

# Campus

n°100 septembre-octobre 2010

D'un monde à l'autre  
1990 2010



Edition spéciale  
numéro 100



UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE

# «Campus», un pont entre science et cité

Ce numéro célèbre un double anniversaire: celui de la 100e parution de *Campus* et celui des 20 ans du magazine.

Cette édition spéciale est l'occasion de s'interroger sur ce que représente une telle période pour les sciences étudiées au sein de notre institution. Elle rassemble ainsi des regards de chercheurs sur l'évolution de notre monde et des points de vue de scientifiques sur les transformations de certains domaines de recherche au cours de ces vingt dernières années.

Un 100<sup>e</sup> numéro, c'est aussi l'occasion de s'interroger sur l'importance d'un magazine universitaire. Aujourd'hui, les médias sont en effet en pleine mutation. Dans cet environnement, quelles sont la place et le rôle d'une telle publication?

Nous défendons l'idée qu'un magazine universitaire comme *Campus* est, avant toute autre chose, un des premiers maillons du processus complexe et multiforme que représente le dialogue «science et cité». Ce dialogue contribue au partage des savoirs scientifiques avec la collectivité, à leur mise en culture, et il s'inscrit directement dans la mission de l'université.

L'interaction «science et cité», complexe, fait intervenir de nombreux acteurs et des formes variées de médi-



tion, allant du cours public à l'exposition interactive, en passant par l'interview d'un chercheur pour un quotidien local.

Dans ce foisonnement d'activités et de réalisations, le magazine *Campus* se situe au plus près des chercheurs, à la source du partage des savoirs. *Campus* met en lumière des sujets et des thématiques qui sont d'actualité pour la communauté scientifique, mais qui ne le sont pas encore, ou qui ne le seront peut-être jamais, pour les médias classiques. Le magazine tente ainsi le pari sans cesse renouvelé de la vulgarisation, de la médiation scientifique, avec l'espérance de susciter l'intérêt pour un sujet, au-delà du cercle de ceux qui l'étudient quotidiennement.

*Campus* se situe ainsi entre une publication scientifique et un magazine vendu en kiosque. Son public n'est plus seulement la communauté scientifique, mais il n'est pas pour autant lu quotidiennement dans les transports publics!

Ce positionnement lui permet d'apporter pleinement sa contribution à la dynamique de dialogue entre la science et la cité. Les lecteurs de *Campus* sont en effet autant de relais potentiels: scientifiques de tous domaines, enseignants, journalistes, acteurs des milieux économiques, culturels ou sociaux, amateurs de sciences, curieux ou bloggeurs. Un sujet

peut les interPELLER, une thématique les fasciner, un expert les convaincre: l'intérêt est suscité, la dynamique «science et cité» est alimentée.

*Campus* peut alors inspirer la rédaction d'un article dans un quotidien, il peut permettre aux chercheurs cités d'être consultés par des journalistes ou des politiques, il peut servir de support à des enseignants. C'est ainsi que le magazine atteint son but. Il s'inscrit dans le processus du partage des connaissances, il en est l'un des acteurs.

Pour parvenir à ces résultats, *Campus* se doit d'offrir une information de qualité sur les connaissances qu'il présente, puisée à la source même de leur élaboration, les chercheurs, et validée par eux. Un magazine universitaire peut prendre le temps qu'il faut pour être à l'écoute des acteurs académiques, car il a la chance de ne pas être soumis à la pression de l'actualité. Le temps de l'écoute et l'exigence permanente de qualité sont nécessaires pour que le magazine puisse espérer servir de déclencheur d'intérêt au-delà des cercles universitaires.

Enfin, un 100<sup>e</sup> numéro, c'est aussi l'opportunité de remercier tous les chercheurs, de toutes les disciplines, qui permettent l'existence du journal. Car le dialogue «science et cité», c'est bien évidemment eux qui le font vivre, *Campus* n'étant, en somme, que leur porte-voix. ■

Didier Raboud

## Impressum

### CAMPUS

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

### SECRÉTARIAT

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

### IMPRESSION

Atar Roto Presse, 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

### POUR VOUS ABONNER

Envoyez un mail avec  
votre adresse postale à:  
campus@unige.ch  
ou remplissez le formulaire  
suivant sur Internet  
www.unige.ch/presse/  
Campus/abonnement.html  
Vous pouvez également  
nous écrire à l'adresse postale:  
Campus- abonnements  
UNIGE  
24 rue du Général-Dufour  
1211 Genève 4

Campus est membre du Swiss Science  
Pool – [www.swiss-science-pool.com](http://www.swiss-science-pool.com)

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

## Géopolitique 4 – 25 **LE NOUVEAU (DÉS)ORDRE INTERNATIONAL**



La chute du mur de Berlin, le 9 novembre 1989, et la fin de la Guerre froide ont accouché d'un monde qui n'est ni plus sûr, ni plus stable, ni plus prospère

## Société 26 – 33 **BIENVENUE AU «VILLAGE GLOBAL»**

En vingt ans, l'économie s'est mondialisée, la population totale a augmenté de plus de 1,5 milliard de personnes et le climat continue de se réchauffer

## Informatique 34 – 45 **LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE**

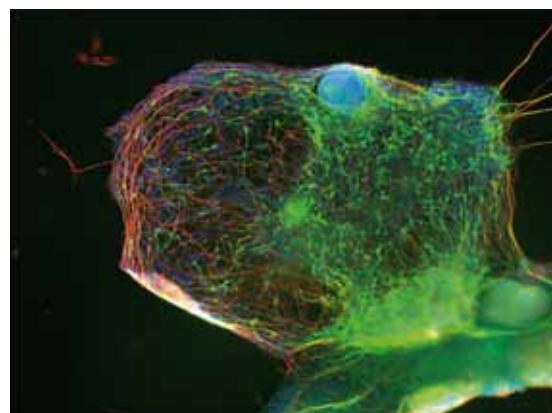


Le développement des ordinateurs et d'Internet a changé notre quotidien, mais aussi notre façon de percevoir le monde. Illustration par l'éducation et la réalité virtuelle

## Médecine 46 – 55 **GROS PLAN SUR LE CORPS HUMAIN**

L'imagerie médicale et l'obésité sont, parmi beaucoup d'autres, deux domaines de la médecine qui ont connu des avancées fulgurantes au cours de ces deux dernières décennies

## Biologie 56 – 65 **LES PETITS SECRETS DE LA VIE**



Le décryptage du génome humain, commencé en 1990, a permis à la biologie d'avancer à pas de géant, notamment dans l'étude des cellules souches embryonnaires

## Physique 66 – 74 **AUX CONFINS DES MONDES**



La physique cherche ses limites à la fois dans l'infiniment grand – découverte de planètes extrasolaires – et dans l'infiniment petit – communication quantique

1990

2010

# LE NOUVEAU (DÉS)OR



# DRE INTERNATIONAL

Tempête de sable dans le «Black Rock Desert» (Etats-Unis), 1<sup>er</sup> septembre 2009.

PHOTO: MILA ZINKOVA



1990  
2010

---

Symbole de la faillite du modèle communiste, la chute du mur de Berlin, le 9 novembre 1989, marque la fin du monde bipolaire et l'entrée dans une nouvelle ère: celle de la mondialisation

---

Vingt ans après, même si le pire a sans doute été évité, les contours du nouvel ordre international promis par les Etats-Unis restent incertains

---

Si l'Europe paraît aujourd'hui plus stable qu'elle ne l'a jamais été, la montée en puissance de la Chine et la fierté retrouvée de la Russie inquiètent de plus en plus. Quant à la Suisse, elle persiste dans son «splendide isolement»

# UN MONDE NI PLUS STABLE, NI PLUS PROSPÈRE

**Vingt ans après la chute du mur de Berlin, l'héritage de la Guerre froide pèse encore lourdement sur les relations internationales. De l'Iran à Cuba, de l'Afrique au Moyen-Orient, les contours du nouvel ordre international tant espéré durant les années 1990 peinent en effet à se dessiner**

Le 9 novembre 1989, le mur de Berlin tombait sous les coups de pioche des Berlinois. Le 26 décembre 1991, c'est l'URSS qui volait à son tour en éclats. En un peu plus de deux ans, emporté par un formidable coup d'accélérateur de l'histoire, c'est tout un monde qui venait de s'effondrer. Celui de la Guerre froide, de l'équilibre de la terreur et de l'opposition entre les deux géants de l'Est et de l'Ouest. Consacrant le triomphe du «monde libre» sur la barbarie et le totalitarisme, cet imprévisible printemps des peuples a effectivement changé la face du monde. L'Europe y a gagné une unité qu'elle n'avait jamais connue auparavant et les Etats-Unis, restés seuls maîtres à bord, un leadership aussi difficile à contester qu'à assumer. Comme l'avait prédit à l'époque le philosophe américain Francis Fukuyama, l'histoire aurait pu s'arrêter là. Mais c'eût sans doute été trop simple. Vingt ans après ces événements décisifs, les contours du nouvel ordre international promis au lendemain de la victoire du camp occidental restent en effet terriblement flous et le lourd héritage de la Guerre froide est encore loin d'avoir été soldé. Entre nouvelles menaces et occasions manquées, tour d'horizon avec Jussi Hanhimäki, professeur à l'Institut de hautes études internationales et du développement.

**La chute du mur de Berlin et l'effondrement du bloc soviétique ont souvent été perçus comme le vrai terme de la Seconde Guerre mondiale. Dans quelle mesure ces événements marquent-ils réellement une rupture?**

JUSSI HANHIMÄKI: Ce qui a changé, et c'est une évidence, c'est que l'URSS a disparu, laissant seul son vieil ennemi américain. Ces événements sont aussi capitaux pour l'Allemagne et pour l'Europe, qui ont retrouvé leur unité. Mais globalement, le monde n'est devenu ni plus

stable, ni plus sûr, ni plus prospère. Certaines menaces ont certes disparu, mais d'autres les ont remplacées. Par ailleurs, il existe également de très nombreux éléments de continuité entre le monde de la Guerre froide et celui dans lequel nous vivons aujourd'hui.

## Lesquels?

Tout d'abord, contrairement à ce que l'on pouvait espérer au début des années 1990, la démocratie ne s'est pas imposée partout. La Chine, la Corée du Nord ou Cuba sont toujours dirigés par des régimes autoritaires. Ensuite, parmi les nombreux conflits qui ont éclaté en Afrique, en Asie ou en Amérique latine depuis

la disparition de l'URSS, nombreux sont ceux qui trouvent leurs racines dans l'opposition que se sont livrés l'Est et l'Ouest durant cinq décennies. Les belligérants que l'on a vu s'opposer depuis les années 1990 ont, dans la plupart des cas, été soutenus, organisés et armés par un des deux «Grands» dans le contexte de la Guerre froide. Et ces forces n'ont pas disparu avec la fin du monde bipolaire. Au contraire: lorsque l'emprise des superpuissances est devenue moins forte, les conflits internes qui avaient longtemps été mis entre parenthèses ont ressurgi, parfois avec une très grande violence, comme par exemple au Rwanda et en Somalie.



Koweït, autoroute 80, 19 avril 1991.

# LUS SÛR,

## Peut-on faire la même analyse au sujet de la guerre du Golfe?

Cette guerre constitue un moment charnière. Elle peut être vue à la fois comme le dernier conflit du monde bipolaire et le premier du monde globalisé.

### Pouvez-vous préciser?

Lorsque le bloc soviétique s'est effondré, le monde occidental, et en particulier les Etats-Unis, s'est retrouvé face à un défi écrasant, celui de faire quelque chose de cette victoire. En d'autres termes, c'est à l'administration de George Bush père qu'il revenait de régler tous les problèmes de la planète et d'esquisser les contours d'un nouvel ordre mondial fondé sur le respect du droit international et la sécurité collective. L'offensive pour libérer le Koweït s'inscrivait dans cette logique, mais les choses n'ont pas tourné comme prévu.

### Pourquoi?

D'abord parce que la tâche était impossible à mener à bien pour une nation, si puissante fût-elle. En termes d'investissements, les Etats-Unis n'avaient tout simplement pas les moyens d'une telle politique. Ensuite, parce que les attentats du 11 septembre 2001 ont complètement changé la donne. Le Moyen-Orient, où les Américains étaient déjà présents notamment au travers du conflit israélo-palestinien, est devenu l'enjeu central d'une politique étrangère américaine désormais gouvernée par l'idée du choc de civilisations. Dès lors, le gouvernement de George Bush fils s'est en effet donné beaucoup de mal pour accréder l'idée que la lutte contre le terrorisme avait à nouveau coupé le monde en deux. La raison en est simple: pour envoyer 500 000 soldats américains au Moyen-Orient, il fallait trouver un motif assez solide et donc parvenir à persuader l'opinion que les «Etats-voyous»

constituaient une réelle menace pour la sécurité américaine.

## On peut donc également analyser la montée de l'islamisme radical comme une conséquence de la Guerre froide?

Il existe en effet des liens. La création de la République islamique d'Iran, en 1979, visait à renverser un régime soutenu à bout de bras depuis deux décennies par les Américains. Elle a triomphé. Au même moment, les troupes soviétiques entraient en Afghanistan pour commencer une guerre qui allait tourner au désastre. Ces deux victoires ont sonné comme un puissant appel pour l'islamisme radical. Et puis, il ne faut pas oublier non plus que c'est dans l'idée de contrer les Soviétiques en Afghanistan que les Américains ont choisi de soutenir – indirectement – des personnalités comme Ben Laden.

## Pour revenir à l'Iran. Quelle lecture faites-vous de la crise qui s'est nouée autour du programme nucléaire mené par le gouvernement du président Ahmadinejad?

Aujourd'hui, on parle beaucoup de la menace que représente le programme nucléaire iranien. On dit qu'il faut y mettre fin sinon l'Iran va faire sauter le monde. Et ce, quitte à employer la force. Mais on ne réglera jamais ce problème si on se contente de dire que l'Iran doit arrêter. Si le gouvernement iranien arrête maintenant, c'est une humiliation complète pour le pays et la fin de la carrière politique d'Ahmadinejad.

### Que suggérez-vous?

Pour résoudre le problème, il faut commencer par réfléchir aux raisons qui font que l'Iran est si fortement opposé au monde occidental. En partant de ce type de questions, il y a peut-être un moyen d'ouvrir le dialogue. ►

## Faits marquants

**19 AOÛT 1989** > En Pologne, Tadeusz Mazowiecki devient le premier chef de gouvernement non communiste en Europe de l'Est depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale.

**23 OCTOBRE 1989** > Après la dissolution du Parti socialiste ouvrier hongrois, la République populaire de Hongrie devient la République de Hongrie.

**9 NOVEMBRE 1989** > Après des semaines d'agitation dans l'ensemble du pays, Günter Schabowski, membre du Politburo de République démocratique allemande (RDA), annonce lors d'une conférence de presse que tous les citoyens de la RDA peuvent quitter le pays. A un journaliste qui lui demande quand cette mesure doit entrer en vigueur, il donne la réponse suivante: «Pour autant que je sache, cela entre en vigueur... c'est maintenant, immédiatement.» De nombreux Berlinois ayant suivi cette déclaration en direct à la télévision se ruent alors vers les postes frontières. Dépassés, les gardes-frontière pratiquent des ouvertures dans le «mur de la honte», qui s'effondre après 28 ans d'existence.

**16 NOVEMBRE 1989** > Début de la «Révolution de velours» en Tchécoslovaquie. Le 10 décembre, le premier gouvernement non communiste est formé. Alexander Dubcek est élu à la tête du Parlement le 28 décembre. Le lendemain, Václav Havel est élu président de la République. Le tout sans qu'une goutte de sang ait été versée.

**25 DÉCEMBRE 1989** > En Roumanie, Nicolae Ceausescu et son épouse sont exécutés suite à un procès expéditif mené par un tribunal autoproclamé. Les images de leurs dépouilles sont diffusées le soir même à la télévision.

**11 FÉVRIER 1990** > Libération de Nelson Mandela après vingt-sept ans d'emprisonnement dans les prisons sud-africaines.

**2 AOÛT 1990** > A 2 heures du matin, début de l'invasion du Koweït par l'Irak. En quatre heures l'opération est terminée.

**17 JANVIER 1991** > Début de l'opération «Tempête du désert», qui réunit une coalition de 34 pays, soutenus par l'ONU, pour libérer le Koweït.

**30 JUIN 1991** > Abolition du régime d'Apartheid en Afrique du Sud.

**12 JUILLET 1991** > La Bulgarie se dote d'une nouvelle Constitution qui consacre l'abandon de toute référence au socialisme.

Un dialogue qui ne soit pas focalisé sur les questions nucléaires, mais qui soit réellement ouvert. Si les Etats-Unis continuent à isoler le pays, cela ne fera que faciliter la tâche du pouvoir en place, comme le montre l'exemple de Cuba depuis soixante ans. Enfin, lorsqu'on aborde cette question, il est aussi bon de rappeler que les Américains ont été les premiers à soutenir le programme nucléaire iranien dans les années 1970, alors que ce pays constituait un allié essentiel des Etats-Unis et d'Israël dans la région.

«Les Américains ont été les premiers à soutenir le programme nucléaire iranien dans les années 1970»

**Comment expliquez-vous le fait que la Chine, l'autre grand pays communiste, n'ait pas été emportée dans la tourmente soulevée par la chute du «rideau de fer»?**

La différence principale est que, contrairement à l'URSS, la Chine communiste n'a jamais manifesté d'ambitions impérialistes en dehors de sa zone d'influence traditionnelle. Si bien que dès les premières mesures d'ouverture économique, l'administration américaine s'est mise à traiter la Chine comme un partenaire stratégique et non comme un ennemi. Résultat: pendant que les deux grands épuaient leurs forces à courir derrière l'équilibre de la terreur, la Chine a pu grandir à l'ombre de la Guerre froide et rattraper une grande partie de son retard économique pour devenir un acteur majeur sur la scène mondiale. Et ce, à un moment qui paraît idéal.

#### Dans quelle mesure?

Après une longue période de décolonisation, de nombreux pays africains ou d'Amérique la-

**19 JUILLET 1991** > L'effondrement de la Fédération yougoslave débouche sur un conflit opposant la République de Croatie nouvellement indépendante à l'Armée populaire yougoslave et à une partie des Serbes de Croatie.

**25 DÉCEMBRE 1991** > Mikhaïl Gorbatchev remet sa démission en tant que président de l'Union soviétique. Le jour suivant, l'Union soviétique est officiellement dissoute et remplacée par la Fédération de Russie.

**6 AVRIL 1992** > L'armée populaire yougoslave attaque la Bosnie-Herzégovine, qui s'était déclarée indépendante le 1<sup>er</sup> mars.

**6 AVRIL 1994** > Au Rwanda, début de la guerre civile opposant «Hutus» et «Tutsis». Le conflit débouche sur un génocide qui aurait fait 800 000 victimes selon l'ONU.

**14 DÉCEMBRE 1995** > Signature des accords de Dayton, qui mettent fin aux conflits en Bosnie et en Croatie.

**11 SEPTEMBRE 2001** > Attentats terroristes aux Etats-Unis, effondrement des deux tours du World Trade Center à New York.

**7 OCTOBRE 2001** > Début de la guerre contre le régime des Talibans en Afghanistan.

**12 OCTOBRE 2002** > Triple attentat à Bali. Bilan: 202 morts et 209 blessés.

**23 OCTOBRE 2002** > Prise d'otages au Théâtre de Moscou. Le bilan officiel fait état de 39 victimes parmi les terroristes, tandis qu'au moins 129 otages sont tués par le gaz lâché par les forces russes.

**20 MARS 2003** > L'invasion de l'Irak par une coalition conduite par les Etats-Unis marque le début de la «Troisième guerre du Golfe».

**11 MARS 2004** > Attentats à Madrid. Bilan: 191 morts et 1400 blessés.

**1<sup>ER</sup> SEPTEMBRE 2004** > Prise d'otages à Beslan, en Ossétie du Nord. Après trois jours de siège, les forces spéciales donnent l'assaut. Bilan officiel: 344 civils tués, dont 186 enfants.

**7 JUILLET 2005** > Attentats à Londres. Les quatre explosions successives font 56 morts et 700 blessés.

**30 DÉCEMBRE 2006** > Saddam Hussein est exécuté pour crimes contre l'humanité.

**8 AOÛT 2008** > La Géorgie s'engage dans un conflit armé avec la Russie et les armées d'Abkhazie et d'Ossétie du Sud.

**26 NOVEMBRE 2008** > Une dizaine d'attaques terroristes à Bombay font 173 morts et 312 blessés.

World Trade Center, New York,  
11 septembre 2001.

tine connaissent depuis quelques années un développement rapide qui exige d'importants investissements extérieurs. Or, l'intervention des pays occidentaux (France, Etats-Unis, Grande-Bretagne), caractérisée par la volonté de tirer profit des conflits internes pour s'assurer des bénéfices maximaux, n'a pas laissé partout de bons souvenirs. Ce qui laisse le champ libre à des puissances comme la Chine ou l'Inde.

#### Avec vingt ans de recul, le regard que portent les historiens sur l'époque de la Guerre froide a-t-il évolué?

La question qui fait débat actuellement concerne la place de l'idéologie comme force antagoniste entre les deux blocs. Durant la Guerre froide, on considérait ce conflit essentiellement comme une lutte pragmatique pour le pouvoir. Aujourd'hui, on s'aperçoit que ce n'est vrai que partiellement et que c'est essentiellement sur des bases idéologiques que ce conflit s'est globalisé. Il est, par exemple, absolument impossible de comprendre l'évolution de la situation à Cuba depuis plus de cinquante ans si on ne prend pas en compte ce type d'éléments. Par ailleurs, on a sans doute exagéré l'importance de certains événements emblématiques comme la crise des missiles. Avec la distance, il apparaît que ces moments de tension extrême n'ont pas eu d'impact durable dans l'histoire. En revanche, les développements structurels qui se sont mis en place dans le cadre de la lutte entre les deux «Grands» restent très importants pour comprendre le monde d'aujourd'hui.

#### Pouvez-vous en donner un exemple?

C'est particulièrement frappant dans les pays qui ont été décolonisés dans les années 1960-1970. Plutôt que d'accéder à une réelle indépendance, la plupart de ces Etats ont été instrumentalisés dans la lutte à laquelle se livraient Américains et Soviétiques, chaque camp s'efforçant de soutenir idéologiquement, économiquement et militairement sa propre faction. Et c'est bien dans les crises qui se sont jouées à cette époque qu'il faut chercher l'origine de la plupart des conflits qui se sont déclenchés depuis que le monde n'est plus coupé en deux. ■



# L'EUROPE MASTODONTE

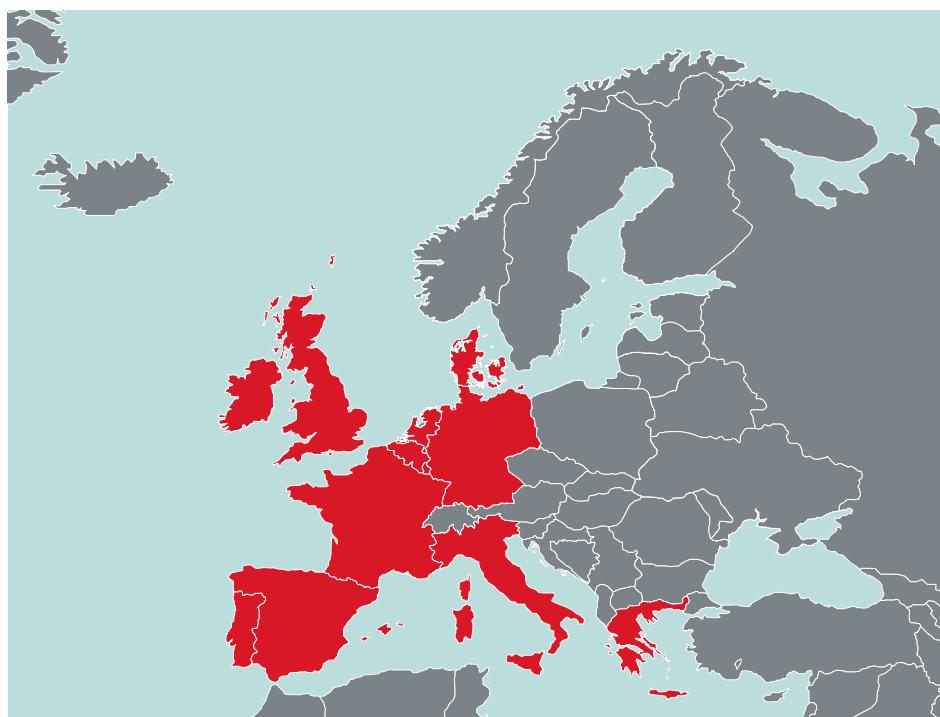
Entre 1990 et 2010, l'Union européenne est passée de 12 à 27 membres. Elle s'est dotée d'une monnaie unique qui en fait la plus grande puissance commerciale au monde. Une mutation qui doit beaucoup à la clairvoyance dont ont fait preuve les dirigeants de l'Allemagne réunifiée

Il suffit d'ouvrir un atlas pour s'apercevoir du chemin parcouru. Depuis la chute du mur de Berlin, 14 nouveaux Etats sont apparus en Europe. L'Allemagne a retrouvé son unité, d'autres ont acquis leur indépendance. Dans le même temps, l'Union européenne (UE) est passée de 12 à 27 membres et elle est devenue la première puissance commerciale mondiale. Le procédé n'a pas été sans dégâts. La guerre dans les Balkans, notamment, a laissé des traces qui mettront longtemps à se cicatriser. Mais globalement, il a débouché sur une Europe plus unie et dont la voix pèse de plus en plus lourd sur la scène internationale.

Retour sur deux décennies qui ont radicalement changé la face du Vieux Continent avec René Schwok, maître d'enseignement et de recherche au Département de science politique (Faculté des sciences économiques et sociales) et titulaire de la Chaire Jean Monnet «Union européenne: politique et institutions» à l'Institut européen.

«De manière assez paradoxale, on a toujours l'impression que l'UE passe de crise en crise et que rien n'avance, explique René Schwok. Pourtant, en vingt ans, le chemin qui a été parcouru par l'Union est énorme. On peine à réaliser les progrès effectués car il y a un fossé important entre les attentes envers l'Europe (qui sont énormes) et ses réalisations (qui sont souvent peu spectaculaires). Par ailleurs, ce processus d'intégration est chaotique, parsemé de crises et d'embûches, donc difficile à décrypter. Mais ces accidents de parcours amènent aussi des évolutions. Et, au final, cette politique des petits pas se traduit par de réels changements.»

Au travers de milliers de mesures économiques et sociales, le contrôle au passage des frontières pour les marchandises et les personnes a ainsi été supprimé à l'intérieur de l'espace communautaire et même au-delà, puisque la Suisse est également concernée. L'existence de ce marché intérieur réunissant plus de 500 millions d'habitants fait aujourd'hui de l'Europe la première puissance



1990: l'Europe des Douze.

économique mondiale. Il permet aussi à n'importe quel ressortissant d'un pays de l'UE de s'établir où il le souhaite, à la seule condition de posséder un contrat de travail.

## AMBITION CROISSANTE

Depuis son introduction en 2002, l'euro est devenu la monnaie unique de 16 des 27 Etats de l'Union. Et, malgré la crise, c'est aujourd'hui la deuxième monnaie au monde pour les transactions, derrière le dollar américain, et la première pour la quantité de billets en circulation.

Dotée de compétences élargies en matière de coopération policière, d'immigration et d'asile, l'UE est également devenue plus démocratique. En dotant le Parlement d'un droit de veto, elle a en effet réduit le pouvoir des ministres, qui

jusque-là étaient seuls à décider. Souvent raillée pour son incapacité à parler d'une seule voix et à réagir en cas de crise politique, l'UE a également fait preuve d'une ambition croissante dans les actions qu'elle a conduites au-delà de ses frontières.

Impuissante durant la guerre en ex-Yugoslavie, l'UE parvient ainsi à envoyer 7000 hommes en Bosnie en 2005. L'année suivante, elle crée une Agence européenne de la défense désormais présente sur la plupart des théâtres de crise. Sur la question palestinienne, l'UE a réussi à imposer aux Etats-Unis l'objectif d'une solution fondée sur deux Etats. Au Congo ou au Kosovo, les experts estiment également que sa présence a eu des effets positifs.

1990  
2010



2010: l'Europe des Vingt-Sept.

Mais c'est sans conteste l'élargissement aux anciens pays du bloc communiste qui est considéré par les diplomates européens comme leur plus grande réussite. A juste titre.

«Personne n'avait vu venir la chute du mur de Berlin», se souvient René Schwok. «Et on était loin de se douter que les choses allaient si bien tourner. J'étais à Harvard à ce moment, et je me rappelle avoir suivi un certain nombre de séminaires dans lesquels toutes sortes d'experts envisageaient les différents scénarios possibles. La plupart étaient catastrophistes: certains prévoyaient un embrasement de l'Union soviétique, d'autres estimaient qu'il serait très difficile de convertir à la démocratie et à l'économie de marché des anciens membres du Pacte de Varsovie. Enfin, le risque de voir des minorités opprimées suscitait également une vive inquiétude. Bien sûr, tout n'a pas été parfait.

*Il y a eu la guerre en Yougoslavie et cette parodie de révolution en Roumanie, mais de façon presque miraculeuse, on a évité le pire.*

#### MOTEUR ALLEMAND

La rapide conversion des pays d'Europe centrale à la démocratie a sans doute été facilitée par le communisme lui-même. La plupart de ces régimes se caractérisaient en effet par un relativement bon niveau d'éducation des hommes et des femmes, ainsi que par l'indépendance des universités, ce qui a pu compter dans la réussite de l'expérience.

Le rôle joué par l'Allemagne reste absolument central. Redoutée par la France de François Mitterrand et une large frange des Suisses alémaniques, l'Allemagne réunifiée ►

## Faits marquants

**1992** > Le référendum sur l'Espace économique européen (EEE) est refusé à 50,3% par le peuple suisse.

**1993** > Le Traité de Maastricht crée l'Union européenne, qui remplace la Communauté économique européenne (CEE). Il prévoit également la création d'une union économique et monétaire.

**1994** > Entrée en vigueur de l'EEE.

**1995** > L'Autriche, la Suède et la Finlande entrent dans l'Union européenne, qui regroupe désormais 15 Etats membres.

**2000** > Le Conseil européen de Lisbonne définit une politique visant à faire de l'Europe de 2010 «l'économie de la connaissance la plus compétitive et la plus dynamique du monde». Création de la Banque européenne d'investissement.

**2001** > Les électeurs suisses se prononcent contre l'accélération de la procédure d'adhésion.

**2002** > Mise en circulation de l'euro dans 11 pays de l'UE. Entrée en vigueur des Accords bilatéraux I.

**2003** > Entrée en vigueur du Traité de Nice, qui fixe les principes et les méthodes d'évolution du système institutionnel au fur et à mesure que l'Europe s'élargira.

**2004** > Signature de l'acte d'élargissement de l'Union européenne, qui passe de 15 à 25 membres. Adhésion de l'Estonie, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la République tchèque, la Slovaquie, la Hongrie, la Slovénie, Malte et Chypre. Création de l'Agence européenne de défense. Conclusion des Accords bilatéraux II.

**2007** > Adhésion de la Roumanie et de la Bulgarie. L'Union européenne compte 27 membres.

**2008** > Chypre et Malte adoptent l'euro comme monnaie officielle. La zone euro compte 15 pays, soit 320 millions de personnes. Entrée de la Suisse dans l'Espace Schengen/Dublin.

**2009** > Entrée en vigueur du Traité de Lisbonne qui transforme le Conseil européen en une nouvelle institution en le dotant d'un président et d'un haut représentant pour les Affaires étrangères et la politique de sécurité.

# «Touche pas à mon île!»

**Malgré une intégration de plus en plus forte dans l'espace européen, la Suisse reste le seul pays d'importance sur le Vieux Continent à refuser de manière systématique l'adhésion à l'Union européenne. Un paradoxe dont on n'est pas près de sortir**

Le 6 décembre 1992, 50,3% du peuple suisse refuse d'adhérer à l'Espace économique européen (EEE). Causant un traumatisme profond dans un pays désormais coupé en deux par la fameuse «barrière de rösti», ce «dimanche noir» constitue également l'une des premières grandes victoires politiques d'un certain Christoph Blocher, alors conseiller national du canton de Zurich. Or, voilà que, presque vingt ans plus tard, le leader de l'Union démocratique du centre (UDC) réclame une initiative pour rendre l'adhésion à l'Union européenne anticonstitutionnelle.

Est-ce à dire que rien n'aurait changé sur l'île helvétique? C'est à la fois vrai et faux. Vrai dans la mesure où la Suisse reste le seul pays européen d'importance qui refuse de manière constante une adhésion à l'Union européenne. Faux, parce que même si la Suisse reste un point de couleur différente sur les cartes du continent, en deux décennies de nombreuses barrières se sont levées en matière d'économie, de social, d'éducation, de recherche ou d'environnement. Avec l'adoption des Accords bilatéraux et l'entrée dans l'Espace Schengen, notre pays s'est en effet déjà engagé bien au-delà de ce qui était prévu par l'EEE.

Signe de cette intégration: près de 900 000 citoyens de l'UE résident aujourd'hui sur le territoire de la Confédération, tandis que près de 400 000 Suisses vivent dans un des 27 Etats de l'Union.

En outre, les entreprises suisses emploient plus de 850 000 personnes dans les pays de l'UE.

*«Les Suisses peuvent désormais s'établir dans n'importe quel pays de l'Union à condition d'avoir un contrat de travail, résume René Schwok, maître d'enseignement et de recherche au Département de science politique et titulaire de la chaire Jean Monnet à l'Institut européen. En contrepartie, n'importe quel citoyen de l'UE peut s'établir en Suisse aux mêmes conditions. Avant l'introduction de ces mesures, il existait une discrimination sur le marché de l'emploi en faveur des Suisses. C'est devenu illégal pour ce qui est des communautaires, même si cela reste possible vis-à-vis des ressortissants du reste du monde.»*

## LES FRONTALIERS DE LONDRES

De la même manière, le statut de frontalier a été profondément modifié au cours de ces dernières années par la dynamique européenne. Les employeurs ne sont ainsi plus contraints de vérifier que l'emploi qu'ils souhaitent pourvoir ne peut être attribué à un Suisse avant de le confier à une personne frontalière. Cette dernière n'a par ailleurs plus l'obligation de regagner son domicile tous les soirs, ni même d'habiter dans la région proche de l'emploi. Aussi curieux que cela puisse paraître, on peut devenir un travailleur frontalier en Suisse tout en habitant à Londres, Paris ou Madrid. Conséquence: alors qu'en 2002, avant l'entrée en vigueur de l'ac-

cord, on comptait environ 35 000 frontaliers à Genève, ils sont aujourd'hui 65 000.

L'adoption de la libre circulation des biens a également ouvert les portes du pays aux camions de plus de 28 tonnes. Et elle a contribué à augmenter la concurrence sur les marchés publics, qui ne sont plus réservés aux entreprises nationales et donc moins susceptibles de générer des pratiques clientélistes. L'Europe a également imposé à la Suisse de libéraliser son espace aérien – dont la principale conséquence est la possibilité de voyager à moindre coût – et de prélever un impôt sur les revenus de l'épargne de ses ressortissants établis sur le sol helvétique. Aujourd'hui, ce sont ainsi près de 700 millions de francs qui sont taxés par ce moyen, dont 500 millions sont reversés aux pays d'origines.

Au cours de ce qui s'apparente à un long mariage de raison, la Suisse a certes parfois dû céder du terrain, mais elle n'a jamais été forcée de lâcher prise sur ce qui lui semblait l'essentiel: la neutralité, le secret bancaire et la démocratie directe.

