans lui, ce travail prendrait des années.»

SITUATION STATIQUE

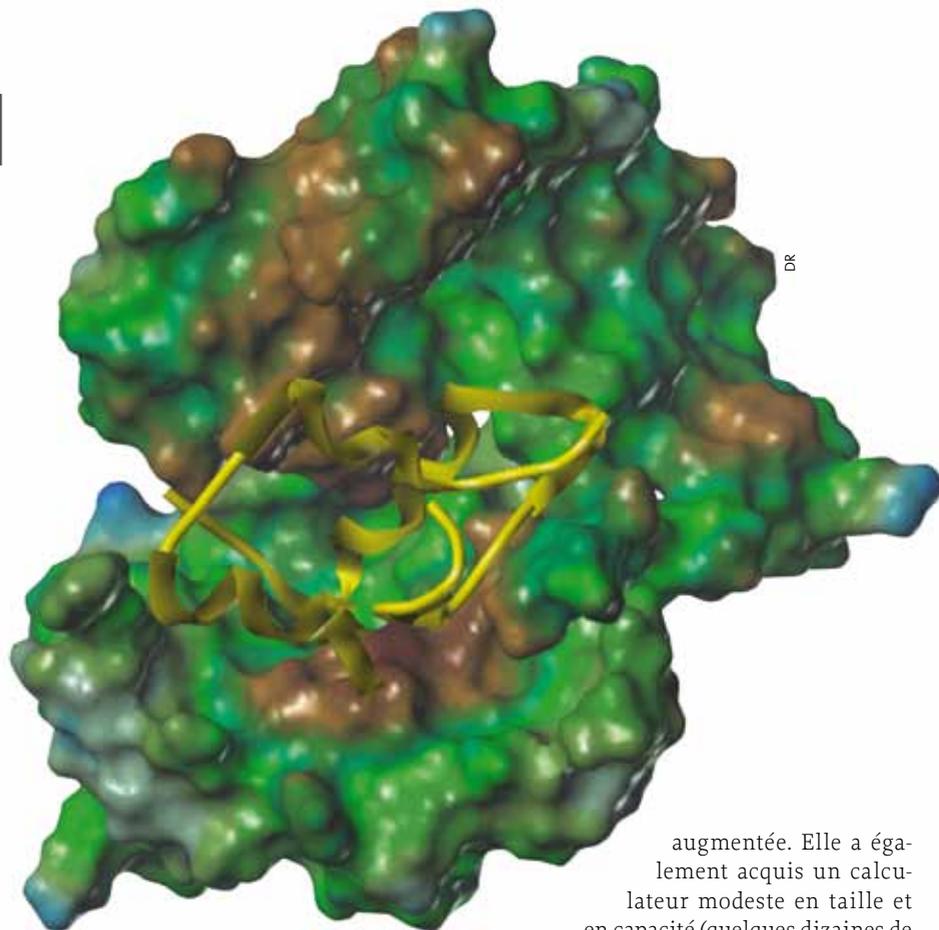
Le degré de difficulté le plus élémentaire, dans la simulation pharmaceutique, est la situation statique qui ne fait appel qu'à la mécanique moléculaire. Dans ce cas, le chercheur tente simplement d'ajuster le ligand pour qu'il se fixe dans la poche de la façon souhaitée. Cette phase ne demande pas énormément de temps de calcul. Les ordinateurs personnels modernes sont suffisants.

Le problème se complexifie lorsqu'on ajoute un solvant, principalement de l'eau, mais parfois d'autres substances présentes dans le milieu biologique telles que les ions inorganiques. On entre alors dans une situation dynamique. Quand le ligand entre dans la poche, par exemple, il faut bien que l'eau puisse sortir de cet espace et se redistribuer autour du complexe ligand-cible nouvellement formé.

«Les choses se corrent véritablement lorsqu'on veut tenir compte des réactions chimiques entre le composé actif et sa cible»

ROXIMATION

Image tirée d'une simulation moléculaire d'un facteur de croissance (le IGF-1 en jaune) qui est associé à des maladies lorsque son taux sanguin n'est pas optimal. Il est lié à un complexe dont la surface moléculaire est colorée en fonction de ses propriétés chimiques.



Les simulations se déroulent donc durant un certain laps de temps. Les supercalculateurs représentent dès lors une aide précieuse, surtout lorsque les chercheurs, dans un souci de coller au mieux à la réalité, augmentent la taille du système (nombre de molécules d'eau, par exemple) et le temps de simulation.

Les choses se corsent véritablement lorsqu'on veut tenir compte des réactions chimiques entre le composé actif et sa cible. En effet, certaines liaisons peuvent se casser ou se modifier quand le ligand se fixe dans la poche. Les chercheurs ne peuvent alors plus se contenter d'un modèle simple. Ils doivent faire intervenir les notions de chimie quantique, la discipline qui décrit les propriétés et les processus chimiques des molécules. Le degré de précision de la modélisation devient si important qu'il intègre les atomes entrant en jeu dans la réaction – moyennant de nombreuses approximations. Même si le nombre d'atomes pris en compte ne représente qu'un faible pourcentage de la quantité totale d'atomes impliqués dans la réalité, de telles simulations commencent à devenir très gourmandes en calcul. A ce stade, le supercalculateur devient très utile.

UN PAS PRESQUE INSIGNIFIANT

Le top, aujourd'hui, est de modéliser une telle réaction chimique, à l'aide de la mécanique quantique, et en y ajoutant un solvant. Si l'on rallonge la durée de la simulation et que l'on augmente la taille du système, le supercalculateur devient alors indispensable.

«Cela dit, même avec tous les progrès accomplis en matière de puissance de calcul des ordinateurs

et de techniques de modélisation, nous n'avons réalisé qu'un pas presque insignifiant vers la description parfaite de la réalité, souligne Antoine Daina, maître assistant à la Section des sciences pharmaceutiques. Les simulations, par exemple, ne tiennent compte que d'un seul ligand et d'un seul récepteur alors qu'un cachet d'aspirine (500 mg) contient environ 2×10^{20} molécules de principe actif.»

A cela s'ajoute le fait que, du point de vue physique, seules quelques molécules simples comme celle d'hydrogène n'ont plus de secrets pour les chercheurs. Toutes les autres ont encore une part plus ou moins importante de mystère. Sans même parler du fait que les méthodes de simulation de la chimie quantique ont été développées pour copier les réactions se déroulant en phase gazeuse. Elles sont encore imprécises pour la modélisation des réactions en phase liquide et non pertinentes si l'on considère un milieu biologique complexe.

«Toutes les simulations par ordinateurs, quel que soit le sujet étudié, comportent des approximations, admet Pierre-Alain Carrupt. Et de toute façon, n'importe quel résultat obtenu *in silico* est une prédiction qui doit être vérifiée expérimentalement. On ne peut plus se passer des ordinateurs dans la fabrication des médicaments, mais on ne se passera jamais non plus des essais cliniques.»

L'équipe de Pierre-Alain Carrupt dispose aujourd'hui d'un petit réseau de stations de calcul dont la puissance est en train d'être

augmentée. Elle a également acquis un calculateur modeste en taille et en capacité (quelques dizaines de fois plus puissant qu'un PC de bureau). Ces appareils suffisent néanmoins à la plupart des besoins des chercheurs en matière de calcul et de visualisation des résultats en trois dimensions. Pour l'instant.

TEMPS PARTAGÉ

«Nous allons bientôt collaborer avec une équipe de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) sur des projets de mécanique quantique dynamique, souligne Pierre-Alain Carrupt. Nous utiliserons donc vraisemblablement dans un avenir proche le BlueGene (lire en page 15) installé à Lausanne.»

Toutefois, selon le professeur, ces énormes machines comportent quelques désavantages. La plupart du temps, ce sont des ordinateurs partagés, c'est-à-dire que beaucoup de chercheurs les utilisent en même temps. Ce qui divise d'autant leur puissance de calcul.

«Il y a trente ans, lorsqu'il fallait encore manipuler des cartes perforées, nous étions déjà quelques dizaines de chercheurs en compétition pour le même calculateur, l'un des premiers de l'EPFL, se souvient-il. Je devais louer la machine et travailler environ tous les trois week-ends pour avoir plus de temps de calcul et, ainsi, avancer plus rapidement. Aujourd'hui, la compétition s'est exacerbée car de nombreuses disciplines nouvelles font appel à des techniques complexes de simulation. C'est pourquoi, nous avons choisi d'acheter une infrastructure modeste et de nous tourner vers le supercalculateur seulement en cas de réel besoin.» ■



LA GÉNOMIQUE CROULE SOUS LES DONNÉES

Les biologistes produisent plus de données qu'il n'y a de serveurs pour les stocker ou les traiter. Les fermes d'ordinateurs, dotées d'une grande puissance de calcul et d'une vaste mémoire, se multiplient pour faire face. Entretien avec Antoine Geissbühler, directeur du Département de radiologie et informatique médicale et président de la commission informatique de la Faculté de médecine

La Faculté de médecine se dote d'une ferme d'ordinateurs parmi les plus puissantes de l'Université de Genève. Pourquoi avez-vous besoin d'un tel supercalculateur?

ANTOINE GEISSBÜHLER: Cela fait quelque temps déjà que les chercheurs en médecine fondamentale et, plus généralement, en sciences de la vie se sont rendu compte qu'ils pouvaient aborder leur discipline d'une nouvelle ma-

nière. Après les études classiques *in vivo* (sur un organisme vivant) puis *in vitro* (en éprouvette dans les laboratoires), voici que l'on assiste à l'émergence des études *in silico* (sur ordinateur). De nombreuses activités ont déjà été développées dans cette troisième voie, qu'il s'agisse de la modélisation de processus biologiques, d'actions de molécules sur leur cible thérapeutique, etc. Toutes ces recherches

demandent de plus en plus de ressources en calcul. Mais il est un aspect qui domine actuellement les sciences de la vie, c'est la profusion de données.

Comment cela?

Les laboratoires de génomiques disposent de séquenceurs dernier cri, dits d'ultra haute performance. Ces machines déchiffrent des

codes génétiques à des vitesses très élevées. Elles sont capables de produire des milliards de données par seconde. On se retrouve donc avec une avalanche d'informations qu'il nous faut stocker, traiter et analyser au fur et à mesure. Du coup, les chercheurs en sciences de la vie sont confrontés à une explosion inédite de leurs besoins en puissance informatique. Il faut bien l'admettre: notre situation est critique. Sans une capacité de calcul et de mémoire exceptionnelle, nous ne pouvons pas utiliser correctement nos séquenceurs.

Est-ce que cela signifie que vous ne pouvez pas, actuellement, traiter toute l'information produite par les séquenceurs?

Dans le monde, l'accroissement de la production de données biologiques est plus rapide que la loi de Moore qui prédit avec beaucoup d'exactitude l'augmentation de la puissance des microprocesseurs. Cela signifie que si cela continue, nous allons bientôt créer plus d'informations que nous ne pouvons en traiter. Notre problème ressemble sous certains aspects à celui rencontré par le LHC, le dernier accélérateur du CERN: nous recherchons des aiguilles dans une meule de foin gigantesque. En biologie, cependant, il nous faut, en plus, garder précieusement toutes les données récoltées. En effet, nos connaissances en génomique (l'étude des gènes), en protéomique (l'étude des protéines) ou encore en transcriptomique (l'étude des ARN messagers) s'accroissent régulièrement. Certaines informations ne pourront être exploitées que plus tard, quand nous serons à même de les comprendre.

La recherche «in silico», dans le domaine des sciences de la vie, est-elle dépassée par sa propre puissance?

Disons plutôt que, d'un point de vue philosophique, l'on peut se poser des questions sur la capacité du cerveau humain à continuer à avancer intelligemment dans cet océan de données inexploitées. Le scientifique, qui est un être humain comme un autre, a tendance, face à cette débauche d'informations, à chercher ses clés sous le réverbère. Dans l'abon-

«Nous recherchons
des aiguilles
dans une meule
de foin
gigantesque»

dance, il utilisera les données qui lui semblent utiles et négligera les autres. Ce n'est pas fréquent, en science, que de disposer d'une telle manne.

C'est pourquoi il est intéressant de laisser travailler l'ordinateur à sa place...

En effet. Les superordinateurs sont capables de trouver des associations que l'on ne suspecterait pas. Mais le problème demeure. Il faut davantage de puissance de calcul et de stockage. D'où la nécessité de construire une ferme d'ordinateurs à la Faculté de médecine qui puisse répondre à ce défi, en tout cas localement.

De quelle puissance allez-vous disposer avec ce nouvel outil?

La ferme d'ordinateurs est en cours de construction. Elle devrait être terminée d'ici à la fin de l'année. Au total, nous disposerons de mille cœurs (ou processeurs) de calcul et

d'une capacité de stockage de plus de 200 terabytes, ou 200 mille milliards de bytes (la plus petite unité adressable d'un ordinateur). Des performances de rêve. Les plus importantes de l'Université de Genève à l'heure actuelle. Cela dit, nous avons rencontré une contrainte inattendue. Ce n'est ni le manque de place ni l'alimentation électrique qui nous a freinés, même si ces appareils sont gourmands en énergie (jusqu'à 100 kilowatts). En réalité, c'est le dégagement de chaleur qui nous a limités. La ferme d'ordinateurs chauffe tellement que le refroidissement du bâtiment (le Centre médical universitaire) n'arrive pas à suivre. En plus, ces ordinateurs, qui ressemblent à de grosses armoires noires où une multitude de lumières clignotent, sont lourds. Nous avons beau nous diriger vers une société dématérialisée, l'informatique continue de peser. Nous avons donc dû tenir compte aussi de la résistance des planchers du bâtiment. Tout cela pour dire que l'augmentation de notre capacité informatique a finalement nécessité une réflexion sur un partenariat plus large.

A qui vous êtes-vous adressé?

Tout d'abord, la commission informatique a décidé, il y a deux ans déjà, de mieux coordonner ses efforts en la matière et de mutualiser les ressources disponibles localement. La ferme de calcul, une fois terminée, jouera le rôle de navire amiral. Elle découle en fait d'un partenariat avec Vital-IT, le centre de supercalcul basé à l'Université de Lausanne. Cette initiative commune à plusieurs institutions lémaniques, dont l'Université de Genève et l'Institut suisse de bioinformatique (lire ci-contre), offre des capacités de calcul et de stockage importantes pour les projets dans les sciences de la vie (notamment une vitesse de calcul de pointe atteignant 2 teraflops, ou mille milliards d'opérations par seconde). Notre ferme d'ordinateurs sera connectée à ce centre et jouera le rôle de poste avancé de Vital-IT à Genève. Nous pourrions donc exploiter notre puissance de calcul locale et, si nécessaire, faire appel aux ressources plus importantes installées à Lausanne. Et surtout à leur savoir-faire en la matière. ■

Des puces dédiées aux sciences de la vie

Le Centre informatique de haute performance Vital-IT est une collaboration entre les institutions universitaires de l'Arc lémanique. Il met des ressources de calcul à la disposition des chercheurs actifs en sciences de la vie

Des milliers de milliards de données. C'est ce que produisent chaque semaine les différents séquenceurs à haut débit fonctionnant actuellement dans les Universités de Genève et de Lausanne. Ces machines dernier cri décryptent des chaînes d'ADN à très haute vitesse. En attendant

Pour les aider, le centre informatique de haute performance Vital-IT met à la disposition des scientifiques, depuis 2004, des ressources de calcul, de stockage de données et, surtout, une équipe d'experts capable de conseiller, aider et guider les chercheurs dans leurs démarches. Basé sur le site de

«La particularité de notre centre est qu'il est dédié exclusivement à la recherche dans les sciences de la vie, précise Ioannis Xenarios, responsable de Vital-IT. Nous proposons, pour l'instant, environ 1000 cœurs de calculs (ou processeurs) et pas moins d'un demi-million de milliards de bytes de volume de stockage sur nos serveurs. Un byte est la plus petite unité adressable d'un ordinateur et est composée de huit «1» et «0». Mais ces ressources augmentent d'année en année.»

NOMBREUX DOMAINES

Les domaines des sciences de la vie faisant appel à l'informatique de haute performance sont nombreux. Les compétences de Vital-IT sont exploitées par des équipes actives dans la génétique, la génomique, la métagénomique, la génétique des populations, la protéomique, la phylogénie, la biologie structurale ou encore l'évolution (la liste n'est pas exhaustive). Certains réalisent des simulations de processus biologiques ou étudient le comportement de colonies de fourmis, d'autres analysent le contenu génétique du chromosome 21 ou le génome du poulet, d'autres encore traitent des centaines de milliers d'images de protéines fluorescentes évoluant dans des cellules.

«Vital-IT possède 500 bases de données différentes provenant de chercheurs du monde entier, poursuit Ioannis Xenarios. Il peut s'agir du génome de n'importe quel organisme

vivant, de l'expression des gènes ou de la présence de protéines dans un tissu tumoral humain. Les possibilités sont infinies.»

LE DÉFI DU STOCKAGE

Le grand défi actuel de la biologie est le stockage. C'est pourquoi Vital-IT a adopté une approche développée notamment par les physiciens et ingénieurs du CERN qui ont à traiter depuis longtemps des avalanches de données fournies par les détecteurs de particules: le HSM, ou Hierarchical Storage Management.

«Il s'agit simplement de ranger les informations en fonction de leur utilité immédiate, explique Ioannis Xenarios. Les informations les plus importantes aux yeux du chercheur sont stockées sur les disques durs, là où elles sont le plus rapidement disponibles. Celles dont on ne sait pas quoi faire dans l'immédiat mais qui pourraient se révéler intéressantes à l'avenir, sont enregistrées sur des bandes magnétiques.»

L'autre point fort de Vital-IT est l'expertise. Celle des membres de l'équipe, mais aussi celle d'un vaste réseau de compétences en Suisse et à l'étranger. «Nous disposons de près de 1000 algorithmes développés ces dernières années pour réaliser des simulations ou du traitement de données dans les différentes disciplines des sciences de la vie, souligne Ioannis Xenarios. Et nous suivons l'évolution de chacun de ces logiciels.» ■

www.vital-it.ch
www.isb-sib.ch

L'«*Arabidopsis thaliana*», ou arabette des dames, est une plante appréciée des biologistes. L'étude de son génome, de l'expression de ses gènes, de l'activité de son ARN ou de ses protéines exige parfois des ressources informatiques supérieures.

la génération suivante d'appareil déjà en phase de conception. En d'autres termes, les sciences de la vie subissent actuellement une mutation technologique impressionnante et elles produisent plus d'informations que les chercheurs ne peuvent interpréter.

Dorigny dans le Centre intégratif de génomique et géré par l'Institut suisse de bioinformatique, Vital-IT est une collaboration entre les Universités de Genève et de Lausanne, l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne et le Ludwig Center for Cancer Research.



LE CLIMAT MIS EN BOÎTE

Les sciences climatiques sont exigeantes en puissance de calcul. Les résultats des simulations, parfois décriés sur la scène politique, sont pourtant difficiles à remettre en cause. Explications avec Stéphane Goyette, chercheur à l'Institut des sciences de l'environnement

Campus: La climatologie utilise-t-elle les supercalculateurs?

STÉPHANE GOYETTE: Oui. Les sciences climatiques sont très gourmandes en puissance de calcul. Les modèles de simulation à l'échelle de la planète qui intègrent de nombreux paramètres et qui couvrent des périodes de plusieurs siècles demandent des supercalculateurs très rapides et une équipe sachant les piloter.

Réalisez-vous ce genre de simulation à Genève?

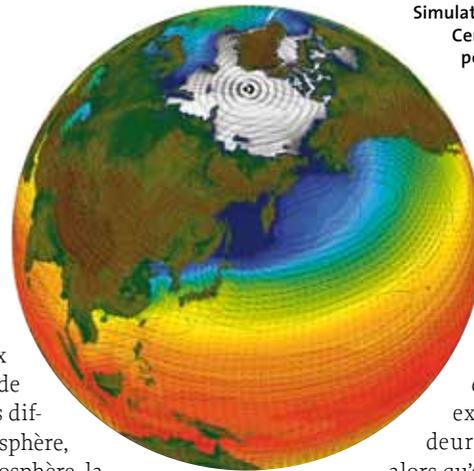
Non, nous n'effectuons pas de simulations à l'échelle globale. D'ailleurs, il n'existe pas beaucoup d'équipes qui ont les ressources techniques et humaines nécessaires pour le faire. Il s'agit le plus souvent de projets internationaux. Un tel projet pourrait néanmoins voir le jour à Genève par le biais du projet ICES (*International Center for Earth Simulations*), une initiative du fondateur et ancien directeur de la firme Silicon Graphics, qui vise une puissance de calcul inédite dans ce domaine. Cela dit, comme tous les autres chercheurs actifs en climatologie, nous avons accès aux résultats produits par ces modèles globaux. Il nous arrive donc de travailler sur une partie des données extraites des grandes simulations pour répondre à des questions spécifiques. Nous utilisons également des modèles limités à des zones géographiques plus petites (modèles régionaux du climat) et sur des laps de temps plus courts, mais qui sont basés sur les mêmes lois de la physique que les modèles globaux. Nous disposons d'une puissance informatique qui nous permet par exemple de faire tourner un modèle climatique adapté aux conditions de la Suisse avec une résolution d'un kilomètre. Plus précisément, mon travail consiste à perfectionner les modèles existants.

Quel degré de précision atteignent les meilleurs modèles climatiques?

Depuis moins de dix ans, avec l'augmentation de la puissance des supercalculateurs, la complexité des modèles climatiques globaux et régionaux a explosé. On intègre de plus en plus de modules différents en plus de l'atmosphère, à savoir les océans, la biosphère, la cryosphère, etc. On les couple ensuite les uns avec les autres, ce qui demande un travail informatique gigantesque. On intègre également de plus en plus de processus physiques et chimiques qui se déroulent dans l'ensemble de ces modules et qui jouent un rôle dans l'évolution du climat. Curieusement, durant tout ce temps, la résolution des modèles globaux est restée sensiblement la même, aux alentours de 200 kilomètres. Cette maille commence néanmoins à se rétrécir et, dans un avenir proche, on pourra même tenir compte des lacs. Ces derniers influencent le climat notamment par leur capacité à emmagasiner l'énergie provenant du Soleil durant l'été et à la restituer plus tard dans la saison ainsi qu'à réfléchir la radiation solaire s'ils sont couverts de glace.

Les prévisions dont ces modèles sont capables jouent un grand rôle dans la politique mondiale en matière de changements climatiques. Jusqu'à quel point peut-on s'y fier?

Les prévisions climatiques basées sur ces modèles sont des résultats scientifiques. Cela signifie qu'elles comprennent toujours des incertitudes qui sont mesurées et rapportées dans les articles scientifiques. Il est rarement fait mention de ce fait. Par ailleurs, et cela est valable pour n'importe quelle simulation, ces prévisions sont le résultat de modèles numériques qui ne sont qu'une approximation de la réalité. Elles ont été obtenues en posant



Simulation du climat réalisée par le Centre national des Etats-Unis pour la recherche atmosphérique. IMAGE: NCAR

un certain nombre d'hypothèses concernant les paramètres que nous ne pouvons pas maîtriser. La croissance économique et démographique, par exemple, sont des grandeurs difficiles à prévoir, alors qu'elles jouent un rôle déterminant dans les émissions de gaz à effet de serre. C'est pourquoi le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a planché sur une quarantaine de scénarios possibles en ce qui concerne ces émissions. Ces scénarios sont désormais imprimés aux modèles et fournissent un éventail de résultats possibles en ce qui concerne, par exemple, l'augmentation de la température globale ou le niveau des mers.

Que répondez-vous aux climato-sceptiques qui mettent en doute la validité de ces modèles?

Je leur dis que les bases scientifiques de la climatologie numérique sont solides. Bien sûr que les modèles sont imparfaits. La perfection, dans ce domaine, demanderait un temps infini à atteindre. On ne peut pas non plus faire dire à ces simulations autre chose que ce qu'elles sont capables de dire, ce qui signifie que l'on ne peut pas interpréter leurs résultats au-delà d'une certaine limite. Quoi qu'il en soit, il en ressort clairement que les gaz à effet de serre émis par les activités humaines contribuent de manière prépondérante aux changements climatiques et que ces derniers vont déboucher sur une augmentation, plus ou moins importante, de la température mondiale et du niveau des océans. Je n'ai pas vu un seul modèle, aussi simple ou complexe soit-il, qui n'ait jamais prédit le contraire. ■

QUAND LES GALAXIES TOURNENT

Les simulations numériques permettent de voir en moins d'une minute comment les galaxies se forment au cours de milliards d'années. Des prouesses qui demandent de grandes puissances de calcul

L'astronomie est une discipline gourmande en calcul numérique. Si l'on veut se faire une idée de la dynamique des galaxies sur des millions, voire des milliards d'années, par exemple, il n'y a pas d'autres moyens que tenter de se refaire le film en accéléré sur un écran d'ordinateur. On a beau savoir qu'une étoile comme le Soleil tourne autour

du centre de la Voie lactée à une vitesse de 220 kilomètres par seconde, personne n'a jamais vu une galaxie tourner dans le ciel. Elles semblent désespérément statiques. Toutefois, le souci, pour le chercheur qui souhaite reproduire le mouvement d'une galaxie, c'est qu'un tel objet compte au bas mot quelques centaines de milliards d'étoiles. Sans parler du gaz, de la poussière et de l'hypothétique matière noire.

«Nous ne sommes pas capables de simuler une galaxie de 100 milliards d'étoiles, précise Yves Revaz, chercheur à l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève. Notre meilleure performance est une galaxie de 32 millions de «points», simulée sur 7 milliards d'années. Et chacun de ces points représente plusieurs centaines de milliers d'étoiles.»

Les besoins de calcul de telles simulations augmentent très vite. Il s'agit en fait d'un

système physique à n corps qui évolue, dans une première approximation, sous l'effet de la seule gravité. Chaque point exerce une force gravitationnelle sur l'ensemble des autres, mais est en même temps soumis à $n-1$ attractions différentes. L'ordinateur doit donc effectuer à chaque instant un nombre de calculs égal à n^2 . En utilisant des approximations raisonnables, certains algorithmes permettent de réduire ce nombre d'opérations. Mais il demeure important.

UN MILLION DE POINTS

Ainsi, si l'on choisit de découper la galaxie en un million de points, il est nécessaire de réaliser plusieurs millions de calculs pour se faire une idée de la forme de l'objet astronomique à un instant donné. Tous les résultats doivent ensuite être gardés en mémoire pour la simulation de l'instant suivant.

Bras noirs cosmiques

La dynamique des galaxies est une spécialité genevoise depuis plusieurs décennies, sous l'impulsion de Daniel Pfenniger, professeur à l'Observatoire de Genève. L'une des dernières études de son groupe, publiée dans la revue *Astronomy & Astrophysics* du mois de juillet 2009, a consisté à simuler la formation d'une galaxie en spirale dont la particularité est que les bras, essentiellement formés de gaz, s'étendent sur une très grande distance (jusqu'à 130 000 années-lumière du centre). Ce genre de structure, observée dans l'univers, est très difficile à reproduire sur ordinateur. Le comportement du gaz s'apparentant à celui d'un banc de brouillard, les chercheurs ne parviennent pas à faire apparaître des bras stables. A moins d'introduire de la matière noire.

De nature inconnue, impossible à détecter directement à n'importe quelle longueur d'onde, la matière noire n'existe que par le fait que sa masse, importante, permet d'expliquer la dynamique des étoiles au sein des galaxies et de ces dernières à très grande échelle. En l'introduisant dans un modèle reproduisant la formation d'une galaxie, les astrophysiciens genevois ont vu juste. Selon leurs calculs, la matière sombre, assez massive, permet de construire la structure observée. Le gaz, attiré par la force gravitationnelle de ces bras invisibles, joue alors le rôle de marqueur lumineux.



Extraits d'une simulation de la galaxie NGC 6946 (<http://obswww.unige.ch/~revaz/n6946/n6946-x264.avi>).

T COMME DES TOUPIES

Sur la trace des exoplanètes noyées dans le **bruit de fond**

La recherche des planètes extrasolaires se raffine de plus en plus. Elle ne se contente plus de dénicher les planètes les plus massives tournant assez près de leur étoile. Elle cherche désormais, noyées dans des systèmes multiples, des compagnons de quelques masses terrestres évoluant si possible dans la zone habitable. Cela signifie que les chercheurs butent contre une limite inhérente à la mesure. Le signal qu'ils cherchent dans les mouvements d'une étoile et qui trahirait la présence d'un compagnon ne se distingue plus clairement du «bruit de fond». C'est pourquoi, les chasseurs d'exoplanètes font depuis peu de

temps, appel aux supercalculateurs.

«Les perturbations de la vitesse radiale des étoiles provoquées par la présence d'une planète sont parfois très faibles et cachées par plusieurs autres compagnons et par le bruit stellaire, précise Damien Ségransan, chercheur à l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève. Pour l'extraire de tout ce bruit de fond, il nous faut traiter les données par ordinateur. Avec une machine conventionnelle, cela peut prendre dix jours pour une seule étoile. Ce n'est plus satisfaisant. Surtout que l'on doit traiter des centaines de cas.»