Paradoxalement, le fait que la Confédération ait pu se glisser dans un costume taillé sur mesure n'a pas fait augmenter la cote d'amour de l'Union dans le pays. C'est même plutôt l'inverse qui s'est produit. «Au début des années 1990, en Suisse romande, il était difficile de se dire anti-européen, se souvient René Schwok. Il y avait une sorte de fièvre européenne

*qui faisait que c'était presque mal vu. Aujourd'hui, ce n'est plus du tout le cas. D'une part, parce que le discours tenu par l'UDC est mieux accepté, de l'autre, parce que le regard porté sur la Suisse a changé. Au moment d'Expo.02, l'autocritique était relativement forte et le slogan de l'artiste Ben ("La Suisse n'existe pas") avait rencontré par mal d'écho. Depuis quelques années, au contraire, on constate le retour d'un certain patriotisme, y compris en Suisse romande. La Suisse s'est refermée sur elle-même et beaucoup de nos concitoyens se sentent très supérieurs à ce qu'on leur présente comme la "chienlit" européenne.»*

## SI LOIN, SI PROCHE

De là à penser que l'épisode de 1992 ne fut qu'une parenthèse, il n'y a qu'un pas. Que René Schwok franchit sans hésiter. «Les Suisses sont beaucoup plus cohérents que ce que les médias prétendent, explique le politologue. Depuis cinq ans, ils ne veulent ni l'adhésion ni la marginalisation, mais une sorte de troisième voie qui correspond à la direction suivie avec les bilatérales. C'est une solution qui fédère clairement la majorité de la population et de la classe politique du pays. Elle nous permet de profiter des avantages du système communautaire sans avoir à en assumer ce qui nous apparaît comme des inconvénients. En ce sens, on peut penser que plus la Suisse se rapproche de l'Union, plus elle s'éloigne de la perspective d'une adhésion. Et, au cours de ces dernières décennies, nous nous sommes beaucoup rapprochés de notre grand voisin...» ■



s'est en effet rapidement imposée comme un des principaux moteurs de l'intégration européenne. Non content de porter à bout de bras le redressement économique de l'ex-RDA, le pays d'Helmut Kohl a investi des sommes colossales dans l'Union, dont elle est aujourd'hui le principal contributeur. Mais cela n'allait pas de soi. «*Avec le recul, on ne peut que rendre hommage au très grand sens des responsabilités dont ont fait preuve à l'époque les dirigeants allemands, en particulier Helmut Kohl, chancelier de 1982 à 1998*», constate René Schwok.

#### LE «GÉANT NOIR DU PALATINAT»

Sans rien enlever à la clairvoyance ni au sens politique remarquable de celui que la presse allemande a surnommé le «géant noir du Palatinat» en raison de sa taille imposante et de son attachement au catholicisme, ce processus aurait sans doute été bien plus périlleux sans le développement de l'Union européenne et la réaffirmation de la présence de l'OTAN sur le continent. Au début des années 1990, pour beaucoup d'Occidentaux, le risque majeur, c'est de voir l'Allemagne retrouver son hégémonie sur le continent et asseoir sa domination dans

tous les domaines: économie, politique, militaire, culture, etc.

Or, avec le maintien de l'OTAN, dont on avait pu un instant imaginer la dissolution dans la mesure où l'ennemi qui avait motivé sa créa-

tion avait disparu, les Etats-Unis sont restés la principale puissance militaire en Europe.

De son côté, le renforcement de l'UE a permis d'éviter que les pays de l'ex-bloc soviétique ne tombent dans la dépendance politique exclusive du géant allemand. «*Aujourd'hui, on a un peu de peine à le réaliser, mais une Allemagne arrogante aurait créé des antagonismes, il y aurait eu des blocages, des alliances, et on aurait pu se retrouver dans une situation similaire à celle de 1914 ou de 1939*», explique René Schwok.

Au lieu de cela, même si sur le plan économique l'Allemagne a retrouvé sa position dominante à l'Est, elle ne s'en est pas servie comme d'un moyen de pression politique. D'autre part, l'adhésion de la plupart des anciens pays du Pacte de Varsovie à l'Union européenne a permis à ces Etats de ne pas être obligés de passer par Berlin pour se faire entendre. Il existait pour cela un cadre et toute une série de mécanismes communautaires. «*Si bien que l'Allemagne est redevenue aujourd'hui la première puissance économique et démographique du continent*, conclut René Schwok. *Et ce sans que cela ne crée le moindre antagonisme ou ressentiment de la part de ses voisins.*»

«Une Allemagne arrogante aurait créé des antagonismes, il y aurait eu des blocages et on aurait pu se retrouver dans une situation similaire à celle de 1914 ou de 1939»

# LA TRANSITION AUTOCRATIQUE

**L'arrivée au pouvoir de Vladimir Poutine a permis à la Russie de retrouver un rôle de premier plan sur la scène internationale. Mais elle coïncide également avec le retour d'un certain autoritarisme. Une évolution dans laquelle l'Occident a une lourde responsabilité**

Dans la Russie d'aujourd'hui, on chuchote à nouveau. Comme à l'époque de Brejnev ou de Staline, l'homme de la rue sait qu'il est des sujets qu'il ne vaut mieux pas aborder en public et des questions qui ne sont pas bonnes à poser. Muselés, les médias semblent tout aussi impuissants que l'opposition à soulever cette chape de plomb. A l'extérieur également, la Russie recommence à faire peur. La guerre contre le «terrorisme» tchétchène et la récente intervention contre la Géorgie ont montré au monde entier que, là aussi, il y avait de nouveau des limites à ne pas dépasser.

**En profitant de la faiblesse de la Russie, l'Occident a grandement facilité l'accès au pouvoir de Vladimir Poutine**

Dans ce retour à l'autoritarisme, Vladimir Poutine a, bien sûr, joué un rôle essentiel. Mais l'Occident, si prompt à condamner la brutalité de Moscou, a également sa part de responsabilité. En profitant de la faiblesse de la Russie au lendemain de l'effondrement de l'URSS, les pays de l'OTAN ont en effet contribué à nourrir un sentiment d'humiliation au

sein du peuple russe qui a grandement facilité l'accès au pouvoir de l'ancien lieutenant-colonel du KGB.

Tout commence par un rendez-vous manqué. Lorsqu'il arrive au pouvoir, au milieu des années 1980, Mikhaïl Gorbatchev entend placer l'URSS sur de nouveaux rails. Son pari se résume à deux slogans: *Glasnost* (transparence) et *Perestroïka* (reconstruction). Il consiste à allier la libéralisation économique au développement d'une culture démocratique basée notamment sur la publication de documents historiques jusque-là confidentiels.

#### «RENDRE PUBLIC CE QUI DOIT L'ÊTRE»

«*L'idée de Gorbatchev, c'était de "rendre public ce qui doit l'être*», précise Jean-François Fayet, maître d'enseignement et de recherche au sein de l'Unité d'histoire contemporaine (Faculté des lettres). *J'étais en Russie à l'époque. C'était un moment très particulier. On sentait une sorte d'effervescence et un énorme attrait pour l'histoire. Le sujet était au centre de toutes les conversations. Chaque matin, le premier geste que faisaient les Moscovites était de descendre dans la rue pour acheter un journal et y découvrir les derniers documents publiés.*»

La chute du Mur va tout précipiter: alors que l'Empire soviétique prend l'eau de toutes parts, l'économie dégringole. Hué par ses concitoyens, le Prix Nobel de la paix 1990 est aussi lâché par les grandes puissances. Ni les Etats-Unis, ni la France, ni l'Allemagne ne lèveront le petit doigt pour sauver le leader démocrate lors du putsch d'août 1991. Six mois plus tard, Gorbatchev abandonne le pouvoir aux mains de Boris Eltsine. Le lendemain, l'Union des républiques socialistes soviétiques cesse officiellement d'exister. C'est la fin d'une époque, la fin d'un espoir aussi.

«*En 1918, les Français ont gagné la guerre, mais ils ont perdu la paix*, commente Jean-François Fayet. *De la même manière, les Etats-Unis ont remporté la Guerre froide, mais ils risquent bien de perdre la paix. Plutôt que d'investir massivement pour aider la Russie lorsque celle-ci était le plus favorable à une démocratisation, le gouvernement américain et les pays de l'OTAN dans leur ensemble ont choisi de laisser pourrir la situation. Avec un objectif: profiter de la faiblesse momentanée de la Russie pour grignoter tout ce qui pouvait l'être. Et ce, sans rater une occasion d'humilier l'ancienne superpuissance sur la scène internationale.*»

Alors que le processus de libéralisation vire au pillage en règle des ressources du pays et que le chaos s'installe à l'intérieur des frontières, les principaux engagements qui avaient été pris entre Gorbatchev et Bush père sont en effet remis en cause. Alors que les deux dirigeants s'étaient accordés sur le fait qu'aucune des anciennes démocraties populaires ne seraient intégrées à l'OTAN, la plupart des anciens Etats satellites de Moscou s'empressent de rejoindre l'Alliance atlantique. Ils sont suivis, quelques années plus tard, par d'anciennes républiques soviétiques, au premier rang desquelles les pays Baltes. Confirmant les pires craintes des Russes, les Américains n'hésiteront pas non plus à s'immiscer politiquement dans les «révolutions de couleur» que connaissent successivement la Géorgie (en 2003), l'Ukraine (en 2004) ou le Kirghizistan (en 2005).

Ce sentiment d'injustice et de frustration culmine en 1994, lorsque les Russes découvrent que Boris Eltsine n'est pas convié à participer aux cérémonies commémorant le 50<sup>e</sup> anniversaire du débarquement des Alliés en Normandie. «*Suite à ce qui a été vécu par les*



Vladimir Poutine, République de Tuva, 15 août 2007.

*Russes comme une baffe diplomatique, les acquis liés à la libéralisation ont commencé à être contrebalancés par le ressentiment causé par le fait que la Russie avait perdu son statut de grande puissance, note Jean-François Fayet. Et depuis, ce mouvement n'a cessé de s'accentuer.»*

#### LE FOSSEYEUR DE LA DÉMOCRATIE

Le passage au pouvoir de Boris Eltsine, il est vrai, n'a rien arrangé. Tourné en ridicule par les médias occidentaux pour ses frasques et son penchant pour la vodka, le premier président de la Fédération de Russie a également fait entrer son pays dans un processus d'autovictimisation. Considérant le communisme comme intrinsèquement criminogène et la Révolution de 1917 comme un phénomène

exogène qui aurait interrompu le cours normal du développement de la Russie, le pouvoir ôte, durant ces années, à la population ses dernières sources de fierté. Il échoue hélas à imposer une alternative. Incarnant le népotisme et la corruption, Boris Eltsine renvoie aux Russes une image d'eux-mêmes qu'ils n'apprécient pas du tout.

*«De nombreux Russes ont vécu ces années comme une période d'humiliation nationale, explique Jean-François Fayet. Eltsine n'a pas été à la hauteur de la situation. Il a été le fossoyeur de la démocratie en Russie et il a sans doute plus que quiconque contribué à dévaloriser l'idée d'une société libérale dans ce pays. En quelques années, il a réussi ce que les Soviétiques n'étaient pas venus à faire en près de 70 ans.» ▶*

## Faits marquants

**MARS 1985** > Mikhaïl Gorbatchev est nommé secrétaire général du Parti communiste de l'URSS.

**1989** > Les troupes russes se retirent d'Afghanistan.

**1990** > Gorbatchev reçoit le Prix Nobel de la paix.

**20 AOÛT 1991** > Les ultras du Parti communiste soviétique tentent un coup d'Etat pour renverser Gorbatchev.

**25 AOÛT 1991** > Boris Eltsine, alors président du Soviet suprême de la République socialiste fédérative soviétique de Russie, suspend les activités du Parti communiste d'URSS et confisque ses biens.

**25 DÉCEMBRE 1991** > Mikhaïl Gorbatchev démissionne de la direction du Parti communiste de l'URSS. Boris Eltsine est le nouveau maître de la Russie.

**26 DÉCEMBRE 1991** > Dissolution de l'URSS.

**1994-1996** > Première guerre de Tchétchénie.

**1999-2000** > Deuxième guerre de Tchétchénie.

**31 DÉCEMBRE 1999** > Boris Eltsine démissionne pour raison de santé au profit de Vladimir Poutine, qui reprend le pouvoir par intérim.

**26 MARS 2000** > Vladimir Poutine est élu président de la Fédération de Russie.

**MARS 2004** > Réélection de Vladimir Poutine à la tête de la Russie avec 71,22% des suffrages.

**7 OCTOBRE 2006** > Assassinat de la journaliste Anna Politkovskaïa, le jour de l'anniversaire de Vladimir Poutine.

**MARS 2008** > Dmitri Medvedev est élu président de la Fédération de Russie. Vladimir Poutine occupe le poste de président du gouvernement.



Cérémonie devant la tombe du soldat inconnu, Moscou, 26 juin 2009.

Son successeur est d'une autre trempe. Ancien agent du KGB – il a notamment opéré en RDA –, Vladimir Poutine donne en effet l'image d'un homme fait pour l'action. Jeune, fort, en bonne santé, il se montre très discret sur sa fortune personnelle, sans doute considérable, et cultive une relative sobriété dans l'exercice du pouvoir. Ce qui ne le rend pas moins redoutable. «Poutine est l'enfant de son milieu, explique Jean-François Fayet. Il s'y entend fort bien en matière de manipulation et de contrôle. La totalité des médias utiles (radio, TV, presse populaire) sont ainsi désormais sous l'étau. Détail qui a son importance, Poutine a récemment pris la direction d'une commission de production de films russes, lui permettant de financer des fictions exaltant la grandeur nationale. Et dans un pays comme la Russie, c'est un instrument politique extrêmement puissant.»

#### STALINE RÉHABILITÉ

Fin stratège, «l'homme de fer» est parvenu, du moins en partie, à tenir aux Russes le discours qu'ils avaient envie d'entendre. Rompant avec l'attitude de contrition qui avait prédominé durant les années Eltsine, il s'est donné pour principal objectif de rendre à son pays sa puissance passée. Dans le discours, le processus passe, entre autres, par une profonde relecture de l'histoire, et en particulier, de la Seconde Guerre mondiale. Selon les thuriféraires du pouvoir actuel, c'est ainsi la «Grande guerre patriotique» menée par Staline qui constitue le fait marquant du XX<sup>e</sup> siècle, dans la mesure où c'est grâce aux

sacrifices consentis par des millions de Soviétiques, que le nazisme a pu être vaincu.

«Les historiens officiels russes ont mené un important travail visant à exalter la fierté nationale russe en revoyant toute l'histoire du XX<sup>e</sup> siècle sous l'angle de la victoire contre le fascisme, précise Jean-François Fayet. Staline, dont on a vu re-flétrir les portraits – notamment dans le métro de Moscou – s'est trouvé réhabilité. Tout étant subordonné à l'objectif final, soit la victoire contre l'Allemagne, le Pacte germano-soviétique, la Terreur et les grandes famines sont passés au second plan. Ce qui compte désormais, c'est qu'à l'époque, la Russie était respectée.»

Ce discours conquérant, voire agressif, n'a pas tardé à se traduire en actes. En légitimant la lutte contre le «terrorisme», les attentats du 11 septembre 2001 ont agi comme une sorte de déclencheur. Les Tchétchènes, qui jusque-là avaient plutôt été perçus par les Occidentaux comme des résistants, se sont soudain vus rattachés à l'«internationale terroriste». Considérant qu'ils avaient désormais les mains libres, les Russes ont ensuite repris pied dans le Caucase, dont ils avaient été exclus depuis la fin de la Guerre froide. Et ils ne sont visiblement pas près d'en partir.

«L'entreprise insensée tentée par le président géorgien Mikhaïl Saakachvili en août 2008 constitue un moment fort dans l'histoire récente de la Russie, explique Jean-François Fayet. Les Russes avaient prévenu qu'ils étaient prêts à défendre leurs intérêts par la force si le besoin s'en faisait sentir. La guerre éclair contre la Géorgie a montré de façon évidente qu'il ne fallait pas dépasser la ligne

DR

«La guerre éclair contre la Géorgie a montré de façon très claire qu'il ne fallait pas dépasser la ligne rouge»

rouge. Elle a aussi permis à toutes les anciennes républiques soviétiques de constater que les Occidentaux n'étaient pas prêts à se risquer à un conflit avec la Russie pour voler à leur secours. C'est un tournant décisif dans la mesure où il marque la fin de l'avancée américaine dans la région. Désormais, ce n'est plus la seule puissance dominante dans cette partie du monde.»

#### LA POLITIQUE: UN LUXE POUR PRIVILÉGIÉS

Le retour en force de la Russie sur la scène internationale ne règle toutefois pas tous les problèmes. Loin de là. Car si Moscou ressemble aujourd'hui à n'importe quelle autre ville européenne, dans les campagnes, en revanche, les ravages de l'alcoolisme, le manque de jeunes, la faible proportion d'hommes, l'abandon et le désœuvrement sont frappants. Et rien ne dit que les choses vont aller en s'améliorant.

«La question fondamentale qui se pose aujourd'hui à la Russie est la même que se posaient déjà les révolutionnaires du XIX<sup>e</sup> siècle, explique Jean-François Fayet: comment faire pour qu'émerge une société civile autonome du pouvoir politique? A l'heure actuelle, il n'y a pas de place pour un débat démocratique en Russie. Comme à l'époque soviétique, la politique est redevenue un luxe réservé à un petit groupe de privilégiés. Et rares sont ceux qui pensent encore que le citoyen puisse avoir le moindre impact sur les choix politiques de la Russie actuelle. Pour quelqu'un qui, comme moi, discute avec des Russes depuis vingt ans, il est assez déprimant de constater qu'aujourd'hui il suffit de prononcer le nom de Poutine dans un lieu public pour que les gens se remettent à chuchoter.» ■

# L'archipel du secret

**Lourde de conséquences pour le citoyen, la culture du rapport qui caractérisait l'Union soviétique constitue une aubaine pour les historiens depuis l'ouverture des archives du Kremlin, au début des années 1990**

Pour les historiens, l'effondrement de l'URSS marque le début d'une sorte d'âge d'or. L'ouverture des archives a, en effet, permis de complexifier le regard porté sur le système soviétique, mais elle a aussi profondément modifié la façon d'étudier le passé de la Russie. Jean-François Fayet, qui commençait sa carrière académique au début des années 1990, témoigne.

**Vous avez la chance d'appartenir à la première génération d'historiens ayant pu accéder aux sources sur l'époque soviétique. Qu'est-ce que cela a changé?**

JEAN-FRANÇOIS FAYET: Jusque-là, l'histoire de l'Union soviétique était une histoire sans archives, dans laquelle l'interprétation et les enjeux politiques demeuraient très forts. Puis, brusquement, la discipline a changé de statut: l'Union soviétique est devenue un objet d'histoire au plein sens du terme. Ce fut un moment fantastique. D'un coup, tout était ouvert, on pouvait accéder à n'importe quel document. Dans ces années-là, on partait aux archives comme on part en pèlerinage.

**Comment se passaient les recherches sur place?**

Au début, la situation était un peu chaotique. Il n'y avait aucune règle et on a vu certains archivistes quitter le pays avec une pile de documents sous le bras dans l'espoir de les monnayer à l'étranger. C'était un peu la chasse au trésor, avec tout ce que cela suppose de négatif. Ensuite, il y a eu une reprise en main, qui était à la fois nécessaire et légitime, et qui a per-

mis d'édicter un certain nombre de règles. Depuis, les conditions de travail sont très correctes.

**A propos de l'Union soviétique, l'historien Nicolas Werth parle d'une «civilisation du rapport». Que trouve-t-on dans ces archives?**

La pratique bureaucratique peut s'avérer très gênante pour le citoyen, mais elle est extrêmement utile aux historiens. Les Soviétiques ont en effet développé une fantastique culture archivistique. C'était une société dans laquelle tout était archivé, inventorié et documenté. Aucun pays au monde n'a produit autant de rapports sur autant d'individus. Et comme tout cela était remarquablement organisé, ce régime qui cultivait le culte du secret est aujourd'hui beaucoup plus transparent que beaucoup de démocraties. A Genève, par exemple, les archives de la police sont accessibles, mais il n'existe aucun inventaire, donc aucun moyen de savoir ce qui s'y trouve pour l'historien.

**Que sait-on de plus aujourd'hui qu'il y a vingt ans?**

Ce qui a le plus changé, ce n'est pas tellement les réponses apportées que le fait que nous nous posions de nouvelles questions. Aujourd'hui, on comprend mieux les rapports entre le centre et la périphérie, problématique qui a toujours été centrale pour le pouvoir, compte tenu de l'immensité du territoire. L'ouverture des archives permet également de mieux saisir des éléments de la vie quotidienne qui n'apparaissaient

saint que par le biais de la littérature ou des arts auparavant. L'accès à ce type de documents a notamment permis de réaliser le décalage existant entre ce que revendiquaient le pouvoir et la réalité sociale. On s'est aperçu que le Parti communiste était loin de tout contrôler et que la société ne fonctionnait pas uniquement par des impulsions venues d'en haut. Les mesures prises par le Parti répondraient au moins en partie à des demandes venues de la base et c'est sans doute ce qui a permis au régime de tenir si longtemps. Avec le recul, on parvient également mieux à discerner ce qui est spécifique au communisme et ce qui, au contraire, relève de la tradition russe.

**C'est-à-dire?**

Un exemple: les hommes qui accèdent au pouvoir en Russie se considèrent généralement comme les propriétaires du pays. Ce comportement a longtemps été attribué au phénomène communiste. Or, certains historiens ont récemment montré qu'il remonte à une période qui est bien antérieure. La différenciation qui s'est faite entre le XVIII<sup>e</sup> et le XIX<sup>e</sup> siècle dans les démocraties occidentales, c'est-à-dire l'idée d'un Etat arbitre entre la société et les dirigeants, ne s'est en effet pas effectuée en Russie. Si bien que dans ce pays, le terme «Etat» désigne aussi bien l'entité représentant la collectivité que les propriétés du tsar. Les deux choses se confondent depuis longtemps et les Soviétiques n'ont fait qu'entretenir la confusion.

**Qu'elle est la part des Russes dans ce travail sur le passé?**

Boris Eltsine, et c'est un des rares points positifs qu'on peut lui attribuer, a doté un certain nombre d'associations d'une autorisation permanente de publication de documents. Si bien que les Russes

**«Aucun pays au monde n'a produit autant de rapports sur autant d'individus»**

ont fait – et continuent à faire – un fantastique travail d'édition. Ils publient des recueils thématiques (sur l'URSS et l'Afrique, l'URSS et Espagne, et même l'URSS et la Suisse) qui n'ont probablement pas d'équivalent dans le monde. Seulement, ces documents sont plus connus et mieux diffusés à l'étranger qu'en Russie. Récemment, 12 volumes sur le Goulag ont ainsi été publiés par une équipe franco-russe. Malgré la qualité du travail accompli, pas une seule bibliothèque russe n'aurait passé commande d'un des 1000 exemplaires disponibles. Ce n'est pas interdit, mais personne ne semble en vouloir au sein de la société civile. ■

# L'HÉRITAGE INDÉCIS DE TIAN'ANMEN

STUART FRANKLIN/MAGNUM

**Il y a vingt ans, les autorités chinoises lançaient les chars d'assaut contre les manifestants regroupés depuis plusieurs mois sur la place Tian'anmen. Largement condamnée en Occident, la répression du «mouvement du 4 juin» a été reléguée au second plan en Chine par la spectaculaire croissance économique qu'a connue le pays**

1990  
2010

Le 4 juin 1989, l'Armée populaire de libération chinoise lance l'assaut contre les quelques milliers de manifestants encore regroupés autour de la place Tian'anmen, au centre de Pékin. Dans le fracas des chars d'assaut, le monde entier – de nombreux médias étant sur place pour couvrir la visite de Gorbatchev en Chine – assiste, impuissant, à la fin d'un mouvement qui, depuis avril, s'était étendu à la plupart des grandes villes du pays. La terrible répression qui s'ensuit (dont on ignore encore aujourd'hui le bilan exact) met un terme brutal aux espoirs de ces foules composées d'étudiants, d'intellectuels et d'ouvriers qui, aux quatre coins du pays, avaient trouvé le courage de sortir du rang pour dénoncer la corruption et réclamer davantage de liberté et de démocratie.

En Occident, Tian'anmen, c'est d'abord une image. Celle d'un jeune homme en chemise blanche défiant à lui seul une colonne de chars sur une avenue de la Paix éternelle (*sic*) déserte. Martyr inconnu d'une cause perdue, celui que les médias anglo-saxons ont surnommé «Tank Man» est rapidement devenu le symbole de ce «Printemps de Pékin» avorté, l'incarnation de la liberté bafouée par la dictature. D'où une condamnation quasi générale du régime de Pékin, considéré dès lors comme impossible à réformer et incompatible avec la démocratie ou le respect des droits de l'homme.

«Dans la période précédant les événements de Tian'anmen, la Chine jouissait en Occident d'une image bien plus favorable qu'aujourd'hui, explique Nicolas Zufferey, directeur de l'Unité d'études chinoises (Faculté des lettres). On la considérait comme une nation en train de s'ouvrir et de progresser. De plus, elle restait assez faible pour ne pas trop inquiéter. Ce n'est naturellement plus le cas. D'où l'émergence de certaines dérives anti-chinoises, voire d'un certain racisme en Occident. Pour dépasser ce discours simpliste, il faudrait pouvoir introduire un peu plus de complexité dans notre analyse de la Chine. Or, le grand public n'aime pas la complexité.»

## UN GÉANT QUI FAIT PEUR

Au lendemain des événements du 4 juin, la condamnation du régime de Pékin par les puissances occidentales ne se fait pas attendre. Alors que les médias s'enflamme contre le régime liberticide, l'ONU et l'UE déclinent, en guise de rétorsion, un embargo sur les ventes d'armes qui est toujours en vigueur. De leur côté, les Etats-Unis mettent un terme à la coopération entre les deux pays en matière militaire et de renseignement. Dès lors, il n'est plus question de considérer Pékin comme un précieux allié dans la lutte qui oppose le camp de la liberté (l'Ouest) à celui de la tyrannie (l'Est), mais comme un Etat autoritaire et répressif constituant une menace pour la paix et les intérêts du monde occidental.



Avenue de la Paix éternelle, Pékin, 5 juin 1989.

«Ce sentiment anti-chinois s'est encore accentué ces dernières années, suite à la montée en puissance de l'économie chinoise, complète Nicolas Zufferey. Aujourd'hui, la Chine fait peur par les moyens dont elle dispose. L'accroissement de son influence hors de ses frontières suscite beaucoup d'inquiétude dans les pays occidentaux. Mais nous devons aussi comprendre que la Chine revendique une part du gâteau. Jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, ce pays représentait le quart de la production mondiale, voire plus. Aujourd'hui, il est simplement en train de reprendre cette place. Et, en soi, cela n'a rien d'alarmant.»

Au sein de l'Empire du Milieu, en revanche, «le mouvement du 4 juin», comme on l'appelle pudiquement, ne fait pas tout à fait l'objet de la même lecture. Pour beaucoup de Chinois en effet, Tian'anmen ne constitue pas une rupture fondamentale, mais une



sorte d'accident de parcours dans la longue et difficile voie qui mène à la modernisation et au développement économique du pays. De l'épisode, la population semble en effet avoir surtout retenu que, s'il y avait effectivement des limites à ne pas franchir, on pouvait dire et faire beaucoup de choses tant qu'on ne les dépassait pas. «Suite à Tian'anmen, il n'y a pas eu de bouleversement en matière politique, constate Nicolas Zufferey. La Chine a poursuivi son évolution vers plus de liberté et un assouplissement du contrôle de la société. Et les Chinois ont parfaitement compris que, du moment qu'ils n'attaquaient pas de front le gouvernement, ils pouvaient s'exprimer à peu près sur n'importe quel sujet. C'est un fait qu'on ignore souvent en Occident, mais il existe aujourd'hui en Chine une presse relativement libre qui offre de vrais espaces critiques. Au travers d'enquêtes et de reportages solides, ces

Pour beaucoup de Chinois, Tian'anmen constitue une sorte d'accident de parcours dans la difficile voie qui mène à la modernisation et au développement économique du pays

journaux font entendre un certain nombre de voix discordantes.»

Par ailleurs, même si Tian'anmen a effectivement sonné le glas d'une réforme en profondeur du régime, cet élément a été relégué au second plan par la très spectaculaire croissance économique qu'a connue le pays au cours de ces vingt dernières années. Un essor qui a permis à la Chine de s'imposer comme une puissance de premier plan sur la scène internationale et, par là même, de retrouver sa fierté.

#### GRATTE-CIEL ET BOUCHONS

Empruntant le chemin inverse de celui tenté au même moment par Gorbatchev avec la *Glasnost*, les dirigeants du PCC ont en effet opté, au moment de Tian'anmen, pour une stratégie alliant dictature politique et libéralisme ►



FRÉDÉRIC KOLLER

Boutique Louis Vuitton, Shanghai, septembre 2004.

économique, dont la principale conséquence est une augmentation notable du niveau de vie général.

«Pour les Chinois, les deux dernières décennies représentent un progrès économique énorme, même dans les campagnes, complète Nicolas Zufferey. Une partie de la population, qui représente peut-être 200 à 300 millions de personnes, a atteint un niveau de vie comparable à celui de l'Italie ou de l'Espagne. D'autre part, des dizaines de millions de Chinois voyagent désormais chaque année à l'étranger. Le changement des villes est également très impressionnant: la première fois que je suis allé en Chine, en 1983, Pékin était une ville plate. Il n'y avait quasiment pas un bâtiment qui était plus haut que les murs de la Cité interdite. Maintenant, c'est une ville avec des vagues de gratte-ciel, des logements plus confortables, plusieurs lignes de métro et des centaines de milliers de voitures bloquées dans d'immenses embouteillages.»

#### QUATRE-CENTS MILLIONS D'INTERNAUTES

Au quotidien, l'amélioration des conditions matérielles passe également par un attrait croissant pour des sujets comme la mode, le sport, l'art contemporain et, bien sûr, les nouvelles technologies. Ainsi, alors que le Web était quasiment inexistant dans le pays au milieu des années 1990, la Chine est aujourd'hui le pays qui compte le plus grand nombre d'in-

ternauts au monde. Et même si des dizaines de milliers de personnes s'efforcent de contrôler ce nouveau territoire, elles ne font guère le poids face aux 420 millions de personnes connectées (soit 32% de la population, contre 68% en Suisse) que compterait aujourd'hui le pays selon les chiffres officiels.

#### SOIF DE SAVOIR

C'est que, dans cette Chine de l'après-Tian'anmen, on a soif de savoir. «Cette énorme envie d'apprendre est peut-être ce qu'il y a de plus frappant lorsqu'on va en Chine aujourd'hui», confirme Nicolas Zufferey. *Quand on cherche à mettre en évidence les causes de la réussite économique de la Chine, on met souvent le doigt sur des facteurs comme l'organisation familiale de l'entreprise, la fidélité au chef, le respect de la hiérarchie, mais on oublie trop souvent l'éducation. Or, c'est une société dans laquelle les gens sont en permanence en formation. Le nombre de personnes inscrites à des maîtrises universitaires explose. Partout, on discute, on débat, on traduit. Résultat: les Chinois sont infiniment mieux informés sur l'Occident qu'on ne l'est sur la Chine.»*

Tous ces éléments expliquent pourquoi le régime en place bénéficie du soutien de larges franges de la population. Un soutien manifeste au cours des récents Jeux olympiques et qui fait dire à beaucoup d'observateurs que si

des élections étaient organisées aujourd'hui, le PCC les remporterait haut la main.

Mais l'équilibre est précaire et les menaces nombreuses. La grogne monte ainsi chez ceux, et ils sont nombreux, qui estiment être les laissés-pour-compte de la croissance. Loin d'être partagé par tous, l'accroissement de la richesse s'est en effet également traduit par une forte augmentation des inégalités. Dans les campagnes, parmi les retraités ou au sein des quelque 100 millions de migrants intérieurs que compte le pays, les bienfaits de l'option choisie par le gouvernement

sont très relatifs. «Les problèmes sociaux sont énormes, explique Nicolas Zufferey. Pour dissimuler le chômage, qui concerne 25% de la population, beaucoup de gens ont des emplois qui leur permettent à peine de subsister. Il est devenu presque impossible de se faire soigner si on n'a pas d'argent, et les conséquences écologiques du développement économique sont telles qu'une bonne partie de la population n'a plus accès à de l'eau potable.»

Dans ces conditions, il suffirait d'une réaction mal proportionnée des autorités ou que la croissance connaisse un coup de frein pour que la tension devienne difficile à contenir. Or, l'économie chinoise est un géant aux pieds d'argile que la présence de nombreuses bulles spéculatives (immobilières ou financières) rendent vulnérable.

#### LA TENTATION NATIONALISTE

Mise en application en 1979, la politique de l'enfant unique accentue encore ces difficultés. La Chine doit ainsi faire face à un vieillissement de la population beaucoup plus brutal que celui que nous connaissons en Occident. Par ailleurs, étant donné la relative rareté des filles, entre 25 et 40 millions de jeunes Chinois ne trouveront pas d'épouse dans les années qui viennent. Dans cette société sans fratrie, l'enfant unique est, en outre, source de

tous les espoirs de la famille. Libres et choyés lorsqu'ils sont petits, ils subissent une énorme pression en grandissant, lorsque vient le moment de l'école. Dès lors, le droit à l'échec n'existe plus.

Enfin, la capacité du PCC à maintenir le cap suscite également des interrogations. Pour se donner une plus grande représentativité, le Parti a en effet intégré dans ses rangs des intellectuels, des entrepreneurs ou des avocats pour qui l'autoritarisme du régime commence à apparaître davantage comme un obstacle à la modernisation de la société chinoise et à l'approfondissement des réformes économiques que comme un atout. Dans ces conditions, les dirigeants en place

**«En cas de crise sociale ou de baisse de la croissance, le risque que le pouvoir se cherche une nouvelle cause à l'extérieur des frontières du pays n'est pas tout à fait inexistant »**

pourraient être tentés de faire vibrer la corde du nationalisme pour fédérer le peuple derrière une cause commune. *«Alors que c'était peu perceptible au moment de Tian'anmen, on assiste depuis quelques années en Chine à une montée du discours nationaliste, confirme Nicolas Zufferey. Au cours de ces deux décennies, la Chine a dépassé des pays comme l'Inde ou le Brésil en termes de PIB. Elle est devenue puissante et elle en est fière, d'où le développement d'une certaine xénophobie, notamment à l'égard du Japon. Je n'y vois pas de danger immédiat, mais en cas de crise sociale ou de baisse de la croissance, le risque que le pouvoir se cherche une nouvelle cause à l'extérieur des frontières du pays, vers Taïwan par exemple, n'est pas tout à fait inexistant.»* ■

## Formation: à chacun son chemin

Si, en vingt ans, la Chine a beaucoup changé, la manière dont on l'étudie a, elle aussi, évolué. Longtemps confiné aux filières littéraires, le monde chinois est aujourd'hui accessible à un public beaucoup plus large. L'Université de Genève propose ainsi trois voies pour approcher l'Empire du Milieu.

**Première voie:** Baccalauréat universitaire en langue, littérature et civilisation chinoises, suivi éventuellement de la maîtrise, voire du doctorat. Il s'agit d'une formation approfondie, avec un apprentissage intensif de la langue chinoise et des enseignements sur la civilisation, l'histoire, la littérature et la société chinoises, dans leurs dimensions anciennes et contemporaines, de Confucius à Internet. La maîtrise consécutive permet d'approfondir les connaissances acquises au cours du baccalauréat. Elle forme plus particulièrement à la recherche,

à la traduction scientifique ou littéraire, ainsi qu'à certaines professions comme le journalisme, la diplomatie et le tourisme. La maîtrise prépare également au doctorat et autres diplômes spécialisés.