Le groupe exoplanètes, dirigé par le professeur Stéphane Udry, a

donc décidé d'acquérir une grappe d'ordinateurs (cluster) assez puissante pour faire le même travail en beaucoup moins de temps. Pour ce faire, le *Data and Analysis Center for Exoplanets* (DACE), dont le but sera de réaliser du calcul de haute performance, mais aussi de stocker les données et d'en permettre l'accès aux chercheurs, a été créé. Il possède à l'heure actuelle un cluster comprenant 72 microprocesseurs «conventionnels» (ils ressemblent à ceux des ordinateurs de bureau) et 1000 microprocesseurs GPU (*Graphics Processing Unit*). Ces derniers, dérivés des cartes graphiques utilisés notamment dans les jeux vidéo,

sont extrêmement rapides, communiquent bien entre eux, mais se contentent des calculs les plus simples.

«Nous allons tester ce matériel durant un an pour voir ce qui nous est le plus utile, précise Damien Ségransan. Les GPU sont certainement très rapides, mais ne conviennent pas forcément à toutes les simulations. Il nous faut aussi vérifier si leur programmation ne pose pas trop de difficultés. Cela dit, une fois que notre choix sera arrêté, nous avons l'intention, d'ici à quelques années, de monter la puissance de notre cluster à environ une dizaine de teraflops, soit une dizaine de milliers de milliards d'opérations par seconde.» ■

«La détermination de l'état du système à un moment donné peut remplir, dans le meilleur des cas, un dixième du disque dur d'un ordinateur de bureau, poursuit Yves Revaz. La lecture de l'ensemble de ces données à l'aide de ce même support prend trois ou quatre minutes. Et comme une simulation est généralement découpée en un millier d'instants», le temps total de lecture, de calcul et d'écriture durerait plus d'une dizaine de jours. Il nous serait impossible de travailler dans ces conditions. L'intérêt des simulations est de pouvoir les répéter à volonté en faisant varier un ou plusieurs paramètres.»

Pour y remédier, l'Observatoire astronomique possède une grappe d'ordinateurs (cluster) représentant 220 «cœurs» de calcul (ou microprocesseurs), l'une des plus importantes de l'Université. Le tout est relié par un réseau extrêmement rapide capable de délivrer près de 20 milliards d'informations par seconde. Les cœurs et la mémoire de stockage des informations fonctionnent en parallèle. C'est-à-dire que tous les calculs et écritures sont effectués localement avant d'être rassemblés à la fin de la simulation.

Sans être le dispositif le plus puissant de Suisse, il convient parfaitement aux besoins des astrophysiciens, dont les modèles se complexifient progressivement. En effet, une galaxie n'est pas constituée que d'étoiles. Elle renferme aussi du gaz et de la poussière, des matières nettement plus diffuses que les astres lumineux. Du coup, en plus de la gravitation, les chercheurs doivent aussi tenir compte des forces hydrodynamiques.

INTÉGRER LE GAZ

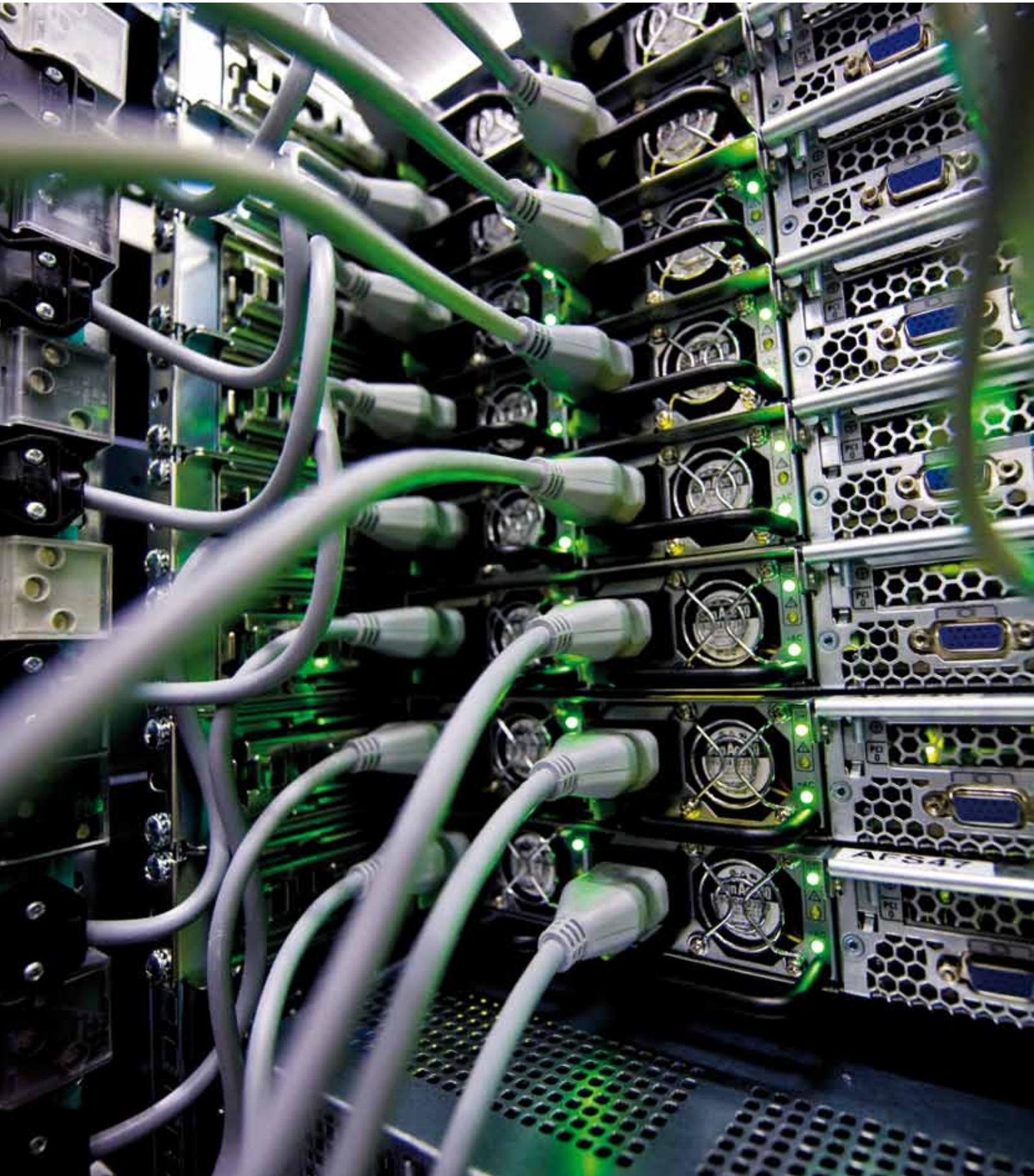
«Nous avons réussi à intégrer le gaz dans nos simulations, mais pas encore la poussière, note Yves Revaz. Cela dit, la résolution de ces équations spécifiques complique et rallonge déjà beaucoup nos calculs.» Mais ce n'est pas tout. Une fois que le gaz a poussé la porte de la modélisation, les chercheurs doivent aussi tenir compte de son refroidissement selon la région galactique où il se trouve.

Les températures ambiantes peuvent en effet varier des environs du zéro absolu à des dizaines de millions de degrés si l'on se trouve dans un amas de galaxies. Ces fortes

variations sont également gourmandes en temps de calcul.

L'un dans l'autre, malgré les difficultés, la simulation rend un résultat raisonnablement fiable et, surtout, peut résumer 10 milliards d'années d'histoire galactique en un petit film de 30 secondes. *«Ces simulations nous permettent d'étudier des phénomènes impossibles à observer dans la réalité, note Yves Revaz. On peut ainsi comprendre comment, entre autres, les galaxies adoptent leur forme.»*

La méthode numérique permet aussi de réaliser des prédictions. Il y a vingt ans, les théoriciens avaient ainsi remarqué, à l'aide de leurs modèles, que les galaxies spirales développaient systématiquement une barre en leur centre, c'est-à-dire un allongement de la région centrale aux extrémités duquel sont accrochés les bras. Problème: les observations d'alors contredisaient ce résultat. Il fallut un perfectionnement des moyens d'observation pour se rendre compte qu'en effet la majorité des galaxies spirales sont barrées. La Voie lactée aussi. La prédiction numérique s'est donc avérée correcte. ■



LA GRILLE DE CALCUL DU CERN PASSE PAR L'UNIGE

L'Université abrite une ferme d'ordinateurs dédiée au traitement des données produites par l'accélérateur de particules LHC du Cern. Elle fait partie d'un réseau de centres de calcul répartis dans le monde entier

Couverte par un bruit assourdissant, la voix de Szymon Gadomski, chercheur au Département de physique nucléaire et corpusculaire (Faculté des sciences), présente la ferme de serveurs dont il a la charge. La taille de l'installation, située dans une salle d'Uni Dufour, n'est pas impressionnante en soi: plusieurs dizaines de «machines» rangées dans quatre armoires métalliques. Le point de vue change lorsque l'on sait que ces modestes 268 cœurs de calcul font partie du *Worldwide LHC Computing Grid* (WLCG). Autrement dit, le gigantesque réseau mondial d'ordinateurs, distribué sur la planète entière et destiné à recevoir, traiter et stocker les quantités phénoménales de données produites quotidiennement par les détecteurs de l'accélérateur de particules LHC du CERN, construit près de Genève.

ÉNERGIE INÉDITE

Le *Large Hadron Collider* (LHC) est un anneau dans lequel circulent, depuis bientôt huit mois, des paquets de protons et d'antiprotons (des protons chargés négativement) en sens inverses et à une vitesse proche de celle de la lumière. Des collisions ont lieu à chaque tour (environ 40 millions de fois par seconde), dont les produits sont captés par d'énormes détecteurs, dont les principaux sont ATLAS et CMS. L'énergie mise en jeu est inédite et, grâce à ce

collisionneur, les physiciens entrent dans un domaine encore inexploré. Parmi les découvertes qu'ils espèrent réaliser figure le boson de Higgs, une particule hypothétique dont l'existence permettrait d'expliquer pourquoi toutes les autres particules que l'on connaît possèdent une masse.

Pour digérer la masse phénoménale de données produites par cette machine, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) a dû concevoir, dès 2000, la mise en œuvre d'un réseau international d'ordinateurs puissants capables de mettre en commun leur puissance de calcul et de stockage d'information. Dix ans plus tard, le WLCG, ou plus simplement GRID, fonctionne parfaitement bien. Il est composé d'environ 250 000 cœurs de calculs (ou microprocesseurs) et possède une capacité de stockage de 100 petabytes (100 millions de milliards de bytes, c'est-à-dire la plus petite unité en informatique). Le tout est réparti sur plus de 140 sites dans 34 pays, essentiellement en Europe et en Amérique du Nord.

«Le LHC fonctionne comme une horloge, précise Szymon Gadomski. Chaque collision peut être analysée séparément. Les données produites par les détecteurs sont donc faciles à paralléliser et il n'est pas nécessaire d'avoir des interconnexions très rapides entre les centaines de milliers de microprocesseurs composant le GRID. Autrement dit, l'expérience du LHC n'a pas besoin d'un superordinateur au sens strict, comme le Jaguar américain ou le Monte Rosa suisse (lire en page 18). Elle nécessite en revanche une très grande capacité de stockage. Car le CERN veut tout garder. Ou presque.»

GARDE RAPPROCHÉE

C'est sur le site de l'organisation, près de Meyrin, que se situe la plus grande puissance informatique. Toutes les données produites par le LHC passent par ce *hub*, baptisé «Tier 0», qui possède en outre 20% de la puissance de calcul du GRID. Il engrange en moyenne 2,6 milliards de données par seconde (plus de 200 terabytes

par jour). Environ un tiers de cette masse d'informations est enregistré sur des bandes magnétiques (70 par jour).

L'échelon en dessous («Tier 1») est occupé par 11 grands centres de calculs, dont le plus proche est celui de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules à Villeurbanne, près de Lyon. Leur rôle est de recevoir toutes les données brutes, de les conserver, de les mettre à disposition et d'offrir suffisamment de puissance de calcul pour leur analyse. C'est la garde rapprochée en quelque sorte.

Puis vient l'armée des centres de calcul plus modestes appelés «Tier 2» ou «Tier 3». Répartis dans près de 160 sites, bien que tous ne soient pas encore intégrés dans le GRID, ils s'occupent de tâches plus spécifiques. L'un d'eux est celui dont s'occupe Szymon Gadomski à l'Université. «Comme notre groupe a contribué à la fabrication du détecteur ATLAS, nous sommes chargés de vérifier son bon fonctionnement, explique-t-il. Nous effectuons également des analyses sur une partie des données produites par ATLAS. Nous pouvons stocker et traiter 180 terabytes sur nos serveurs. Mais cela va augmenter sans cesse.»

À l'heure actuelle, 2000 chercheurs utilisent les données fournies et traitées par le GRID dans le monde entier. En moyenne, 100 000 cœurs de calculs sont exploités en permanence. Malgré quelques difficultés techniques, surtout au niveau des Tier 2, le dispositif fonctionne même mieux que prévu. Les chercheurs remarquent ainsi qu'ils peuvent envoyer d'un centre à l'autre plus de données qu'ils ne pensaient grâce à l'évolution des connexions optiques ultrarapides.

Le LHC fonctionne actuellement à la moitié de sa puissance nominale. Début 2013, après une pause d'une année, il sera progressivement amené à produire les collisions les plus énergétiques jamais réalisées (à 14 TeV). C'est alors que des rumeurs vraiment intéressantes commenceront à bruiser sur le GRID. ■

«Le LHC fonctionne comme une horloge. Chaque collision peut être analysée séparément»

La maîtresse des grands instruments

Haut-commissaire à l'énergie atomique, Catherine Cesarsky a reçu cet automne le titre de docteur «honoris causa» de l'Université de Genève. Rencontre avec celle qui a, entre autres, dirigé l'Observatoire européen austral (ESO) et l'Union astronomique internationale

Campus: Au cours de votre carrière d'astrophysicienne, vous avez très souvent été impliquée dans des projets scientifiques de très grande ampleur et aux budgets de plusieurs milliards d'euros. Avez-vous toujours été attirée par cette science des grands instruments?

CATHERINE CESARSKY: Cela s'est fait par hasard. En réalité, au départ, je suis une théoricienne. J'ai étudié la physique en Argentine (où j'ai vécu depuis mon enfance), puis réalisé ma thèse en astrophysique théorique à l'Université de Harvard. Ensuite, j'ai travaillé encore quelques années aux Etats-Unis. C'est en arrivant en France en 1974, au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), que je me suis retrouvée pour la première fois dans un groupe actif dans des expériences spatiales d'une certaine envergure. Et c'est aussi à cet instant que je me suis aperçue à quel point la science européenne était très inférieure à celle qui se pratiquait alors de l'autre côté de l'Atlantique. Assez rapidement j'ai souhaité contribuer à combler ce fossé. Et là où il y avait le plus de chances d'y parvenir, c'était dans le domaine des grands instruments complexes. Le CERN était déjà un bel exemple de cette stratégie, ainsi que l'Agence spatiale européenne (ESA), bien que cette dernière n'atteindra jamais la taille de son homologue américaine, la NASA, au budget très supérieur.

Du point de vue de l'observation astronomique, l'Europe était donc très en retard dans les années 1970...

En effet. Cela dit, plusieurs projets étaient déjà en route. Mon mari, astronome lui aussi, s'est vu proposer un poste à l'Institut d'astronomie millimétrique (IRAM) qui allait être créé

conjointement par la France, l'Allemagne et l'Espagne. Cet organisme s'est doté de deux grandes installations qui sont aujourd'hui encore les meilleures du monde dans leur catégorie, c'est-à-dire l'observation de l'univers dans la gamme du rayonnement millimétrique (situé entre l'infrarouge et les ondes radio). Il s'agit d'un ensemble de six antennes de 15 mètres de diamètre mises en réseau et installées sur le plateau de Bure dans les Alpes françaises et d'un télescope de 30 mètres de diamètre au Pico Veleta dans le sud de l'Espagne (ce sont des paraboles métalliques et non des miroirs optiques, d'où leur taille importante). C'est ce genre d'outils qui, à mon sens, pouvaient aider l'Europe à se hisser au niveau de l'astronomie des Etats-Unis.

qui devait être installée sur le satellite ISO, puis de passer à autre chose. Mais à force de le promouvoir, j'ai été amenée à le porter jusqu'à la fin. Ce fut le déclic. Grâce à Isocam, je suis en effet entrée en contact avec le monde des ingénieurs de haut vol. Cette collaboration entre scientifiques et concepteurs d'instruments complexes m'a passionnée. J'ai donc poursuivi dans cette voie. D'ailleurs, lorsque j'étais à la tête de la Direction des sciences de la matière, j'étais aussi devenue coresponsable de la partie française de grands instruments que sont le synchrotron ESRF (*European Synchrotron Radiation Facility*) et la source de neutrons ILL (Institut Laue-Langevin). Ces appareils, tous deux installés à Grenoble, sont aujourd'hui encore à la pointe.

«Si j'ai occupé de nombreux postes importants, c'est parce que j'ai un bon sens de l'organisation»

Au sein du CEA, vous avez gravi les échelons: responsable du Service d'astrophysique en 1985, puis de la Direction des sciences de la matière en 1994, qui regroupait pas moins de 3000 employés. Aimez-vous diriger?

Si j'ai pu occuper de nombreux postes importants, c'est parce que j'ai un bon sens de l'organisation et non parce que j'aime diriger. C'est d'ailleurs ainsi que je me suis engagée dans ma première expérience spatiale, Isocam. Mon idée était de lancer ce projet de caméra infrarouge

A cette époque, je me suis également trouvée à la tête des travaux, côté français, en matière de fusion nucléaire. Nous utilisons le Tore-Supra en France et le JET (*Joint European Torus*), construit en Angleterre, le plus grand tokamak (nom donné au réacteur de fusion) du monde, en attendant le suivant, ITER, qui sera construit à Cadarache, dans le sud de la France.

Est-ce toujours par amour pour les grands instruments que vous avez accepté le poste de



directrice de l'Observatoire européen austral (ESO) de 1999 à 2007?

Le fait que l'ESO complétait la construction du VLT (*Very Large Telescope*) dans le désert du Paranal au Chili était en effet une des raisons qui m'ont poussée à accepter le poste. Ces quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre, lorsqu'ils travaillent en réseau, forment le plus grand télescope optique du monde. Ils sont opérationnels depuis 2001. C'est également sous ma direction que l'ESO a obtenu les fonds pour lancer la phase d'étude du projet de l'E-ELT (*European Extremely Large Telescope*). Ce géant, qui devrait être construit en 2020, toujours dans le désert du Paranal, disposera d'un miroir de 42 mètres de diamètre (les plus gros aujourd'hui ne dépassent pas 12 mètres). Il permettra à l'Europe de maintenir sa place de leader dans l'observation astronomique au sol. Un autre projet dans lequel l'ESO est impliqué et dont je me suis occupée est ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*). Cet appareil est la suite, en beaucoup plus grand, de l'Observatoire de l'IRAM sur le plateau de Bure, et capable de descendre à des longueurs d'onde plus courtes, submillimétriques. En 2012, ALMA comptera 66 radiotélescopes et deviendra le plus grand observatoire au sol jamais construit en astronomie.

Toujours plus grand, en somme.

Vous ne croyez pas si bien dire. Quand j'ai été nommée directrice de l'ESO, j'ai également eu l'idée de fonder l'EIROforum, un forum qui regroupe sept grandes organisations scientifiques

européennes: le CERN, le JET, l'ESO, l'ESA, l'ILL, l'ESRF et l'EMBL (European Microbiology Laboratory). L'idée est de combiner les énormes capacités dont tous ces centres disposent en matière de ressources technologiques, d'expertise, d'infrastructure, etc. Et ce afin de pousser le potentiel scientifique européen au maximum.

En ces temps de grisaille financière, ces gigantesques projets ont-ils toujours de l'avenir?

Oui, bien sûr. Ces grands instruments, même s'ils coûtent cher, sont des outils de développement technologique et économique. Non seulement leur conception pousse l'industrie en avant, mais ils promeuvent également l'union des peuples. De ce point de vue, la science a toujours été très en avance sur la politique. C'était vrai à l'époque de la Guerre froide. Ça l'est toujours aujourd'hui, avec la Chine notamment, qui fait son apparition dans tous les domaines de l'astrophysique.

Vous étiez à la tête de l'Union astronomique internationale (UAI) lorsque Pluton a été dégradée de son rang de planète en 2006. Est-ce votre faute si le nombre de planètes du système solaire est passé de neuf à huit?

Cette histoire était déjà bien avancée lorsque j'ai pris la présidence de l'UAI. Du coup, je m'en suis beaucoup occupée et j'ai dû expliquer le cas aux médias. Le problème c'est qu'à cette époque, les astronomes détectaient, depuis plusieurs années déjà, des objets plus lointains que Pluton, mais parfois aussi plus massifs. Les titres des

journaux commençaient à parler de la dixième, puis de la onzième planète. Fallait-il allonger la liste des planètes officielles ou simplement déclasser Pluton? Tous les scientifiques étaient depuis longtemps d'accord pour dire que la neuvième planète est en fait un astéroïde situé au-delà de Neptune. C'est pourquoi l'UAI a choisi de créer une nouvelle catégorie d'objets, les corps transneptuniens massifs ou plutoïdes. Nous en connaissons quatre aujourd'hui: Pluton, qui est le prototype, Eris, la plus massive, Haumea et Makemake.

En 2009, vous avez été nommée Haut-commissaire à l'énergie atomique pour trois ans. Qu'implique ce poste?

Quand le CEA a été créé en 1945, le chef du gouvernement Charles de Gaulle a souhaité qu'il y ait deux personnalités à sa tête. Le premier devait diriger le centre de recherche appliquée. Le second, le Haut-commissaire, devait être un scientifique menant des équipes de chercheurs sans se préoccuper des contingences du personnel. Le premier d'entre eux était Frédéric Joliot-Curie, Prix Nobel de chimie en 1935. Je suis la huitième. Entre-temps, les choses ont beaucoup changé. Concrètement, je ne fais plus partie du CEA. Mon rôle est celui de conseillère pour le gouvernement. J'apporte un point de vue extérieur sur les sujets sur lesquels travaille le CEA: sciences de la matière et du vivant, énergie nucléaire, technologies avancées et défense.

Frédéric Joliot-Curie, membre du Parti communiste, a été relevé de ses fonctions en 1950 parce qu'il s'était publiquement opposé au développement de la bombe atomique en France. Quelle est votre position à ce sujet?

Comme beaucoup de scientifiques, je suis favorable au désarmement nucléaire, et je constate avec satisfaction que la France, par ses engagements successifs, est en avance sur ce chapitre. En attendant, je ne pense pas que la France doive cesser ses recherches dans le domaine de l'armement nucléaire, notamment en ce qui concerne les simulations numériques menées par le CEA. Si j'avais pensé le contraire, je n'aurais pas accepté le poste. ■

Propos recueillis par Anton Vos

Ada Tepe, une énigme qui vaut de l'or

Un gisement aurifère des Rhodopes, dans le sud-est de la Bulgarie, a longtemps représenté une énigme pour les géologues à cause de sa localisation inhabituelle. Des chercheurs genevois proposent une explication qui pourrait bien intéresser les Compagnies minières

Ce n'est pas l'appât du gain qui a attiré Robert Moritz dans les Rhodopes et ses gisements d'or. Non, la raison qui a poussé le maître d'enseignement et de recherche à la Section des sciences de la Terre et de l'environnement, Faculté des sciences, à visiter cette région montagneuse à cheval sur la Bulgarie, la Grèce et la Turquie est, comme il se doit, une énigme scientifique. Une énigme dont la résolution – partielle – a fait l'objet d'une thèse terminée dernièrement par un de ses étudiants, István Márton.



István Márton devant l'entrée d'une ancienne mine des Thraces ayant exploité le gisement d'Ada Tepe.

Le mystère géologique concerne au départ un gisement d'or près d'Ada Tepe, une petite montagne des Rhodopes bulgares. Cette région a été exploitée pour ses ressources en métaux depuis l'époque des Thraces et des Grecs et attise aujourd'hui encore les convoitises de compagnies d'exploration minière.

En principe, la présence de ce métal est souvent liée à des roches magmatiques. Ces dernières, formées à partir de matière en fusion remontant des profondeurs de la croûte terrestre, permettent à l'élément précieux de former un filon près de la surface.

À Ada Tepe, rien de tout cela. Le minerai aurifère est encastré dans des roches sédimentaires. Est-il possible que ce gisement se soit formé dans un tel environnement, loin de toute activité magmatique? Cette particularité a nourri de nombreuses discussions entre spécialistes. Le géologue genevois a, pour sa part, estimé que la meilleure manière de trancher était encore d'aller sur place.

Entre 2004 et 2007, Robert Moritz et son étudiant ont donc effectué quatre campagnes de terrain. István Márton, originaire d'une minorité hongroise de Transylvanie, était auparavant employé par une compagnie minière canado-roumaine. Séduit par le projet genevois, il a décidé de changer de vie et de quitter l'entreprise pour embrasser la recherche académique, le temps d'une thèse. Dans les Rhodopes, les deux chercheurs ont travaillé avec des collègues bulgares, dans le cadre d'un projet SCOPES (Coopération scientifique entre la Suisse et l'Europe de l'Est), financé par le Fonds national suisse et par la Direction pour le développement et la coopération de la Confédération.

«Nous avons également collaboré très étroitement avec une compagnie d'exploration minière



canadienne qui est intéressée par le gisement d'Ada Tepe, explique Robert Moritz. En général, de telles firmes sont très jalouses de leurs informations. Pour des raisons de concurrence, elles ne laissent rien filtrer. Dans notre cas, c'était tout le contraire. Nous avons pu consulter sans entraves toutes les bases de données et, surtout, analyser les carottes issues des nombreux forages que la compagnie a réalisés dans la région.»

Ces carottes sont un élément précieux pour les géologues. Trop onéreuses pour être effectués sur les deniers du projet scientifique, elles sont néanmoins indispensables pour se faire une idée en trois dimensions de la situation dans le sous-sol. Sans elles, les chercheurs auraient dû se contenter des affleurements et escarpements pour imaginer les structures souterraines.

ORGANISATION IMPRESSIONNANTE

«La compagnie entrepose ses échantillons dans un hangar, précise Robert Moritz. L'organisation de leur bibliothèque géologique est impressionnante. Tout est parfaitement rangé et classé. Nous obtenons immédiatement les morceaux de roches que nous demandions. Cette manière de faire tranche avec d'anciens forages de l'époque soviétique dans la région et dont j'ai vu le contenu traîner sur des terrains dans le désordre. Il était devenu inutilisable. Tant d'argent et de connaissances jetés par la fenêtre!»

Les deux géologues ont donc étudié, décrit et échantillonné les carottes mises à leur disposition. Ils ont également «nettoyé le terrain», c'est-à-dire arpenté la région, toujours guidés par des employés de la compagnie, pour recueillir des minéraux dans les environs, notamment sur des roches volcaniques locales. Cela a aussi été l'occasion de profiter, sous un climat méditerranéen, du paysage de la région, dominé par l'agriculture, notam-



L'or des Thraces, ici le trésor de Panagyurishte datant du II^e ou du IV^e siècle avant Jésus-Christ, provient peut-être d'une des mines antiques des Rhodopes.

ment la vigne. Quelques rivières à traverser pieds nus, quelques rencontres avec des paysans bulgares pour demander l'autorisation de traverser leurs terres et c'est tout. *«Nos campagnes se sont vraiment déroulées sans histoires»*, résume Robert Moritz.

Le lourd chargement en roches a ensuite été envoyé à Genève pour analyse et datation. Là encore, toutes les tracasseries administratives ont été réglées assez rapidement par la compagnie. *«Cela a représenté un énorme avantage de passer par eux, admet le géologue. Dans des pays voisins, certains collègues sont obligés de travailler en compagnie d'un policier, de photographier tous les échantillons, de localiser leur origine à l'aide d'un GPS et d'obtenir l'autorisation pour les envoyer en Suisse. Cela peut prendre des mois. Les autorités craignent que l'on n'exporte des métaux précieux. Nous avons échappé à tout cela.»*

Le travail d'István Márton a ensuite consisté, sur la base des données récoltées sur le terrain et analysées en laboratoire, à comprendre l'histoire du gisement d'or d'Ada Tepe en fonction de l'évolution géologique de la région.

De manière générale, les montagnes des Rhodopes, tout comme la chaîne qui s'étend des Alpes au Caucase en passant par les Carpates, les Balkans et la Turquie, sont le résultat de la collision entre la plaque africaine et celle de l'Europe (la première passant sous la seconde). Ce phénomène, qui a commencé il y a environ 160 millions d'années, a provoqué la fermeture de la mer de Téthys, antérieure à la Méditerranée.

Le processus de subduction, à l'instar de ce qui se passe dans les Andes, a favorisé l'activité magmatique depuis une profondeur de plusieurs kilomètres jusqu'à la surface. Au cours de son intrusion à travers la croûte ter-

restre, le magma relâche en effet les fluides qu'il contient et qui remontent plus rapidement en raison de leur faible densité. Les géologues savent depuis longtemps que c'est justement dans les fluides que l'or est véhiculé le plus efficacement vers la surface où il précipite et forme des gisements.