**Deuxième voie:** Maîtrise universitaire spécialisée pluridisciplinaire en études asiatiques, dispensée par la Faculté des lettres, la Faculté des sciences économiques et sociales et l'Institut de hautes études internationales et du développement (IHEID). Premier diplôme de ce type en Suisse, le «Master-Asie» propose une formation pluridisciplinaire (culture, langue, histoire, société, économie, politique, relations extérieures, coopération au développement) et interculturelle. Il mobilise une quinzaine de spécialistes issus de l'Université, ainsi que des experts d'universités étrangères. Il est ouvert aussi bien à des non-spécialistes qu'à des

candidats ayant déjà abordé l'étude de l'Asie, que ce soit en sciences humaines ou en sciences sociales. L'originalité du diplôme est de combiner théorie et pratique, préparant ainsi de manière aussi complète que possible les étudiants aux différentes professions en rapport avec l'Asie. Tenus de faire l'apprentissage d'une langue asiatique, les étudiants ont également l'occasion, au cours de leur formation, d'effectuer un séjour de recherche ou un stage, soit dans un pays asiatique, soit dans une institution travaillant en relation avec l'Asie. Il permet également d'envisager un doctorat ou un diplôme spécialisé.

**Troisième voie:** Enseignement de langue et conférences proposés dans le cadre de la formation continue. Attractif chaque année plus de cent participants, le programme proposé dans le cadre de la formation continue s'efforce d'appréhen-

der les réalités présentes et les défis à venir de la Chine à travers une approche culturelle et historique. Il permet de mieux comprendre la civilisation de la Chine actuelle par l'apprentissage de la langue chinoise et la présentation de situations de communication courantes (affaires, voyages, tourisme, etc.). Les conférenciers sont des spécialistes reconnus de la Chine. L'initiation à la langue chinoise est donnée par des enseignants de l'Université de Genève. Les cours sont ouverts à toute personne déjà en contact avec la Chine ou envisageant des activités en rapport avec ce pays, pour des raisons professionnelles, personnelles ou touristiques, ainsi qu'à toute personne intéressée par la connaissance des rudiments de la langue chinoise et/ou les différents aspects de la culture de ce pays, dans un but professionnel ou personnel. ■

# UNE JUSTICE AU-DESSUS DES FRONTIÈRES

**Au cours de ces deux dernières décennies, la justice pénale internationale a connu un important développement. En plus des tribunaux spéciaux pour l'ex-Yougoslavie, le Rwanda, la Sierra Leone, le Cambodge ou le Liban, une juridiction permanente a vu le jour avec la création d'une Cour pénale internationale basée à La Haye. Un dispositif qui a déjà permis la condamnation d'un certain nombre de responsables politiques**

Charles Taylor et Radovan Karadzic sont bien placés pour le savoir: il devient de plus en plus difficile d'échapper à la loi lorsqu'on est soupçonné de crime de guerre, de crime contre l'humanité ou de génocide. Traduit devant une juridiction internationale, l'ancien président de la République du Liberia et l'ancien président de la République serbe de Bosnie font actuellement face à leurs juges. Ils ne sont pas les premiers et ne seront probablement pas les derniers à connaître ce sort. Depuis deux décennies en effet, la communauté internationale s'est dotée de différents moyens permettant de sanctionner les auteurs de crimes graves ayant une portée internationale. En plus des deux Tribunaux pénaux internationaux pour l'ex- Yougoslavie et le Rwanda (créés respectivement en 1993 et 1995), un certain nombre de tribunaux hybrides ont été mis sur pied en Sierra Leone, au Cambodge ou au Liban. Par ailleurs, plus d'une centaine d'Etats ont aujourd'hui ratifié le Statut de Rome établissant la Cour pénale internationale. Souffrant de nombreuses limites, le système est encore loin d'être parfait, mais il ne cesse de se développer, influençant de manière toujours plus significative les législations nationales. C'est ainsi que la notion de crime contre l'humanité fera son entrée dans le droit suisse le 1<sup>er</sup> janvier prochain.

## UNE IDÉE DÉJÀ ANCIENNE

«Ce qui est nouveau, ce n'est pas l'existence d'une justice internationale, explique Robert Roth, professeur au Département de droit pénal (Faculté de droit). Mais le développement de juri-

*dictions internationales ayant pour vocation de se prononcer sur la condamnation ou l'acquittement de personnes individuelles, alors que la Cour internationale de justice, créée en 1946, ne tranche que les litiges entre Etats.»*

L'idée de poursuivre des personnes physiques en cas de violation grave des droits de l'homme ou des droits de la guerre n'est pas neuve. En germe depuis près d'un siècle au

moins, elle s'est concrétisée une première fois à l'issue de la Seconde Guerre mondiale, avec la création des tribunaux de Nuremberg et de Tokyo. Chargées de juger les responsables des puissances principales de l'Axe, ces deux institutions composées uniquement de magistrats internationaux ont directement inspiré la structure et le fonctionnement des Tribunaux pénaux internationaux qui ont été créés au milieu des années 1990.

Les procédures entamées au niveau national durant la période de la Guerre froide constituent une autre source d'inspiration majeure pour les magistrats actuels. En Italie, en Allemagne, en Autriche ou en France, de nombreux procès ont en effet permis de poursuivre selon des règles nationales des crimes internationaux. L'exemple le plus spectaculaire est sans doute celui de la France, avec les mises en accusation successives de Klaus Barbie et de Paul Touvier.

## FUSÉE À TROIS ÉTAGES

«L'ensemble des décisions prises à Nuremberg et à Tokyo, ainsi qu'au sein de ces tribunaux nationaux constituent une jurisprudence à laquelle les magistrats actuels se réfèrent quotidiennement», explique Robert Roth. Devenu indispensable, l'ensemble de ces documents va d'ailleurs très prochainement faire l'objet d'une première compilation en français dans une publication cosignée par Antonio Cassese, premier président du Tribunal pénal international pour l'ex-Yougoslavie, Vanessa Thalmann, assistante au Département de droit pénal de l'UNIGE et Damien Scalia, assistant à l'Aca-

Depuis deux décennies, la communauté internationale s'est donné les moyens de sanctionner les auteurs de crimes graves ayant une portée internationale



Siège de la Cour pénale internationale, La Haye.

démie de droit international humanitaire et de droits humains de Genève.\*

Globalement, le dispositif juridique développé au cours de ces deux dernières décennies se présente comme une fusée à trois étages. Au premier, les Tribunaux pénaux internationaux, au deuxième, les tribunaux dits «hybrides» et, au dernier, la Cour pénale internationale.

Mis sur pied par le Conseil de sécurité des Nations unies à l'issue des conflits qui ont ravagé ces deux régions, les Tribunaux pénaux internationaux pour l'ex-Yougoslavie (TPIY) et pour le Rwanda (TPIR) sont des structures dont l'action est limitée à la fois dans le temps et dans l'espace. Destinés à augmenter la sécurité des régions concernées, ils ont pour objectif de traduire en justice les principaux responsables de violations des droits de l'homme et du droit de la guerre. La force de ces structures, qui ont déjà abouti à un nombre as-

sez considérable de condamnations (lire ci-contre), réside largement dans la primauté dont les TPI disposent sur les Etats. En théorie, ils peuvent donc agir sans l'accord de ces derniers, même si cela complique considérablement la donne, comme le montre le cas de Ratko Mladic, ancien commandant en chef de l'armée de la République serbe de Bosnie, inculpé par le TPIY depuis 1995, mais dont l'arrestation se fait toujours attendre.

#### RISQUE DE DÉRIVE

«C'est une question qui a plus à voir avec la politique qu'avec le droit, commente Robert Roth. Il est cependant vrai que les TPI ne disposent d'aucun moyen de contrainte. Pour obtenir des moyens de preuve, ils dépendent donc des juridictions nationales, ce qui représente un risque de dérive. Cependant, ce qui est sans doute le plus critiquable du point de vue du droit, c'est probablement l'absence d'autorité de recours indépendante au sein des TPI. ►

## Faits marquants

### Tribunal pénal international pour l'ex-Yougoslavie

**MAI 1993** > Création du Tribunal pénal international pour l'ex-Yougoslavie (TPIY), dont le siège est à La Haye (Pays-Bas).

**AVRIL 2001** > Arrestation de Slobodan Milosevic, ancien président de la Serbie.

**FÉVRIER 2002** > Début du procès de Slobodan Milosevic, qui est accusé de crimes contre l'humanité, d'infractions graves aux Conventions de Genève et de violation des lois ou coutumes de la guerre.

**MARS 2006** > Mort de Slobodan Milosevic pendant la cinquième année de son procès.

**FÉVRIER 2007** > Le TPIY juge la Serbie non coupable de génocide, et conclut que le gouvernement de Belgrade n'a pas planifié le massacre de Srebrenica.

**MARS 2008** > Ouverture du procès de l'ancien général croate Ante Gotovina, inculpé de crimes de guerre et crimes contre l'humanité pour avoir orchestré le massacre d'au moins 150 Serbes dans la région de Krajina, et expulsé des milliers d'autres.

**JUILLET 2008** > Arrestation de Radovan Karadzic, ancien président de la République serbe de Bosnie.

**JUIN 2010** > Condamnation de deux officiers serbes de Bosnie à la prison à perpétuité pour génocide lors du massacre de 8000 hommes et garçons musulmans dans l'enclave de Srebrenica en 1995. C'est le jugement le plus sévère jamais rendu par le TPIY pour des crimes commis durant la guerre en Bosnie.

*Mais, là encore, il n'existe pas de solution toute faite, car la mise en place de ce type de structure n'est pas une chose aisée.»*

Depuis sa première audience, le 8 novembre 1994, le TPIY a mis en accusation 161 personnes: 9 ont été acquittées, 55 condamnées, 19 ont purgé leur peine et 13 ont vu leur affaire renvoyée devant une cour de l'ex-Yougoslavie. Trente-six affaires ont été proclamées terminées à la suite soit du retrait de l'acte d'accusation soit du décès de l'accusé. Les procédures en cours concernent 48 accusés, dont 4 sont toujours en fuite. De son côté, le TPIY a prononcé à ce jour 6 acquittements pour une quarantaine de condamnations.

Reposant sur une logique légèrement différente, les tribunaux «hybrides» associent des magistrats internationaux élus par l'Assemblée générale des Nations unies et des magistrats issus des pays concernés. De la même manière, ces organes s'appuient à la fois sur les règles du droit national et international. Solution intermédiaire souvent difficile à mettre en place, cette formule a cependant d'ores et déjà débouché sur la création de «tribunaux spéciaux» en Sierra Leone, au Cambodge et au Liban. Avec, là encore, un certain nombre de condamnations à la clé.

#### JURIDICTION PERMANENTE

En fonction depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2002, la Cour pénale internationale (CPI) constitue, quant à elle, la première juridiction pénale internationale permanente de l'histoire. Fondée sur un traité international des plus classiques, le Statut de Rome, la CPI regroupe aujourd'hui 112 Etats sur les 192 reconnus par l'ONU, tandis que 38 gouvernements ont signé le texte sans l'avoir encore ratifié. Basée à La Haye, elle bénéficie du soutien massif des Etats d'Europe, d'Afrique et d'Amérique latine. En revanche, son autorité n'est que partiellement reconnue par la Chine, la Russie et les Etats-Unis.

«La position américaine vis-à-vis de la justice internationale est assez paradoxale, explique Robert Roth. D'un côté, les Etats-Unis continuent à être le principal soutien financier et politique

## Faits marquants

### Tribunal pénal international pour le Rwanda

**NOVEMBRE 1994** > Création du Tribunal pénal international pour le Rwanda (TPIR), dont le siège est à Arusha (Tanzanie).

**MARS 1998** > Jean-Paul Akayesu, bourgmestre de la ville de Taba en 1994, est condamné à la prison à vie pour le massacre de 2000 Tutsis réfugiés dans le bureau communal de Taba, l'incitation à des viols collectifs et publics, ainsi que pour sa participation directe dans plusieurs assassinats. C'est la première sentence rendue par le TPIR.

**SEPTEMBRE 1998** > Jean Kambanda, premier ministre du gouvernement intérimaire du Rwanda en 1994, est condamné à la réclusion à perpétuité pour génocide et crimes contre l'humanité. C'est la première condamnation prononcée pour crime de génocide depuis l'adoption de la Convention pour la prévention et la répression du crime de génocide en 1948.

**JUILLET 2000** > Georges Rugui, journaliste et animateur à la Radio Mille Collines au moment du génocide, est condamné à douze ans de prison pour avoir diffusé des émissions qui ont incité au meurtre ou à des atteintes graves à l'intégrité physique ou mentale des Tutsis et ont constitué des actes de persécution envers les Tutsis, ainsi que certains Hutus et citoyens belges.

**AOÛT 2003** > Le procès des «médias de la haine» débouche sur la condamnation à la prison à vie de Hassan

Ngeze, directeur et rédacteur en chef du journal de Kangura, et de Ferdinand Nahimana, cofondateur de la Radio Télévision Libre des Mille Collines. Le troisième inculpé, Jean Bosco Barayagwiza, leader de la Coalition pour la défense de la République, écope de 35 ans de prison. Ces peines seront allégées en 2007 en appel.

### Tribunaux spéciaux

**AOÛT 2001** > Promulgation de la loi instaurant un Tribunal spécial mixte cambodgien destiné à juger les anciens chefs Khmers rouges pour le génocide qui a fait près de 2 millions de morts entre 1975 et 1979.

**JANVIER 2002** > Création du Tribunal spécial pour la Sierra Leone (TSSL), dont le siège est partagé entre l'île de Bonthe (80 km au sud de Freetown, en Sierra Leone) et La Haye (Pays-Bas). A ce jour, le TSSL a inculpé 13 personnes. Le procès de Charles Taylor, ancien président de la République du Liberia, est en cours depuis le 4 juin 2007. Les autres inculpés, tous membres dirigeants des factions impliquées dans la guerre civile qui ravagea le pays entre 1991 et 2002, ont été condamnés à des peines allant de 15 à 52 ans d'emprisonnement. Quatre d'entre eux ont été déclarés mort ou sont morts en prison.

**JUILLET 2006** > Inauguration à Phnom-Penh du Tribunal spécial pour les Khmers rouges.

**MAI 2007** > Création du Tribunal spécial pour le Liban, qui est chargé de juger les assassins de l'ex-premier ministre libanais Rafic Hariri.

Le tribunal aura également compétence pour 14 assassinats, tentatives d'assassinats et attentats ayant visé des personnalités libanaises depuis octobre 2004.

**JUILLET 2010** > Condamnation de l'ancien chef de la prison de Phnom-Penh, Kaing Guek Eav (alias «Douch»), à 30 ans de prison pour crimes contre l'humanité.

### Cour pénale internationale

**JUILLET 1998** > Signature de la Convention instituant la Cour pénale internationale.

**JUILLET 2002** > Entrée en fonction de la Cour pénale internationale.

**JANVIER 2009** > Ouverture du premier procès de la CPI contre Thomas Lubanga Dyilo, président national de l'Union des patriotes congolais, accusé de conscription forcée d'enfants en République démocratique du Congo (RDC).

**MARS 2009** > La Cour pénale internationale (CPI) lance un mandat d'arrêt contre le président soudanais Omar al Bachir, poursuivi pour crimes de guerre et crimes contre l'humanité au Darfour. En réaction, le gouvernement soudanais expulse les ONG de la région.

**À CE JOUR** > treize mandats d'arrêt ont été délivrés par la CPI pour des affaires concernant l'Ouganda, la RDC, la République centrafricaine et le Soudan. Quatre personnes sont par ailleurs détenues, toutes originaires de RDC.



Enfant-soldat dans le film «Johnny Mad Dog» de Jean-Stéphane Sauvaire, 2008.

des TPI. Comme l'a montré l'affaire du Darfour, qui n'aurait pas pu être transmise à la CPI par le Conseil de sécurité sans leur aval, ils souhaitent également que la Cour pénale internationale joue un rôle actif. Cependant, tous les gouvernements qui se sont succédé ces dernières années sont d'accord sur le fait que l'adhésion à la CPI est incompatible avec la poursuite d'une politique de puissance telle que la conçoivent les experts de Washington. Il ne s'agit pas d'un rejet culturel, puisque le très grand pouvoir accordé au procureur de la CPI fait écho au modèle américain, mais d'une conviction politique: il n'est pas question pour les Etats-Unis d'accepter un système international sur lequel ils n'auraient pas prise.»

Autre limite du dispositif, la CPI vise d'abord et surtout à compléter l'action des Etats, qui restent compétents en premier lieu. Contrairement aux TPI, la Cour pénale internationale ne peut donc agir que si elle est à même de démontrer que ces derniers ne peuvent ou ne veulent pas entrer en matière.

«Pour assurer une prévention réellement efficace, on ne peut pas se limiter à poursuivre des individus»

Enfin, comme l'ont regretté de nombreux observateurs depuis la conclusion du Statut de Rome, la CPI est pour le moment dans l'incapacité de poursuivre des entreprises privées. «*C'est probablement la question la plus importante qui reste à trancher*, commente Robert Roth. Pour aller au bout du raisonnement et assurer une prévention réellement efficace, on ne peut pas se limiter à poursuivre des individus. Même si c'est compliqué sur le plan de la doctrine, il faut également se donner les moyens d'agir contre ceux qui alimentent les conflits, soit en soutenant le pouvoir en place, soit en armant des factions contestant ce dernier. Le jour où il sera possible de poursuivre des firmes pétrolières pour ce qui se passe dans certains pays d'Afrique ou d'Asie, les choses deviendront assurément très différentes.» ■

\* A. Casse / D. Scalia / V. Thalmann, *Les Grands Arrêts de droit international pénal*, Paris, Dalloz (à paraître)

# BIENVENUE AU «VILLA



# »GE GLOBAL»

Rue Takeshita, Tokyo, 13 juillet 2010.

PHOTO: JAKUB HALUN



1990  
2010

Suprématie américaine, montée des «pays émergents», développement des services sont les principales caractéristiques du système économique mondialisé qui s'est mis en place à la suite de la disparition du monde bipolaire

Dans les années 1990, les démographes se sont rendu compte que leurs prédictions concernant l'évolution de la population mondiale étaient fausses. La cause? Le malthusianisme de la pauvreté

Avec l'effondrement de l'Empire soviétique et la fin de la Guerre froide, l'économie mondiale s'est accélérée, ce qui s'est traduit par une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Juste au moment où l'on cherchait à les limiter

# DU MONDE BIPOLAIRE À L'ÉCONOMIE GLOBALISÉE

**Suprématie américaine, montée des «pays émergents», développement des services sont les principales caractéristiques du système économique mondialisé qui s'est mis en place suite à la disparition du monde bipolaire**

La chute du mur de Berlin fut d'abord un immense choc politique. Mais la fin du monde bipolaire mérite aussi sa place dans les livres d'histoire économique. Elle marque en effet l'entrée dans une nouvelle ère: celle de la mondialisation. Une période marquée par une expansion des liens d'interdépendance et des échanges commerciaux entre les nations, le développement des services – et en particulier des services financiers –, l'apparition de «pays émergents» et, surtout, la confirmation de l'écrasante suprématie américaine. Explications avec Youssef Cassis, directeur du Département d'histoire économique (Faculté des sciences économiques et sociales).

## LA FIN DES «TRENTE GLORIEUSES»

Les processus économiques étant par nature progressifs et donc difficiles à dater précisément, pour comprendre l'évolution suivie par l'économie mondiale au cours de ces vingt dernières années, il faut remonter un peu sur l'échelle du temps. «Les vingt dernières années sont la culmination de processus qui se sont engagés au cours des années 1970 déjà et qui ont largement contribué à transformer la configuration de l'économie mondiale», explique Youssef Cassis.

Le premier de ces éléments, c'est la fin de ce que l'on appelle souvent les «Trente Glorieuses», c'est-à-dire la période de forte croissance économique qu'a connue, entre 1947 et 1974, une grande majorité des pays développés. A partir du milieu des années 1970, en effet, avec le premier choc pétrolier, qui voit les tarifs de «l'or noir» brutalement quadrupler, la croissance se ralentit durablement, passant d'une fourchette de 4 à 6% à une moyenne de 2,5 à 3%.

A peu près au même moment, la fin du système de Bretton-Woods constitue un autre tournant important. Conclus au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les Accords de Bretton-Woods instituent une nouvelle

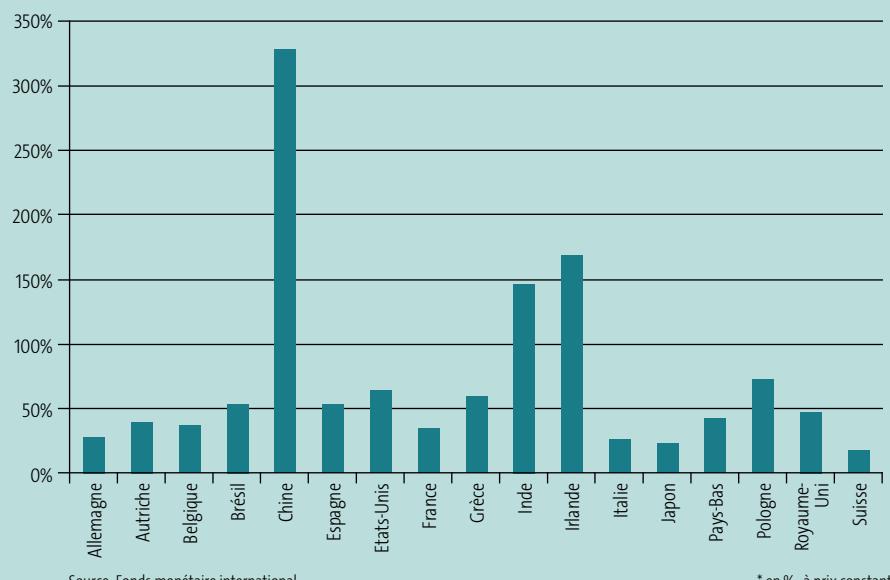
organisation monétaire mondiale: toutes les monnaies sont définies en dollar, la valeur du dollar étant la seule à être rattachée à l'or. Or, en août 1971, les Etats-Unis décident de suspendre la convertibilité de leur monnaie nationale en or. Deux ans plus tard, c'est tout le système qui vole en éclats avec l'écroulement des taux de change fixes. Dès lors, les taux de change des devises s'établissent en fonction des forces du marché uniquement. «*Cette évolution s'est traduite par une réouverture des économies nationales et un développement des mouvements internationaux de capitaux*, analyse Youssef Cassis. Deux éléments qui préfigurent le processus de globalisation qu'on voit se mettre en place dès le début des années 1980, et

*qui va prendre son envol dans le courant des années 1990.»*

Troisième élément à prendre en compte: l'influence grandissante de l'idéologie néolibérale, marquée notamment par l'élection de leaders conservateurs tels que Margaret Thatcher en Grande-Bretagne et Ronald Reagan aux Etats-Unis. Deux personnalités prônant une libéralisation et une déréglementation toujours plus poussées de l'économie. Conception qui est devenue ultra-dominante après 1990.

«*Suite à la chute du Mur, on constate un recul général du modèle capitaliste "germano-japonais", dans lequel les relations entre les banques et l'industrie, ainsi que le rôle de régulateur de l'Etat*

## Evolution du PIB mondial entre 1990 et 2006\*





New York Stock Exchange, 28 novembre 2009.

tiennent une place centrale, complète Youssef Cassis. *Jusque-là, compte tenu des succès remportés depuis les années 1950, les économies allemande et japonaise suscitaient une certaine admiration. Mais la coûteuse réunification de l'Allemagne et l'entrée du Japon dans une longue période de récession, dont le pays n'est toujours pas sorti aujourd'hui, ont considérablement réduit le crédit dont jouissait l'économie de ces deux Etats.»*

#### BONUS ET DÉLOCALISATIONS

Conséquence: l'idée que le système économique doit être essentiellement basé sur les résultats des marchés boursiers s'impose un peu partout. On constate dès lors une très forte augmentation des mouvements de capitaux internationaux et une multiplication des offres de rachat hostiles. Permettant d'obtenir une meilleure cotation, les licenciements explosent également, de même que les délocalisations. Du côté des dirigeants, les bonus atteignent des sommes de plus en plus faramineuses, ce qui contribue à creuser l'écart avec la moyenne des salariés.

Ce changement de paradigme est encore accentué par ce que l'on appelle souvent la troisième révolution industrielle. A partir des années 1990, les économies avancées se

muvent en effet en sociétés post-industrielles dans lesquelles ce sont les services – et en particulier les services financiers – qui connaissent les plus forts taux de croissance. Les industries qui ont longtemps été dominantes, comme l'automobile, l'acier ou la chimie lourde, sont ainsi progressivement délocalisées dans des zones moins prospères du globe, tandis que les technologies de l'information et les biotechnologies deviennent les nouveaux secteurs de pointe.

Le phénomène contribue largement au développement des pays dits «émergents», dont il est de plus en plus souvent question depuis 2000. Le terme de BRIC (pour Brésil, Russie, Inde, Chine) a d'ailleurs été forgé en 2001 par Jim O'Neil, alors chef économiste chez Goldman Sachs, pour désigner les pays qui semblent destinés à devenir de grandes puissances économiques.

#### LES ÉTATS-UNIS CREUSENT L'ÉCART

Cependant, même si la Chine, par exemple, peut aujourd'hui se targuer d'un PIB supérieur à celui de la France ou de l'Allemagne, ce sont les Etats-Unis qui restent les grands bénéficiaires des changements intervenus depuis la fin de la Guerre froide.

Dopée par l'émergence des nouveaux marchés que constituent les nouvelles technologies et les produits financiers, domaines dans lesquels elle s'est rapidement imposée comme leader, l'économie américaine sort de la récession au début des années 1990. Elle renoue alors, et pour plusieurs années, avec une croissance qui dépasse de loin celle de ses concurrents européens. «Alors que l'écart s'était quelque peu réduit durant les Trente Glorieuses, les Etats-Unis n'ont cessé de consolider leur avance au cours des deux dernières décennies», confirme Youssef Cassis.

Selon les données du Fonds monétaire international, les Etats-Unis produiraient ainsi aujourd'hui près de 20% de toutes les richesses de la planète. Et le PIB du pays, qui a augmenté de 32% entre 2000 et 2008, équivaut à celui des sept autres Etats du G8: Allemagne, Canada, France, Italie, Japon, Royaume-Uni, Russie.

«Les conséquences de la crise financière de 2007 sont encore difficiles à estimer, conclut Youssef Cassis. Si la situation n'empire pas, les Etats-Unis en sortiront affaiblis, mais cela ne suffira pas à remettre en cause leur leadership sur l'économie mondiale. Le passage de témoin n'est donc pas pour demain.» ■

# LES PAUVRES FONT COURBER LA DÉMOGRAPHIE

Les années 1990 représentent un changement radical dans la compréhension de la démographie mondiale. Elles sont marquées par la Conférence mondiale sur la population qui s'est tenue au Caire et la découverte d'un phénomène inattendu, le «malthusianisme de la pauvreté»

Jusqu'aux années 1980, les démographes prédisaient que la planète compterait 7 milliards d'individus en l'an 2000. Or, nous n'étions «que» 6 milliards au tournant du millénaire. Comment une telle erreur a-t-elle pu se produire? «*Cette différence est due à un phénomène totalement inattendu: le malthusianisme de la pauvreté*», explique Michel Oris, professeur au Centre interfacultaire de gérontologie et au Département de sociologie (Faculté des sciences économiques et sociales). *Dans les régions pauvres du monde, des centaines de millions de personnes ont diminué leur fécondité de leur propre initiative. Le phénomène a probablement commencé dans les années 1980, mais nous ne nous en sommes rendu compte qu'au milieu des années 1990.»*

## CHANGER LE FUTUR

Du coup, le futur a changé. Car si la population mondiale, qui atteindra cette année les 7 milliards d'individus, continue d'augmenter (les femmes ont en moyenne 2,52 enfants, le taux minimum de renouvellement d'une population étant de 2,1 enfants par femme), le rythme de cette croissance diminue depuis trente ans environ. Et si la tendance se poursuit, les démographes prédisent que le nombre d'habitants de la Terre plafonnera à 9,5 milliards d'ici à cinquante ans.

Cette vision relativement «durable» de l'évolution de l'humanité tranche avec celle qui prévalait jusqu'il y a vingt ans et qui était marquée par la peur d'une surpopulation catastrophique. Thomas Robert Malthus, au début du XIX<sup>e</sup> siècle, considérait déjà qu'il fallait réduire la fécondité pour éviter d'épuiser des ressources qui sont limitées. La Révolution industrielle a temporairement rendu obsolètes les craintes du pasteur anglican. Mais l'explosion démographique du tiers-monde

après 1945 les a remis au goût du jour. Les craintes de famines massives en Inde, prédictes par le sociologue américain Kingsley Davis, mais qui ne se sont jamais produites, et d'autres disettes qui, elles, se sont réalisées en Afrique, ont alimenté la peur de la surpopulation. Le livre catastrophiste de l'Américain Paul R. Ehrlich, *The Population Bomb* en 1968, n'a fait qu'accentuer ce sentiment.

C'est alors que des programmes antinatalistes, parfois brutaux, ont émergé. Des



Etat du Kerala, Inde, 21 avril 2010.

stérilisations forcées, en violation des droits humains, ont ainsi eu lieu massivement en Amérique latine et en Asie, particulièrement en Inde et en Chine. Ces pratiques, soutenues au moins implicitement par les organisations internationales, étaient basées sur l'idée malthusienne selon laquelle les sociétés pauvres – dans lesquelles les enfants constituent une sorte de «bâton de vieillesse» – sont incapables de prendre en charge leur fécondité.

«La réalité a montré que cette vision est fausse, note Michel Oris. Dans les années 1980, le comportement des paysans et des habitants des bidonvilles s'est en effet mis à changer. Ces populations ont continué à se marier à un jeune âge et à faire très vite des enfants, mais il est apparu une limite au-delà de laquelle un enfant supplémentaire ne représentait plus une promesse de retour, mais une bouche de trop à nourrir.»

#### L'OFFRE ET LA DEMANDE

Or, au cours des décennies antérieures, les gouvernements concernés avaient mis en place une infrastructure importante pour le contrôle des naissances, incluant la possibilité de se faire stériliser gratuitement. Tout à coup, cette offre a rencontré une demande. «Se méprenant, certains scientifiques occidentaux se sont d'abord outragés devant ce qu'ils pensaient être le retour des stérilisations forcées, souligne Michel Oris. Mais petit à petit, ils se sont aperçus qu'il s'agissait d'actes "volontaires". Majoritairement accomplis par des femmes, ce phénomène a été observé dans un très grand nombre de pays, qu'ils soient dictatoriaux ou démocratiques.»

Un des moteurs de ce malthusianisme de la pauvreté est probablement le passage, sous l'influence de la mondialisation, d'une agriculture de subsistance à une agriculture spéculative. Traditionnellement, le paysan pauvre cultive de quoi subvenir aux besoins

«Il est apparu une limite au-delà de laquelle un enfant supplémentaire n'est plus une promesse de retour, mais une bouche de trop à nourrir»

de sa famille. Les mauvaises années, il reçoit, si besoin, de l'aide internationale pour joindre les deux bouts. Les bonnes, il vend le surplus de sa récolte. Mais depuis vingt ans, le même paysan consacre de plus en plus souvent ses terres à une culture unique dont il vend les fruits sur le marché national ou international. Et c'est avec cet argent qu'il nourrit sa famille.

«Ces populations s'en sortent mieux, en général, mais elles deviennent aussi plus vulnérables, explique Michel Oris. Si le prix de la tomate est élevé, par exemple, tout va bien pour le cultivateur des rives du fleuve Sénégal qui en a fait sa spécialité. Mais s'il baisse, le même cultivateur risque la famine. Idem lorsque le prix des aliments de base,

que le paysan est désormais obligé d'acheter, explose.» C'est précisément ce qui s'est produit durant les «émeutes de la faim» qui ont touché un grand nombre de pays du Sud en 2008, après que les prix des produits alimentaires eurent brusquement augmenté.

#### CHANGEMENT DE PARADIGME

En même temps que le malthusianisme de la pauvreté, un autre événement a marqué la science de la démographie au début des années 1990. C'est la Conférence internationale des Nations unies sur la population et le développement qui s'est tenue au Caire en 1994. Les conclusions de ce sommet ont en effet durablement influencé l'action internationale, notamment en ce qui concerne le contrôle des naissances. Avant cette date, l'approche des pays occidentaux consistait principalement à imposer leur mode de vie aux populations des pays pauvres, sans égard pour leur système de croyances et de pensée.

Au Caire, les gouvernements ont élaboré un nouveau paradigme, celui de la «santé reproductive». Il vise à rompre avec les stérilisations forcées en s'efforçant de répondre aux besoins réels des populations, et en premier lieu des femmes (car c'est d'elles qu'il s'agit avant tout). En bref, si l'une d'elles demande un moyen de contraception, il faut le lui fournir, mais si elle désire être soignée contre un problème d'infertilité qui risque de lui attirer la répudiation de son mari par exemple, il faut l'aider également. «La logique qui prévaut maintenant est l'"empowerment" des femmes, précise Michel Oris. Les mœurs des organisations internationales et des gouvernements ont totalement changé. L'Inde, par exemple, a recomposé sa politique à la suite de cette conférence. Et comme ce pays compte plus d'un milliard d'habitants, cela s'est rapidement vu dans les statistiques.» ■

# LA CHUTE DU MUR A FAIT MONTER LA TEMPÉRATURE

**Avec l'effondrement de l'Empire soviétique et la fin de la Guerre froide, l'économie mondiale s'est accélérée, ce qui s'est traduit par une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Juste au moment où l'on voulait les limiter**

Du point de vue climatologique, la chute du mur de Berlin et ses multiples répliques politiques présentent un bilan global plutôt négatif. La fin de la Guerre froide a en effet permis de libérer des ressources jusque-là consacrées à l'effort militaire. «*Dès le début des années 1990, l'économie mondiale s'accélère*, résume Martin Beniston, directeur de l'Institut des sciences de l'environnement. *L'industrie se développe, les nouvelles technologies explosent, Internet se répand... Tout cela a un prix. Sur le plan écologique, cette croissance se traduit par une augmentation sensible des émissions de gaz à effet de serre. Et ce précisément au moment où l'on commence à réfléchir sur les moyens visant à les faire baisser à l'échelle mondiale.*»

C'est en effet en 1988 qu'est créé le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Cette initiative est due à l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM) et au Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Les deux agences décident à la fin des années 1980, après plusieurs études scientifiques alarmantes, d'en savoir un peu plus sur le système complexe que forme le climat. Et particulièrement sur le lien avec ces gaz à effet de serre que l'on ne cesse de rejeter dans l'atmosphère, essentiellement à cause de la combustion des énergies fossiles, et dont on suspecte qu'ils pourraient provoquer, à terme, un réchauffement global désastreux.

## HYPOTHÈSE ANCIENNE

Pour les scientifiques, ce lien de cause à effet est une hypothèse ancienne. Précurseur en la matière, le Suédois Svante Arrhenius, Prix Nobel de chimie en 1903, avait déjà prédit à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle qu'un doublement de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère entraînerait une augmentation de la température globale de l'ordre de 4° C. «*Un calcul remarquable puisqu'un siècle plus tard les*

*meilleures estimations se situent toujours autour de cette valeur*», note Martin Beniston.

Le mandat du GIEC consiste à rédiger des rapports sur le système climatique, son évolution, les causes et les impacts d'éventuels changements, etc. Pour ce faire, ils compilent les connaissances acquises par les chercheurs du monde entier concernant la problématique du climat. Ces documents, de plus en plus étoffés, servent de matériel de base à plusieurs conférences internationales, dont notamment le Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 et la conférence qui a abouti au Protocole de Kyoto en 1997. Pierre angulaire de la stratégie mondiale de lutte contre les gaz à effet de serre,

fruit d'après négociations internationales, cet accord oblige les pays industrialisés qui le ratifient à réduire d'ici à 2012 leurs émissions de 8% par rapport à celles de l'année 1990.

«*Le problème, c'est que certains pays ont, entre-temps, connu une croissance importante qui s'est traduite par une augmentation de leurs émissions de gaz à effet de serre*», précise Martin Beniston qui a codirigé un groupe de travail au sein du GIEC entre 1993 et 1997. Pour tenir leurs engagements, ces Etats devraient ajouter à la diminution demandée par l'accord une baisse supplémentaire au moins aussi importante. Un défi quasi impossible à relever, notamment pour les Etats-Unis qui sont le seul pays industrialisé à ne pas avoir ratifié le Protocole de Kyoto.» Aujourd'hui, les Etats-Unis ont augmenté leurs émissions de CO<sub>2</sub> de plus de 15% par rapport à 1990.

## L'ÉCHEC DE COPENHAGUE

Aujourd'hui, malgré les efforts de nombreux Etats, dont ceux de l'Union européenne, tout le monde s'accorde à dire que les objectifs du Protocole de Kyoto ne seront pas atteints en 2012. De plus, des pays «en transition» comme la Chine, devenue le plus grand producteur de CO<sub>2</sub> du monde, ainsi que l'Inde et le Brésil, qui montent inexorablement dans ce classement, ne sont pas liés par cet accord international, ce qui complique encore la donne. Preuve en est l'échec des négociations lors de la dernière Conférence sur les changements climatiques à Copenhague en 2009.

La Suisse, qui ne contribue que de manière minime aux rejets de gaz à effet de serre à l'échelle de la planète, a longtemps joué le rôle de leader en matière de politique environnementale. Mais, pour Martin Beniston, elle est en train de perdre sa place de premier de classe. «*Au moment de la création du GIEC, la Suisse en était en effet le deuxième bailleur de fonds, après les Etats-Unis, relève-t-il. Cet exemple et bien d'autres montrent qu'à l'époque les questions*

## Le paradoxe de l'Est

Paradoxalement, la chute du Mur a aidé certains pays à atteindre plus vite que prévu leurs objectifs en matière d'émissions de gaz à effet de serre. C'est le cas notable de l'Allemagne. L'industrie de la RDA a en effet périclité dès l'ouverture de la frontière en 1989, entraînant par la même occasion une baisse importante de ses émissions au cours des années 1990. Grâce à la Réunification, entrée en vigueur en octobre 1990, le nouvel Etat a pu se targuer de présenter une diminution de ses rejets de gaz dépassant largement ses engagements individuels. De nombreux pays de l'Est ainsi que la Russie, dont l'industrie s'est également effondrée au cours des années 1990, ont vécu une évolution comparable. Cela dit, l'Europe des Vingt-Sept a, depuis, corrigé le tir et mis en place une répartition plus équitable de l'effort entre les pays membres.



Le lien entre l'émission de gaz carbonique et le réchauffement a été proposé au XIX<sup>e</sup> siècle déjà. PHOTO: ISTOCK

environnementales se plaçaient très haut dans la liste des préoccupations des politiciens et du public. Depuis, nos voisins européens ont largement ratrépé leur retard, et plutôt que de continuer à œuvrer en tant que pionnière, la Suisse se contente de calquer sa politique environnementale sur celle de l'Union européenne. C'est d'autant plus regrettable que ce pays ne possède pas de lobby important dans le domaine pétrolier ou automobile.»

Autre regret: les nations riches dans leur ensemble ont manqué l'occasion de transformer profondément leur industrie au moment des chocs pétroliers des années 1970. Si elles avaient mis en place à cette époque des mesures importantes visant à préserver l'environnement – auxquelles de nombreuses personnes réfléchissaient déjà –, elles auraient économisé énormément d'argent. «Un seul exemple: en isolant parfaitement les bâtiments, on diminuerait de 60% les émissions dans les villes

européennes, estime Martin Beniston. *Si nous l'avions fait à l'époque, cela nous aurait coûté vraiment moins cher.*»

Malgré tout, la situation est meilleure aujourd'hui qu'il y a vingt ans. Le monde politique est nettement plus sensibilisé aux questions environnementales – malgré un scepticisme résiduel. Certains pays, comme la Suède ou le Danemark, ont démontré qu'il est possible de découpler croissance économique et émissions de gaz à effet de serre – un lien pourtant incontournable dans la tête de nombreux économistes pour qui croissance va de pair avec l'utilisation des ressources, notamment énergétiques. De nombreux progrès techniques ont été accomplis et la situation évolue dans le bon sens, même si cela ne va pas assez vite. «*Il a fallu une génération pour parvenir à ce point, conclut Martin Beniston. Espérons qu'il n'en faille pas une deuxième pour amorcer le virage vert.*» ■

## Un climat de plus en plus «anthropique»

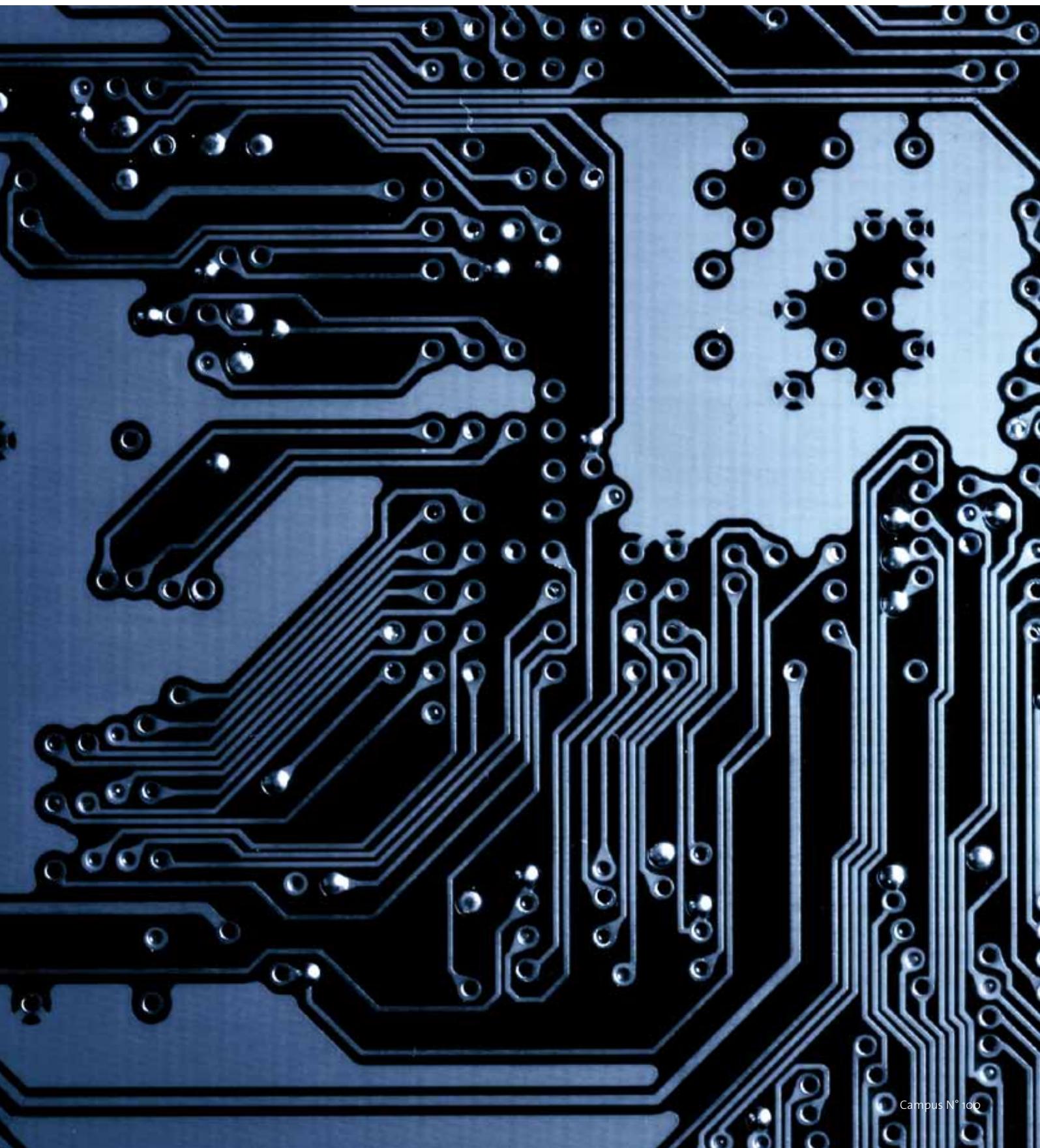
Au cours des vingt dernières années, les connaissances sur le climat ont enregistré une véritable explosion. Les contributions des différents facteurs naturels et anthropiques (liés aux activités humaines) sont de mieux en mieux connues, le passé du climat aussi et, du coup, les modèles de simulation informatiques deviennent très précis. L'évolution du climat vers un réchauffement global au cours des prochaines décennies laisse de moins en moins la place au doute.

Les experts du GIEC, quand ils ont commencé leurs travaux, soupçonnaient fortement l'activité humaine d'exercer une influence sur le climat. C'était en tout cas leur hypothèse de départ. Mais il a fallu beaucoup de temps et de recherche pour quantifier cet effet. L'acquisition progressive de cette connaissance se traduit par un glissement sémantique que l'on peut remarquer dans les conclusions des rapports successifs du GIEC.

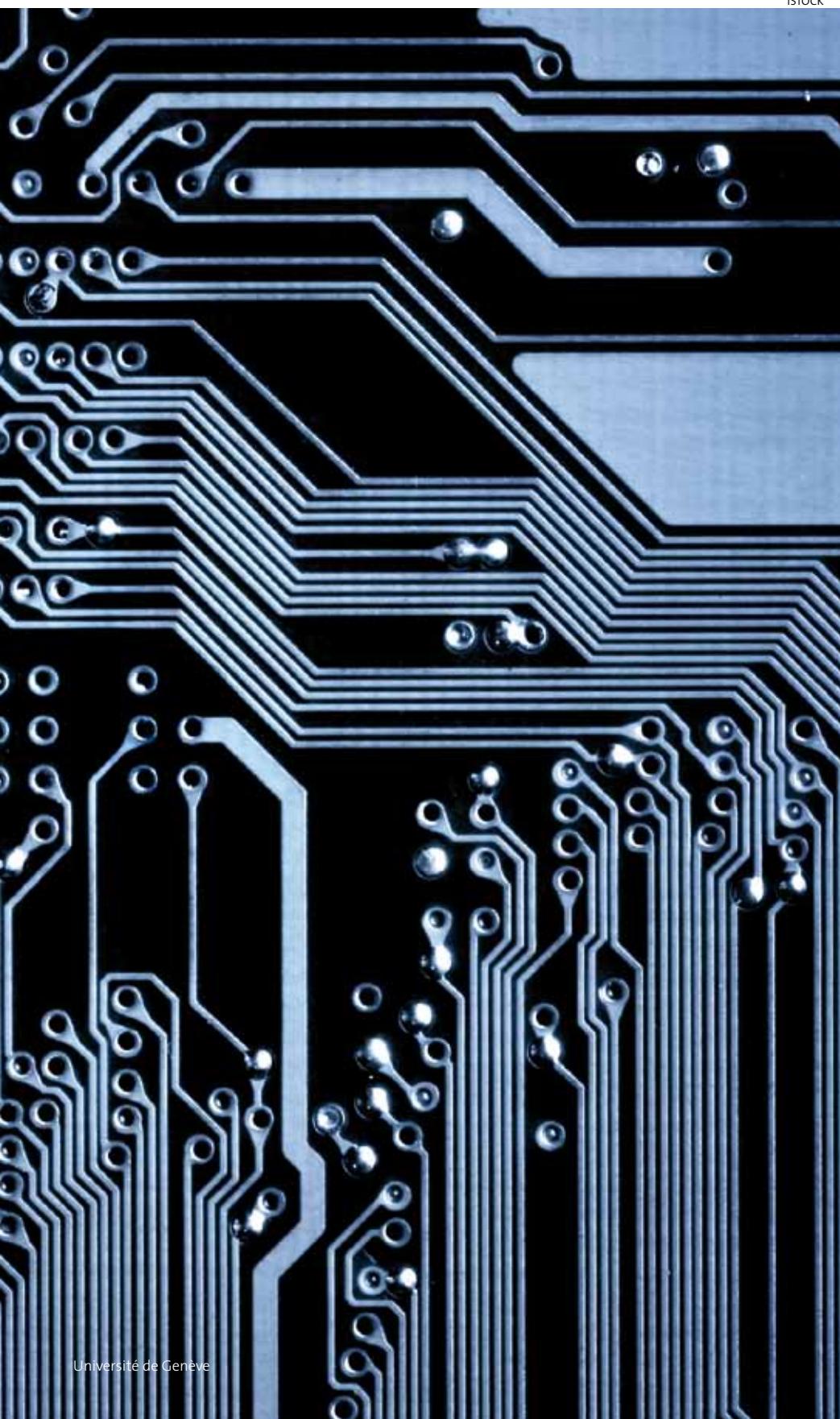
Dans celui de 1995, qui a servi aux négociations ayant abouti au Protocole de Kyoto, il était question d'un «faisceau d'éléments suggérant qu'il y a une influence discernable de l'homme sur le climat global». Dans le rapport de synthèse de 2001, on peut lire que «des preuves plus récentes et plus concluantes permettent de dire que la majeure partie du réchauffement observé au cours des cinquante dernières années est due aux activités humaines».

En 2007, on entre dans les détails. Le rapport affirme que «le réchauffement du système climatique est sans équivoque» et que, «grâce aux progrès accomplis depuis [six ans], il est possible de déceler l'incidence des activités humaines sur différents aspects du climat, outre la température moyenne». Et les experts de préciser: «Les activités humaines ont très probablement [probabilité supérieure à 90%, ndlr] contribué à l'élévation du niveau de la mer au cours de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle; probablement [probabilité supérieure à 66%, ndlr] concouru au changement de la configuration des vents, qui a modifié la trajectoire des tempêtes extratropicales et le régime des températures; probablement entraîné une élévation de la température des nuits extrêmement chaudes et froides et diminué le nombre de jours extrêmement froids; et sans doute accru les risques de vagues de chaleur, la progression de la sécheresse depuis les années 1970 et la fréquence des épisodes de fortes précipitations.» ■

# LA RÉVOLUTION NUM



# ÉRIQUE



ISTOCK

1990  
2010

Le 25 décembre 1990, Tim Berners-Lee et Roger Caillau, tous deux chercheurs au CERN, mettaient en ligne le premier serveur et la première page Web de l'histoire

Vingt ans plus tard, les nouvelles technologies sont entrées dans pratiquement tous les domaines du quotidien. Elles peinent pourtant encore à faire valoir leur potentiel en matière d'éducation

Connu dans le monde entier pour ses simulations par ordinateur, notamment de vêtements prêts-à-porter, le laboratoire genevois de réalité virtuelle MIRALab joue depuis deux décennies un rôle de pionnier dans son domaine

# DONNER VIE AU MONDE VIRTUEL

**Le laboratoire genevois de réalité virtuelle MIRALab existe depuis vingt ans. Connu dans le monde entier pour ses simulations par ordinateurs, notamment de vêtements prêts-à-porter, il joue depuis longtemps un rôle de pionnier dans son domaine**

1990  
2010

Pour Nadia Magnenat-Thalmann, il y a un avant et un après *Jurassic Park*. Avant la sortie en 1993 de ce film mettant pour la première fois en scène des dinosaures virtuels paraissant plus vrais que nature, la professeure au Département des systèmes d'information (Faculté des sciences économiques et sociales) et directrice de MIRALab était seule dans son créneau, ou presque. Ils n'étaient en effet qu'une poignée dans le monde à mener des recherches dans le domaine de la simulation en trois dimensions par ordinateur. Après la projection du blockbuster, l'intérêt pour la réalité virtuelle a explosé, non seulement dans l'industrie du cinéma, qui ne peut plus s'en passer aujourd'hui, et auprès du grand public, mais aussi dans le monde des chercheurs, puisque des centaines de groupes se sont depuis lancés dans cette voie.

## À UNE VITESSE FOLLE

«*Professionnellement parlant, la sortie du film a représenté un énorme changement*, précise Nadia Magnenat-Thalmann. *Au début, nous étions peu nombreux, ce qui était assez confortable pour mener des recherches. Mais les progrès dans le domaine étaient relativement lents. Aujourd'hui, les choses avancent à une vitesse folle, mais la concurrence entre les équipes est devenue acharnée. Pour surnager, il faut sans cesse innover afin de conserver une longueur d'avance sur les autres.*»

Cet esprit de pionnière, la directrice de MIRALab a su le préserver. Aujourd'hui, son laboratoire est connu dans le monde entier,

plusieurs de ses doctorants ont été engagés dans des entreprises spécialisées dans l'animation comme Buf (une compagnie française qui a participé aux effets spéciaux d'*Avatar*, *Oceans* ou encore *Astérix aux Jeux olympiques*), Pixar (*Toy Story*, *le Monde de Nemo*, *Wall-E*) ou Dreamworks (*Shrek*, *Madagascar*). L'équipe actuelle, profondément transdisciplinaire, est impliquée dans de nombreux programmes de recherche suisses et européens. Ses thèmes de prédilection sont, entre autres, la simulation des habits et des cheveux, de l'anatomie d'êtres humains à des fins médicales ou encore de la personnalité et des émotions dans le domaine de la robotique. A cela s'ajoute la réalité mixte, de la reconstitution en 3D de monuments historiques, etc.

MIRALab est créé à Genève en 1989, mais le nom remonte en fait à la fin des années 1970. Il désigne déjà l'équipe que dirige alors Nadia Magnenat-Thalmann à l'Université de Montréal. Au cours de son séjour au Canada, elle produit deux petits films entièrement conçus par ordinateur qui font date: *Vol de rêve*\* (1982) et *Rendez-vous à Montréal*\*\* (1987). Le premier simule la visite virtuelle de la tour Eiffel puis de la statue de la Liberté, séparées par la traversée de l'océan. Dans le second, on voit apparaître une Marilyn Monroe virtuelle donnant la réplique à un Humphrey Bogart tout aussi irréel. L'actrice américaine, sex-symbol des années 1950 et au-delà, est depuis devenue la mascotte de MIRALab.

SIEMONEITRONALD/CORBIS SIGMA



Marilyn Monroe, sex-symbol des années 1950 et au-delà, est devenue la mascotte de MIRALab



Image tirée du film «Jurassic Park», réalisé par Steven Spielberg, 1993.

«Dès le départ, j'ai donné beaucoup d'importance à l'esthétique et au fait d'intégrer des spécialistes d'horizons très différents dans mon travail, explique Nadia Magnenat-Thalmann. Il me paraît normal, lorsqu'on traite de réalité virtuelle, de ne pas se contenter d'engager des cracks de la programmation. Il faut aussi des gens des sciences humaines et des artistes.»

Les deux petits films produits par MIRALab marquent le monde de la réalité virtuelle qui, à cette époque, n'est pas encore très développé. Voir revivre Marilyn Monroe a durablement marqué les esprits. Et c'est grâce au travail de petits laboratoires comme celui-ci que les progrès ont pu être accomplis dans le domaine de la simulation en trois dimensions, au point de pouvoir fabriquer des films dans le genre de *Jurassic Park*. «Il est piquant de remarquer qu'un film comme *Avatar*, qui est sorti récemment et qui a subjugué tant de monde par ses effets spéciaux, utilise en réalité des technologies que nous maîtris-

sions déjà au début des années 1990», note Nadia Magnenat-Thalmann.

A cette époque justement, la chercheuse s'installe à l'Université de Genève et décide de conserver le même nom pour son laboratoire, bien qu'il faille repartir de zéro. Elle débute ainsi avec l'aide d'un seul assistant, issu de la Faculté des sciences économiques et sociales. En ces années, la plus grosse partie du budget est encore absorbée par le matériel. Il y a vingt ans, il fallait en effet compter quelques centaines de milliers de francs pour acquérir une station de travail et de quoi enregistrer des films numériques. Aujourd'hui, le même travail est réalisé avec un simple ordinateur portable, gonflé à l'aide d'une carte graphique et enrichi de quelques logiciels. Le tout pour quelques milliers de francs seulement. En même temps, la puissance des machines s'est démultipliée, raccourcissant les temps de calculs et augmentant les pos-

sibilités et la qualité pour les simulations en temps réel.

Grâce à ces progrès technologiques et à la chute des coûts, pas mal de ressources ont pu être dégagées au fil du temps pour engager des forces vives. «Nous avons été jusqu'à une quarantaine de chercheurs dans mon groupe, souligne Nadia Magnenat-Thalmann. Mais cela est dû aussi au fait que j'ai, dès le début, cherché des financements extérieurs. Et que j'en ai trouvé beaucoup, auprès des Fonds nationaux et communautaires, mais aussi auprès des entreprises.»

#### SCANNÉE DE LA TÊTE AUX PIEDS

Aujourd'hui, le laboratoire est impliqué dans huit projets différents. Un des plus anciens axes de recherche de MIRALab est la simulation de vêtements et de cheveux, particulièrement difficile à réaliser. Plusieurs années de développement ont débouché, il y a quelque temps, sur la mise au point d'une ►



Les chercheurs du laboratoire genevois de Miralab sont spécialisés dans la confection virtuelle qui simule des habits dans leurs moindres détails.

cabine d'essayage virtuelle. Le client est scanné de la tête aux pieds et l'on crée pour lui un avatar sur ordinateur ayant ses mensurations. Il peut alors le voir évoluer sur l'écran et lui passer tous les habits qu'il désire. Un des points fort de cette technologie est que les vêtements sont simulés avec un souci très poussé du détail (tombé, élasticité, frottement, épaisseur...).

«Cela fait près de vingt ans que nous travaillons sur la simulation des vêtements par ordinateur, souligne Nadia Magnenat-Thalmann. Ce n'est pas une chose simple. Il s'agit de surfaces défor-

*mables qui subissent des interactions avec elles-mêmes (les plis), mais aussi avec le corps sur lequel elles frottent. Il faut donc calculer pour chaque instant les multiples forces qui agissent sur chaque point des habits.»*

#### UN ROBOT TROUBLANT

Le laboratoire genevois se distingue également par son implication dans un projet européen de simulation de l'anatomie humaine *3D Anatomical Human*. A partir d'images réalisées à l'aide d'un scanner IRM (imagerie par résonance magnétique), les chercheurs

genevois tentent de reconstituer sur ordinateur un membre (une hanche, par exemple) d'un patient. Ils y ajoutent ensuite un modèle biomécanique capable de simuler les mouvements de ses articulations. L'objectif de cette modélisation est, à terme, de pouvoir étudier cette partie du corps de manière, par exemple, à anticiper des lésions en cas de malformation. Elle ouvre également des perspectives intéressantes en ce qui concerne la formation de jeunes chirurgiens.

Un autre sujet phare sur lequel MIRALab planche depuis plusieurs années est la ro-

MIRALAB



Prêt-à-porter virtuel.

\*\* [www.youtube.com/watch?v=m5kVMn\\_wR2g](http://www.youtube.com/watch?v=m5kVMn_wR2g)

«Je trouve les robots conçus actuellement par les ingénieurs souvent laids, même s'ils sont très perfectionnés. Je suis convaincue que, dans ce domaine, il faut une approche interdisciplinaire dans laquelle on fasse intervenir des personnes issues des sciences sociales et des arts.» ■

botique sociale. Le buste d'EVA, un robot recouvert de peau synthétique qui peut parler et dont le visage peut exprimer des émotions, trône ainsi dans une des salles du laboratoire.

«Nous travaillons sur des processus de mémoire et sur la nature des relations qu'EVA entretient avec ses interlocuteurs, précise Nadia Magnenat-Thalmann. Un des objectifs du projet est qu'EVA puisse se souvenir d'une première rencontre avec une personne et qu'elle se souvienne aussi de la nature positive ou négative de cet échange. Ensuite, en fonction de la personnalité dont nous la dotons (triste, joyeuse...), elle adoptera un certain comportement lors de la deuxième rencontre.»

Comparée à certaines machines développées au Japon ou ailleurs, EVA ne paye pas de mine. Elle est troublante, répond un peu de travers et semble bien moins au point. Mais le but des chercheurs de MIRALab n'est pas de développer un robot comme il en existe tant, techniquement parfait, mais qui n'est absolument pas adapté au rôle qu'on lui prévoit: être un objet hautement social.

«Le principal objectif de la robotique sociale est de développer des machines de compagnie et de soutien pour les personnes âgées, les enfants, etc., explique Nadia Magnenat-Thalmann. Le comportement de ces robots est donc primordial et c'est le point principal sur lequel nous travaillons. L'apparence n'est pas moins importante. Je trouve les robots conçus actuellement par les ingénieurs souvent laids, même s'ils sont très perfectionnés. Je suis convaincue que, dans ce domaine, il faut une approche interdisciplinaire dans laquelle on fasse intervenir des personnes issues des sciences sociales et des arts.» ■

\* [www.youtube.com/watch?v=lqalhFjuUpA](http://www.youtube.com/watch?v=lqalhFjuUpA)

# INTERNET OU L'INTROUVABLE SO

Depuis l'invention du Web, il y a vingt ans, les nouvelles technologies ont profondément bouleversé notre quotidien. Elles ont en revanche eu plus de peine à faire valoir leur potentiel là où on les attendait peut-être le plus: en matière de formation et d'éducation

Le 25 décembre 1990, Tim Berners-Lee et Roger Caillau, tous deux chercheurs au CERN, mettent en ligne le premier serveur et la première page Web de l'histoire. Pour de nombreux observateurs, cet événement, qui marque le véritable lancement d'Internet tout en démultipliant les possibilités de l'ordinateur, annonce un monde nouveau. Développée par des scientifiques afin de faciliter les échanges d'informations, la Toile apparaît comme l'outil qui permettra enfin de faire entrer l'humanité dans la «société du savoir». Désormais, il sera possible à chacun d'accéder à la connaissance n'importe quand et depuis n'importe où.

Vingt ans plus tard, Internet est en effet omniprésent (lire ci-contre), sauf peut-être

là où on l'attendait le plus. Car si près d'une personne sur cinq est aujourd'hui connectée, la Toile sert surtout à des activités liées aux loisirs ou aux services. On y recourt pour choisir un film ou un restaurant, pour trouver son chemin dans une ville inconnue ou pour dégotter une recette de cuisine. Et, bien sûr, pour communiquer. Globalement, un tiers du temps passé aujourd'hui sur Internet est ainsi consacré au mail, aux messageries instantanées ou aux réseaux sociaux. Une proportion en constante augmentation.

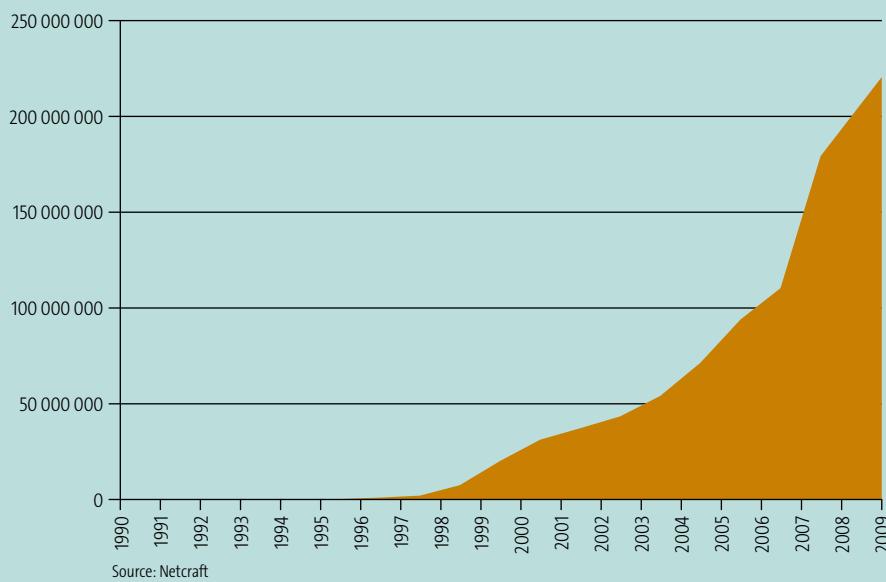
## LE NUMÉRIQUE, QUAND ET COMMENT?

En matière d'éducation et de formation, malgré un potentiel qui semble énorme, l'usage

des nouvelles technologies reste en revanche relativement timide. Mais en quoi au juste l'informatique peut-elle être utile en classe? C'est précisément à cette question que tente de répondre l'Unité des technologies pour la formation et l'apprentissage (Tecfa) depuis sa création en septembre 1989. Cette structure, qui regroupe aujourd'hui une vingtaine de collaborateurs, s'est donné pour objectifs d'identifier quand et comment utiliser le numérique dans les processus d'apprentissage, de trouver le moyen de faire cohabiter les nouvelles technologies avec des dispositifs pédagogiques qui ne sont pas basés sur du numérique, d'évaluer et de maîtriser les outils disponibles sur le marché. A l'heure du haut débit et de l'interface tactile, état des lieux avec sa directrice, Mireille Bétrancourt, professeure à la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation.

«*L'accès toujours plus large et toujours plus rapide à Internet a ouvert d'énormes possibilités, confirme la spécialiste. En abattant les barrières spatiales et temporelles, le Web a non seulement modifié la manière dont on interagit avec le monde, mais aussi notre perception du monde, et donc, ce qu'est le monde. Mais pour l'instant, il est vrai qu'on ne sait pas encore vraiment comment faire fructifier cette évolution en classe. Ce qui est certain en revanche, c'est que les nouvelles technologies n'ont pas vocation à remplacer les méthodes d'enseignement classiques du jour au lendemain. A l'école, l'ordinateur n'est pas utile partout et tout le temps.»*

## Evolution du Web



## IDENTIFIER LES OBJECTIFS

Le credo défendu par les chercheurs de Tecfa consiste donc à avancer progressivement, en cherchant la meilleure manière d'intégrer les ressources numériques aux autres outils disponibles. Pour y parvenir, il faut être en mesure d'identifier clairement les objectifs qui peuvent être atteints au travers du numérique et ceux qui ne doivent pas l'être. «*Pour les activités en géographie, par exemple, Google Earth est un*

1990  
2010

# CIÉTÉ DU SAVOIR

DR



**Mis au point en 1976, dans un garage californien, l'Apple I fut le premier micro-ordinateur individuel à combiner un clavier, un microprocesseur et une connexion à un moniteur.**

outil qui a aujourd'hui énormément de succès dans les classes, complète Mireille Bétrancourt. Si on s'en sert uniquement pour montrer aux élèves que tel pays se trouve à tel endroit, cela n'a pas grand intérêt du point de vue pédagogique. En revanche, si on parvient à intégrer les possibilités offertes par cet outil dans une séquence éducative impliquant également d'autres supports, les résultats peuvent être excellents. C'est à ce type de problèmes que nous réfléchissons depuis deux décennies maintenant.»

Si la question de l'utilité de l'ordinateur en classe n'a pas encore été tranchée, c'est qu'elle est plus complexe qu'on pourrait le penser de prime abord. D'abord parce que tout est allé très vite. Il n'y a pas si longtemps, le fait de pouvoir converser en image et en direct avec quelqu'un se trouvant à l'autre bout du monde relevait en effet de la pure science-fiction. Et, au début des années 1990, lorsque Tecfa a commencé ses ac-

tivités, Internet en était encore à ses balbutiements et les *personal computers* commençaient tout juste à se démocratiser.

#### LIGNES VERTES ET «FLOPPY DISC»

«Les premières machines, avec leurs écrans noirs sur lesquels brillaient des lignes vertes, n'étaient pas commodes à utiliser: il fallait taper toute une série de hiéroglyphes pour arriver à faire la moindre opération, se souvient Mireille Bétrancourt. Ensuite, avec les premiers MacIntosh, nous avons été confrontés à des ordinateurs sans disque dur. Il fallait donc changer en permanence la disquette système, c'est-à-dire les fameux "floppy disc". A ce moment-là, il était difficile de prévoir l'ampleur des changements que ces nouveaux outils allaient provoquer. Certaines personnes bien inspirées au sein de l'université ont néanmoins pressenti que l'informatique pouvait devenir, à plus ou moins long terme, un moyen d'en-

seignement et de formation privilégié. C'est comme ça que nous nous sommes lancés dans l'aventure.»

A l'époque, beaucoup d'espoirs sont encore placés dans le langage Logo. Mis au point au milieu des années 1960 déjà par l'Américain Seymour Papert, chercheur au Massachusetts Institute of Technology (MIT), ce langage de programmation largement inspiré par les travaux de Jean Piaget est spécifiquement conçu pour l'enseignement. Au travers de l'élaboration de «micro-mondes», il a pour objectif d'aider les enfants à progresser dans la résolution de problèmes. Devenue célèbre auprès de millions d'écoliers, son application la plus connue permet de déplacer une tortue graphique sur l'écran à l'aide d'instructions codées.

Ce langage, encore largement utilisé de nos jours en milieu scolaire, a longtemps constitué une piste de recherche importante pour les ►

chercheurs. Bonne base à la programmation, il peut en effet également être utilisé, moyennant la création de nouveaux micro-mondes (on en compte 130 aujourd'hui) à l'approche de nombreuses disciplines comme les mathématiques, la physique ou la robotique. «*Logo a permis – et permet encore – d'obtenir de très bons résultats, complète Mireille Bétrancourt, mais, à un certain moment, on a peut-être placé trop d'espoirs dans cet outil: tout d'un coup, on pensait avoir trouvé le moyen de redonner le goût d'apprendre à ceux qui l'avaient perdu. Ce qui n'est évidemment pas le cas.*»

#### EXPLOSION DE L'OFFRE

Il faut donc chercher ailleurs. A partir des années 2000, avec l'explosion de l'offre disponible sur la Toile et le développement de la vitesse de calcul des ordinateurs, l'enseignement à distance connaît un important développement. C'est l'époque des «kits d'apprentissage». Une approche qui donne de bons résultats dans le domaine de la formation des adultes, mais qui reste difficile à implanter en classe. «*Différents travaux ont montré que lorsqu'on se contente de digitaliser la matière enseignée sans ajouter de plus-value, ce type d'outil perd une grande partie de son intérêt, explique Mireille Bétrancourt. Car, ce qui est crucial, c'est le type d'activités proposées aux participants. Et ces*

**Avant d'introduire un nouvel outil, il faut être en mesure de le maîtriser parfaitement sous peine de déclencher les quolibets d'une vingtaine de jeunes à l'affût du moindre faux pas**

*activités, lorsqu'elles sont médiatisées ne répondent plus aux mêmes règles que lorsque l'on est en présence. Il faut donc les penser autrement, davantage les scénariser, en s'appuyant sur une stratégie pédagogique efficace.»*

Le problème, c'est que c'est un exercice qui demande du temps. Pas question en effet d'improviser en classe. Avant d'introduire un nouvel outil, il faut être en mesure de le maîtriser parfaitement sous peine de déclencher les quolibets d'une vingtaine de jeunes à l'affût du moindre faux pas.

Ensuite, il faut trouver le moyen d'intégrer ces nouveaux éléments dans une séquence éducative, prévoir la possibilité d'accéder à une salle informatique ou à des ordinateurs portables, etc.

A ce véritable casse-tête s'ajoute le risque de voir tous ces efforts réduits à néant très rapidement étant donné la faible pérennité des produits informatiques. Beaucoup d'enseignants s'étant lancés dans l'aventure informatique à titre individuel ont ainsi été sérieusement échaudés par le fait que l'outil qu'ils utilisaient et auquel ils s'étaient habitués soit soudainement remplacé par une version différente. Ce qui les forçait à tout reprendre à zéro.