SITUATION COMPLEXE

La situation européenne est pourtant plus complexe que celle, très rectiligne, de la cordillère des Andes. Il y a 35 millions d'années, par exemple, la ligne de subduction qui se trouvait alors juste au nord de la mer Egée, a commencé à se déplacer. Aujourd'hui, elle se situe au sud de la Crète. Ce mouvement a créé une large dépression donnant naissance à la mer Egée. Le principal résultat de la thèse d'István Márton est d'avoir montré que la formation du gisement d'Ada Tepe coïncide avec le début de cet événement. Au même moment, à 10 kilomètres de là, le volcan Iran Tepe se réveillait, signe d'une intense activité magmatique très proche.

«Cette période d'extension a favorisé une circulation importante des fluides dans les failles de la croûte terrestre, explique Robert Moritz. Il est possible qu'une partie de ces fluides proviennent du magma alimentant le volcan voisin. Cette circulation, accompagnée par des événements comme l'ébullition (la chaleur dans les couches profondes des roches sédimentaires d'Ada Tepe est montée naturellement à plus de 200° C), a probablement donné naissance au gisement d'or.»

Ce scénario n'est encore qu'une hypothèse, mais il peut déjà intéresser les compagnies minières à la recherche d'autres ressources aurifères dans le pourtour méditerranéen. Le cas d'Ada Tepe est encourageant pour ces firmes puisque l'exploitation de ce gisement serait économiquement rentable, selon les études de faisabilité. Après les Thraces, les Grecs et les Romains, qui ont pris ce qui était le plus simple à prendre, les Rhodopes pourraient donc redevenir une source d'or importante.

«Pour l'instant, la compagnie bute sur une opposition de la part des mouvements écologistes, précise Robert Moritz. Ils craignent une pollution par les métaux lourds qui sont généralement associés à l'or dans le minerai (arsenic, antimoine, cadmium...) et qui risqueraient de s'échapper dans les cours d'eau et les nappes phréatiques au moment de l'extraction. Or, dans ce cas précis, leur teneur est

minime. L'autre source de pollution survient lors du traitement du minerai à l'aide du cyanure. C'est aux compagnies de convaincre qu'elles arrivent à contenir les effluves de ce poison.»

Celle qui mise sur Ada Tepe semble en tout cas sûre d'elle. Depuis qu'elle est présente dans les Rhodopes, elle a déjà investi beaucoup d'argent dans la région, notamment dans la réfection de routes, de ponts et de divers bâtiments. Pour ses propres besoins, mais sans doute aussi pour soigner son image auprès de la population. ■

Anton Vos



L'homme du Léman

François-Alphonse Forel a donné son nom à un institut universitaire, qui fête cette année son 30^e anniversaire, et à une montagne du Groenland. Pionnier de l'étude des lacs, il fut également l'un des premiers à étudier systématiquement le mouvement des glaciers. Portrait

Une histoire d'eau. C'est ainsi qu'on pourrait résumer la trajectoire scientifique de François-Alphonse Forel. D'abord parce qu'en tant que fondateur de la limnologie, discipline qui est à l'eau douce ce que l'océanographie est à l'eau de mer, le savant morgien a fait du Léman – qu'il est le premier à présenter comme un écosystème à part entière – un lac mythique pour de très nombreux chercheurs. Ensuite, parce qu'on lui doit la résolution du mystère de l'Euripe, un phénomène naturel lié aux marées qui intriguait les observateurs depuis l'Antiquité. Enfin, parce que François-Alphonse Forel compte également parmi les pionniers de la glaciologie. Ce qui explique qu'outre l'institut universitaire dont on fête cette année le 30^e anniversaire, une des montagnes les plus courues du Groenland porte également son nom.

BAPTÊME LACUSTRE

Né à Morges en 1841, François-Alphonse Forel est issu d'une famille de magistrats, de notaires et de négociants établis de longue date dans le canton de Vaud. Son père, qu'on appelle communément le «président Forel», dirige le tribunal de district. C'est également un féru d'histoire. Fondateur de la Société d'histoire de la Suisse romande, il a un goût particulier pour l'époque lacustre et sera le premier à fouiller les stations néolithiques subaquatiques de Morges. Alors âgé de 13 ans, le jeune François-Alphonse est convié à participer à l'entreprise. Cette première expérience scientifique n'est sans doute pas pour rien dans l'attrait qu'éprouvera toute sa vie le chercheur pour le Léman. Il y reviendra d'ailleurs dans les deux dernières décennies de sa vie, reprenant les travaux de son père pour les inventorier et établir la première carte des sites lacustres du Léman qui est publiée en 1904.

Dans l'intervalle, François-Alphonse Forel entame sa formation académique sur les bancs de l'Université de Genève où il étudie les sciences naturelles et physiques ainsi que les lettres. Il passe ensuite par Montpellier, Paris et Würzburg, où il obtient le grade de docteur en médecine en 1867. De retour en Suisse

en 1871, il est nommé professeur de physiologie et d'anatomie à l'Université de Lausanne. Un poste qu'il occupera jusqu'en 1895, date à laquelle il décide de se consacrer à ses recherches et à ce qui restera son œuvre phare: sa monumentale monographie sur le Léman, qui paraît en trois volumes entre 1894 et 1904.

Riche de près de 1900 pages, partagé en 14 chapitres couvrant des domaines aussi variés que l'hydrographie, la géologie, la climatologie, l'acoustique, la chimie, la navigation ou la pêche, l'ouvrage a pour ambition de rassembler toutes les connaissances dont on dispose alors sur le Léman. Il présente également les innombrables découvertes faites par Forel durant près de trois décennies passées sur le lac. Et pose ainsi les bases d'un nouveau champ d'étude: la limnologie ou «océanographie des lacs» pour reprendre les termes de Forel.

L'ÉNIGME DE L'EURIPE

Alors que l'on pensait jusque-là que les profondeurs étaient inhabitées, on trouve dans cette somme le premier recensement de la faune abyssale, littorale et pélagique en eau douce, dont Forel explique l'évolution depuis la période glaciaire. Forel innove également en insistant beaucoup sur une notion devenue clé en écologie: l'interdépendance des plantes, des animaux et du milieu naturel. A ce titre, il figure parmi les premiers auteurs à fournir une description complète de ce qu'on appellerait aujourd'hui un écosystème.

L'explication du phénomène des seiches lémaniques constitue un autre grand apport à la science de l'époque. Forel parvient en effet à démontrer que l'onde stationnaire que l'on peut percevoir à la surface des lacs (qui est d'une amplitude de 30 cm et d'une période de 73 minutes pour le Léman) répond à des lois mécaniques trouvant leur origine dans les

Dates clés

2 février 1841: naissance de François-Alphonse Forel à Morges

1857-1859: études des sciences physiques et naturelles et de lettres à l'Université de Genève

1867: doctorat en médecine à Würzburg

1870: professeur d'anatomie et de physiologie générale à l'Université de Lausanne

1870-1874: député au Grand Conseil vaudois

1894: parution du premier volume de «Le Léman, monographie limnologique». Forel est le premier président de la Commission glaciologique suisse

1895: parution du second volume du «Léman»

1895: Forel quitte sa chaire académique pour se consacrer exclusivement à ses recherches

1904: parution du troisième et dernier volume du «Léman»

8 août 1912: mort de François-Alphonse Forel, à l'âge de 71 ans

1980: création de l'Institut Forel



MUSÉE DU LÉMAN/A. MOCCIA

Portrait de François-Alphonse Forel par Ernest Bieler, collection privée, gouache et aquarelle.

variations atmosphériques. Cette découverte, réalisée à partir d'observations effectuées dans le port de Morges (où une plaque commémorative célèbre l'événement), offre au scientifique vaudois la clé d'une énigme vieille de plus de deux mille ans.

Dans le détroit de l'Euripe, qui sépare la Grèce de l'Eubée (la plus grande île de la mer Egée), le courant change en effet de direction plusieurs fois par jour. Dès l'Antiquité, le phénomène intrigue les observateurs qui remarquent que les moulins situés au bord du canal tournent tantôt dans un sens tantôt dans l'autre. Mentionnée notamment par Strabon, cette curiosité naturelle aurait, selon la légende, causé la mort d'Aristote qui, désespérant de pouvoir expliquer le phénomène, se serait jeté dans les eaux tumultueuses de l'Euripe. Or, vingt-trois siècles plus tard, Forel montre qu'il s'agit également d'une seiche oscillant le long du canal.

«Les travaux de Forel sont à la base de notre science actuelle», résume Walter Wildi, professeur de géologie à la Faculté des sciences et

directeur de l'Institut baptisé en l'honneur du scientifique morgien. *Il a fourni un travail très précieux qui est entré dans la littérature mondiale et qui, aujourd'hui encore, tient une place de choix dans tous les grands manuels classiques de limnologie. Les données qu'il a réunies ont par ailleurs servi*

de base de réflexion pour les évaluations qualitatives annuelles menées par la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution (Cipel).»

L'héritage scientifique de Forel ne se limite toutefois pas à ses précieux travaux sur le lac.

Savant «à l'ancienne», poussé par une curiosité encyclopédique, il a également mis au point une échelle de mesure des secousses sismiques qui a longtemps fait autorité. Il fut en outre parmi les premiers à utiliser des ballons-sondes afin d'effectuer des observations météorologiques en haute atmosphère. Enfin, on lui doit la première étude systématique des variations glaciaires en Suisse.

Afin d'expliquer les brusques montées des eaux que connaît le Léman, il développe en effet un protocole d'observation lui permettant de publier chaque

année entre 1881 et 1912 un rapport sur les variations périodiques des glaciers suisses. Ce modèle est repris par la Commission glaciologique suisse, dont Forel est le premier président, puis par la Commission internationale des glaciers, dont il est également l'un

A partir d'observations effectuées dans le port de Morges, Forel apporte la clé d'une énigme vieille de deux mille ans

des principaux instigateurs. L'année de sa mort, il trouve encore la force d'organiser une souscription pour financer une expédition au Groenland où une montagne porte depuis son nom. ■

Vincent Monnet

Les émotions racontées aux enfants

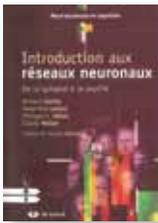


Hannah a 10 ans et une surprise l'attend pour son anniversaire. Accompagnée de ses amis Elsa, Tom, Michaël, Talia et Amy, ainsi que de sa mygale domestique, elle va entamer un voyage scientifique au cœur des émotions. Tel est le point de départ de ce livre pour enfants publié par David Sander, professeur à la Section de psychologie et au Centre interfacultaire en sciences affectives et Sophie Schwartz, maître d'enseignement et de recherche à la Faculté de médecine et au Centre de neurosciences, dans la collection «Les minipommes». Destinés aux jeunes de 9 à 12 ans, les ouvrages de cette collection ont pour objectif de mettre à la portée des enfants

un savoir scientifique de qualité, exposé avec humour et fantaisie. Méthode originale: le livre est le fruit d'échanges nourris entre les deux chercheurs, qui collaborent sur des projets de recherche autour du thème des émotions, et les élèves d'une classe de primaire à Paris. Au fil des pages, le lecteur est embarqué, en compagnie d'Hannah et de ses amis, à bord de l'Emobus et se laisse guider par la professeure Lunatique qui répond à toutes sortes de questions: qu'est-ce qu'une émotion? Comment les émotions s'expriment-elles? A quoi servent-elles? **AC**

«AU CŒUR DES ÉMOTIONS», PAR DAVID SANDER ET SOPHIE SCHWARTZ, ÉD. LE POMMIER, 63 P.

Des neurones à la psyché



Comment passer d'une connexion entre deux neurones et le comportement? Ou encore, comment expliquer qu'un litre et demi de cellules nerveuses soit responsable des facultés cognitives exceptionnelles de l'être humain? En passant par les réseaux neuronaux, affirment les auteurs d'un ouvrage qui vient de paraître sur cette question. Une vaste interconnexion de neurones forme en effet un niveau intermédiaire entre le fonctionnement moléculaire et cellulaire des cellules nerveuses prises individuellement et l'individu psycho-social. Ces réseaux représentent, selon les auteurs dirigés par Armand Savioz, neurobiologiste aux Hôpitaux universitaires de Genève et chercheur à la Faculté des sciences, l'un des derniers territoires inexplorés du cerveau. Leur meilleure compréhension pourrait bien combler cette lacune. Préfacé par Jacques Neiryck, professeur honoraire à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, ce manuel offre en tout cas au lecteur intéressé et averti une connaissance de base en neurosciences et en biologie des réseaux neuronaux. **AV**

Comment passer d'une connexion entre deux neurones et le comportement? Ou encore, comment expliquer qu'un litre et demi de cellules nerveuses soit responsable des facultés cognitives exceptionnelles de l'être humain? En passant par les réseaux neuronaux, affirment les auteurs d'un ouvrage qui vient de paraître sur cette question. Une vaste interconnexion de neurones forme en effet un niveau intermédiaire entre le fonctionnement moléculaire et cellulaire des cellules nerveuses prises individuellement et l'individu psycho-social. Ces réseaux représentent, selon les auteurs dirigés par Armand Savioz, neurobiologiste aux Hôpitaux universitaires de Genève et chercheur à la Faculté des sciences, l'un des derniers territoires inexplorés du cerveau. Leur meilleure compréhension pourrait bien combler cette lacune. Préfacé par Jacques Neiryck, professeur honoraire à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, ce manuel offre en tout cas au lecteur intéressé et averti une connaissance de base en neurosciences et en biologie des réseaux neuronaux. **AV**

«INTRODUCTION AUX RÉSEAUX NEURONAUX, DE LA SYNAPSE À LA PSYCHÉ», PAR ARMAND SAVIOZ, GENEVIÈVE LEUBA, PHILIPPE G. VALLET ET CLAUDE WALZER, DE BOECK, 2010, 250 P.

A lire aussi

- ▶ «L'Égalité professionnelle entre hommes et femmes: une gageure», par Josette Coenen-Huther, L'Harmattan, 208 p.
- ▶ «La Figure du patient au XVIII^e siècle», par Philip Rieder, Droz, 583 p.
- ▶ «Comprendre Durkheim», par Jacques Coenen-Huther, Armand Colin, 213 p.
- ▶ «Rites et hiérarchies», par Françoise Briegel et Sébastien Farré (éd.), L'Equinoxe, Georg, 283 p.
- ▶ «Edouard Claparède Hélène Antipoff Correspondance (1914-1940)», par Martine Ruchat, Bibliothèque d'histoire des sciences 11, Leo S. Olschki Editore, 255 p.
- ▶ «Les Nobel juifs de chimie», par Isaac Benguigui, Slatkine, 235 p.
- ▶ «Comment écrire l'histoire», par Lucien de Samosate (trad. André Hurst), Les Belles Lettres, 128 p.
- ▶ «La Théologie politique de Rousseau», par Ghislain Waterlot (dir.), Presses universitaires de Rennes, 159 p.

Médicaments: changer la donne

Rédigé sous la direction de William Ossipow, professeur honoraire de la Faculté des sciences économiques et sociales, *Mourir de soif au pied de la fontaine* part d'un double constat: d'une part, l'accès aux médicaments reste dramatiquement difficile dans de nombreuses régions et, de l'autre, les efforts accomplis pour remédier à cette situation sont insuffisants. En prenant exemple sur la lutte contre le sida, les trois auteurs de cet ouvrage à six mains avancent un certain



nombre d'idées susceptibles de modifier la donne. Plutôt que de maintenir leur stratégie marchande, les «pharmas» pourraient ainsi appliquer des tarifs différentiels (en vendant à prix coûtant dans les

pays pauvres), faciliter le transfert de technologie ou accepter de céder des brevets. Raisonnable sur le plan moral, le sacrifice consenti serait d'autant moins lourd que son coût pourrait être partagé avec les populations concernées par l'instauration de systèmes d'assurance-maladie. Ce qui aurait également pour avantage de ne plus laisser les populations pauvres confrontées à un face-à-face inégal avec les fournisseurs de médicaments. Quant aux Etats, il leur incombe, selon les auteurs, de faire face à leurs obligations. Alors que le droit à la santé est inscrit dans de nombreux traités internationaux et dans plusieurs Constitutions, il constitue rarement une priorité comme c'est le cas au Brésil, où l'accès aux traitements contre le sida est gratuit. A cet égard, les auteurs estiment que c'est à la société civile qu'il revient de faire pression pour que les choses évoluent. **VM**

«MOURIR DE SOIF AU PIED DE LA FONTAINE», PAR WILLIAM OSSIPOW, SEBASTIAN AESCHBACH ET NADJA EGGERT, LABOR ET FIDES, 223 P.

LE «NOBEL DES MATHS» POUR STANISLAV SMIRNOV

Professeur au sein de la Section de mathématiques depuis 2003, Stanislav Smirnov a reçu en août dernier la Médaille Fields 2010. Attribuée tous les quatre ans, la Médaille Fields est considérée comme l'équivalent du Prix Nobel dans le domaine des mathématiques. C'est la première fois qu'un chercheur en activité dans une université suisse la reçoit. Stanislav Smirnov a été récompensé pour ses travaux dans le domaine de la mécanique statistique et, plus précisément, pour la preuve qu'il a apportée de l'invariance conforme de la percolation et du modèle d'Ising planaire. Ses recherches servent notamment à modéliser l'écoulement de liquide à travers des matériaux poreux. Le professeur Smirnov a par ailleurs obtenu en novembre dernier un «megagrant» de près de 3,25 millions de dollars pour le développement international de ses recherches. L'attribution de cette somme s'inscrit dans le cadre d'un programme gouvernemental russe en recherches fondamentales visant à favoriser les collaborations entre les universités russes et certains de ses plus éminents scientifiques localisés à l'étranger. Grâce à ce financement, Stanislav Smirnov entend intensifier les relations entre son groupe à l'UNIGE et les mathématiciens de l'Université de Saint-Pétersbourg, où il va notamment superviser la mise en place d'un laboratoire interdisciplinaire dévolu aux mathématiques physiques, aux probabilités et à l'analyse complexe.

UNE ÉTUDE EN GESTION DÉCROCHE UNE PRESTIGIEUSE DISTINCTION

L'étude «Move to the Beat: Rhythm of Change, Frequency of Change, and Firm Performance» réalisée par Sebastian Raisch, professeur en hautes études commerciales à la Faculté des sciences économiques et sociales et Patricia Klamer, professeure assistante à la Ludwig-Maximilians-University de Munich, a reçu le Prix Best Conference Paper Award for Practice Implications (BPPI) lors de la conférence annuelle 2010 de la Strategic Management Society. L'étude, sélectionnée parmi plus d'un

millier d'articles, porte sur l'analyse de l'impact du timing du changement stratégique sur les performances des entreprises. Elle est basée sur des données empiriques de 70 compagnies d'assurances, récoltées entre 1995 et 2004. Les auteurs y montrent que les sociétés sont capables de gérer un plus grand nombre de changements si ces derniers surviennent à un rythme régulier. Cette distinction représente l'une des reconnaissances les plus prestigieuses dans le domaine de la recherche en gestion.

FRANÇOIS OST REÇOIT LE PRIX PRINCE LOUIS DE POLIGNAC

Professeur associé à la Faculté de droit et vice-recteur des Facultés universitaires Saint-Louis (Bruxelles), François Ost a reçu, le 19 octobre dernier, le Prix annuel de la Fondation Prince Louis de Polignac. Visant à récompenser «une personnalité qui a contribué, de façon exceptionnelle, au développement de la science et à la promotion de la culture française et européenne», ce prix a été décerné à François Ost pour l'ensemble de son œuvre. Juriste et philosophe, François OST bénéficie d'une réputation internationale dans le domaine de la théorie et de la philosophie du droit. Il a fondé l'Académie européenne de théorie du droit et le Centre d'étude du droit de l'environnement à Bruxelles. Président de la Fondation belge pour les générations futures, il est également membre de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique et dramaturge.

CHRISTINE BOUCHARDY PRIMÉE PAR LA LIGUE SUISSE CONTRE LE CANCER

Professeure à l'Institut de médecine sociale et préventive de l'UNIGE et directrice du registre genevois des tumeurs, Christine Bouchardy s'est vu décerner le Prix 2010 de la Ligue suisse contre le cancer. Cette distinction lui a été remise le 16 septembre à Bâle. Elle rend hommage non seulement à la qualité des recherches menées par l'épidémiologiste franco-suisse, mais aussi à son action auprès de l'opinion publique et des spécialistes de la santé, ainsi qu'à son infatigable engagement en faveur du dépistage et de la prévention du cancer du sein.

Impressum

CAMPUS
Université de Genève
Presse Information Publications
Rue Général-Dufour 24 – 1211 Genève 4
campus@unige.ch
www.unige.ch/campus/

SECRÉTARIAT, ABONNEMENTS
T 022/379 77 17
F 022/379 77 29

RESPONSABLE DE LA PUBLICATION
Didier Raboud

RÉDACTION
Vincent Monnet / Anton Vos

CORRECTRICE
Samira Payot

DIRECTION ARTISTIQUE ET GRAPHISME
adb Atelier Dominique Broillet
Chatty Ecoffey

PHOTOGRAPHE
Jacques Erard

IMPRESSION
Atar Roto Presse SA, Vernier

PUBLICITÉ
Go! Uni-Publicité SA
Rosenheimstrasse 12
CH-9008 St-Gall/Suisse
T 071/544 44 80
F 071/244 14 14
printmedia@go-uni.com

Campus est membre du Swiss Science Pool – www.swiss-science-pool.com

Reprise du contenu des articles autorisée avec mention de la source. Les droits des images sont réservés.

SCIENCES

Titov, Ivan

Exploiting non-linear probabilistic models in natural language parsing and reranking

Th. UNIGE 2008, Sc. 3943

Sous la dir. de: Pellegrini, Christian; Henderson, James
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8495>

Robion-Brunner, Caroline

Vers une histoire de la production du fer sur le plateau de Bandiagara (pays dogon, Mali) durant les empires précoloniaux: peuplement des forgerons et traditions sidérurgiques

Th. UNIGE 2008, Sc. 3960

Sous la dir. de: Huysecom, Eric; Gally, Alain
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5424>

Martin, Pascal

Influence de la fragmentation forestière sur la régénération des espèces arborées dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire

Th. UNIGE 2008, Sc. 3989

Sous la dir. de: Spichiger, Rodolphe; Gautier, Laurent
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8467>

Garcia, Eduardo

Characterization of a Novel Tetraspanin-Rich, HIV-1-Containing Compartment in Dendritic Cells

Th. UNIGE 2008, Sc. 4000

Sous la dir. de: Pigué, Vincent; Loewith, Robbie Joséph
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6000>

Woznica, Adam

Distance and kernel based learning over composite representations

Th. UNIGE 2008, Sc. 4013

Sous la dir. de: Pellegrini, Christian; Hilario, Mélanie; Kalousis, Alexandros
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5483>

Ekström García Nombela, Sylvia

The evolution of fast rotating massive stars at low or zero metallicity

Th. UNIGE 2008, Sc. 4016

Sous la dir. de: Meynet, Georges
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11881>

Cattin, Florence

Modalités d'approvisionnement et modalités de consommation du cuivre dans les Alpes au 3^e millénaire avant notre ère: apport des analyses métalliques à la connaissance des peuplements du Néolithique final, du Campaniforme et du Bronze ancien

Th. UNIGE 2008, Sc. 4019

Sous la dir. de: Besse, Marie
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5422>

Derouette, Jean-Paul

Functional studies towards the role of a polymorphism in the human connexin37 gene in atherosclerosis

Th. UNIGE 2008, Sc. 4030

Sous la dir. de: Beny, Jean-Louis; Kwak Chanson, Brenda; Weingart, Robert
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5293>

Venceslau Pedro, Luis Miguel

A systematic language engineering approach for prototyping domain specific modelling languages

Th. UNIGE 2009, Sc. 4068

Sous la dir. de: Buchs, Didier
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11946>

Márton, István

Formation, preservation and exhumation of sedimentary rock-hosted gold deposits in the Eastern Rhodopes, Bulgaria

Th. UNIGE 2009, Sc. 4088

Sous la dir. de: Moritz, Robert
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6009>

De Giorgi, Isabella

Sécurité de préparation et d'administration des médicaments aux soins intensifs de pédiatrie et en néonatalogie

Th. UNIGE 2009, Sc. 4107

Sous la dir. de: Bonnabry, Pascal
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11817>

Hibaoui, Youssef

Oxidative stress and calcium handling in mdx muscle, a model for Duchenne Muscular Dystrophy: Involvement of mitochondria and NADPH oxidase

Th. UNIGE 2009, Sc. 4114

Sous la dir. de: Ruegg, Urs Théodore
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6584>

Avello Simoes Pires, Claudia

Investigation of antiplasmodial compounds from various plant extracts

Th. UNIGE 2009, Sc. 4129

Sous la dir. de: Hostettmann, Kurt
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8400>

Robert, Eva

The Hepatitis B virus HBx protein hijacks the cullin4A-DDB1 ubiquitin ligase machinery to promote viral replication

Th. UNIGE 2009, Sc. 4135

Sous la dir. de: Picard, Didier; Strubin, Michel
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10694>

Atek, Hakim

Les vicissitudes d'un outil cosmologique: la raie Lyman- α

Th. UNIGE 2009, Sc. 4137

Sous la dir. de: Schaerer, Daniel Olivier
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5386>

Jenkins, Nathan

Scanning tunneling spectroscopy of novel superconductors

Th. UNIGE 2009, Sc. 4139

Sous la dir. de: Fischer, Oystein
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5292>

Kuhrs, Antje

Analysis of *Drosophila* fragile site-associated (Fsa) in Hedgehog signalling

Th. UNIGE 2009, Sc. 4143

Sous la dir. de: Gonzalez Gaitan, Marcos
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8578>

Cirstoiu, Adriana

Polymeric immunonanoparticles for active tumor targeting: preparation, characterization and «in vivo» evaluation

Th. UNIGE 2009, Sc. 4145

Sous la dir. de: Gurny, Robert; Delie Salmon, Florence
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8513>

Landry, Olivier

Tools for quantum repeaters: quantum teleportation, independent sources of entangled photons and entanglement purification

Th. UNIGE 2010, Sc. 4163

Sous la dir. de: Gisin, Nicolas
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6827>

Cartoni, Romain

Expression of MFN2R94Q in a transgenic mouse leads to Charcot-Marie-Tooth neuropathy type 2A

Th. UNIGE 2009, Sc. 4165

Sous la dir. de: Martinou, Jean-Claude
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5345>

Schütte, Philip

Geochronology, geochemistry, and isotopic composition (Sr, Nd, Pb) of tertiary porphyry systems in Ecuador

Th. UNIGE 2009, Sc. 4166

Sous la dir. de: Schaltegger, Urs; Chiara dia, Massimo
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6367>

Zbinden, Marie

Interactions between Homeo-domain proteins and Shh-Gli pathway in brain tumors and the stem cells

Th. UNIGE 2009, Sc. 4167

Sous la dir. de: Ruiz Altaba, Ariel; Rodriguez, Ivan
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6442>

Lavy, Séverine

Nouvelles applications de la réaction de déaromatation via des complexes [Cr(arène)(CO)₃]

Th. UNIGE 2009, Sc. 4168

Sous la dir. de: Kundig, Ernst Peter
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5398>

Jaudon, Ghislain

Une étude du comportement des noyaux de groupes discrets

Th. UNIGE 2010, Sc. 4169

Sous la dir. de: Arjantseva, Goulmara; Cherix, Pierre-Alain
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5496>

Capello, Luca

Vomeroneural receptors: from monogenic expression to axon guidance

Th. UNIGE 2009, Sc. 4170

Sous la dir. de: Rodriguez, Ivan
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5680>

Richani Saredidine, Maya

Connexin-built channels as modulators of lung inflammation

Th. UNIGE 2010, Sc. 4174

Sous la dir. de: Chanson, Marc; Beny, Jean-Louis
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5407>

Duvanel, Guillaume

Ultrafast photoinduced processes in multichromophoric systems

Th. UNIGE 2010, Sc. 4177

Sous la dir. de: Vauthey, Eric
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5670>

Leroy, Valérie

Etude de nouvelles voies de signalisation contrôlant le transport ionique dans les cellules principales du tube collecteur rénal

Th. UNIGE 2010, Sc. 4182

Sous la dir. de: Martinou, Jean-Claude; Martin, Pierre-Yves; Feraille, Eric; Deschenes, Georges
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5361>

Strahm, Emmanuel

Etude du métabolisme des androgènes et implications dans la lutte contre le dopage

Th. UNIGE 2010, Sc. 4185

Sous la dir. de: Veuthey, Jean-Luc; Saugy, Martial
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8569>

Depoursing, Adrien

Affine-invariant texture analysis and retrieval of 3D medical images with clinical context integration

Th. UNIGE 2010, Sc. 4186

Sous la dir. de: Pellegrini, Christian; Geissbuhler, Antoine; Müller, Henning
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6550>