Afin de limiter les risques, le Service école et médias du canton de Genève propose depuis peu un catalogue de modules destinés à l'enseignement dont il assure la pérennité et qui peuvent être téléchargés sur Internet. «*Aujourd'hui, on peut très bien imaginer que chaque élève passe une demi-heure par jour sur l'ordinateur pour suivre des programmes spécifiques et ainsi combler ses points faibles, commente Mireille Bétrancourt. Les outils sont là, le matériel aussi. Mais cela implique de revoir complètement les dispositifs de gestion de la classe et la manière de penser la scolarité: il faut prévoir non seulement des séances de travail en commun, mais aussi des ateliers et des sé-*

## La «Loi de Moore»

La «Loi de Moore» a été exprimée en 1965 dans la revue américaine *Electronics Magazine* par Gordon Moore, un des futurs fondateurs de l'entreprise de microprocesseur Intel. Constatant que la complexité des semi-conducteurs doublait tous les ans à coût constant depuis 1959, date de leur invention, Gordon Moore postule alors la poursuite de cette croissance. Dix ans plus tard, Gordon Moore corrigeait ce pronostic en prévoyant le doublement tous les deux ans du nombre de transistors composant un microprocesseur. Or, cette prédiction s'est révélée étonnamment exacte, puisque, entre 1971 et 2001, la densité des transistors a doublé chaque 1,96 année. C'est ce qui explique qu'en 2006, un ordinateur d'entrée de gamme était déjà 500 fois plus rapide, 32 000 fois plus puissant et 12 fois moins cher que le premier PC d'IBM, commercialisé vingt-cinq ans auparavant.





Un ordinateur personnel IBM PC 5150 (1983).

à mettre à profit ces fantastiques capacités de concentration et d'abnégation pour réellement progresser.

C'est précisément là que le bât blesse. «*C'est un équilibre très difficile à trouver*, confirme Mireille Bétrancourt. *Il existe aujourd'hui beaucoup de programmes éducatifs informatiques pour apprendre à compter, à lire, etc. Mais, soit le jeu n'est pas amusant, soit son contenu pédagogique est faible. Car, dans la plupart des cas, les logiciels commerciaux s'arrêtent dès que survient une difficulté. Pour l'instant, il n'y a guère que les "serious games" développés en laboratoire, comme ceux que nous mettons actuellement au point à Tecfa (lire ci-contre) qui parviennent à gérer convenablement ces situations de blocage.*»

Enfin, comme le souligne Mireille Bétrancourt, le fait que l'ordinateur offre la possibilité

*quences individuelles. C'est relativement aisément dans le primaire. En revanche, ça l'est moins à partir du secondaire, dans un système fonctionnant avec des tranches de 45 minutes dans lesquelles il faut caser un certain nombre d'aller-retours entre la salle de classe et la salle informatique.»*

En plein essor depuis quelques années maintenant, les jeux intelligents ou «serious game» forment également un champ de recherche important pour les collaborateurs de Tecfa. Dans le cas présent, il s'agit de s'appuyer sur une idée vieille comme le monde: profiter du pouvoir addictif et attractif du jeu pour faire apprendre quelque chose. Comme l'ont bien compris les concepteurs de ce type de produits, l'énorme potentiel ludique offert par l'ordinateur constitue en effet un support privilégié pour l'éducation dans la mesure où le jeu suscite un engagement cognitif très intense qui peut aller jusqu'à enlever la perception du temps qui passe. Tout le défi consiste dès lors à parvenir

de créer – individuellement ou collectivement – des documents originaux qui peuvent être révisés et partagés à tout moment est également peu exploité dans le monde de l'éducation, alors que c'est une pratique très développée dans le monde professionnel.

Face à ce qui ressemble beaucoup à une impasse, l'avènement des interfaces tactiles (iPad, iPhone, etc.) pourrait bien, une nouvelle fois, changer la donne. Développée dans les années 1980, l'interface graphique (caractérisée par la trilogie souris, clavier, bureau), même si elle a permis des avancées considérables, restait en effet un outil relativement lourd à manier. Ce qui n'est pas le cas de cette nouvelle génération de machines. «*Le monde du tactile va nous faire entrer dans un nouveau paradigme*, s'enthousiasme Mireille Bétrancourt. *En utilisant directement la main pour conduire la navigation, cette technologie permet de faire des tas de choses qui étaient inimaginables jusqu'ici. On devrait par exemple pouvoir utiliser en classe des tableaux blancs interactifs – qui sont au point depuis quelques années déjà mais dont on ne savait que faire jusqu'ici – en complément du bon vieux tableau noir. Il suffirait dès lors de télécharger les applications nécessaires pour pouvoir les intégrer à la leçon. Même si c'est encore de la musique d'avenir, nous nous trouvons sans doute aujourd'hui à l'aube d'une nouvelle révolution.»*

#### «DIGITAL NATIVES»

Un tournant qu'il s'agira de ne pas manquer. Car négliger la place de l'informatique à l'école, c'est prendre le risque d'accentuer le divorce entre cette institution déjà fort malmenée et ceux qui la fréquentent. La plupart des écoliers et des étudiants du monde sont aujourd'hui des «digital natives». Nés après 1990, ils sont baignés dans le numérique depuis toujours et maîtrisent généralement parfaitement ces outils qui effraient tant les plus âgés. Habitues à chercher les réponses à leurs questions sur Google, Wikipédia ou les réseaux sociaux, ils comprennent mal que l'école n'ait pas intégré ces éléments. Conséquence: le sentiment que l'école ne permet pas d'acquérir un savoir utile et l'idée que ce qui leur est réellement nécessaire, ils l'apprendront chez eux ou avec leurs camarades. «*Même si cette perception est fausse*, conclut Mireille Bétrancourt, *cette perte de crédit est inquiétante pour l'avenir et il faut absolument la prendre en compte avant qu'il ne soit trop tard.*» ■

<http://tecfa.unige.ch>

## Faits marquants

**1981** > Lancement de l'IBM PC, l'ancêtre de la plupart des «PC» actuels.

**1982** > Lancement du Commodore 64 qui fut la première machine vendue à plusieurs millions d'exemplaires et qui reste le modèle d'ordinateur le plus vendu à ce jour.

**1984** > Macintosh lance le premier ordinateur utilisant une souris et une interface graphique. Mille ordinateurs sont connectés à Internet.

**1989** > Création de l'Unité des technologies de l'information et processus d'apprentissage (Tecfa) au sein de la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation. Cent mille ordinateurs sont connectés à Internet.

**1990** > Le CERN met en ligne le premier serveur Web (info.cern.ch) et la première page Web de l'histoire en utilisant le protocole http (World Wide Web).

**1992** > 1 000 000 d'ordinateurs sont connectés à Internet.

**1993** > Les logiciels du World Wide Web entrent dans le domaine public. Les premières images apparaissent dans les pages Web.

**1994** > Lancement de Netscape Navigator, le premier navigateur Internet destiné au grand public.

**1996** > 10 000 000 d'ordinateurs sont connectés à Internet.

**1997** > Première victoire d'un programme informatique contre un grand maître des échecs, Deep Blue bat Garry Kasparov (2 victoires, 3 nuls et 1 défaite).

**1995** > Microsoft lance Internet Explorer pour lutter contre Netscape Navigator. Le système GPS devient opérationnel en permanence sur l'ensemble de la planète.

**1998** > Création de Google.

**2001** > Lancement de Wikipédia.

**2003** > Genève accueille le premier Sommet mondial sur la société de l'information.

**2006** > Lancement du projet de «PC» à 100 dollars.

**2008** > 1 000 000 000 d'individus sont connectés à Internet.

**2010** > Lancement de l'iPad, premier ordinateur grand public doté d'une interface tactile.

# Dépasser la crise par le jeu

**Les chercheurs de l'Unité des technologies pour la formation et l'apprentissage mettent actuellement au point deux «serious game». Le premier est destiné à des enfants sourds ayant reçu un implant auditif. Le second constitue un support pour les adolescents dont un parent a subi un traumatisme crânien**

Popularisé par des titres comme *SimCity* ou *The Sims*, l'univers des «serious games» génère aujourd'hui un chiffre d'affaires annuel de 1,5 milliard d'euros, somme qui, compte tenu de la très forte croissance du secteur, pourrait atteindre les 10 milliards en 2015. Dans ce qui ressemble encore fort à une jungle, on trouve

le concept de «serious games» sur lesquels les chercheurs de Tecfa travaillent actuellement.

Le premier, réalisé en partenariat avec le Centre romand d'implants cochléaires des HUG, est un programme de réhabilitation auditive pour des enfants ayant reçu un implant cochléaire. Cette intervention chirurgicale, qui peut

lourd à gérer. Le logiciel de support que nous avons mis au point, et qui est en train d'être évalué, associe des concepts de jeux auditifs largement éprouvés avec des systèmes d'interaction spécifiquement adaptés aux enfants de 2 à 5 ans.

*Si son efficacité est confirmée, il permettra à la fois de soulager les parents d'une tâche fastidieuse et à compléter le travail du logopédiste.»*

g Réalisé en coopération avec l'équipe de Jean Dumas, psychologue clinicien à la FPSE, le second projet vise à développer une plateforme d'aide et de support pour les adolescents dont un des parents a subi un traumatisme crânien. Ce type d'accident, qui peut avoir des répercussions physiques lourdes, mais aussi engendrer des troubles du comportement et de la personnalité, en-

traîne souvent un renversement des responsabilités et des rôles familiaux. Une situation qui est susceptible de provoquer des épisodes de dépression chez le patient, mais qui est également difficile à gérer pour les enfants et, en particulier, pour les adolescents.

«C'est un âge critique, confirme Mireille Betrancourt. Plus jeune, on ne se rend pas forcément compte de ce qui se passe, plus âgé on dispose de davantage de ressources pour faire face. Par ailleurs, les ados constituent

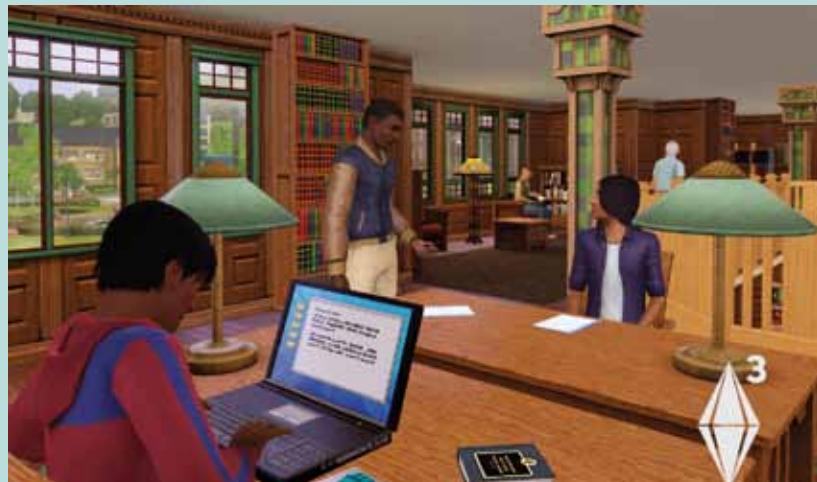
une population que l'on n'amène pas facilement en thérapie. C'est un moment de la vie où il est souvent difficile de verbaliser ce que l'on ressent. D'où l'intérêt de se servir d'un média – le jeu vidéo – avec lequel ils sont naturellement à l'aise.»

## LIBERTÉ D'ACTION

A la manière de ce qui se passe dans «The Sims», le programme développé par les chercheurs permet à l'adolescent de s'immerger dans la vie d'une famille se trouvant dans la même situation que la sienne. A lui dès lors d'envisager tous les scénarios possibles. «Nous avons évité une trop grande scénarisation afin de laisser une réelle liberté d'action au "joueur", poursuit la chercheuse. Il s'agit en effet de permettre au jeune d'expérimenter toutes sortes de cas de figure.» Autant de situations qui pourront ensuite servir de base de discussion au sein de groupes de parole formés d'experts et d'autres jeunes se trouvant dans le même cas.

«Ces deux projets reposent sur l'idée, essentielle à nos yeux, que les nouvelles technologies ne constituent pas la solution unique à tous les maux, commente Mireille Betrancourt. Au contraire, ce type d'innovations ne peut être réellement efficace que si elles s'intègrent aux autres outils disponibles. Tout le défi consiste dès lors à orchestrer ces différents instruments pour que la partition finale soit la plus harmonieuse possible. L'objectif, c'est que l'ensemble des ressources mobilisées donne un tout cohérent.» ■

<http://tecfa.unige.ch/tecfa/research/tbisim/>



«The Sims 3», 2009.

des jeux consacrés à des thèmes aussi divers que la défense (*America's Army*), le marché de l'emploi (*Technocity*), l'écologie (*Ecoville*), la politique (*September the 12th*), l'humanitaire (*Food Force*, *Darfur is Dying*), la publicité, la religion, l'art ou la santé.

Parallèlement à ces logiciels qui visent un grand public et dont le contenu pédagogique n'est pas toujours irréprochable, il existe des programmes plus spécifiques comme les deux projets basés sur

se faire dès l'âge de 2 ans, permet de redonner l'ouïe à des personnes sourdes de naissance. Cependant, après l'opération, il reste un important travail de réhabilitation à accomplir pour accéder au langage.

## SOULAGER LES PARENTS

«Les séances de logopédie sont naturellement indispensables, explique Mireille Betrancourt, directrice de TECFA. Mais on ne peut pas en suivre tous les jours. C'est beaucoup trop

# Orange Me créez un abonnement aussi unique que vous

appels gratuits à vie pour  
les moins de 27 ans et  
les étudiants avec Orange Young



1.—

**Sony Ericsson X10 Mini**

Orange Me/12 mois

30 min, SMS illim. , 1 Go

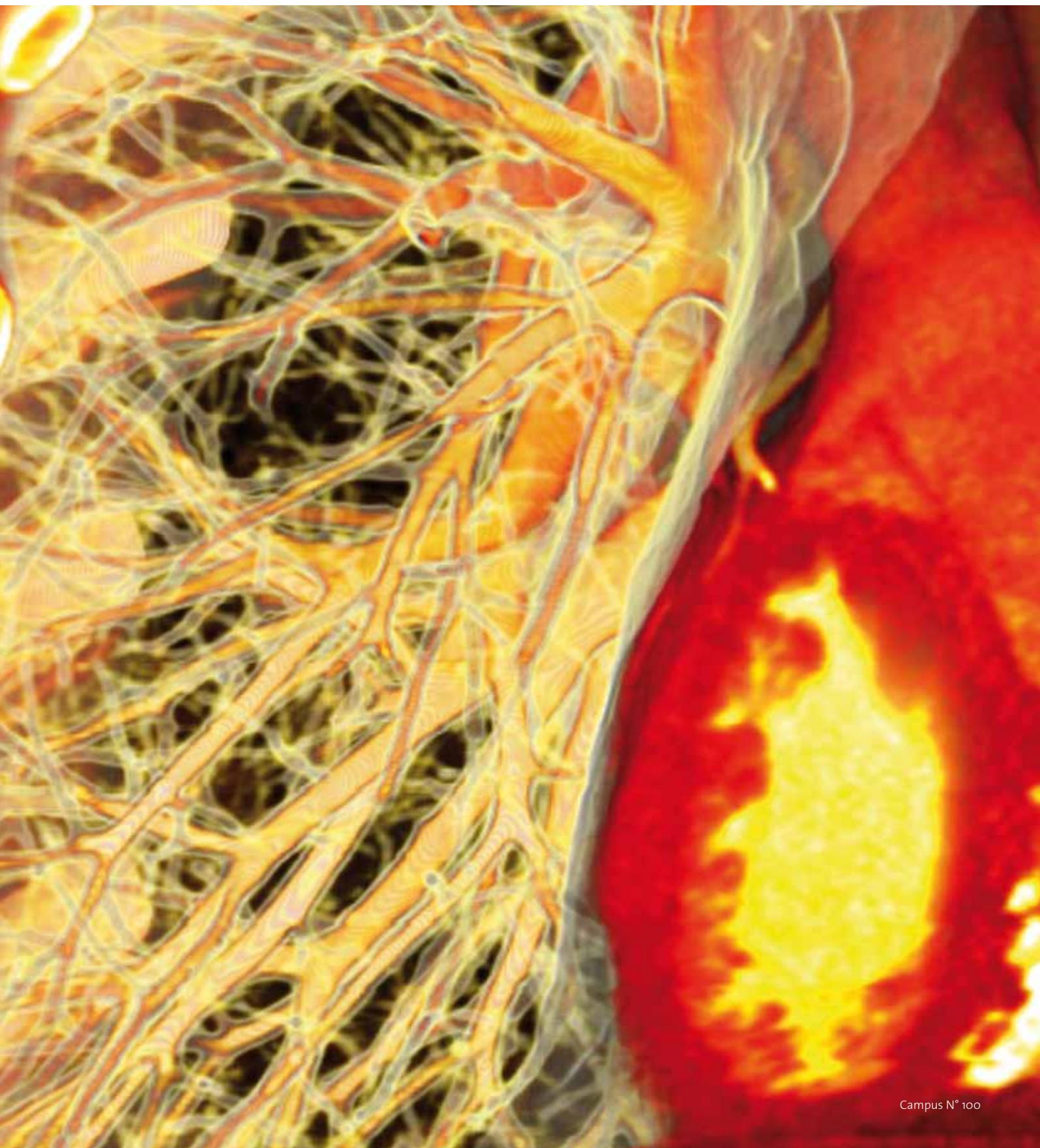
sans plan tarifaire 349.—



Valable pour les nouveaux clients avec l'abonnement Orange Me indiqué (CHF 50.-/mois). Hors carte SIM (CHF 40.-). Dans la limite des stocks disponibles. Des prestations illimitées sont disponibles pour un usage privé normal conformément aux informations produit Orange Me et aux Conditions générales. Conditions préalables pour bénéficier des avantages de la promotion Orange Young: souscription et continuation ininterrompue d'un abonnement Orange Me pour clients privés. Valable pour les appels vers Orange et les réseaux fixes suisses. **Plus d'informations sur [orange.ch/young](http://orange.ch/young)**



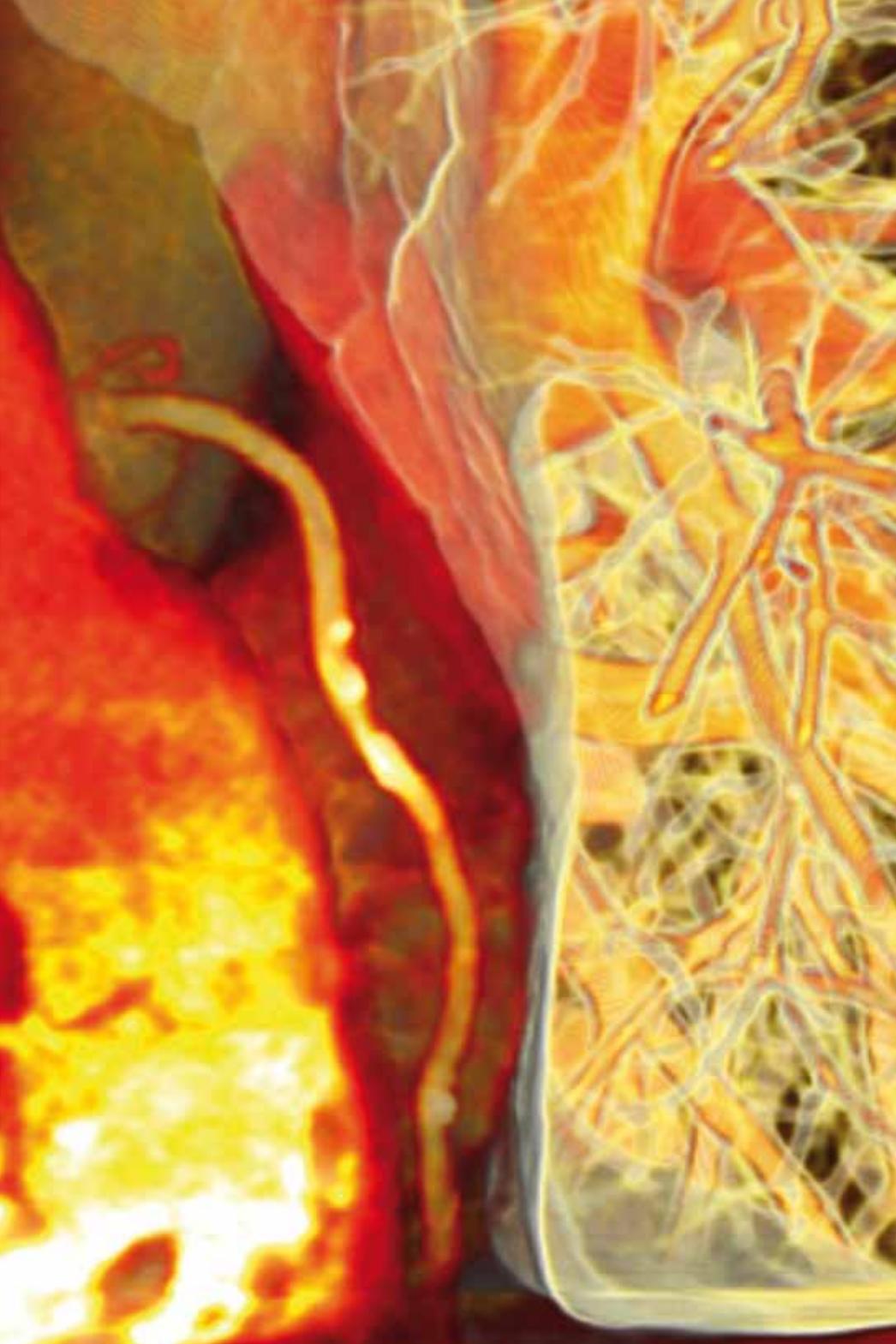
# GROS PLAN SUR LE CO



# RPS HUMAIN

Image des poumons et du cœur au scanner à rayons X.

PHOTO: OSIRIX



1990  
2010

---

Au cours des vingt dernières années, la médecine fondamentale et clinique a connu des avancées très importantes dans un grand nombre de domaines

---

Une des percées qui ont beaucoup contribué à changer le métier du médecin est l'imagerie médicale. Genève est d'ailleurs à la pointe du traitement des images obtenues par des scanners de plus en plus performants

---

Le traitement de la surcharge pondérale, une affection qui touche près de 40% de la population suisse, s'est également beaucoup amélioré en deux décennies, notamment sous l'impulsion de l'«école de Genève»

# IMAGERIE MÉDICALE: L'AVENTURE

**En une génération, les performances des scanners ont connu une croissance fulgurante. On peut aujourd'hui réaliser des images animées d'organes en trois dimensions sur lesquelles on peut lire des informations sur leur métabolisme**

«Retenez votre respiration!» crie le technicien. Le scanner entre en action, réalise son cliché et s'arrête. «Respirez!» conclut l'opérateur. Cette scène se déroule il y a vingt ans, ou un peu plus peut-être. La réalisation d'une image radiographique d'une seule tranche du corps d'un patient demande alors plusieurs secondes. «A force de hurler ainsi, les techniciens n'avaient plus de voix à la fin de la journée», se souvient Osman Ratib, professeur au Département de radiologie (Faculté de médecine). Aujourd'hui, le même temps suffit à découper virtuellement un corps entier en des dizaines de milliers de tranches et à reconstituer une image de ses organes internes en trois dimensions, image que l'on peut admirer ensuite sous l'angle et avec les couleurs que l'on souhaite. De plus, le détail et le rendu de l'image sont incomparablement meilleurs. «Il y a toujours une voix qui demande au patient de retenir sa respiration, mais elle est de synthèse, c'est la machine qui parle», souligne Osman Ratib.

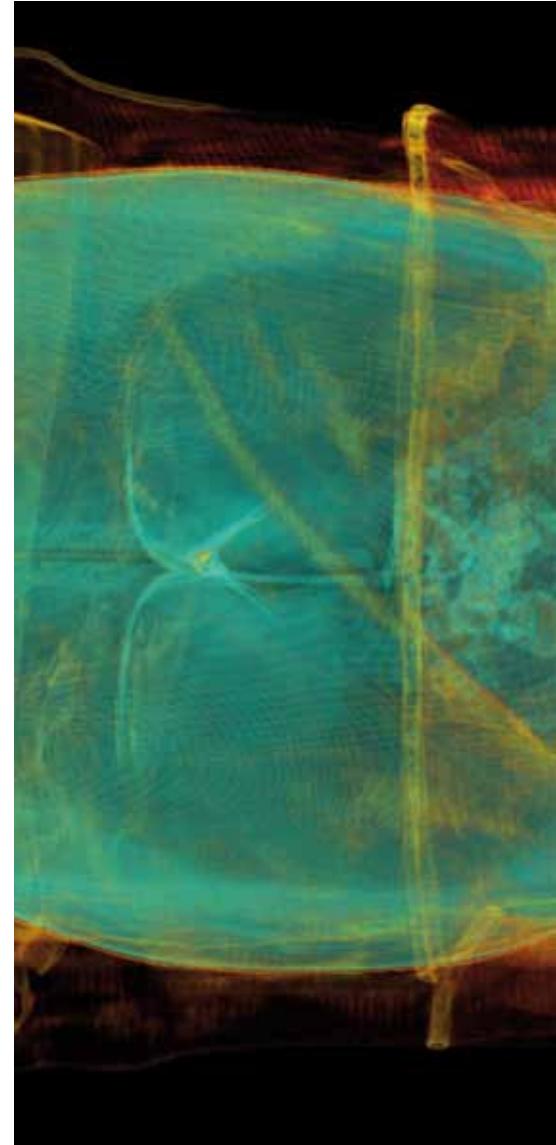
## DÉVELOPPEMENT EXPONENTIEL

En une génération, l'imagerie médicale a en effet connu un développement exponentiel. Les différentes technologies utilisées aujourd'hui dans les scanners (rayons X, résonance magnétique, émission de positrons, échographie...) existent pour la plupart depuis plus de trente ans. Mais les progrès réalisés au cours de ces deux dernières décennies ont permis d'en faire des outils indispensables à la médecine, au point même de modifier sa pratique.

«Nous assistons à un glissement de plus en plus accentué d'une médecine empirique, s'apparentant à un art maîtrisé par de véritables artisans, vers une pratique médicale basée sur des faits et des preuves, précise Osman Ratib. Dans notre société, le médecin n'a plus le droit à l'erreur. Tout acte médical doit désormais être justifié et docu-

menté. Auparavant, par exemple, le cardiologue était capable, sur la base de sa longue expérience, d'entendre à l'aide de son stéthoscope une valve cardiaque qui fuit dans la poitrine de son patient. Mais le risque de ne pas l'entendre a toujours existé. Aujourd'hui, au moindre doute, le praticien réalise une image échographique qui enlève immédiatement toute ambiguïté. L'imagerie médicale apporte souvent la preuve d'un diagnostic tout en rassurant le médecin dans ses choix. Ce dernier se sentira plus à l'aise ensuite pour traiter ou intervenir. Il n'aura pas la crainte d'ouvrir le thorax d'un patient pour rien.»

L'imagerie permet aux chirurgiens de préparer l'intervention dans les moindres détails



Mieux: l'imagerie offre aujourd'hui aux chirurgiens une vue détaillée de l'intérieur du corps qu'ils vont opérer. Cela leur permet de préparer l'intervention dans les moindres détails. Cette phase est d'autant plus importante que de plus en plus d'opérations se font par voie endoscopique. La caméra, le scalpel et les autres instruments miniaturisés entrent par deux ou trois trous (la tendance actuelle vise à ne plus pratiquer qu'un seul trou) et se frayent un chemin vers la cible, qui est parfois éloignée. Dans ce genre d'aventure, il est précieux de reconnaître au mieux le parcours afin d'éviter les surprises en cours de route.

# E INTÉRIEURE

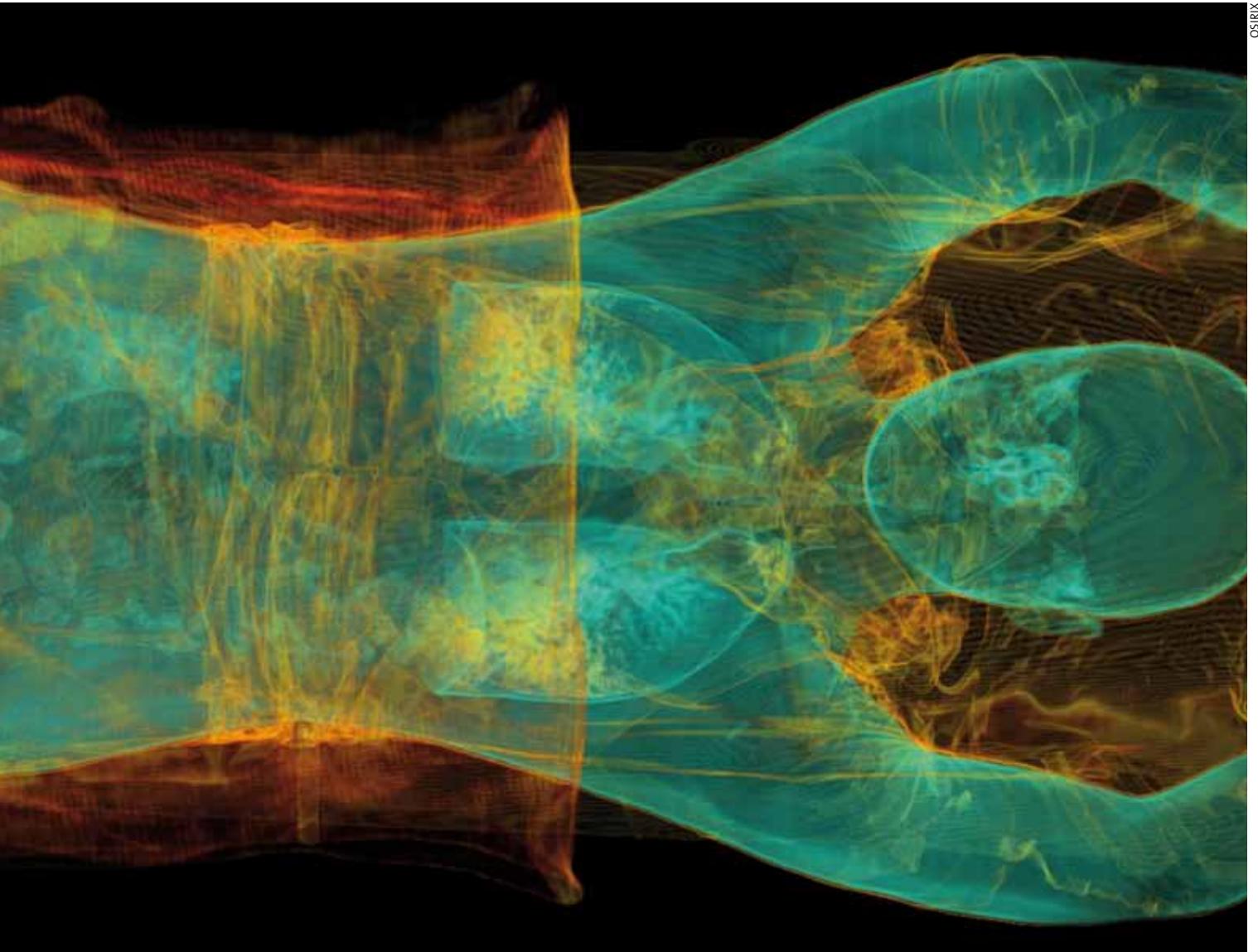


Image obtenue à l'aide d'un scanner aux rayons X et retravaillée avec le logiciel Osirix.

«Dès que la tablette électronique fabriquée par Apple est arrivée sur le marché en janvier de cette année, les chirurgiens l'ont emportée avec eux dans le bloc opératoire, relève Osman Ratib. Ils peuvent ainsi consulter, au cours de l'opération, les images en trois dimensions des organes du patient. Et éviter des erreurs.»

## RÊVE LOINTAIN

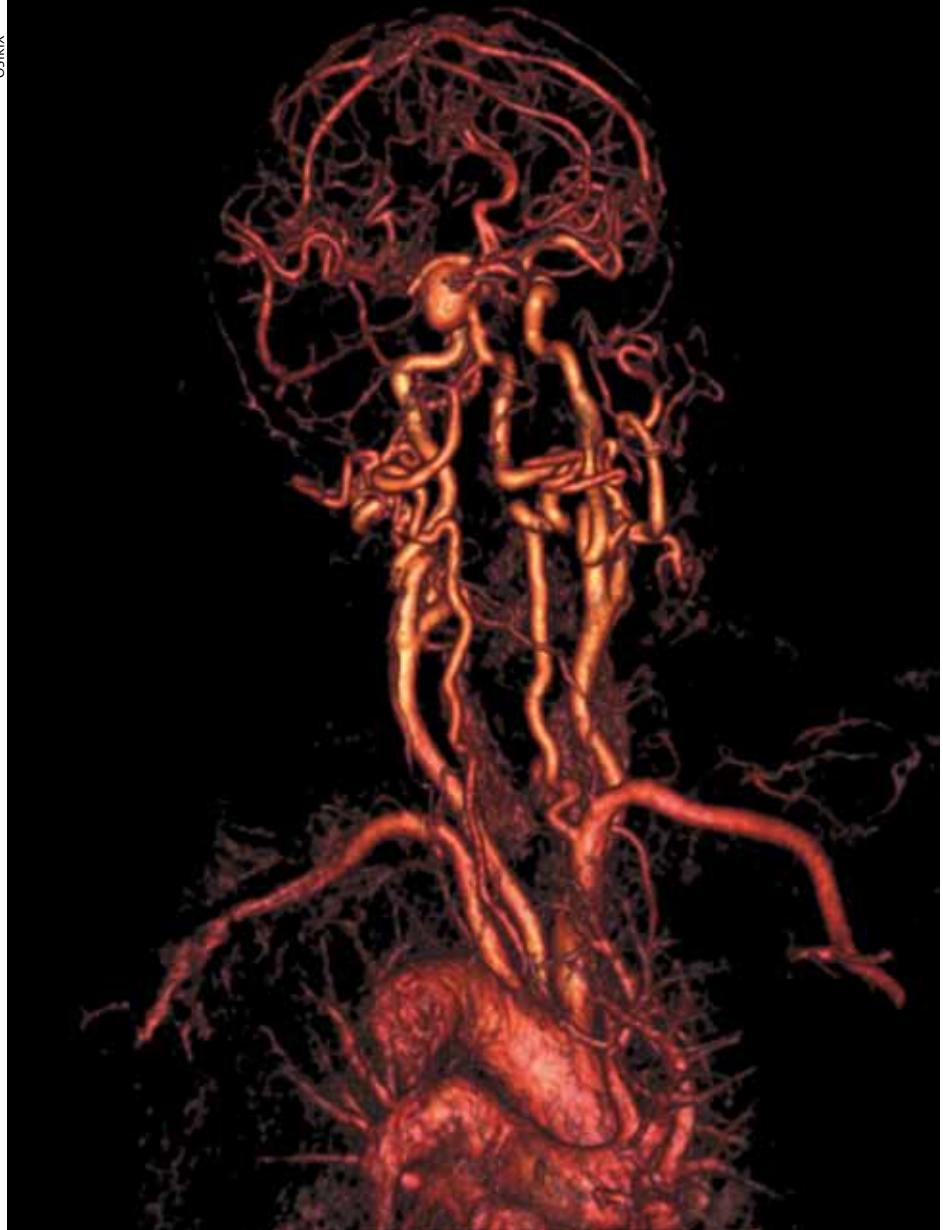
Vingt ans plus tôt, cette réalité n'est pourtant encore qu'un rêve très lointain. Quand la première IRM (imagerie par résonance magnétique) arrive à l'Hôpital cantonal de Genève dans la seconde moitié des années 1980, les médecins peinent à comprendre

son fonctionnement. Celle-ci est basée sur des protons qui résonnent sous l'effet d'un champ magnétique et qui révèlent, par l'envoi d'un signal, la présence de plus ou moins d'eau. «J'avais étudié la physique, donc cela ne me faisait pas peur, s'amuse Osman Ratib. Mais pour nombre de mes camarades, l'IRM sortait tout droit d'un roman de science-fiction.»

La machine s'apprête néanmoins à rendre de fiers services à la médecine. En effet, en plus de n'émettre aucun rayonnement nuisible à la santé (contrairement aux rayons X), l'IRM permet de visualiser avec une grande précision les tissus mous du corps humain. ►

Organes, muscles, vaisseaux sanguins n'ont plus de secrets pour lui. En revanche, ses performances sont moins bonnes avec les parties dures comme les os.

Cet appareil constitue alors un parfait complément au CT-scan (Computed Tomography Scan), dont les premiers exemplaires ont été mis au point au début des années 1970 déjà. Dans cette machine fonctionnant aux rayons X, émetteur et détecteur tournent autour du patient et réalisent des images de son anatomie par tranches successives. Les clichés sont réalisés grâce aux différences d'opacité des tissus aux rayons X. Ce sont donc les os que l'on détecte le plus facilement. ►



Radiographie du système circulatoire obtenue grâce à l'injection dans les vaisseaux sanguins d'un produit opaque aux rayons X.

Les organes apparaissent aussi, mais le CT-scan peine à distinguer les tissus mous lorsqu'ils se touchent, contrairement à l'IRM.

Il existe à cette époque une troisième technique d'imagerie: la tomographie par émission de positrons (PET-scan), utilisée dans les hôpitaux occidentaux depuis les années 1970 également. Une telle machine détecte des concentrations de molécules (du glucose, par exemple) préalablement marquées par un atome radioactif. Ce dernier émet spontanément un positron (électron chargé positivement) qui se désintègre dès qu'il rencontre un électron, c'est-à-dire immédiatement. Cette annihilation provoque l'émission de deux photons de haute énergie dans des directions opposées qui sont alors captées par des détecteurs. Le PET-scan permet donc de voir dans quels endroits du corps circule la substance marquée, ce qui peut renseigner sur le métabolisme ou la localisation de tumeurs. Les images sont cependant relativement floues et il est parfois difficile de localiser avec précision un cancer.

Grâce aux progrès techniques, les radiologues commencent progressivement à créer des images en trois dimensions à partir des coupes de plus en plus fines. Et puis, les images ont commencé à bouger...

*«J'ai bien senti cette évolution en tant que cardiologue, note Osman Ratib. Pour obtenir une image d'un cœur, il faut aller vite, car il bouge sans arrêt. On doit également se synchroniser avec l'électrocardiogramme. Bref, c'est un travail délicat. Et puis, petit à petit, j'ai vu arriver des scanners assez rapides pour réaliser une image de l'organe entier en trois dimensions. Les performances augmentant encore, il a finalement été possible de voir battre le cœur, grâce à une dizaine d'images séquencées. Bienvenue dans la quatrième dimension.»*

Entre autres choses, ce développement a permis d'examiner, sans les ouvrir, des patients souffrant de malformations cardiaques congénitales et opérés des décennies plus tôt. Les médecins ont ainsi pu vérifier l'état de l'organe et éviter quelques opérations inutiles.

«Il a finalement été possible de voir battre le cœur, grâce à une dizaine d'images séquencées. Bienvenue dans la quatrième dimension»

Après avoir exploré la quatrième dimension, les radiologues ont mis un pied dans la cinquième. Au début des années 2000, l'industrie parvient en effet à fusionner en une seule machine un CT-scan avec un PET-scan. L'appareil en question peut obtenir une image de l'intérieur du corps en trois dimensions qui évolue dans le temps et sur laquelle on peut mesurer le métabolisme. L'un des avantages principaux de cette innovation est que les résultats flous obtenus avec le seul PET-scan peuvent désormais être mieux localisés.

«Un PET-CT-scan est en mesure de détecter un cœur qui souffre d'une ischémie, un muscle en apparence sain, mais dont le métabolisme est déréglé ou encore un cerveau qui présente les premiers signes de la maladie d'Alzheimer, énumère Osman Ratib. Et, surtout, au lieu de passer des examens à deux jours d'intervalle, sur deux machines différentes, avec toutes les difficultés techniques que cela entraîne pour la superposition des images, le patient ne vient qu'une seule fois.»

Dans la même veine, la toute dernière nouveauté mondiale est la fusion d'une IRM avec

un PET-scan. Les Hôpitaux universitaires de Genève et le Mount Sinaï Hospital à New York sont les premiers à avoir acquis au début de cette année un exemplaire d'une telle machine. L'installation, assez imposante pour l'instant, permet d'obtenir, sur le même cliché, les images précises des tissus mous ainsi que leur fonctionnement biochimique. Des recherches sont en cours pour déterminer la véritable valeur ajoutée d'un PET-IRM-scan dans différents domaines de la médecine, principalement en oncologie, mais aussi pour la neurologie, la cardiologie et les maladies infectieuses et inflammatoires.

#### SCANNER «LOW-COST»

Le perfectionnement des scanners se poursuivra sans doute encore longtemps. Le rêve absolu des radiologues – pour l'instant – est le développement d'un PET-CT-IRM-scan, la fusion ultime. D'aucuns voient, dans un futur pas si lointain, l'entrée des urgences de l'Hôpital comme un tunnel dans lequel chaque patient sévèrement accidenté passerait pour se

faire tirer le portrait complet de son anatomie avant toute chose.

Cela dit, parallèlement au développement de cette médecine de très haute technologie qui ne profite en fin de compte qu'aux Etats riches, certains industriels se tournent vers les pays en voie de développement. Envoyer en Afrique les anciennes machines devenues désuètes, même si elles sont encore très performantes, n'est pas la bonne solution. Ces appareils sont en effet trop complexes et leur entretien demande des compétences et des pièces de rechange qui font largement défaut dans les contrées pauvres et isolées. A la moindre panne, ils sont donc mis au rebut.

C'est pourquoi une ou deux compagnies tentent actuellement de mettre au point des CT-scan robustes, bon marché et faciles à entretenir. Ils seraient fabriqués de telle manière qu'en cas de défaillance, il suffirait d'enlever un boîtier et de le remplacer par un nouveau. Mais pour l'instant, le scanner «low-cost» reste de la musique d'avenir. ■

## Osirix: le secret des images 3D

Les scanners dernier cri produisent des milliards de données informatiques qui sont traitées de manière à produire, par exemple, des petits films en fausses couleurs du cœur d'un patient en train de battre tout en mesurant son métabolisme. Un des outils qui réalise cette prouesse est un logiciel conçu en Californie par deux radiologues genevois en 2004. Ce programme s'appelle Osirix et une nouvelle version (3.7.1) vient de sortir\*. Ses atouts? Facile d'utilisation, à la portée de tous, performant, très graphique et, surtout, gratuit.

Il n'y a pas si longtemps, l'acquisition et l'interprétation des images médicales étaient l'exclusivité des radiologues. «Les médecins des autres spécialités qui demandaient les examens se satisfaisaient de notre rapport écrit et détaillé, ac-

compagné d'une image ou deux en deux dimensions et parfois, si nécessaire en trois, se rappelle Osman Ratib, professeur au Département de radiologie et un des concepteurs d'Osirix. Il faut dire que les logiciels que l'on utilisait alors étaient très chers et fournissaient des résultats difficiles à interpréter. Notre objectif était que le chirurgien, l'oncologue ou encore le médecin traitant puisse lui-même gérer et manier les images que nous lui fournissons.»

Grâce à un budget du Fonds national suisse pour la recherche scientifique, Osman Ratib et Antoine Rossel, un autre radiologue genevois, produisent en un an un logiciel très performant. Il accepte tous les types de fichiers issus de n'importe quel scanner (PET, CT-scan, IRM, etc.). Il est également prévu pour réaliser

des représentations en trois, quatre ou cinq dimensions, voire au-delà si un jour d'autres s'y ajoutent. Le programme permet aussi de visualiser les organes avec n'importe quelle couleur. Du coup, les images radiologiques prennent un tour très graphique, voire même créatif. En jouant avec les couleurs, les transparences et les contrastes, certains résultats obtenus dégagent un esthétisme surprenant.

Grâce au logiciel genevois, les médecins non radiologues peuvent maintenant manier de façon autonome leurs images. Les radiologues continuent de piloter les scanners et de rédiger leurs rapports – qui restent indispensables – mais, au lieu de se contenter de faire quelques tirages, ils peuvent mettre à disposition tous leurs fichiers. A leurs collègues ensuite

(les plus motivés du moins) de manier ces données à leur guise.

Autre atout du programme: il est gratuit et son code est ouvert à tout nouveau développement proposé de l'extérieur. «Nous avons décidé de concevoir un logiciel open source car nous sommes convaincus du bien-fondé d'une telle démarche dans le monde actuel et plus particulièrement dans le milieu de l'industrie médicale qui brasse des sommes d'argent considérables, estime Osman Ratib. Le logiciel, qui a déjà été adopté par des dizaines de milliers d'utilisateurs dans le monde, a donc été testé dans des centaines d'institutions différentes. Il a reçu de nombreuses améliorations, à tel point qu'il est maintenant à toute épreuve.» ■

\* [www.osirix-viewer.com](http://www.osirix-viewer.com)

# GAGNER LA GUERRE DU POIDS

Des chercheurs de l'Université de Genève développent et promeuvent depuis plus de vingt ans une démarche originale qui vise à combattre l'obésité: l'éducation thérapeutique du patient. Cette approche a fait ses preuves, mais elle peine à se répandre



En Suisse, il semblerait que le nombre de personnes trop grosses plafonne. Selon les chiffres de l'Office fédéral de la santé publique, la part de la population adulte souffrant de surcharge pondérale (dont l'indice de masse corporelle\* est supérieur à 25) a certes augmenté ces vingt dernières années en passant de 30,3% en 1992 à 37,3% en 2007. Mais un tassement est apparu ces dernières années et les projections semblent indiquer que cette proportion pourrait ne plus bouger beaucoup et s'établir à 37,7% d'ici à 2022. La tendance est la même en ce qui concerne le sous-groupe des personnes obèses (dont l'IMC est supérieur à 30) et dont la prévalence devrait

rester aux alentours de 8%. Une telle stabilisation se retrouve dans quelques autres pays européens, notamment en Scandinavie, mais demeure une exception. Dans le reste du monde, la prévalence de la surcharge pondérale a continué à augmenter de manière importante, notamment aux Etats-Unis, pays précurseur en la matière et principal promoteur de la malbouffe, en France, connue pour son «french paradox», ou encore en Chine, pays populeux et en pleine croissance, où le nombre d'obèses a littéralement explosé en dix ans et atteindrait les 90 millions. L'Organisation mondiale de la santé, elle, parle de globéité et estime que plus de 400 millions

de personnes dans le monde étaient obèses en 2005 et qu'elles seront 700 millions en 2015.

C'est dire si la Suisse, de ce point de vue, vit comme dans un microclimat légèrement dégagé, entouré de lourds nuages. Pour Alain Golay, professeur adjoint à la Faculté de médecine et chef du Service d'enseignement thérapeutique pour maladies chroniques aux Hôpitaux universitaires de Genève (HUG), cette évolution est réjouissante, mais encore faut-il que les courbes se mettent à baisser maintenant. Car l'obésité, ça coûte. En argent et en années de vie.

Plus que d'obésité, il faudrait parler de syndrome métabolique. C'est Gerald Reaven,

OLIVIER VOGELSANG



professeur à la Stanford Medical School, qui en 1988 en a donné la première définition: l'obésité, le diabète et l'hypertension ont une cause commune qui est la résistance à l'insuline. Il est apparu depuis que cette constellation de symptômes prédispose fortement au développement de maladies cardiovasculaires.

«Dans une étude récente, nous avons montré qu'il n'existe pas de patient obèse normal du point de vue métabolique, précise Alain Golay, qui a travaillé à Stanford entre 1983 et 1988. Chez ces personnes, tous les voyants (profil lipidique, tension artérielle, glycémie...) sont au moins à la limite du rouge, s'ils ne sont pas carrément dedans.

*Tôt ou tard, si elles ne perdent pas du poids, elles finiront par développer un diabète (qui peut déboucher sur des amputations ou la cécité), de l'hypertension, des maladies cardio-vasculaires ou encore des problèmes ostéo-articulaires. A cela s'ajoute une récente découverte: l'obésité multiplie par deux ou trois le risque de développer des cancers.»*

#### «BOMBE ATOMIQUE»

En vingt ans, beaucoup de progrès ont également été réalisés sur la compréhension du fonctionnement des tissus adipeux. Ces cellules, que les chercheurs considéraient auparavant comme de simples espaces de stockage des graisses, possèdent en réalité ►

## Inégaux face à la calorie

S'il est vrai que l'environnement est de plus en plus obésogène dans le monde, il ne faut pas négliger les facteurs génétiques dans la problématique de l'obésité. Certaines populations, par exemple au Vietnam, en Chine et en Polynésie ou en Amérique ont connu dans un passé relativement récent de nombreuses famines répétitives qui ont opéré une sélection parmi elles. Les descendants des survivants ont plus de chances de présenter un profil génétique qui favorise l'économie d'énergie et qui leur a permis de traverser les périodes de disettes. Seulement, ce qui était un avantage dans le passé devient un désavantage aujourd'hui. L'abondance alimentaire étant en effet devenue leur quotidien, ces populations sont maintenant les principales victimes de l'obésité en raison du fait qu'elles stockent trop facilement les calories.

de nombreuses autres fonctions, dont celles de sécréter des dizaines de molécules différentes. Parmi elles se trouvent des hormones qui jouent des rôles dans des processus comme la faim, la satiété et même l'inflammation. Ces diverses régulations hormonales sont perturbées chez les obèses. Autrement dit, «les tissus adipeux sont une bombe atomique», s'emporte Alain Golay.

Cette constellation de problèmes concerne avant tout les personnes obèses, mais touche également, bien que dans une moindre mesure, celles qui ne souffrent que d'une surcharge pondérale. Dans l'ensemble, les conséquences de cette maladie chronique ont un coût pour la société. Une étude com-

mandée par l'OFSP en 2009 a estimé que le surpoids a représenté en 2006 un fardeau de 3,8 milliards de francs, soit 7,3% du total des dépenses de santé en Suisse. L'obésité seule a, elle, coûté 1,8 milliard de francs, ce qui correspond aussi à 0,38% du produit intérieur brut. Ce dernier chiffre se trouve d'ailleurs dans la fourchette des pays de l'Union européenne.

#### JOUER AU YO-YO

Pour lutter contre ce fléau, il faut tenter de faire maigrir les obèses et, surtout, éviter que d'autres ne deviennent trop gros. Plus facile à dire qu'à faire. Pour y parvenir, Alain Golay ne parle pas un kopek sur les régimes min-

ceurs de l'été. «Les régimes restrictifs que l'on découvre régulièrement dans la presse féminine représentent le meilleur moyen de grossir davantage», souligne-t-il. «Ils fonctionnent un temps, jusqu'à ce que le patient se décourage et reprene le poids. Son tour de taille commence alors à jouer au yo-yo. Par ailleurs, ces régimes sont souvent sévères et déséquilibrés. Ils provoquent chez les personnes obèses qui les suivent de nombreuses carences (fer, oligo-éléments, acides gras, vitamines, etc.) et aggravent les troubles du comportement alimentaire.»

Le médecin genevois a mieux à proposer. Pour lui, une partie de la solution passe par une démarche plus «humaniste», connue sous le nom d'«éducation thérapeutique du patient». L'idée est de centrer la thérapie sur les besoins du patient, mais aussi sur ses capacités à changer ses habitudes. «Il ne sert à rien d'imposer à une personne obèse des règles qu'elle ne pourra pas tenir sur le long terme», précise Alain Golay. Nous préconisons de chercher, au cas par cas, les changements que le patient peut apporter aisément à son mode de vie. Pour l'un, il s'agira de boire un peu moins d'alcool, pour l'autre d'arrêter les biscuits, pour un troisième de réduire sa consommation de pain ou de viande rouge, etc. Nous proposons d'enseigner au patient les liens entre son comportement et les symptômes de sa maladie pour qu'il puisse prendre lui-même les bonnes décisions. Il peut bien entendu bénéficier d'un suivi médico-pédagogique.»

#### DIMINUTION DE 80%

De manière générale, l'«empowerment» des patients donne de très bons résultats. Dans un article paru dans la revue *Patient Education and Counseling* du mois de juin 2010, le médecin genevois présente la compilation et l'analyse des résultats de centaines d'études scientifiques sur le sujet. Dans 64% des travaux retenus, l'éducation thérapeutique des patients souffrant de maladies chroniques ou d'obésité s'est avérée efficace. Les complications liées à ces maladies ont, quant à elles, été diminuées dans certains cas de 80%.

L'Université de Genève a beaucoup contribué au développement de l'«éducation thérapeutique du patient». Un des pionniers dans ce domaine est le professeur Jean-Philippe Assal, prédecesseur d'Alain Golay et aujourd'hui à la retraite. On parle même au-

Publicité



Selon les chercheurs genevois, il ne faut pas imposer à une personne obèse des règles qu'elle ne pourra pas tenir. Il faut qu'elle apporte elle-même des changements à son mode de vie qu'elle juge acceptables. PHOTO: OLIVIER VOGELSANG

jourd'hui de l'«Ecole genevoise». Preuve de l'activisme des chercheurs de la Cité dans ce domaine: le Service d'enseignement thérapeutique pour maladies chroniques des HUG a reçu le titre de «Centre collaborateur de l'OMS» en 1983 et c'est à Genève que s'est tenu le premier Congrès mondial d'éducation thérapeutique du patient en 1994, tout comme son équivalent européen en 2001.

Cela ne signifie pas pour autant que le monde entier a décidé d'adopter cette démarche. Alain Golay fait état de la venue de nombreux visiteurs étrangers, notamment une délégation du gouvernement français qui est en train de préparer une loi sur l'éducation thérapeutique. Mais l'approche que promeut Genève est encore peu enseignée dans les Facultés de médecine et les formations du personnel soignant. Elle est particulièrement absente aux Etats-Unis, où le problème est pourtant le plus criant (deux tiers des habitants de ce pays souffrent de surcharge pondérale et la proportion continue d'augmenter).

#### MAUVAIS EXEMPLE

«Ce pays est l'exemple de ce qu'il ne faut pas faire, estime Alain Golay. La médecine y représente un tel business qu'une démarche qui ne rapporte rien à personne, sauf au ministre de la Santé, a peu de chances de s'implanter. Pourtant, on sait que pour 1 franc investi dans l'éducation thérapeu-

tique des patients, on peut en économiser 4 sur les complications médicales qui seront évitées.»

«Pour 1 franc investi dans l'éducation thérapeutique, on peut en économiser 4 sur les complications médicales qui seront évitées»

Si la connaissance de l'obésité et sa prise en charge ont considérablement évolué ces vingt dernières années, il est une chose qui n'a pas vraiment changé: les croyances des gens vis-à-vis de l'embonpoint. La plus répandue est celle qui veut qu'un enfant joufflu est en bonne santé, alors que celui qui est mince ne l'est pas. «Quand nous essayons d'introduire des cours de diététique à l'école, par exemple, certains parents se plaignent ensuite du fait que leurs enfants renâclent à manger leur nourriture, note Alain Golay. De manière générale, les gens estiment qu'être gros est un style de vie et non une maladie liée à un trouble du comportement alimentaire. C'est ce qui est le plus difficile à changer.»

Les efforts de l'équipe d'Alain Golay ont-ils contribué à stabiliser l'épidémie d'obésité en Suisse? Difficile à dire. Ils ont en tout cas œuvré dans le bon sens, tout comme les changements progressifs introduits depuis vingt ans dans l'environnement helvétique: plus de pistes cyclables, davantage de cours d'éducation alimentaire et physique à l'école, etc. ■

\* L'IMC se calcule en divisant le poids de l'individu en kg par sa taille élevée au carré. Une valeur comprise entre 20 et 25 correspond à un poids normal. S'il se situe entre 25 et 30, l'indice traduit une surcharge pondérale. Au-delà de 30, on parle d'obésité. Ce calcul n'est pas valable pour les enfants de moins de 15 ans.

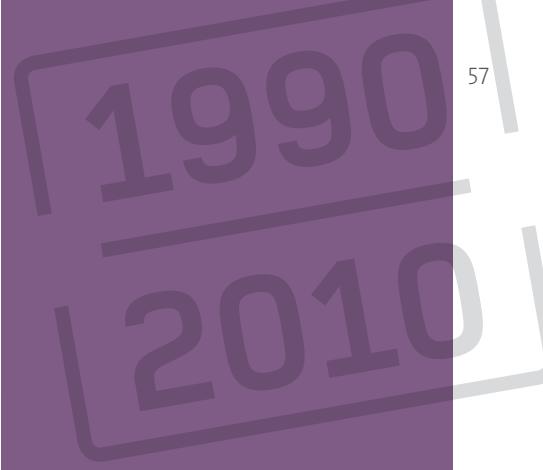
# LES PETITS SECRETS DE



# LA VIE



ISTOCK



---

La décision de décrypter le génome humain entier a été prise en 1990. Sa complétion a fourni aux biologistes un outil (trop) puissant pour mener leurs recherches

---

Les cellules souches représentent un espoir pour le traitement de nombreuses maladies complexes. Les premiers essais cliniques sont sur le point de commencer avec des patients atteints de la maladie de Parkinson

---

Les progrès dans les sciences de la vie n'ont pas eu lieu sans quelques frictions. L'éthique biomédicale a pris beaucoup d'importance en vingt ans



Représentation de la double hélice d'ADN. PHOTO: ISTOCK

# LE GÉNOME HUMAIN, UN OUTIL TROP FORMIDABLE

---

**Le déchiffrage du génome de l'être humain, commencé il y a vingt ans, et les progrès techniques qui l'ont accompagné ont apporté aux biologistes des outils d'une puissance inédite. Entretien avec Denis Duboule, professeur au Département de zoologie et biologie animale, Faculté des sciences**

## Que faisiez-vous en 1990?

DENIS DUBOULE: Je travaillais au Laboratoire européen de biologie moléculaire à Heidelberg en Allemagne. J'ai donc vu arriver les trabants venues de l'Est juste après la chute du Mur en novembre 1989. Du point de vue professionnel, j'étudiais les gènes HOX, autrement dit les gènes architectes dont l'action au cours du développement embryonnaire permet, entre autres, aux bons organes et membres d'apparaître aux bons endroits. La génétique du développement est d'ailleurs toujours mon sujet d'étude principal.

## C'est la même année que la décision a été prise de séquencer le génome humain...

L'idée, venue des Etats-Unis, remonte à 1985, mais c'est en effet en 1990 qu'un consortium international se lance dans l'aventure. Un premier brouillon est publié en 2000 et la version finale en 2003. Cela a changé la vie des biologistes. Pas du point de vue conceptuel, mais par le fait qu'on a fourni aux chercheurs un outil incroyablement puissant. Ou plutôt des outils, puisque désormais nous disposons non seulement du génome humain en entier (ainsi que celui d'un nombre croissant

d'organismes vivants), mais aussi d'une technologie de plus en plus performante pour séquencer de nouveaux brins d'ADN.

## Quel impact ces outils ont-ils eu sur votre travail?

A la fin des années 1980, quand nous parvenions à séquencer 50 paires de bases (une paire de bases est l'unité de base du code génétique) sur un gel de façon lisible avant la fin de la journée, nous étions contents. Aujourd'hui, il est déjà question de séquencer un génome entier en une journée (trois mil-

liards de paires de bases pour l'être humain). A cela s'ajoute le fait que nous disposons du code entier sur Internet et que nous pouvons trouver immédiatement n'importe quelle séquence. Ce qui était évidemment impossible avant.

### **Vous pouvez donc travailler plus rapidement qu'avant...**

Oui, certainement, mais ce saut technologique a également eu des répercussions inattendues qui posent des problèmes épistémologiques. En d'autres termes, nous disposons de trop de technologie et de trop de résultats par rapport à notre capacité à y réfléchir. On peut comparer le travail du généticien à la confection d'une broderie. Auparavant, son approche était très artisanale. Chaque point dans le tissu était réfléchi et ce qui était important était de le pratiquer au bon endroit. Aujourd'hui, le chercheur réalise des centaines de millions de trous n'importe où et ne conserve que ceux qui l'intéressent dans le cadre de son étude. Nous avons trop de données, alors qu'auparavant nous n'en avions pas assez. Du coup, il faut en éliminer. Mais lesquelles? Et pourquoi? Du point de vue scientifique ce ne sont pas des questions triviales. De plus, le biologiste se distancie de plus en plus du matériel qu'il étudie, que ce soit un animal, une plante ou des cellules en culture.

### **Comment cela?**

Ces dix dernières années ont vu déferler une vague de «omiques»: la génomique, la transcriptomique, la protéomique, etc. Toutes ces nouvelles disciplines hautement informatisées (elles étudient respectivement l'ensemble des gènes, des ARN messagers et des protéines d'un organisme) éloignent le scientifique de son sujet de recherche. Si j'ose changer de métaphore et passer de la broderie à la charcuterie, le biologiste d'aujourd'hui est un charcutier industriel au tablier propre. Il a perdu le contact avec le matériel biologique, quel qu'il soit. Il importe des millions de petits morceaux dont on perd la traçabilité, il sous-traite une partie de son travail à des plateformes technologiques et il fait tourner des ordinateurs. D'ailleurs, on entend de plus en plus de gens – pas forcément les plus compétents – prétendre que l'on n'a plus besoin d'animaux pour comprendre la biologie.

### **Et vous, continuez-vous à travailler sur des embryons de souris**

Oui, et nous en avons beaucoup. Ces disciplines «omiques» nécessitent une quantité importante de matériel biologique au départ. Une biopsie de peau chez un être humain peut fournir suffisamment de matière. Mais un échantillon prélevé sur un embryon de souris (notre sujet d'étude de prédilection) n'en donne pas assez. C'est pourquoi il nous en faut un grand nombre.

### **En ce qui vous concerne, vous n'avez donc pas perdu le contact avec le «matériel biologique».**

Notre situation est particulière. Ce qui se fait dans mon laboratoire ne peut pas se faire partout ailleurs. Nous possédons en effet une grande animalerie – destinée notamment à réaliser des croisements – qui serait difficile à maintenir ailleurs, par exemple aux Etats-Unis, où les coûts seraient prohibitifs. Il n'existe plus que quelques pays en Europe (dont la Suisse, l'Allemagne et l'Angleterre) où l'on peut encore se permettre de telles recherches en génétique des mammifères. Parce que les conditions de financement de la recherche fondamentale y sont encore favorables. La majorité de mes collègues embryologistes travaillent dans des conditions moins bonnes.

### **Le séquençage du génome humain a-t-il apporté des progrès en médecine?**

C'est un outil qui a été très utile pour l'étude des contributions génétiques aux maladies.

«Le génome humain a permis à la biologie d'avancer à pas de géant, mais il n'a rien révélé de fondamental que l'on ne sache déjà»

Grâce à des méthodes de comparaison entre génomes, les généticiens ont identifié de nombreuses variations génétiques prédisposant à certaines affections. Ce travail a porté ses fruits particulièrement dans le cas des maladies dites monogéniques, c'est-à-dire qui ne sont causées par la mutation que d'un seul gène. Mais jusqu'à présent, il s'est révélé un peu plus décevant en ce qui concerne les maladies plus complexes dans lesquelles plusieurs gènes sont impliqués (diabète, obésité, Alzheimer...). Il existe des explications à cela. Plus il existe de gènes impliqués, plus les études nécessitent de malades afin de localiser les mutations éventuelles, il faut des cohortes de patients bien organisées, etc. C'est un travail difficile. Dans les conférences spécialisées, on sent que l'optimisme des débuts s'est un peu refroidi. Les progrès ne sont pas venus aussi vite que l'on espérait. Mais ils viendront, même s'il n'est pas facile de savoir quand.

### **Et, du point de vue de la recherche fondamentale, le déchiffrage du code représente-t-il une révolution scientifique?**

Non. Il représente un outil très puissant qui a permis à la biologie d'avancer à pas de géant, mais il n'a rien révélé de fondamental que l'on ne sache déjà. Que l'homme ne possède pas tant de gènes que cela (environ 25 000, autant que la souris) n'est en soi pas révolutionnaire. Certes, les biologistes ont découvert de nouvelles fonctions pour de petits brins d'ARN. Vingt ans en arrière, pour les chercheurs, l'ARN servait de messager entre l'ADN et la synthèse des protéines. Aujourd'hui, on s'aperçoit que la moitié de l'ARN sert à autre chose. Une partie de ces molécules est impliquée dans la régulation des gènes, mais la majorité d'entre elles possède une fonction encore inconnue. Mais cette découverte a été réalisée grâce au génome du *nématode Caenorhabditis elegans* et non celui de l'homme.

### **Reste-t-il encore beaucoup à découvrir en génétique?**

Bien sûr. Depuis la fin des années 1990, les biologistes ont compris beaucoup de choses. Mais bien d'autres leur échappent toujours. Un exemple parmi tant d'autres: comment les gènes s'y prennent-ils pour donner une forme aux organismes? La morphogenèse demeure toujours un grand mystère. ■

# LES CELLULES SOUCHES EMBRYO À LA SOURCE DE L'HUMAIN

**Les premières thérapies basées sur les cellules souches embryonnaires humaines pourraient être mises au point dans quelques années, après plus d'une décennie de travail acharné**

Au début des années 1990, les chercheurs travaillent dur à isoler la première cellule-souche embryonnaire humaine. Ils y sont déjà parvenus avec la souris dix ans auparavant, mais rencontrent des difficultés inattendues – et toujours inexpliquées – avec l'être humain. Ce n'est qu'en 1998 que leurs efforts sont couronnés de succès, grâce aux travaux de l'équipe dirigée par James Thomson de l'Université de Wisconsin-Madison aux Etats-Unis. Mais si les obstacles techniques sont alors surmontés, les problèmes politiques et éthiques ne font que commencer. En Suisse aussi, même si elle prend quelques années de retard.

## VIVES CONTROVERSES

L'entrée des cellules souches embryonnaires humaines dans les laboratoires helvétiques commence au printemps 2000. Karl-Heinz Krause, alors responsable du Laboratoire d'immunologie et du vieillissement de l'Hôpital de gériatrie de Genève, et sa collègue Marisa Jaconi décident alors d'étudier leurs propriétés pluripotentes. L'idée se heurte toutefois à un obstacle législatif. Il n'existe alors aucun cadre légal régissant l'utilisation de la meilleure source possible de ces cellules souches, à savoir les embryons surnuméraires provenant des programmes de procréation médicalement assistée. Tout au plus la loi interdit-elle la création d'embryons humains à d'autres fins que l'insémination artificielle.

Les deux scientifiques proposent alors d'importer les cellules souches – sur lesquelles la loi est muette – et demandent un financement pour leurs travaux au Fonds national suisse pour la recherche scientifique (FNS). La question soulève de vives controverses éthiques alimentant le débat jusque

sur la place publique. Après moult tergiversations, diverses consultations et contre l'avis nuancé de la toute nouvelle Commission nationale d'éthique appelée à examiner la question durant sa toute première séance, le FNS décide en septembre 2001 de délier les cordons de sa bourse.

Le tollé qui s'ensuit est suffisant pour que le Conseil fédéral annonce, dans la foulée, la mise en chantier d'une loi réglementant la question. Le texte est adopté au parlement en septembre 2003, puis en votation (plus de

66% de oui) le 28 novembre 2004. Karl-Heinz Krause et Marisa Jaconi, qui travaillent alors depuis trois ans sur des cellules souches embryonnaires humaines, sont arrivés à leurs fins.

*«Le choix de relever l'existence de cette brèche législative pour lancer le débat sur ce sujet était délibéré, se souvient Karl-Heinz Krause, aujourd'hui professeur au Département de pathologie et d'immunologie (Faculté de médecine). Nous l'avons fait en concertation avec le FNS. Notre souhait était qu'une loi soit votée et je pense que nous y avons contribué. Je suis satisfait du résultat puisque nous avons maintenant le droit, dans des conditions assez strictes il est vrai, de créer des lignées de cellules souches en Suisse à partir d'embryons humains surnuméraires issus des programmes d'insémination artificielle.»*

## BOUTS DE DENT

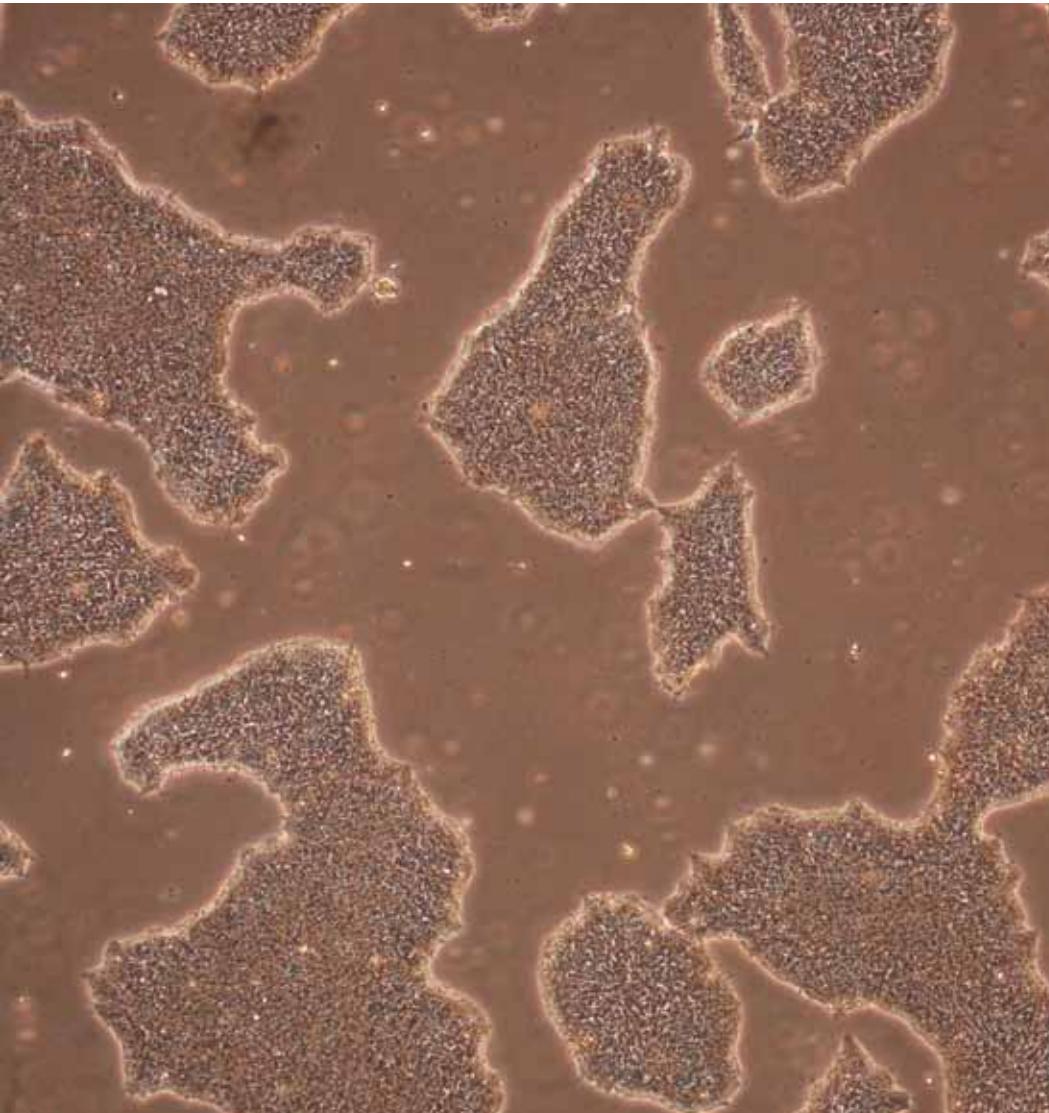
Il aura cependant fallu du temps pour les apprivoiser, ces cellules souches. Les premières manifestations de leurs talents pluripotents remontent au moins au XIX<sup>e</sup> siècle. Les médecins connaissent en effet depuis longtemps l'existence de tératomes, de grosses boules de cellules qui se développent dans divers endroits de l'organisme. Les chercheurs ont remarqué que ces tumeurs en général bénignes sont composées d'un mélange ahurissant de toutes sortes de cellules. On y trouve même parfois des bouts de dent.