Sirbu Dalla Favera, Natalia

Rationaliser et manipuler les paramètres thermodynamiques contrôlant les auto-assemblages de complexes polynucléaires en solution

Th. UNIGE 2010, Sc. 4187

Sous la dir. de: Pigué, Claude
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5692>

Hawner, Christine

Metal-catalyzed asymmetric conjugate addition reaction of aryl alanes to cyclic enones: Formation of benzylic quaternary stereocenters

Th. UNIGE 2010, Sc. 4190
Sous la dir. de: Alexakis, Alexandre
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6347>

Charbonnier, Caecilia

Extreme hip movements based on optical motion capture

Th. UNIGE 2010, Sc. 4193
Sous la dir. de: Magnenat-Thalmann, Nadia; Rolim, Jose
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5996>

Belot, Sébastien

Enantioselective Organocatalyzed Conjugate Addition of Carbonyl Compounds to New Functionalized Nitroolefins and Applications in Gold-Catalyzed Reactions

Th. UNIGE 2010, Sc. 4194
Sous la dir. de: Alexakis, Alexandre
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5706>

Kaufmann, Olivier

Cartographie géologique du canton de Genève par système d'information géoréférencée: conception et réalisation de modèles 2D et 3D avec leurs applications

Th. UNIGE 2010, Sc. 4195
Sous la dir. de: Wildi, Walter; Jaquet, Jean-Michel
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11810>

Jüstrich, Stéphanie

Bilan sédimentaire et géochimique d'un barrage de rivière (Wettingen, Suisse septentrionale)

Th. UNIGE 2010, Sc. 4196
Sous la dir. de: Wildi, Walter
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6385>

Katz, Liora

The role of the transcription factor Pax6 in the development and function of pancreatic α - and β - cells

Th. UNIGE 2010, Sc. 4197
Sous la dir. de: Philippe, Jacques; Picard, Didier
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5999>

Cázares Delgado, Jennyfer

Administration transdermique par ionophorèse des agents thérapeutiques

Th. UNIGE 2010, Sc. 4198
Sous la dir. de: Carrupt, Pierre-Alain; Kalia, Yogeshvar N.
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6672>

Badoiu, Andrei

Ruthenium-catalyzed asymmetric cycloadditions and 1,4-additions

Th. UNIGE 2010, Sc. 4199
Sous la dir. de: Kundig, Ernst Peter
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11683>

Salart Subils, Daniel

Testing and manipulating entanglement: nonlocality and purification

Th. UNIGE 2010, Sc. 4200
Sous la dir. de: Gisin, Nicolas
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9843>

Extermann, Jérôme

Nonlinear bio-imaging and detection with ultrafast lasers

Th. UNIGE 2010, Sc. 4201

Sous la dir. de: Wolf, Jean-Pierre
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11931>

Costantini, Licia

Understanding basaltic explosive volcanism

Th. UNIGE 2010, Sc. 4202
Sous la dir. de: Bonadonna, Costanza
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8497>

Mauron, Yann

LC-MSMS identification of small molecules: SmileMS, a small molecule identification platform applied to clinical toxicology

Th. UNIGE 2010, Sc. 4203
Sous la dir. de: Appel, Ron David; Masselot, Alexandre; Lisacek, Frédérique
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8579>

Volery, Chadia

Genesis and diagenesis of microporous micrites

Th. UNIGE 2010, Sc. 4205
Sous la dir. de: Davaud, Eric; Caline, Bruno
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12122>

Publicité

Day one

is where you make the job your own

Day one. It's where you put the theory into practice and start to stretch yourself. Where you're encouraged and supported to succeed. Where you can start to make your ambitions a reality. From the day you join us, we're committed to helping you achieve your potential. So, whether your career lies in assurance, tax, transaction, advisory or core business services, shouldn't your day one be at Ernst & Young?

Take charge of your career. Now.
www.ey.com/ch/careers

 **ERNST & YOUNG**
Quality In Everything We Do



Gerlach, Daniel

Computational prediction of functional RNA structures: A study of the animal miRNAome and cis-acting replication elements in enteroviruses
Th. UNIGE 2010, Sc. 4208
Sous la dir. de: Zdobnov, Evgeny; Appel, Ron David
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6890>

Guzik, Matylda Natalia

Studies of Hydrogen atom configurations in selected metal hydrides in view of repulsive interactions
Th. UNIGE 2010, Sc. 4209
Sous la dir. de: Yvon, Klaus
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6852>

Da Silva Costa, Carlos

Data analysis pipeline for the spherical gravitational wave antenna MiniGRAIL
Th. UNIGE 2010, Sc. 4210
Sous la dir. de: Pohl, Martin; Maggiore, Michele
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6891>

Chablais, Jérôme

Sedimentology and biostratigraphy of the Upper Triassic atoll-type carbonates of the Sambosan Accretionary Complex (panthalassan domain; Japan)
Th. UNIGE 2010, Sc. 4212
Sous la dir. de: Martini, Rossana
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8438>

Marcou, Olivier

Modélisation et contrôle d'écoulements à surface libre par la méthode de Boltzmann sur réseau
Th. UNIGE 2010, Sc. 4214
Sous la dir. de: Chopard, Bastien; El Yacoubi, Samira
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9657>

Van Mechelen, Jacobus Lodovicus Martinus

Charge and Spin electrostatics of SrTiO₃ and EuTiO₃ studied by optical spectroscopy
Th. UNIGE 2010, Sc. 4215
Sous la dir. de: Van Der Marel, Dirk
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11844>

Suarez Garcia, Estela

X-Ray polarization: RHESSI results and POLAR prospects
Th. UNIGE 2010, Sc. 4216
Sous la dir. de: Pohl, Martin
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6889>

Ermotti, Nicola

Achiralité des noeuds alternés
Th. UNIGE 2010, Sc. 4217
Sous la dir. de: Quach Hongler, Cam Van; Weber, Claude
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10693>

Kaminski, Jakub

Development and applications of non-empirical methods for modeling electronic structure in condensed phase.
Th. UNIGE 2010, Sc. 4219
Sous la dir. de: Wesolowski, Tomasz Adam
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8507>

Stucki, Cyril

Contribution à la sécurisation du processus de préparation des médicaments en anesthésiologie
Th. UNIGE 2010, Sc. 4220
Sous la dir. de: Bonnabry, Pascal
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8491>

Frébourg, Gregory

Carbonate coastal dunes: potential reservoir rocks?
Th. UNIGE 2010, Sc. 4221
Sous la dir. de: Davaud, Eric Jean
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9824>

Fischer, Viktoria

Les bronzes en contexte palafitique sur les rives du Léman et des Trois-Lacs (Suisse occidentale)
Th. UNIGE 2010, Sc. 4223
Sous la dir. de: Besse, Marie; Kaenel, Gilbert; Mordant, Claude
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9838>

Sintra Grilo, Liliana

The cardiac hERG channel: a multiple approach for a better understanding of the Long QT Syndrome
Th. UNIGE 2010, Sc. 4224
Sous la dir. de: Carrupt, Pierre-Alain; Abriel, Hugues
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10791>

Degruyter, Wim

Investigating volcanic eruptions of silicic magmas using 3D textural analysis and computational fluid dynamics
Th. UNIGE 2010, Sc. 4226
Sous la dir. de: Bachmann, Olivier; Bonadonna, Costanza
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12052>

Milos, Mia

Photophysical properties of [Cr(ox)₃]³⁻: influence of the chemical environment, external pressure and electromagnetic radiation
Th. UNIGE 2010, Sc. 4229
Sous la dir. de: Hauser, Andreas
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10795>

Risoldi, Matteo

A methodology for the development of complex domain specific languages
Th. UNIGE 2010, Sc. 4230

Sous la dir. de: Buchs, Didier; Falquet, Gilles
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11842>

Mulinacci, Filippo

Factors influencing conformation and physical stability of therapeutic proteins
Th. UNIGE 2010, Sc. 4231
Sous la dir. de: Gurny, Robert; Arvinte, Tudor
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9836>

Benkhoucha, Mahdia

Immunomodulatory effects of hepatocyte growth factor in experimental autoimmune encephalomyelitis
Th. UNIGE 2010, Sc. 4232
Sous la dir. de: Lalive d'Épinay, Patrice; Izui, Shozo; Rodriguez, Ivan
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10714>

Gadri, Amina

Éléments d'analyse systémique du circuit du médicament dans une perspective de sécurité
Th. UNIGE 2010, Sc. 4237
Sous la dir. de: Pannatier, André; Zelger, Georges
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11841>

Mendonca dos Santos, Joana

Functional investigation of rhomboid proteases and their substrates in Toxoplasma gondii
Th. UNIGE 2010, Sc. 4240
Sous la dir. de: Soldati-Favre, Dominique;
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10816>

Brandt, Karim

IL-1 β and sIL-1Ra Production in acute and chronic inflammation: regulation and signaling in human monocytes
Th. UNIGE 2010, Sc. 4241
Sous la dir. de: Gonzalez Gaitan, Marcos; Seebach, Jorg Dieter; Burger, Danielle
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12160>

Heuking, Simon

Toll-like receptor agonist decorated chitosan nanoparticles for pulmonary DNA vaccination
Th. UNIGE 2010, Sc. 4242
Sous la dir. de: Borchard, Gerrit
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11914>

Huber, Alexandre

Control of ribosome biogenesis by the TORC1-Sch9 pathway in Saccharomyces cerevisiae
Th. UNIGE 2010, Sc. 4243
Sous la dir. de: Loewith, Robbie; Joseph, Robb
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11871>

Fort, Alexandre

Novel mechanisms of transcrip-

tional and posttranscriptional regulation of fibrinogen genes
Th. UNIGE 2010, Sc. 4249
Sous la dir. de: Rodriguez, Ivan; Neerman-Arbez, Marguerite
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12027>

MÉDECINE**Scherer, Sandra Saja**

Nouvelles stratégies pour traiter les plaies complexes, le mécanisme d'action du «Vacuum Assisted Closure Device» et les forces mécaniques
Th. UNIGE 2009, Méd. 10592
Sous la dir. de: Orgill, Denis Paul; Pittet Cuenod, Brigitte Maud
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12058>

Caubet, Jean-Christophe

Les effets secondaires tardifs de l'immunothérapie spécifique chez l'enfant
Th. UNIGE 2009, Méd. 10598
Sous la dir. de: Siegrist, Claire-Anne; Eigenmann, Philippe
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5446>

Petitpierre, Nicolas Julien

Relation entre le score de Mesure d'Indépendance Fonctionnelle et le risque de chute lors d'hospitalisation en services gériatriques: 10 ans d'observation
Th. UNIGE 2009, Méd. 10606
Sous la dir. de: Herrmann, François
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5497>

Ribi, Camillo

Traitement du syndrome de Churg-Strauss
Th. UNIGE 2010, Méd. 10612
Sous la dir. de: Seebach, Jorg Dieter
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10687>

Orihuela Flores, Milton

Le trouble dépressif chez les patients éthyliques suivis dans une unité ambulatoire d'alcoologie
Th. UNIGE 2010, Méd. 10613
Sous la dir. de: Ferrero, François
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6010>

Grosgrain, Olivier

Prise en charge de l'infarctus du myocarde avec sus-décalage du segment ST à Genève: un registre local
Th. UNIGE 2010, Méd. 10615
Sous la dir. de: Sarasin, François
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5316>

Niklaus Philippin, Moira

Sensibilité aux contrastes mesurée chez l'enfant diabétique sans rétinopathie: influence de l'exercice

physique

Th. UNIGE 2010, Méd. 10616

Sous la dir. de: Dosso, André

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5479>

Martin Du Pan Pruijm, Sophie

Comparaison du taux de rétention et des causes d'arrêt entre nfliximab, etanercept et adalimumab chez des patients avec polyarthrite rhumatoïde

Th. UNIGE 2010, Méd. 10617

Sous la dir. de: Gabay, Cem; Finckh, Axel

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6549>

Schnyder Schriber, Isabelle

Epidémiologie des infections à Streptococcus pneumoniae de patients hospitalisés aux Hôpitaux Universitaires de Genève de 1994 à 2003

Th. UNIGE 2010, Méd. 10618

Sous la dir. de: Lew, Daniel Pablo

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6742>

Stow, Nicholas W.

Rôle des exotoxines de Staphylo-

coccus aureus dans la rhinosinusite chronique

Th. UNIGE 2010, Méd. 10619

Sous la dir. de: Lacroix, Silvain

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6755>

Mavrakanas, Nikolaos

Mesure de la facilité d'évacuation de l'humeur aqueuse après la création d'une fistule intrasclérale par injection de l'acide hyaluronique stabilisé dans les yeux de porc

Th. UNIGE 2010, Méd. 10620

Sous la dir. de: Safran, Avinoam B.

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9791>

Waber, Lakshmi

Conversion hystérique, hypnose et imagerie cérébrale

Th. UNIGE 2010, Méd. 10622

Sous la dir. de: Vuilleumier, Patrik

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11902>

Zhang, Yong Qiang

Analyse de l'expression de BARD1 dans le cancer du poumon et le cancer colorectal

Th. UNIGE 2010, Méd. 10625

Sous la dir. de: Irion, Olivier; Irminger, Irmgard

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11880>

Prando, Federico

Influence de la densité d'énergie délivrée lors de la photo-polymérisation sur la contraction et l'adaptation marginale d'une résine composite d'obturation

Th. UNIGE 2010, Méd. dent 684

Sous la dir. de: Krejci, Ivo

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11848>

Scheuermann, Maria

Evaluation radiographique des niveaux osseux autour d'implants dentaires

Th. UNIGE 2010, Méd. dent 685

Sous la dir. de: Belser, Urs Christophe

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9840>

Zapata Minnig, Oscar

Production de radicaux libres (ROS) à partir d'agents photo-actives à l'aide des sources lumi-

neuses disponibles en médecine dentaire

Th. UNIGE 2010, Méd. dent. 681

Sous la dir. de: Bouillaguet, Serge

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5521>

Houstis, Odysia

Différences dans les expressions faciales selon l'âge et le sexe

Th. UNIGE 2010, Méd. dent. 682

Sous la dir. de: Kiliaridis, Stavros

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5997>

Rizzcalla, Nicolas

Influence de la pression de l'air, du débit d'eau et de la fréquence sur l'efficacité d'un laser Er:YAG sur l'émail et la dentine

Th. UNIGE 2010, Méd. dent. 683

Sous la dir. de: Krejci, Ivo

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5589>

Rocca, Giovanni Tommaso

Influence des bases résineuses et de leur traitement sur l'adaptation externe et interne de restaurations indirectes en composite

Publicité

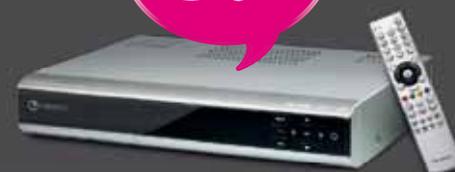
L'option DRIVEBOX HD est offerte aux moins de 26 ans.*

A ce prix-là, une pièce d'identité vous sera demandée.