*«Il arrive – très rarement, il est vrai – qu'une cellule souche se détache de l'embryon présent dans l'utérus d'une femme enceinte, explique Karl-Heinz Krause. Cette cellule entre alors dans la circulation sanguine et commence à se développer n'importe où, de manière chaotique, comme une tumeur. C'est ainsi que les chercheurs se sont rendu compte du potentiel de ces cellules souches.»*

«Je suis satisfait puisque nous avons maintenant le droit de créer des lignées de cellules souches en Suisse»

# NNAIRES,

OLIVER PREYNAT-SEAUVE & VANNARY TIENG-CAULET/UNIGE



Colonies de plusieurs milliers de cellules souches embryonnaires non différenciées. En modifiant les conditions de culture et grâce à certaines manipulations précises, ces cellules peuvent se spécialiser en n'importe quel tissu du corps humain.

C'est donc en 1981 que la première cellule-souche embryonnaire de souris est isolée. Elle devient rapidement un outil de laboratoire incontournable. La motivation principale est alors l'étude de l'embryogenèse (c'est-à-dire les différentes phases du développement d'un embryon) et la fabrication de souris transgéniques dites *knock-out*. Il s'agit de rongeurs auxquels il manque un gène pré-

cis, celui dont on veut justement découvrir la fonction. Ces animaux transgéniques sont fabriqués à partir d'une cellule souche sur laquelle est pratiquée l'ablation du gène et qui est ensuite réinjectée dans un embryon que l'on laisse se développer.

La technologie *knock-out*, alliée à d'autres méthodes de génie génétique, a permis un gigantesque bond en avant dans la ►

## Ce que dit la loi

La loi suisse autorise le prélèvement de cellules souches à des fins de recherche sur des embryons surnuméraires, issus des programmes d'insémination artificielle. Mais seulement sous certaines conditions. Les scientifiques doivent d'abord obtenir toutes les autorisations nécessaires. Ensuite, les embryons ne peuvent pas être obtenus contre rémunération, afin d'éviter que certaines personnes n'en fassent le commerce. Les parents biologiques doivent aussi donner leur consentement éclairé et ne plus avoir de projet de parentalité. Enfin, les embryons doivent déjà exister au moment de la demande, autrement dit, on n'a pas le droit de concevoir des embryons dans le seul but d'en tirer des cellules souches.

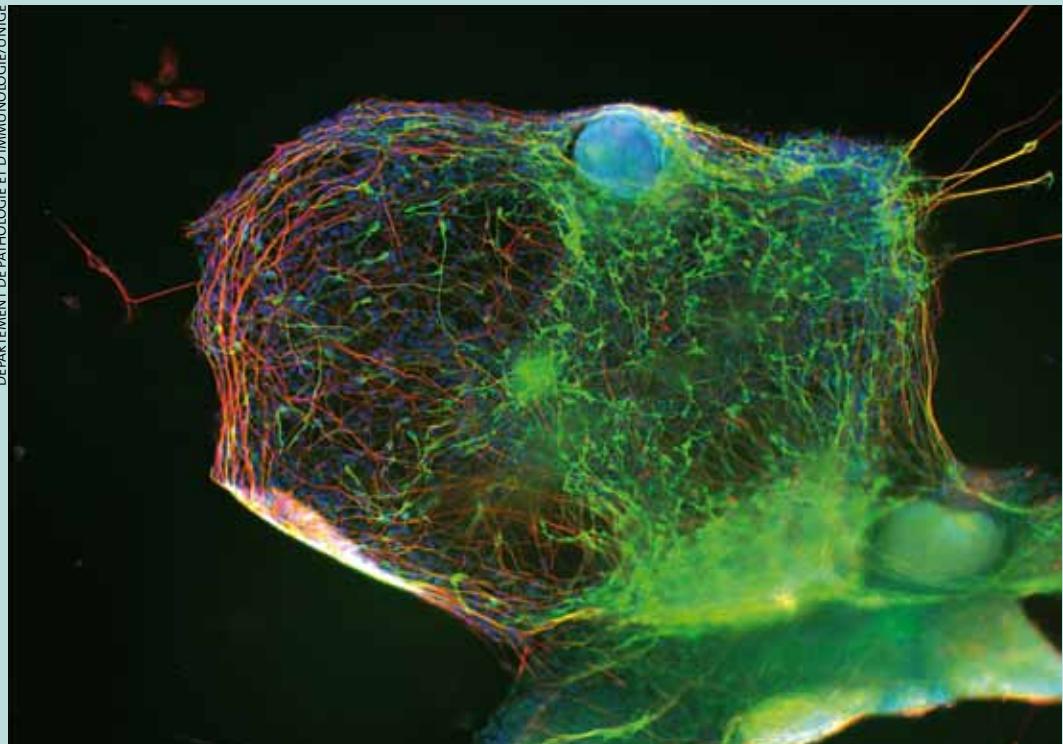
Sur ce dernier point, d'autres pays ont pris des décisions différentes. En Grande-Bretagne, par exemple, on peut créer un embryon à des fins de recherche scientifique, du moment que ce dernier ne dépasse pas le stade des 14 jours, limite à partir de laquelle on commence à le considérer, légalement, comme un être humain. D'autres Etats et cultures estiment que cette limite se situe bien plus tard, au moment où l'embryon acquiert la forme humaine, c'est-à-dire après plusieurs mois de gestation.

De toute façon, il semble impossible de définir de manière absolue le moment à partir duquel un embryon est un être humain. Curieusement, la Suisse a adopté la même position que celle de l'Eglise catholique, c'est-à-dire la plus contrainte. Elle considère que l'on a affaire à un être humain dès que les noyaux du spermatozoïde et de l'ovule ont fusionné. Avant même la première division cellulaire. Biologiquement, cela ne fait aucun sens, estiment les chercheurs. Et ce d'autant plus qu'en Suisse, l'ovule imprégné, c'est-à-dire fécondé, mais dont le noyau n'a pas encore fusionné avec celui du spermatozoïde, n'est pas protégé du tout. Il est permis de détruire cette cellule totipotente, qui peut donner naissance à un être vivant. En revanche, celui qui la laisse se diviser dans un autre but que le développement d'un enfant risque la prison.

Finalement, ce n'est donc que parce qu'il existe des embryons surnuméraires, dont le destin est, de par la loi, de finir dans une poubelle, que la recherche sur les cellules souches a pu avoir lieu en Suisse.

# Espoir pour la maladie de Parkinson

Un projet Sinergia financé par le Fonds national pour la recherche scientifique et coordonné depuis l'Université de Genève vise à mettre au point un traitement contre cette affection dégénérative



Ensemble de neurones obtenus *in vitro* après la différenciation de cellules souches embryonnaires humaines. Les neurones dits dopanergiques sont colorés en vert.

Le Fonds national suisse pour la recherche scientifique finance depuis 2008 un projet Sinergia visant la mise au point d'un traitement contre la maladie de Parkinson basé sur des cellules souches embryonnaires humaines.

La maladie de Parkinson se traduit par la destruction de neurones spécifiques localisés dans la substance noire, une région du cerveau facilement visible par imagerie. Le but de la thérapie

cellulaire que de nombreuses équipes cherchent à mettre au point consiste à recoloniser cette région avec des neurones sains obtenus grâce à des cellules souches embryonnaires.

«La preuve de faisabilité d'un tel traitement a été apportée dès les années 1990, relève Karl-Heinz Krause, professeur au Département de pathologie et d'immunologie et coordinateur du projet Sinergia. A cette époque, plusieurs équipes ont pré-

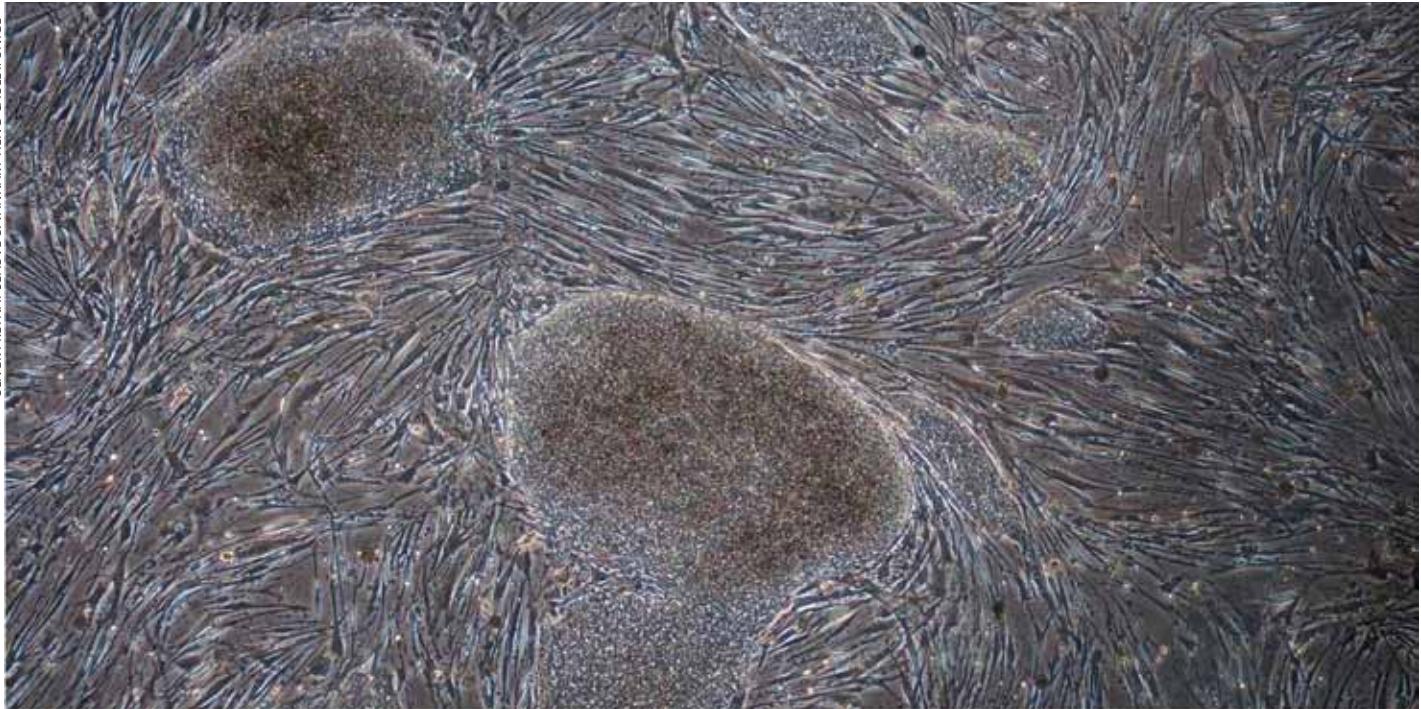
levé des cellules souches sur des fœtus avortés et les ont implantées dans des cerveaux de patients malades.»

Les résultats de ces expériences pionnières sont très variables, mais quelques patients ont montré une amélioration spectaculaire de leur état. Et même dix ans après, elles ne souffrent plus que de symptômes résiduels. Les autopsies pratiquées sur certaines de ces personnes qui sont décédées entre-temps ont révélé une bonne

survie des cellules souches implantées. Dans quelques rares cas, un début de seconde dégénérescence a été détecté. Mais le temps nécessaire pour qu'une seconde maladie de Parkinson se développe dépasse largement l'espérance de vie qui reste à ces patients généralement déjà âgés.

«La technique utilisée durant ces traitements expérimentaux n'a probablement aucun avenir, estime Karl-Heinz Krause. Elle est très difficile à standardiser et soulève d'importants problèmes éthiques: il a fallu pas moins de huit fœtus avortés par patient pour réaliser les expériences.»

En utilisant des cellules souches embryonnaires et en intégrant dans leurs rangs des bioéthiciens, les chercheurs du projet Sinergia contournent ces difficultés. Leur ambition est d'ailleurs claire: devenir le premier consortium à mettre au point une thérapie cellulaire contre la maladie de Parkinson. «Il existe des équipes ailleurs dans le monde qui, ponctuellement, sont plus en avance que nous, admet Karl-Heinz Krause. Mais notre avantage, qui me semble décisif, est que nous intégrons dès le départ dans notre programme de recherche tous les aspects du traitement: la recherche fondamentale, la sécurité du patient, les règles de bonne pratique médicale, les aspects éthiques, etc. Si nous atteignons notre objectif, nous serons à même de proposer une thérapie clé en main. Si tout va bien, dans un délai de quatre ou cinq ans, une étude clinique pourra commencer.» ■



Colonies de cellules souches (les gros îlots) mises en culture sur un substrat de cellules nourricières.

compréhension du fonctionnement des gènes et des protéines qui leur sont associées. Elle a ouvert un nouveau champ de recherche biologique et médicale dans lequel se sont engouffrés des milliers de groupes de chercheurs. C'est l'âge d'or du «tout génétique», marqué par de grandes découvertes – et aussi quelques dérives, par exemple lorsqu'il a été question de dénicher des gènes de l'homosexualité, de la criminalité, de la violence, de la pauvreté...

### DIFFICILE À MAÎTRISER

Très rapidement après que la première cellule souche humaine eut été isolée à son tour en 1998, les études sur leur plasticité commencent à fleurir. C'est alors que Marisa Iaconi, de retour d'un séjour aux Etats-Unis, rejoint le professeur genevois dans la ville du bout du lac et obtient son soutien pour se lancer dans une recherche dans ce domaine. Elle s'intéresse particulièrement à leur différenciation cardiaque. Karl-Heinz Krause succombe à son tour à l'attrait de ces cellules au potentiel si vaste. Spécialiste du vieillissement et des maladies dégénératives, il se tourne assez naturellement vers les neurones et les thérapies cellulaires.

Au début des années 2000, ce type de traitement est porteur de nombreux espoirs pour certaines affections difficiles ou impossibles à soigner. En effet, comme l'on peut, en principe, obtenir n'importe quel type de cellule du corps humain à partir d'une cellule souche embryonnaire, pourquoi ne pas songer à soigner des maladies aussi diverses que celles d'Alzheimer, de Parkinson, le diabète ou en-

core la tétraplégie? L'idée étant à chaque fois de remplacer les cellules défectueuses par de nouvelles en bonne santé.

Dix ans après, il n'existe pas encore de thérapie basée sur des cellules souches embryonnaires. Mais les choses se précisent. Le domaine qui enregistre le plus de progrès est la fabrication de cellules  $\beta$  du pancréas, celles qui sécrètent l'insuline et dont le dysfonctionnement, voire la destruction, est responsable du diabète. Un autre projet très avancé est celui qui concerne la maladie de Parkinson. Plusieurs groupes dans le monde sont sur le coup. Karl-Heinz Krause coordonne lui-même depuis 2008 un projet Sinergia, financé par le FNS, sur la mise au point d'une thérapie cellulaire contre cette affection.

Paradoxalement, alors que les chercheurs sont sur le point de mettre au point les premières thérapies à l'aide des cellules souches embryonnaires, ces dernières pourraient, bientôt, ne plus s'avérer nécessaires. En 2008, en effet, des chercheurs ont réussi à mettre au point ce qu'ils appellent des IPS (*Induced Pluripotent Stem Cells*). En d'autres termes, ils arrivent désormais à créer des cellules qui ressemblent beaucoup aux cellules souches embryonnaires à partir de fibroblastes, c'est-à-dire de simples cellules de la peau bien différenciées. Bien que pour l'instant ce sont toujours les cellules prélevées sur les embryons qui produisent les meilleurs résultats dans les essais thérapeutiques, il n'est pas exclu qu'elles soient dans un avenir relativement proche remplacées par ces nouvelles venues qui posent nettement moins de problèmes éthiques. ■

## Définitions

### > Totipotence

Une cellule est dite totipotente si elle peut, en se divisant et en se spécialisant au fur et à mesure de sa multiplication, donner naissance non seulement à tous les types de cellules, mais aussi à un organisme entier, vivant et fonctionnel. Cette cellule est donc capable, entre autres, de mettre en œuvre la morphogenèse, le processus biologique qui donne la forme aux organes ainsi qu'à l'être final. La seule cellule totipotente humaine que l'on connaisse est l'ovule imprégné, c'est-à-dire fécondé par un spermatozoïde.

### > Pluripotence

Une cellule est dite pluripotente si elle est capable de se spécialiser en n'importe quel tissu de l'organisme dont elle est issue. En revanche, elle ne peut plus donner naissance à un être entier comme le ferait l'ovule fécondé. Une cellule pluripotente ne peut pas non plus fabriquer un organe entier, à moins qu'elle ne soit réimplantée dans un embryon. Les cellules prélevées sur un embryon de quelques jours et isolées en laboratoire sont pluripotentes. Les chercheurs ont également mis au point une technique, l'IPS (*Induced Pluripotent Stem Cell*), qui permet de transformer une cellule adulte différenciée en une cellule dont les propriétés ressemblent beaucoup à celles des cellules pluripotentes embryonnaires.

# BIOÉTHIQUE: LA FIN DES GÉNÉR

**Au début, l'éthique biomédicale s'occupait surtout de la pratique médicale et des droits des patients. Aujourd'hui, le nombre de thèmes traités par la discipline a explosé. Petite présentation de l'école genevoise, dont les débuts remontent à la fin des années 1980**

*«Le changement majeur vécu par l'éthique biomédicale, c'est son foisonnement. Lorsque j'ai commencé dans la branche, il y a un peu moins de vingt ans, je pouvais en maîtriser tous les aspects. Aujourd'hui, à six ans de ma retraite, cela devient plus difficile. La spécialisation devient la règle. Je suis peut-être le dernier des généralistes.»* Alexandre Mauron sait de quoi il parle. Directeur de l'Institut d'éthique biomédicale (Faculté de médecine) depuis sa création en 1995, il est aussi le premier, en Suisse, à avoir occupé une chaire universitaire en bioéthique, en tant que professeur associé dès 1995, puis ordinaire en 2001.

Selon lui, au cours des deux dernières décennies, le champ de recherche que couvre l'éthique biomédicale s'est étendu bien au-delà des sujets «traditionnels» que représentent la pratique de la médecine au quotidien, les droits des patients, notamment lorsqu'ils sont enrôlés dans des programmes de recherche clinique, ou encore les enjeux liés aux personnes en fin de vie. Progressivement, d'autres problématiques sont venues s'y ajouter: les systèmes de santé, l'accès aux soins, l'assistance au suicide, les nouvelles technologies dans les sciences du vivant (clonage, cellules souches embryonnaires, organismes génétiquement modifiés, organismes artificiels...) voire les disciplines émergentes comme les neurosciences.

Il faut dire qu'en Suisse, cela ne fait que vingt ans que la bioéthique a commencé à se muer en discipline scientifique. C'est en 1989 qu'est fondée la Société suisse d'éthique biomédicale, aujourd'hui présidée par Samia Hurst, professeure assistante à la Faculté de médecine de Genève. La création de cette association indépendante est dans l'air du temps. A cette époque, tous les pays d'Europe suivent le mouvement de professionnalisation de la bioéthique qui trouve son origine aux Etats-Unis (lire ci-contre).

La particularité de la Suisse, c'est que, très vite, la bioéthique est mise à contribution dans les débats publics en raison de la démocratie directe. C'est ainsi qu'en 1992 ont lieu les votations sur l'article constitutionnel sur la procréation assistée et le génie génétique, en 1998, l'initiative populaire contre le génie génétique, en 2005, le scrutin au sujet des aliments sans OGM ou encore, en mars de cette année, un vote sur la recherche sur l'être humain.

*«Le génie génétique, le clonage ou les cellules souches soulèvent des questions parfois passionnantes, explique Alexandre Mauron. Mais, fidèles à la conception de la bioéthique que nous défendons à Genève, nous regardons aussi ailleurs, notamment du côté de la sociologie. Mais cette voie nous ramène aussi à la politique.»*

## SYSTÈMES DE SANTÉ

En effet, dans ce domaine, l'un des sujets les plus importants, selon le chercheur genevois, est celui des systèmes de santé. «C'est devenu un objet d'étude en bioéthique un peu partout dans le monde, poursuit-il. Nous étudions des questions comme celle de savoir si le système d'un tel pays est juste et équitable du point de vue de l'accès aux soins pour tous; si une modification précise introduit plus ou moins d'équité; ou encore si la pression économique actuelle qui vise une rationalisation des soins influence le comportement des médecins de premiers recours.»

Bref, une littérature fournie sur ce sujet est produite depuis vingt ans par les éthiciens de Genève et d'ailleurs. Une somme de connaissances qui est à même, pourquoi pas, d'inspirer les gouvernements. *«Il est assez clair que ceux qui ont conseillé le président des Etats-Unis, Barack Obama, dans l'élaboration de son nouveau système de santé, par exemple, ont lu de nombreux ouvrages de bioéthiciens»,* estime Alexandre Mauron.

De manière générale, la bioéthique sert à débroussailler des sujets potentiellement très complexes, mais dont les implications dans la vie quotidienne des citoyens peuvent s'avérer très concrètes. Elle répertorie les arguments, en analyse la justesse et les failles et/ou en fournit de nouveaux. *«Nous n'avons pas la prétention de donner des réponses définitives à des questions difficiles, de dire ce qui est bien et ce qui est mal, précise Alexandre Mauron. En revanche, nous prétendons pouvoir distinguer les arguments qui ne tiennent pas la route de ceux qui ont une certaine valeur.»*

## AU PLUS PRÈS DE LA RECHERCHE

A Genève, la discipline est demeurée aussi très active dans son domaine traditionnel, où elle a même su se rendre incontournable. Au lieu de monter dans une tour d'ivoire et d'évaluer de loin les pratiques des scientifiques, les membres de l'Institut d'éthique biomédicale se sont en effet rapprochés au plus près de la recherche médicale qu'ils suivent parfois en temps réel. Non pas pour juger l'activité des chercheurs, mais pour les accompagner et identifier, ensemble, les questions éthiques, parfois inattendues, qui peuvent survenir.

Le fruit de ces efforts a pu être cueilli dans un des premiers projets «Sinergia» financés par le Fonds national suisse pour la recherche scientifique et qui porte sur un traitement de la maladie de Parkinson, basé sur



# ALISTES



GETTY IMAGES

La brebis "Dolly", le premier mammifère cloné en 1996. L'animal est décédé en 2003.

des cellules souches embryonnaires. Parmi les groupes de recherche fondamentale et clinique, il y en a un qui est chargé de réfléchir aux enjeux éthiques d'un tel traitement le jour où il existera.

«Concrètement, nous nous asseyons autour d'une table et réfléchissons à haute voix sur les enjeux pertinents du point de vue éthique, explique Alexandre Mauron. Cela permet certes de prévenir des dérives, mais aussi de soulever des interrogations inédites, même sur un sujet aussi balisé que la recherche médicale sur des patients.»

Il faut dire que le traitement envisagé est basé sur des cellules souches embryonnaires qui, en elles-mêmes, représentent déjà une controverse. L'expérimentation animale qui est requise avant de traiter le premier patient humain est, elle aussi, une question délicate. Viennent ensuite les tests sur l'être humain. Faut-il choisir de préférence les personnes dont la maladie est très avancée et qui n'ont plus d'autre espoir de guérison? Peut-être, mais ces patients n'ont souvent plus toute leur capacité de discernement nécessaire au

consentement éclairé. Quant aux patients dont la maladie en est encore à un stade précoce, ils préféreront peut-être choisir des traitements déjà validés et dont les risques sont connus.

## MISE EN ABÎME

Parmi les thèmes qui sont apparus récemment, la «neuroéthique» occupe une place à part. La pratique des neurosciences, à l'instar des autres branches de la médecine, mérite certainement que des éthiciens se penchent dessus. Mais ce qui est troublant, c'est que désormais, ce sont les neuroscientifiques qui se penchent sur le questionnement éthique et étudient les mécanismes cérébraux qui la sous-tendent. «La neuroéthique nous fait revisiter les questions de philosophie classique sous un angle totalement inédit, note Alexandre Mauron. Qu'est-ce que c'est le libre arbitre? la responsabilité individuelle? Bien plus que l'éthique des neurosciences, ce sont les neurosciences de l'éthique qui passionnent les éthiciens. Une mise en abîme passionnante.» ■

## Des débuts scandaleux

L'enseignement et la recherche de la bioéthique dans les universités ont commencé progressivement aux Etats-Unis dès les années 1960. Un événement important qui a accéléré cette évolution est le scandale concernant l'étude sur la syphilis menée à Tuskegee. Quelques centaines de personnes de cette ville de l'Etat de l'Alabama ont participé à une expérience qui a duré quarante ans, de 1932 à 1972. Elle visait à mesurer les effets de différents traitements sur la maladie vénérienne. Le problème, c'est que les participants, tous Noirs, pauvres et illétrés, n'ont pas été correctement informés sur le déroulement de l'étude. Sur toute la durée de l'expérience, aucun d'entre eux n'a pu connaître son diagnostic, ni recevoir les soins nécessaires le cas échéant (l'efficacité de la pénicilline contre la syphilis est pourtant démontrée dans les années 1940 déjà).

En 1972, une fuite dans la presse met fin à l'étude. Trop tard pour nombre d'hommes et de femmes contaminés ainsi que d'enfants nés avec la forme congénitale de la maladie, qui sont morts avant d'avoir pu être soignés. Cette affaire, ainsi que d'autres du même type révélées à la même époque, entraîne des répercussions importantes dans les lois régissant la manière de mener des études médicales sur des sujets humains. Ces dernières introduisent notamment le «consentement éclairé» des patients, une pratique aujourd'hui universelle, ainsi que la communication du diagnostic et les résultats de l'expérience aux malades enrôlés.

C'est dans le sillage de ces scandales que les premiers centres académiques de bioéthique se mettent en place outre-Atlantique. Au cours des années 1980, l'enseignement de la bioéthique y devient obligatoire dans les cursus de médecine et il est même possible d'obtenir une maîtrise universitaire dans cette filière.

L'Europe suit ce mouvement de professionnalisation, avec quelques résistances cependant, notamment en France où l'on considère parfois encore que la bioéthique est l'affaire exclusive du Comité consultatif national d'éthique, formé de grands sages qui se prononcent sur tous les sujets du haut de leur magistère moral laïc.

physique

# AUX CONFINS DES MO

LYNETTE COOK



# NDÉS

Gliese 876, une étoile située à 15 années-lumière, dans la constellation du Verseau. Elle possède au moins quatre planètes, dont la plus petite ne pèse que huit fois la masse de la Terre.



1990  
2010

La chasse aux planètes extrasolaires a pris son envol dès la découverte de la première d'entre elles en 1995. Cette quête se confond avec le parcours de l'astrophysicien Michel Mayor

La cryptographie quantique est passée du stade de rêve à celui de projet réalisable grâce à un article paru en 1991. Le physicien Nicolas Gisin a pris la balle au bond et est devenu un des plus grands spécialistes de communication quantique

# CHASSEUR DE PLANÈTES

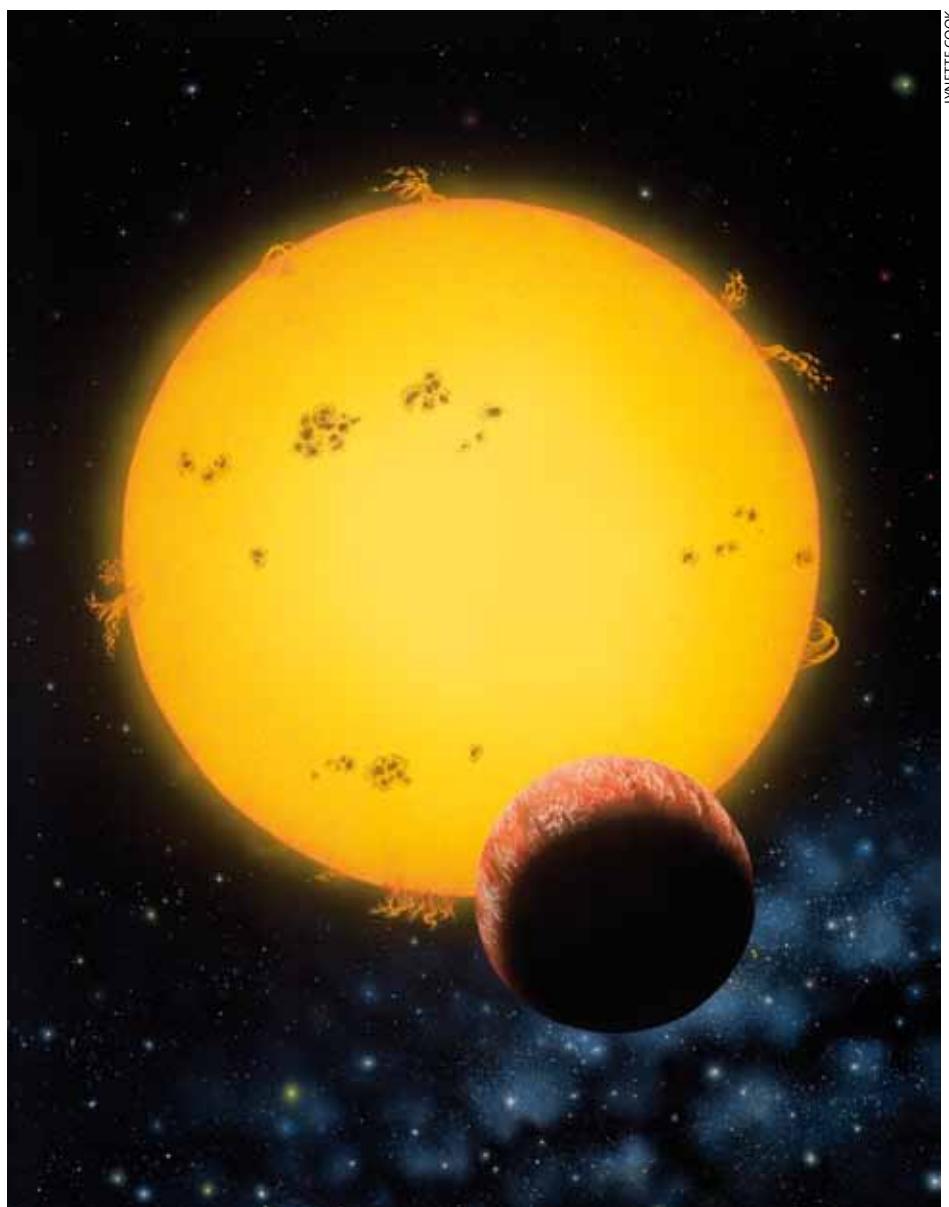
En 1990, l'astrophysicien genevois Michel Mayor se prépare activement pour la chasse à la première planète extrasolaire. Il épingle son premier trophée en 1995 et, depuis, a contribué à la découverte de plus d'une centaine d'autres

Juin 1990, Val Cenis en Savoie. Durant trois jours, une centaine de scientifiques font le point sur les connaissances accumulées jusque-là dans une discipline récente: l'astrobiologie. Les savants rassemblés au cours du troisième symposium international autour de ce thème sont poussés par la même passion: l'origine de la vie et, pour beaucoup, la recherche de la vie extraterrestre. Plus de la moitié des interventions concerne d'ailleurs le programme SETI (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*) dont les membres scrutent le ciel depuis les années 1960 dans l'espoir de détecter des signaux venant d'une hypothétique civilisation qui se serait développée «ailleurs».

Egalement présents, deux astrophysiciens de l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève (Faculté des sciences) ont, quant à eux, abordé le problème par l'autre bout. Ce que cherchent le professeur Michel Mayor et son doctorant Antoine Duquennoy, ce sont des astres qui ressemblent au soleil et qui seraient à même d'héberger un éventuel système planétaire, quelle que soit sa forme. Leur exposé, *Combien d'étoiles solitaires parmi les étoiles de type solaire?* n'a probablement pas déchaîné l'enthousiasme. Les participants ne pouvaient pas savoir que Michel Mayor allait devenir quelques années plus tard l'auteur de la découverte de la première planète extrasolaire. Et inaugurer ainsi un gigantesque nouveau champ de recherche.

## «S'AMUSER COMME DES FOUS»

Michel Mayor ne songe pourtant pas à pister des planètes lorsque, jeune astrophysicien dans les années 1970, il se spécialise dans la mesure des vitesses des étoiles. Mais il y contribue déjà. Il participe en effet à la construction d'un spectrographe, baptisé Coravel, qui est installé sur le télescope de l'Observatoire de Haute-Provence en 1977. Cet instrument est capable de mesurer par effet Doppler (c'est-à-dire par le même principe que les radars de



LYNETTE COOK

La première planète extrasolaire découverte est 51 Peg b, située à 48 années-lumière dans la constellation de Pégase. Elle accomplit une orbite complète en 4,2 jours et est vingt fois plus proche de son étoile que ne l'est la Terre du Soleil.

la sécurité routière) la vitesse de rapprochement et d'éloignement des étoiles du ciel par rapport à l'observateur sur Terre. Le plus petit mouvement perceptible est alors de l'ordre de 300 mètres par seconde; l'appareil est le plus efficace de son temps, et de loin.

*«Cet engin avait un tel avantage sur ses concurrents et était si facile et agréable d'usage qu'il nous a ouvert d'un coup un nombre considérable de champs de recherche (composition des étoiles, structure des amas globulaires et de la galaxie, etc.),* précise Michel Mayor. *Cela nous a donné un peu le vertige, mais nous nous sommes amusés comme des fous.»*

#### VOISINAGE SOLAIRE

Enthousiastes, les astronomes s'attaquent donc à plusieurs problèmes en même temps. Parmi eux, il en est un qui consiste à détecter et à étudier méthodiquement les étoiles doubles (deux étoiles tournant l'une autour de l'autre) se situant dans le voisinage solaire (moins de 500 années-lumière de distance) et dont un des membres au moins est une étoile de type solaire. Ces systèmes binaires peuvent renseigner sur les mécanismes de la formation stellaire, un domaine encore fort mal compris. Un grand nombre de ces étoiles doubles sont déjà connues, mais les informations concernant leur masse, période et la forme de leurs orbites sont souvent lacunaires.

Michel Mayor et Antoine Duquennoy choisissent quelques centaines d'étoiles parmi les plus proches et commencent à mesurer leur vitesse radiale à l'aide de Coravel. Cette grandeur, si elle varie de manière périodique, peut en effet trahir la présence d'un second astre, souvent invisible au télescope. Ce travail de fond prendra près de quinze ans.

Au fur et à mesure que les deux chercheurs avancent dans leurs observations, ils remarquent cependant un fait intéressant: la taille des compagnons stellaires qu'ils découvrent varie beaucoup. Si la majorité d'entre eux possède une masse correspondant en moyenne à la moitié de celle du Soleil, il en apparaît des plus légères, jusqu'à moins d'un dixième de la masse solaire. On entre alors dans le domaine des naines brunes. Ces dernières sont des astres formés comme les étoiles ordinaires, mais qui ne sont pas assez massives pour amorcer des réactions nucléaires en leur cœur.

*«En 1989, nous franchissons un seuil,* raconte Michel Mayor. *Toujours avec Coravel, nous détectons un objet de onze fois la masse de Jupiter autour de l'étoile HD114762. Cela devient intéressant. On se rapproche diablement de la taille des planètes.»*

**«Nous détectons alors un objet de onze fois la masse de Jupiter. Cela devient intéressant. On se rapproche diablement de la taille des planètes»**

Les auteurs de la découverte, réalisée en collaboration avec une équipe de l'Université de Harvard aux Etats-Unis, discutent d'ailleurs intensément sur la vraie nature de ce compagnon stellaire dont on ne connaît la présence que par le biais des oscillations qu'il imprime à son étoile. Finalement, ils optent pour le qualificatif de «naine brune de petite masse». Même si le mot «planète» n'est pas lâché, l'article, publié dans la revue *Nature* du 4 mai 1989, fait du bruit dans la communauté scientifique et relance l'intérêt pour la chasse aux planètes extrasolaires.

#### UN NOUVEAU MONDE

Michel Mayor est conquis, lui aussi. C'est pourquoi il se rend au troisième symposium international d'astrobiologie qui se tient à Val Cenis l'année suivante. *«C'est une date importante dans ma carrière, se souvient l'astrophysicien genevois. C'était la première fois que j'entrais en contact avec le monde des chercheurs de planètes. J'y ai rencontré de nombreux théoriciens sur l'origine de la vie, des biologistes, des astronomes bien sûr, mais peu d'observateurs du ciel comme nous. Ce symposium a été pour moi un signal m'informant que j'étais entré dans un autre domaine de l'astronomie, différent de ceux dont j'avais l'habitude jusque-là.»*

Cependant, pour étoffer son tableau de chasse avec des trophées plus prestigieux qu'une petite naine brune, il lui faut un nouvel instrument, plus précis que Coravel. C'est alors que, comme une coïncidence, Philippe Véron, le directeur de l'Observatoire de Haute-Provence (OHP) lance la construction d'un nouveau spectrographe. Son objectif n'est pas la détection de planètes, mais la réalisa-

tion d'observations durant les nuits avec la Lune. L'idée est de construire une copie de Coravel améliorée et mise à jour du point de vue technologique (en intégrant notamment des caméras CCD et des fibres optiques). Les constructeurs de l'ancien spectrographe, dont fait partie Michel Mayor, sont invités à concevoir le nouvel instrument.

L'occasion est trop belle. Le chercheur genevois propose de construire deux instruments au lieu d'un seul, histoire de pouvoir observer aussi le ciel de l'hémisphère Sud. L'Université de Genève participe à l'effort, surtout dans le développement des logiciels d'analyse du signal. C'est à ce moment que Didier Queloz, alors doctorant, entre dans le projet. C'est ainsi que naissent Elodie en 1993, installée sur le télescope de 2 mètres de diamètre de l'OHP, puis Coralie en 1995, montée sur le télescope suisse Léonard Euler de 1,2 mètre à La Silla au Chili.

*«Notre participation à la construction d'Elodie nous est rémunérée sous la forme d'une semaine d'observation à l'OHP tous les deux mois,* explique Michel Mayor. *Très vite, nous nous rendons compte qu'Elodie est vingt fois plus précise que Coravel.»*

#### UNE ÉTOILE INTÉRESSANTE

La campagne de mesures commence en avril 1994. Les chercheurs genevois ne font pas mystère de leurs ambitions puisque dans leur demande officielle de temps d'observation adressée à l'OHP, les astrophysiciens genevois stipulent qu'ils tenteront de déterminer les masses des objets entrant dans la composition des systèmes doubles *«jusque dans le domaine des naines brunes et des planètes géantes.»*

Elodie, l'un des meilleurs spectrographes du moment, n'est pas le seul atout des chercheurs. Ils disposent également d'un logiciel d'analyse qu'ils ont développé eux-mêmes. Ce dernier leur fournit immédiatement la vitesse de l'étoile à partir de la mesure brute, une opération qui, normalement, dure des jours ou des semaines selon la quantité de données à traiter. Les astrophysiciens peuvent donc réagir tout de suite si une étoile révèle un comportement intéressant, contrairement aux équipes concurrentes.

Autre avantage, mais cela ils ne le savent pas encore: leur champ de recherche compte la détection d'oscillations d'étoiles dont la période dure plusieurs années, tout en étant ouvert à des périodes beaucoup plus courtes, de l'ordre de quelques jours. Cela vient du fait que leur programme inclut la détection de ▶

naines brunes dont ils ignorent tout et dont la période de rotation autour de l'étoile peut, *a priori*, prendre n'importe quelle valeur.

Fin prêts, les chercheurs ont dans leur collimateur une première sélection de 142 étoiles de type solaire. Après seulement quelques mois, l'une d'entre elles, *51 Pegasi*, située dans la constellation de Pégase, fait apparaître les frémissements d'une oscillation périodique. Les premières estimations tablent sur la présence autour d'elle d'un objet de la moitié de la masse de Jupiter accomplissant une orbite complète en quelques jours seulement. Une valeur si basse est une surprise, mais ces calculs ne sont basés que sur quelques points placés sur un graphique.

Deux mois après avoir réalisé les premières mesures sur *51 Peg*, les astrophysiciens disposent d'une nouvelle semaine d'observation. A la fin des sept jours, ils pensent avoir mis la main sur une étoile vraiment intéressante. Mais il manque toujours des mesures pour en être sûr. Et le temps presse: lentement, l'astre descend vers l'horizon et deviendra bientôt invisible pour des mois. Concentrant leurs efforts sur *51 Peg*, Michel Mayor et Didier Queloz parviennent à tracer une éphéméride complète en janvier 1995, juste avant sa disparition du ciel.

A cet instant quelque peu suspendu, les astrophysiciens se tâtent: On y croit ou pas? Il

faut dire que les arguments contre l'existence d'une planète comme celle de *51 Peg* sont alors légion. Le principal concurrent des Genevois, l'Américain Geoffrey Marcy, vient en effet de publier un rapport préliminaire selon lequel, sur la base de l'analyse de 25 étoiles, il n'existe pas d'exoplanètes géantes. En février 1995, se basant sur le suivi d'une vingtaine d'étoiles au cours d'une décennie, le théoricien américain Alan Boss parvient, lui, à la conclusion que s'il existe des planètes géantes comme Jupiter dans d'autres systèmes solaires, elles ne peuvent avoir une période orbitale plus courte que dix ans.

#### BATTERIE DE TESTS

«Alors imaginez une période de quatre jours! s'exclame Michel Mayor. Nous n'avions aucun doute sur la qualité de nos mesures, mais de nombreuses autres interprétations étaient encore possibles (activité magnétique, pulsation de l'étoile, etc.). Le maître mot était donc la prudence. Et la discréption. Nous n'avons donc rien publié et avons attendu le retour de l'étoile dans le ciel.»

En juillet, *51 Peg* revient au firmament. Les Genevois disposent une fois de plus d'une semaine d'observation à l'OHP. Une batterie de tests est infligée à l'astre qui les passe haut la main. Plus aucun doute n'est permis. *51 Peg* possède une demi-Jupiter qui met 4,2 jours à effectuer une orbite complète. Un article

«Nous nous étions préparés à un intérêt médiatique important. C'a été la folie. On s'est dit que cela allait se calmer. Ça n'a pas été le cas»

scientifique est rédigé dans la foulée. Il paraît dans la revue *Nature* du 23 novembre 1995.

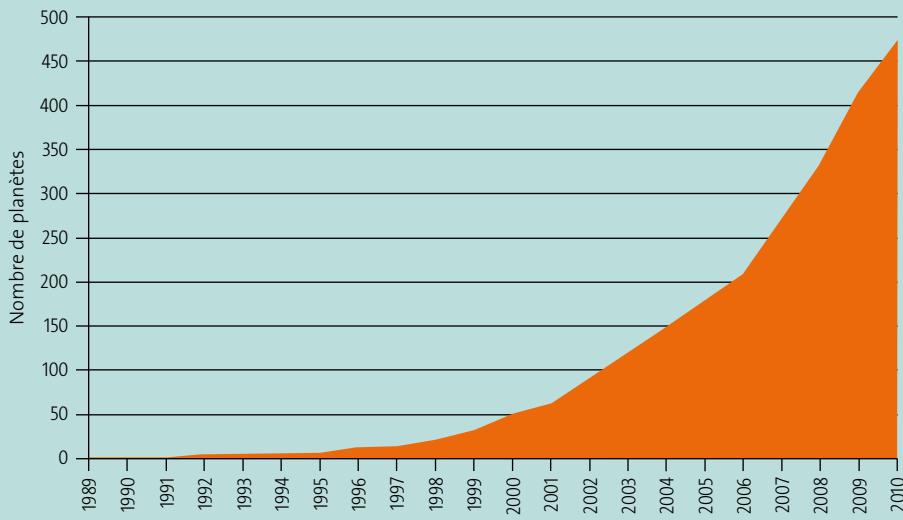
«Nous nous étions préparés à un intérêt médiatique important, précise Michel Mayor. C'a été la folie. On s'est dit que cela allait se calmer. Ça n'a pas été le cas.» En plus d'éveiller la passion du grand public, la découverte de la première planète extrasolaire draine d'énormes moyens humains et financiers dans ce domaine de recherche. Astronomes, théoriciens, constructeurs d'instruments: en tout, ce sont des milliers de personnes qui travaillent aujourd'hui dans ce secteur. Résultat, plus de 400 planètes sont désormais connues dont plus du tiers a été découvert par l'équipe genevoise.

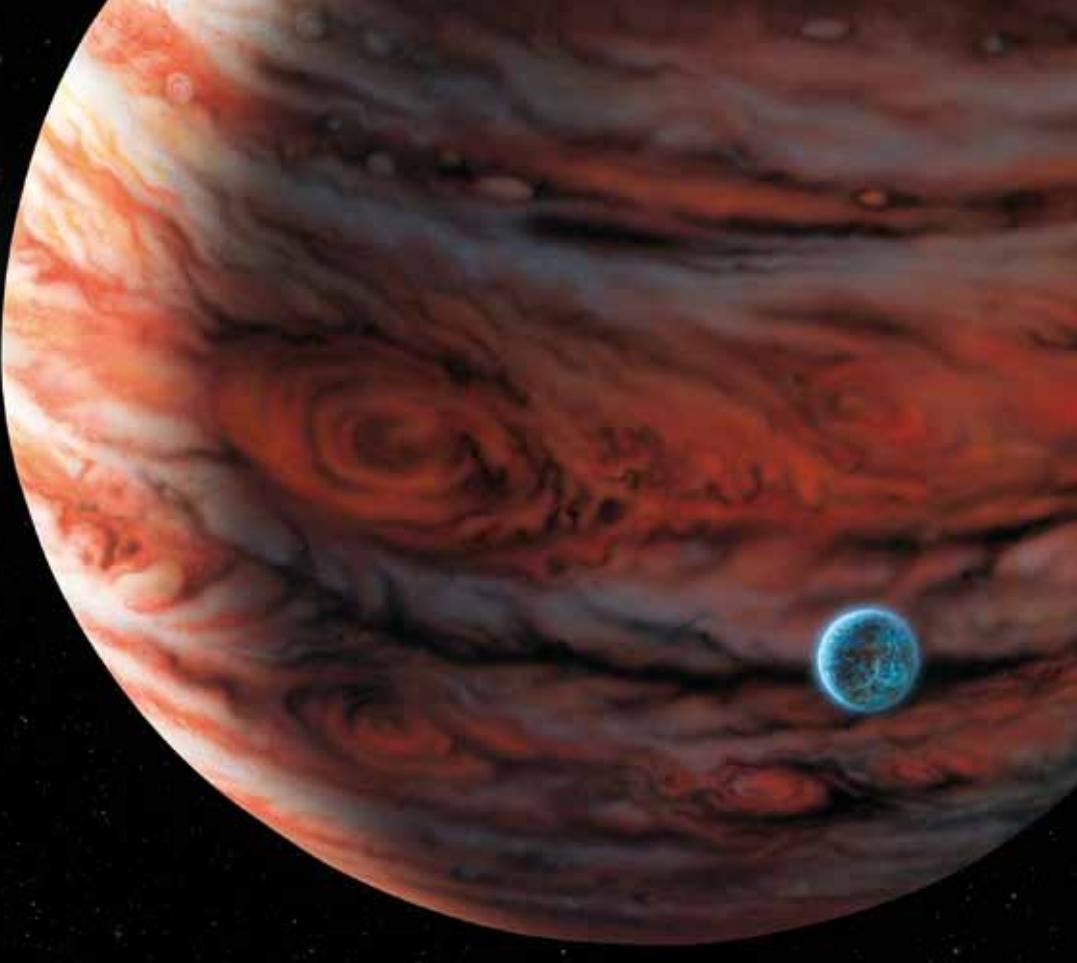
#### BELLE OPPORTUNITÉ

«Notre équipe s'est considérablement étoffée, admet Michel Mayor. Au début nous étions deux. Aujourd'hui nous sommes 20. Nous avons obtenu plus de moyens, mais cela s'est fait progressivement, sur quinze ans.» Du coup, le groupe s'est diversifié et les chercheurs se sont spécialisés dans différentes méthodes de détection: la vitesse radiale des étoiles, la plus utilisée à ce jour; la mesure du transit des planètes devant leur étoile, ce qui provoque une faible chute de luminosité de l'astre; l'astrométrie, qui détecte les mouvements d'une étoile sur la voûte céleste; l'imagerie planétaire, c'est-à-dire la photographie des planètes illuminées par leur étoile.

Cependant, la plus belle récompense a sans doute été l'opportunité de développer un nouvel instrument, commandé par l'ESO (*European Southern Observatory*) et correspondant aux «rêves les plus fous» d'un chasseur de planètes: HARPS. Construit à Genève, ce spectrographe est installé en 2003 sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre à La Silla au Chili. «Fonctionnant sous vide, d'une stabilité à toute épreuve, thermiquement contrôlé à quelques millièmes de degré près, HARPS est notre vaisseau

## Nombre cumulé d'exoplanètes





**Au moins cinq planètes orbitent autour de 55 Cancri, une étoile binaire se trouvant à 41 années-lumière de la Terre, dans la constellation du Cancer. La plus grosse, ici au premier plan accompagnée d'un hypothétique satellite, est quatre fois plus massive que Jupiter. Les quatre autres évoluent beaucoup plus près de l'étoile. La plus petite d'entre elles possède une masse de quatorze fois celle de la Terre.** ILLUSTRATION: LYNETTE COOK

amiral, s'enthousiasme Michel Mayor. *Il n'a pas d'équivalent au monde. Il détecte des vitesses radiales d'étoiles de moins d'un mètre par seconde.»*

En contrepartie de la fabrication de ce bijou, le consortium dirigé jusqu'à récemment par Michel Mayor (remplacé en 2008 par Stéphane Udry, professeur à l'Observatoire astronomique de Genève) est gâté par l'ESO puisqu'il reçoit 500 nuits de télescope sur cinq ans. Cette générosité combinée aux performances de HARPS permettent de nombreuses découvertes dont celle de la plus petite planète extrasolaire connue à ce jour (sa masse vaut 1,5 fois celle de la Terre). Cette planète est toutefois si proche de son étoile que sa surface est probablement couverte de laves éternelles.

Au moment de sa mise en fonction, HARPS offre un avantage décisif aux Genevois vis-à-vis de leurs concurrents les plus directs qui ont, dans le passé, opté pour une technologie différente dans la conception de leur spectrographe. «*Le choix des Américains leur a donné durant plusieurs années l'avantage sur nous, explique Michel Mayor. En plus, ils ont accès au télescope Keck de 10 mètres de diamètre à Hawaï. Ce n'est pas rien. En bref, ils étaient deux fois plus précis que nous. Mais quand HARPS est arrivé, nous les avons largement dépassés tandis qu'eux ont buté sur une limite que leur technologie ne permet pas de franchir.»*

Du point de vue scientifique, la découverte de 51 Peg et de nombreuses autres planètes géantes situées très près de leur étoile a poussé les théoriciens à corriger leurs scénarios de la formation planétaire. Les mécanismes de base, proposés par Victor Safronov en 1969, demeurent inchangés (agglomération de grains de silicates ou de glace dans les régions extérieures du disque de gaz et de poussière qui s'appelle disque d'accrétion). La thèse d'Alan Boss reste également vraie: les planètes géantes ne se forment que dans les régions périphériques du disque d'accrétion.

#### MIGRATION ORBITALE

En revanche, la découverte de Michel Mayor a mis en lumière un phénomène très important qui avait été totalement négligé jusque-là: la migration orbitale. Ce processus a pour résultat qu'une géante gazeuse formée très loin de son étoile subit, dans certaines conditions, des effets gravitationnels complexes et commence à suivre une trajectoire en forme de spirale jusqu'à se retrouver dans une orbite très proche de son étoile. La migration orbitale est à l'origine de la grande diversité des systèmes découverts à ce jour.

«*Notre système solaire n'a quasiment pas connu de migration orbitale, précise Michel Mayor. Les planètes n'évoluent pas très loin de l'endroit où elles*

*ont été créées. Cela vient peut-être du fait que le disque d'accrétion n'était pas bien massif et relativement pauvre en métaux. Il a donc disparu rapidement sans générer une migration orbitale importante.»*

Ces effets gravitationnels sont parfois si violents qu'ils entraînent des bouleversements bien plus importants, comme l'apparition de planètes rétrogrades (tournant dans le sens contraire de la rotation de l'étoile) ou de planètes évoluant dans des plans orbitaux très inclinés (parfois perpendiculaires au plan équatorial de l'astre central).

Pour l'astronome genevois, pourtant, la plus importante contribution scientifique de son groupe a été de découvrir l'existence d'essaims de petites planètes (entre une et dix fois la masse de la Terre) très proches de leur étoile. Au moins 30% des étoiles de type solaire possèdent ce genre d'essaims qui représentent une configuration inédite puisque notre système solaire en est dépourvu.

Au point où en sont la technologie et l'expérience des observateurs du ciel, la chasse est désormais ouverte pour trouver une cousine de la Terre. La détection de la présence de planètes rocheuses dans la zone habitable, c'est-à-dire à une distance telle de leur étoile que l'eau peut être liquide et que la chimie complexe à l'origine de la vie puisse s'y développer, est plus que jamais à portée de spectrographe. ■

# LA SECONDE RÉVOLUTION QUANTIQUE

Le terme de «communication quantique» est récent. Il désigne un champ de recherche qui a explosé au cours de ces vingt dernières années et est aujourd’hui perçu comme stratégique. Les enjeux sont de taille: confidentialité absolue des communications, invention du premier ordinateur quantique, etc.



Détail d'une expérience de téléportation quantique.

Intrication, cryptographie quantique, téléportation, qubit, répétiteur quantique, ordinateur quantique... Ce vocabulaire exotique, regroupé aujourd’hui sous le terme plus général de «communication quantique», pourrait bien un jour envahir et bouleverser profondément la société de l’information telle que nous la connaissons actuellement. Les perspectives, il faut le dire, sont spectaculaires: confidentialité absolue des communications, augmentation considérable des capacités de calcul pour certaines tâches, etc. C’est pour ces raisons, sans doute, que les spécialistes qualifient l’avènement de cette branche encore débutante, mais déjà en plein essor, de «seconde ré-

volution quantique» – la première désignant les premiers pas triomphants de la physique quantique au début du XX<sup>e</sup>, sous l’impulsion notamment des travaux d’Albert Einstein et de Niels Bohr.

Le début de cette révolution peut, plus ou moins arbitrairement, coïncider avec une date. Celle de la publication d’un article dans la revue *Physical Review Letters* du 5 août 1991. Le physicien britannique Artur Ekert y décrit à quoi devrait ressembler une expérience de cryptographie quantique basée sur l’intrication (lire ci-contre), c’est-à-dire une technique permettant d’exploiter les étranges corrélations quantiques (l’intrication) afin de

chiffrer un message de manière absolument inviolable. Bref, le rêve pour tous ceux qui souhaitent, par exemple, sécuriser définitivement les transactions financières ou les communications militaires et stratégiques contre les attaques des pirates informatiques d’aujourd’hui et, surtout, du futur.

Bien qu’il soit purement théorique, l’article d’Artur Ekert offre pour la première fois la possibilité de développer une application concrète de l’intrication, dans le domaine des communications, en exploitant les propriétés quantiques des particules élémentaires.

## PROFIL UNIQUE

«Ce premier article, je l’ai manqué, se souvient Nicolas Gisin, professeur au Groupe de physique appliquée (Faculté des sciences). C’est un papier ultérieur, paru en 1992 par Charles Bennett, qui a attiré mon attention. En le lisant, je me suis dit que j’avais les connaissances nécessaires et tout ce qu’il fallait dans mon laboratoire pour réaliser une expérience de cryptographie quantique.»

Le chercheur genevois possède alors en effet une formation en physique quantique ainsi qu’une expérience de cinq ans dans l’industrie des télécommunications qui lui a permis de se familiariser avec le maniement des fibres optiques et les effets de polarisation de la lumière qui les traverse. Fort de cette double compétence, le scientifique genevois présente un profil unique à cette époque.

Par ailleurs, Nicolas Gisin dispose dans son laboratoire de détecteurs de photons capables de mesurer ces grains de lumière individuellement. En fait, ces appareils, il les a achetés avant tout par fascination, sans savoir exactement qu’en faire. Mais c’est grâce à eux qu’il pourra bricoler l’une des premières démonstrations expérimentales de cryptographie quantique réalisée dans des fibres optiques.

L'équipe qu'il dirige parvient à transmettre une clé de cryptage – qui est la base de cryptographie – à travers un kilomètre de fibre. Cette clé est protégée par les lois de la physique quantique. Elle est parfaitement aléatoire et confidentielle. Ces résultats paraissent dans la revue *Europhysics Letters* du 20 août 1993 et font connaître l'équipe genevoise dans le monde de la physique internationale.

#### CRYPTOGRAPHIE SOUS LE LAC

Nicolas Gisin choisit alors de changer de matériel afin d'utiliser les mêmes fibres optiques que celles exploitées par Swisscom (alors Télécoms PTT) pour transmettre ses communications téléphoniques. Ce choix implique toutefois le développement de détecteurs de photons uniques ayant les longueurs d'onde utilisées dans les télécommunications. Cette adaptation permet de sortir la cryptographie quantique du laboratoire. Une première expérience est ainsi réalisée dans des fibres industrielles de 23 kilomètres reliant Genève à Nyon en passant sous le lac. Elle est rapportée par la

«Cela peut paraître curieux après coup, mais sur le moment je n'ai pas déposé de brevet sur cette expérience»

revue *Nature* du 30 novembre 1995. La communication quantique entre dans le monde réel.

«Cela peut paraître curieux après coup, mais sur le moment, je n'ai pas déposé de brevet sur cette expérience, contrairement à Swisscom qui le possède toujours, admet Nicolas Gisin. Cela est dû au fait qu'Unitec [le service de l'Université de Genève qui valorise les découvertes issues de ses activités de recherche] n'existe pas encore. Mais je dois admettre que je ne croyais pas vraiment qu'une telle expé-

rience pouvait avoir un avenir industriel. Je la considérais plutôt comme une illustration merveilleuse de la physique quantique. J'ai changé d'avis depuis.» La preuve: en 2001 il cofonde la start-up id Quantique qui est active dans la cryptographie et est récemment entrée dans les chiffres noirs.

#### INTRIGANTE INTRICATION

Mais avant d'en arriver là, les Genevois, à l'instar de plusieurs autres équipes dans le monde, planchent déjà sur le défi suivant: l'«intrication quantique». Cette propriété surprenante autorise deux particules à conserver entre elles un lien, même si elles sont éloignées l'une de l'autre de plusieurs kilomètres. Ce lien – l'intrication – fait qu'une mesure sur la première particule influence immédiatement l'état de la seconde, comme si elles formaient un seul et même objet, bien que situées en deux endroits différents. Ce tour de passe-passe, qui s'appelle la non-localité (un concept qui avait provoqué un fort scepticisme chez Albert Einstein en son temps), est potentiellement très intéressant pour la cryptographie quantique. ►

## Quelques règles à respecter pour la cryptographie quantique

L'idée de la cryptographie quantique a été proposée pour la première fois dans les années 1980, mais en des termes élémentaires, sans le phénomène d'intrication et publiée dans une revue confidentielle. L'intuition de chercheurs comme Stephen Wiesner, Charles Bennet et Gilles Brassard a été de tourner des règles à première vue négatives de la physique quantique en des atouts décisifs.

La première de ces règles est que l'on ne peut pas effectuer une mesure d'un système quantique (une simple particule, par exemple) sans le perturber, voire le détruire. Dans l'idée de transmettre un message secret, cela est bien utile, puisque si un espion (Eve) désire l'intercepter, il alerterait immédiatement les deux interlocuteurs (Alice et Bob).

Une autre règle de la quantique stipule qu'il est impossible de me-

surer la polarisation d'un photon simultanément dans deux bases différentes (la première étant tournée de 45° par rapport à la deuxième). Par exemple, si Alice envoie un photon polarisé verticalement et que Bob, ignorant cela, choisit de le mesurer dans une base diagonale (inclinée de 45°), il obtiendra un résultat totalement indéterminé, dont il ne peut rien faire – c'est la physique quantique, c'est comme ça. En revanche si les deux choisissent par hasard la même base, alors le résultat est déterminé et l'on peut lui donner une valeur. Celle-ci peut être 1 (si Bob effectue la même mesure qu'Alice, c'est-à-dire verticale dans ce cas) ou 0 (s'il choisit la mesure horizontale). C'est ce qu'on appelle des qubit, par analogie aux bits classiques.

Cela demande, d'une part, qu'Alice connaisse l'état de la pola-

risation des photons qu'elle envoie à Bob et, de l'autre, que Bob envoie à Alice la liste des bases successives dans lesquelles il a effectué ses mesures. Ceci afin de pouvoir éliminer les résultats indéterminés et ne garder que ceux qui ont été créés et mesurés dans la même base. Cette liste de bases utilisées par Bob peut être publique, puisqu'elle ne prédit rien sur les résultats de la mesure. Si, en plus, la succession des états des photons envoyés par Alice est parfaitement aléatoire, ce que permet la physique quantique par différents moyens, il est possible de fabriquer une clé de cryptage inviolable connue des deux seuls interlocuteurs.

A partir de là, on revient à la cryptographie classique. Alice encode le texte grâce à une clé que personne ne connaît et qu'aucun ordinateur au monde ne peut cas-

ser. Le message est transmis et Bob le décrypte à l'aide de la même clé.

Si Eve tente d'intervenir au moment où la clé est élaborée, lors de l'échange de photons polarisés, elle perturbe inévitablement la communication. Bob et Alice n'ont qu'à choisir une séquence prise au hasard de la clé qu'ils ont fabriquée et la comparer pour voir si des incohérences apparaissent.

Une troisième règle de la quantique empêche qu'Eve réinjecte dans le canal quantique établi entre Alice et Bob un photon identique à celui qu'elle a espionné et donc détruit. Car si, à l'instar de Bob, elle mesure dans la mauvaise base (ce qui arrive une fois sur deux en moyenne), l'état du photon est indéterminé. Et il est impossible, en physique quantique, de dupliquer un état quantique indéterminé. ■

La première preuve expérimentale de l'existence de l'intrication est apportée par le physicien français Alain Aspect en 1982. Mais il faut attendre les années 1990 pour que des développements supplémentaires apparaissent. Cette fois encore, le groupe de Nicolas Gisin se distingue en réalisant la première expérience d'intrication dans les fibres optiques télécoms, entre les villages de Bernex et de Bellevue, éloignés de 10 kilomètres, une prouesse qui est publiée dans la revue *Science* du 25 juillet 1997.

### TÉLÉPORTER LES CLÉS

Mais ce n'est pas tout. Le monde quantique autorise également des phénomènes aussi fantasmatiques que la «téléportation». Pour couper court aux rêves des fans de *Star Trek*, il ne s'agit de rien d'autre, pour l'instant, que du transfert de l'état physique d'une particule (la valeur de sa polarisation, par exemple) à une autre, par l'entremise de paires de particules intriquées. Tout au plus les chercheurs parviennent-ils à téléporter un état physique d'un atome à l'autre. Il n'est pas – encore – question de voyager gratis dans l'univers.

Le principal intérêt de cette propriété est qu'elle est potentiellement capable de résoudre un des problèmes techniques sur lequel bute la cryptographie quantique: la distance. En effet, s'il est désormais possible de créer des clés de chiffrement parfaitement aléatoires et de les transmettre de manière totalement confidentielle entre deux interlocuteurs, les propriétés quantiques se perdent dans les fibres optiques et au bout de quelques centaines de kilomètres, la nécessité d'une amplification du signal se fait sentir.

«Le souci, c'est que les effets quantiques ne peuvent être amplifiés, précise Nicolas Gisin. La téléportation quantique permet en revanche de concevoir des "répéteurs". Grâce à eux, la communication quantique pourrait s'allonger et traverser des distances beaucoup plus importantes qu'aujourd'hui. Ce domaine fait l'objet d'intenses recherches partout dans le monde.»

Jamais à la traîne, l'équipe genevoise parvient, en 2003, à réaliser la première téléportation quantique à longue distance dans des fibres optiques télécoms (2 kilomètres), dont les résultats paraissent dans la revue *Nature*

du 30 janvier 2003. Un premier pas vers le développement de répéteurs, un sujet sur lequel elle planche également.

Cela dit, le Graal de la communication quantique reste l'ordinateur quantique. Un tel engin n'existe pas encore, mais de nombreux chercheurs ont déjà tenté d'imaginer ses spécificités. Il fonctionnerait avec un grand nombre d'atomes intriqués durant le temps nécessaire pour effectuer les opérations demandées. Cet appareil ne serait pas forcément plus gros, plus petit ou plus rapide qu'un ordinateur classique. Mais il fonctionnerait sur des principes totalement différents et serait capable d'opérations inédites, comme l'a montré l'algorithme qu'a développé le mathématicien américain Peter Shor en 1994. Grâce à lui, un ordinateur quantique serait capable de factoriser facilement des grands nombres, contrairement aux super-ordinateurs classiques actuels. Cela signifie, en d'autres termes, que la mise en œuvre du premier ordinateur quantique permettrait de casser immédiatement n'importe quelle clé publique de cryptographie utilisée aujourd'hui pour les transmissions sécurisées. L'argent électronique perdrait instantanément toute sa valeur. C'est peu dire que cette nouvelle a fait du bruit.

### CHAMP STRATÉGIQUE

Il n'est pas étonnant, dès lors, que la cryptographie quantique soit devenue un champ de recherche stratégique puisqu'elle pourrait faire face à cette menace vague mais terrifiante. Tous les grands pays sont désormais actifs dans ce domaine. Les Etats-Unis, bien sûr, même si une grande partie de leurs activités demeurent secrètes, ainsi que plusieurs équipes japonaises et européennes, dont celle de Nicolas Gisin. Phénomène récent, on trouve aussi beaucoup de groupes en Chine. «Quasiment inexistant il y a vingt ans, les physiciens chinois sont très actifs et ils submergent littéralement les revues scientifiques occidentales avec leurs résultats, parmi lesquels on trouve des travaux de qualité très variable, mais qui comprennent tout de même de bonnes choses, estime le chercheur genevois. D'ailleurs, si je devais parier sur la première nation qui parviendra à réaliser une communication cryptée de manière quantique entre un satellite et la Terre, je miserais sur la Chine.» ■

## Les applications du futur

La cryptographie n'est pas la seule application de la communication quantique. Les chercheurs en ont déjà élaboré un certain nombre (sans même parler de toutes celles que l'on n'imagine pas encore).

L'une d'elles consiste à partager un secret entre un certain nombre de personnes (le contenu d'un testament entre les héritiers, par exemple) de telle façon que la seule manière de le rendre intelligible est de rassembler toutes les parties du message. Chaque extrait pris séparément ou un texte dans lequel il manquerait un seul contributeur seraient irrémédiablement illisibles.

Une autre application est la possibilité d'interroger une base de données via Internet sans laisser aucune trace de son passage. Nul doute qu'une telle perspective intéresserait beaucoup de monde.

Une dernière idée: la communication quantique permettrait à un réseau de serveurs de mettre à jour leurs données seulement s'ils sont tous coordonnés. S'il s'agit du prix d'une marchandise sur un marché boursier, par exemple, cela éviterait aux tricheurs de profiter des petites différences de délais pour spéculer.



# Adrénaline, fun, plaisir!

Ouvrir un compte tout simplement et sélectionner un événement inoubliable.

Bénéficier d'un massage dans un spa, déguster de délicieuses spécialités culinaires, prendre les commandes d'un Cessna, tester des chocolats, descendre une rivière en rafting, passer une nuit dans un hôtel de rêve dans un environnement idyllique ou participer à un rallye. Ouvrez un Compte privé Academica gratuit et choisissez parmi plus de 60 offres celle qui vous plaît. Vous trouverez plus d'informations sur [www.credit-suisse.com/experiences](http://www.credit-suisse.com/experiences)

NOUS VOUS PROPOSONS PLUS DE  
**60 OFFRES.**  
**PARTICIPEZ**  
**MAINTENANT!**

Se  
à la  
Allez  
déten

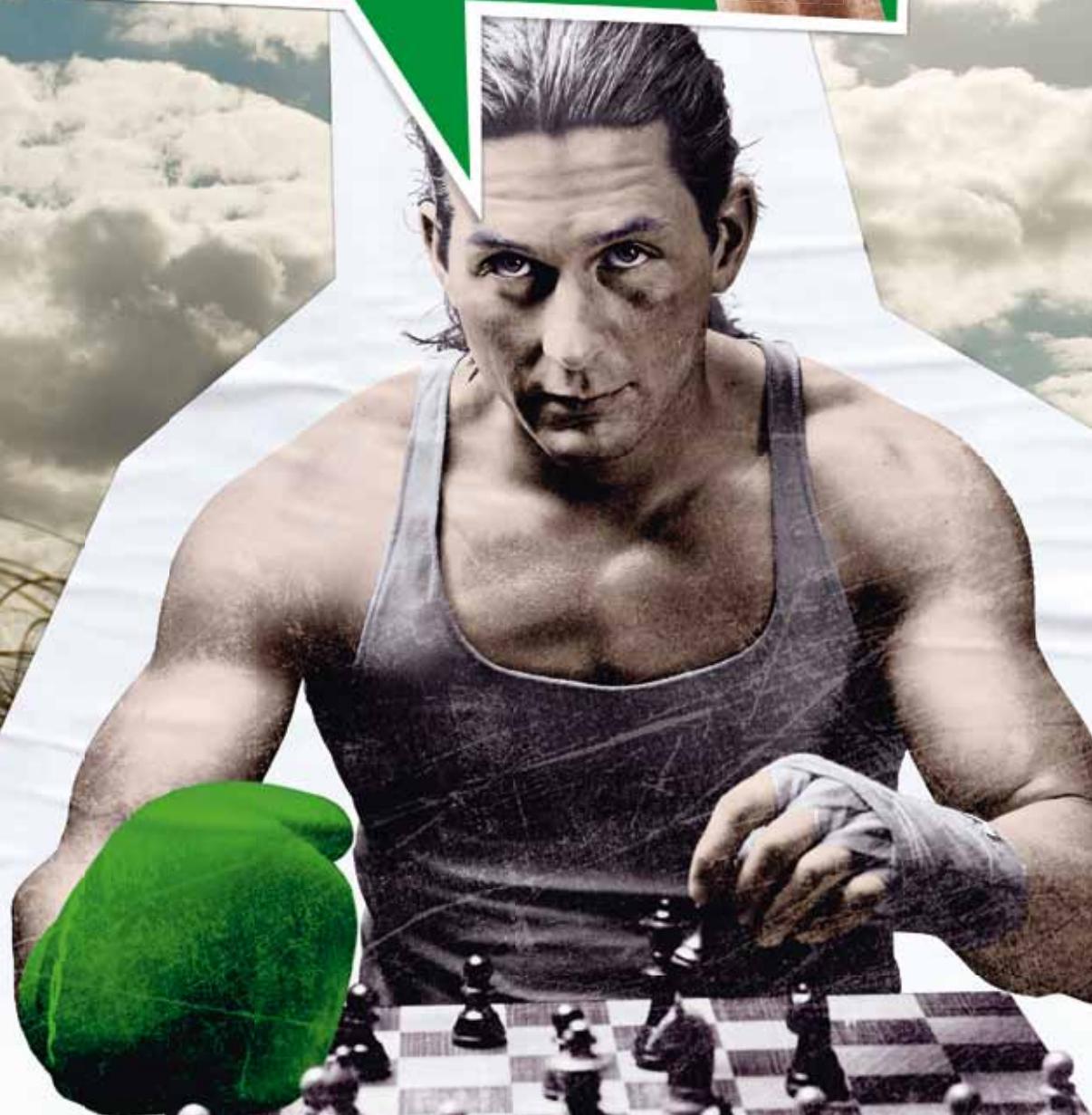
# Boxe et échecs. Échecs et boxe.

Urs, boxeur d'échecs et rivellutionnaire

RAFRAÎCHIS-TOI  
LES IDÉES !  
AVEC RIVELLA  
VERT.



longue-vie-autrement.ch



Voir Urs en action:  
l'application iPhone  
«Paperboy», photographier  
la pub, charger le contenu.