L'accès à 125 chaînes numériques pour CHF 28.- par mois, décodeur-enregistreur HD inclus.

Si vous avez moins de 26 ans, c'est l'occasion rêvée: pour seulement CHF 28.- par mois, vous avez accès aux 125 chaînes et thématiques exclusives du forfait PREMIUM, à de grandes chaînes Haute-Définition et un canal 3D avec le décodeur-enregistreur DRIVEBOX HD offert. L'idée de naxoo, c'est de vous offrir une variété de chaînes de qualité sur la technologie super fiable du câble, tout en profitant gratuitement des avantages d'un décodeur-enregistreur HD – disque dur de 160 GB – fonction Pause-Live – Guide Electronique des Programmes.

* Offre valable pour toute personne majeure de moins de 26 ans à la conclusion d'un abonnement au forfait PREMIUM de naxoo d'une durée minimum de 12 mois. Les frais d'activation de CHF 95.- sont offerts et la DRIVEBOX HD est mise à disposition gratuitement pendant 12 mois. Dans la limite des stocks disponibles.



naxoo

La télé comme vous l'aimez

www.naxoo.ch – 0844 822 123

Th. UNIGE 2010, Méd. dent. 686
Sous la dir. de: Dietschi, Didier
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11843>

LETTRES

Giardina, Adriano

Tomás Luis de Victoria: le premier livre de motets, organisation et style

Th. UNIGE 2009, L. 677
Sous la dir. de: Darbellay, Etienne
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5368>

Kuder, Martin

Commercio, emigrazione, finanza e trasporti: i rapporti economici tra Italia e Svizzera dal 1945 al 1970

Th. UNIGE 2010, L. 700
Sous la dir. de: Conrad, Christoph; Cerutti, Mauro
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11930>

Debons, Delphine

L'assistance spirituelle aux prisonniers de guerre: un aspect de l'action humanitaire durant la Deuxième Guerre mondiale

(1939-1948)
Th. UNIGE 2010, L. 702
Sous la dir. de: Fleury, Antoine
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12096>

SES

Copt, Samuel

High breakdown inference for mixed linear models

Th. UNIGE 2004, SES 563
Sous la dir. de: Victoria-Feser, Maria-Pia
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12053>

Huber, Philippe

Generalized linear latent variables models: Estimation, inference and empirical analysis of financial data

Th. UNIGE 2004, SES 564
Sous la dir. de: Ronchetti, Elvezio; Victoria-Feser, Maria-Pia
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8386>

Pawlak, Michel

A Reference Model for Free/Open Source Software (F/OSS) process management

Th. UNIGE 2007, SES 643

Sous la dir. de: Konstantas, Dimitri
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9828>

Ferrier, Catherine

Changement climatique, Institutions et Marchés

Th. UNIGE 2007, SES 650
Sous la dir. de: Burgenmeier, Beat; Petitpierre-Sauvain, Anne
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5691>

Vulliez, Valérie

Liberté, égalité, décentralisations: comparaison des processus de décentralisation français et britannique et de leurs effets

Th. UNIGE 2007, SES 651
Sous la dir. de: Lane, Jan-Erik
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11698>

Conne, David

Goodness-of-fit for generalized linear latent variables models

Th. UNIGE 2008, SES 681
Sous la dir. de: Ronchetti, Elvezio; Victoria-Feser, Maria-Pia
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6733>

Pasche, Cyril

Schooling, ability, and wages

Th. UNIGE 2009, SES 691
Sous la dir. de: Flückiger, Yves
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6544>

Delay, Christophe

Les classes populaires à l'école: la rencontre ambivalente entre deux cultures à légitimité inégale

Th. UNIGE 2009, SES 695
Sous la dir. de: Schultheis, Franz
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6545>

Klarner, Patricia

The rhythm of change: a longitudinal analysis of the European insurance Industry

Th. UNIGE 2009, SES 700
Sous la dir. de: Probst, Gilbert
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6543>

Bellard, Erwan

Diversité socioculturelle et travail en équipe: le rôle du conflit et des émotions

Th. UNIGE 2009, SES 703
Sous la dir. de: Schneider, Susan Carol
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11755>

Páramo-Morales, Dagoberto

Le commerce traditionnel colombien: un espace de renforcement culturel pour les consommateurs

Th. UNIGE 2009, SES 705
Sous la dir. de: Bergadaà, Michelle
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:10700>

García Perez de Leon, Cesar

Models of decision-making and cooperation in european integration theory: A conceptual critique

Th. UNIGE 2009, SES 706
Sous la dir. de: Hug, Simon; Lane, Jan-Erik;
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5671>

Salerno, Sébastien

Les altermondialistes dans la presse: le débat sur la manifestation contre le G8 d'Évian dans la presse romande

Th. UNIGE 2009, SES 707
Sous la dir. de: Windisch, Uli
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11826>

Capuzzo Derkovic, Nadia

Urbicide et mémoires: destructions et reconstructions à Sarajevo

Th. UNIGE 2009, SES 713
Sous la dir. de: Ducret, André Marie Omer; Ziegler, Jean
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12001>

Biava, Alessia

L'émergence d'une culture stratégique dans le cadre de la Politique européenne de sécurité et de défense

Th. UNIGE 2009, SES 714
Sous la dir. de: Braillard, Philippe
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6336>

Del Bucchia, Céline

Le repas familial: un cas de don polyforme orienté vers l'enfant

Th. UNIGE 2010, SES 716
Sous la dir. de: Bergadaà, Michelle
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11940>

Perret, Sylvain

Vers une nouvelle approche instrumentale des politiques publiques de protection de l'environnement: implications conceptuelles, théoriques et méthodologiques à la lumière du cas de la politique climatique suisse

Th. UNIGE 2010, SES 717
Sous la dir. de: Burgenmeier, Beat; Urlio, Paolo
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12057>

Kim, Sowon

The dynamics of career-related networking behavior

Th. UNIGE 2010, SES 718
Sous la dir. de: Schneider, Susan Carol
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6882>

Gatopoulos, Georgios

Three essays on international finance

Th. UNIGE 2010, SES 719
Sous la dir. de: Louberge, Henri
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5494>

Guisé, Ibrahim

Migrations étudiantes africaines en Suisse: de la formation à l'insertion professionnelle. Les conditions

Publicité

WHAT DOES SUCCESS SOUND LIKE?

Teamwork. Technical expertise. Diversity. That's what success sounds like at Dell. With our talented staff and industry-leading technology, we provide an exceptional experience for both our customers and our employees.

Join us, and you'll work in a dynamic environment with other talented, ambitious people. And you'll get everything you need to push your personal career goals even higher.

Like what you hear? Check out our career opportunities, and discover just how bright your future can be.

TO HEAR MORE, VISIT DELL.CH

Workforce diversity is an essential part of Dell's commitment to quality and to the future. We encourage you to apply, whatever your race, gender, color, religion, national origin, age, disability, marital status, sexual orientation, or veteran status. Dell and the Dell logo are trademarks of Dell Inc.

d'une mobilité circulaire
Th. UNIGE 2010, SES 720
Sous la dir. de: Cattacin, Sandro
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5286>

Dieye, Papa Arona

Les obligations de l'Etat vis-à-vis des étrangers et le circuit de l'exigence éthique

Th. UNIGE 2010, SES 723
Sous la dir. de: Ossipow, William;
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12086>

Sgier, Lea

Parliamentary debates on gender quotas in Switzerland and France (1998-2000): a discourse analysis

Th. UNIGE 2010, SES 725
Sous la dir. de: Ballmer-Cao, Thanh-Huyen; Birnbaum, Pierre
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12155>

Krone-Germann, Irenka

Flexible time arrangements: relevance and impact of part-time work in Switzerland

Th. UNIGE 2010, SES 726
Sous la dir. de: Flueckiger, Yves
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6851>

Coll, Sami

Consommation sous surveillance: le cas des cartes de fidélité

Th. UNIGE 2010, SES 728
Sous la dir. de: Bourrier, Mathilde
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8548>

FPSE

Vellas, Etiennette

Approche, par la pédagogie, de la démarche d'auto-socio-construction: une «théorie pratique» de l'Education nouvelle

Th. UNIGE 2008, FPSE 382
Sous la dir. de: Cifali Bega, Mireille
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6791>

Toulou, Simon

Devenir griot professionnel: éducation formelle ou informelle? Analyse des enseignements langagiers dans la perspective de la transposition didactique

Th. UNIGE 2008, FPSE 411
Sous la dir. de: Schneuwly, Bernard; Jansen, Jan
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11849>

André, Bernard

L'investissement subjectif d'enseignants dans leur travail: approche clinique dans le cadre de la scolarité obligatoire vaudoise

Th. UNIGE 2009, FPSE 428
Sous la dir. de: Cifali, Mireille
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5517>

De Sa Moura, Patricia Rosania

Approche clinique du travail des professeurs dans un centre universitaire au Brésil: étude de cas

Th. UNIGE 2010, FPSE 429
Sous la dir. de: Cifali Bega, Mireille
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6728>

Konan, N'Dri Paul

Immigration, stéréotypes et performances académiques des groupes dominants: une approche psychosociale

Th. UNIGE 2009, FPSE 433
Sous la dir. de: Mugny, Gabriel
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5449>

Dayer, Caroline

Examen de la pensée classificatoire dans le champ épistémologique: construction et transformation d'une posture de recherche

Th. UNIGE 2009, FPSE 434
Sous la dir. de: Schurmans, Marie-Noëlle
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6518>

Kreibig, Sylvia

Emotion, motivation, and appraisal: a psychophysiological analysis of differential emotion elicitation in the context of achievement motivation

Th. UNIGE 2009, FPSE 436
Sous la dir. de: Gendolla, Guido; Scherrer, Klaus R.
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5400>

Del Notaro, Christine

Chiffres mode d'emploi: exploration du milieu mathématique et expérience à l'école primaire autour de quelques critères de divisibilité

Th. UNIGE 2010, FPSE 446
Sous la dir. de: Conne Sigrist, François Daniel
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11825>

Khalifé, Ali

L'éducation à la citoyenneté dans une société multiculturelle: la formation de la culture citoyenne des élèves dans les écoles secondaires du Liban

Th. UNIGE 2010, FPSE 447
Sous la dir. de: Audigier, François
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5529>

Billieux, Joël

Impulsivité et conduites externalisées: une approche cognitive, affective, et motivationnelle

Th. UNIGE 2010, FPSE 450
Sous la dir. de: Van der Linden, Martial
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5558>

Capitanescu Benetti, Andrea

Autonomie professionnelle et rapport au travail prescrit: Les

enseignants primaires genevois, étude de cas

Th. UNIGE 2010, FPSE 451
Sous la dir. de: Perrenoud, Philippe; Gather Thurler, Monica
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6698>

Gagnon, Roxane

Former à enseigner l'argumentation orale: de l'objet de formation à l'objet enseigné en classe de culture générale

Th. UNIGE 2010, FPSE 452
Sous la dir. de: Dolz-Mestre, Joaquim
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6777>

Casati, Paola

The perception of emotional facial expressions in normals and in schizophrenic patients

Th. UNIGE 2010, FPSE 453
Sous la dir. de: Viviani, Paolo; Kaiser Wehrle, Susanne
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9620>

Lehraus, Katia

Développer les interactions entre élèves en situation d'apprentissage coopératif: conception et observation d'un dispositif d'apprentissage coopératif en expression écrite en deuxième année primaire

Th. UNIGE 2010, FPSE 454
Sous la dir. de: Allal, Linda; Buchs, Céline
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:11824>

With, Stéphane

Structural analysis of temporal patterns of facial actions: Measurement and implications for the study of emotion perception through facial expressions

Th. UNIGE 2010, FPSE 455
Sous la dir. de: Kaiser Wehrle, Susanne
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6828>

Samuel, Françoise

Visual perception of the equilibrium state of objects

Th. UNIGE 2010, FPSE 456
Sous la dir. de: Kerzel, Dirk
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:8463>

Mayor Dubois, Claire

Apprentissage procédural chez l'enfant: études développementales et cliniques

Th. UNIGE 2010, FPSE 457
Sous la dir. de: Zesiger, Pascal Eric; Roulet-Perez, Eliane
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6778>

Born, Sabine

Bottom-up and top-down effects of stimulus properties in saccade distractor paradigms

Th. UNIGE 2010, FPSE 458
Sous la dir. de: Kerzel, Dirk
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:6881>

Vergauwe, Evie

Interference between processing and storage in working memory: a domain-general mechanism of time-based resource sharing?

Th. UNIGE 2010, FPSE 460
Sous la dir. de: Barrouillet, Pierre Noël
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9841>

Maréchal, Céline

Effets des contraintes institutionnelles sur les pratiques enseignantes dans l'enseignement spécialisé: une analyse didactique à partir du cas de l'introduction à l'addition

Th. UNIGE 2010, FPSE 462
Sous la dir. de: Dorier, Jean-Luc
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:12038>

ETI

Santaholma, Marianne Elina

Efficient development of grammars for multilingual rule-based applications

Th. UNIGE 2010, ETI 9
Sous la dir. de: Bouillon, Pierrette
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:9835>

Neurosciences

Poglia, Lorenzo Pietro

Role of N-Caderin and SAP97 in dendritic spine morphology and synapse formation

Th. UNIGE 2009, Neur. 41
Sous la dir. de: Muller, Dominique
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5294>

Rauss, Karsten

Cognitive modulations of early visual cortex activity in humans

Th. UNIGE 2010, Neur. 46
Sous la dir. de: Schwartz, Sophie; Vuilleumier, Patrik
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5654>

Tzieropoulos Österlöf, Hélène

Decision-making in economic games: neural underpinnings of rationality deviations and inter-individual differences

Th. UNIGE 2010, Neur. 50
Sous la dir. de: Landis, Theodor; Gonzalez Andino, Sara Lilian
<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:5385>

Qu'est-ce qui donne de la valeur à ton travail chez PwC?



pwc

.....
Construire des relations – créer
de la valeur:
.....

Audit

Conseil juridique et fiscal

Conseil économique
.....

Nos clients: nous les aidons à atteindre des objectifs importants, pour eux comme pour leur entreprise. Nos collègues: source d'inspiration, en Suisse comme dans les projets internationaux. Et toi, qui pourras réaliser ce qui te tient à cœur, grâce aux nombreuses opportunités offertes et à un encadrement ciblé dans le domaine de l'Audit et du Conseil juridique, fiscal et économique. Nous nous réjouissons de faire ta connaissance.