



The wild frontier

Four researchers explore the far reaches of information processing

Reculer les frontières

Quatre chercheurs explorent les confins du traitement de l'information

Do you understand quantum theory?

Et vous, comprenez-vous la théorie quantique?

Hate: the other four-letter word

Quand la science croise la société

PM40064644 R09831



La science- fiction et la réalité se confondent

Des sommités canadiennes du traitement de l'information discutent des possibilités stupéfiantes de leur travail

par Mark Cardwell

Le choc du futur, écrit Alvin Toffler dans son célèbre essai du même nom en 1970, est « la tension et le vertige qui saisissent un individu soumis à des changements trop brutaux en un temps trop bref ». Voilà qui est vrai même à l'ère d'Internet sans fil, où le temps et la vitesse sont des produits de consommation et où les technologies de l'information évoluent si rapidement que les idées avant-gardistes d'hier sont déjà la norme d'aujourd'hui. En entendant des experts canadiens du traitement de l'information décrire les incroyables possibilités de leurs recherches, on croirait revivre un second choc du futur.

Prenons Raymond Laflamme, directeur de l'Institut de calcul quantique à la University of Waterloo et chercheur au Perimeter Institute for Theoretical Physics. Ce physicien originaire de Québec a étudié à Cambridge sous la direction de Stephen Hawking, qu'il a fait changer d'idée sur le recul du temps dans un univers en contraction – fait que ce célèbre scientifique, reconnu pour son entêtement, a admis dans son best-seller *Une brève histoire du temps*.

suite à la page 15



A black and white photograph of a hand holding a glowing, spherical object of light. The background is dark with numerous small, bright stars, creating a cosmic or futuristic atmosphere. The hand is positioned in the lower-left quadrant, with the fingers gently cupping the glowing sphere. The light from the sphere illuminates the hand and the surrounding space, creating a soft glow.

Science fiction now

Some of Canada's leading researchers in information processing discuss the mind-boggling possibilities of their work

by Mark Cardwell

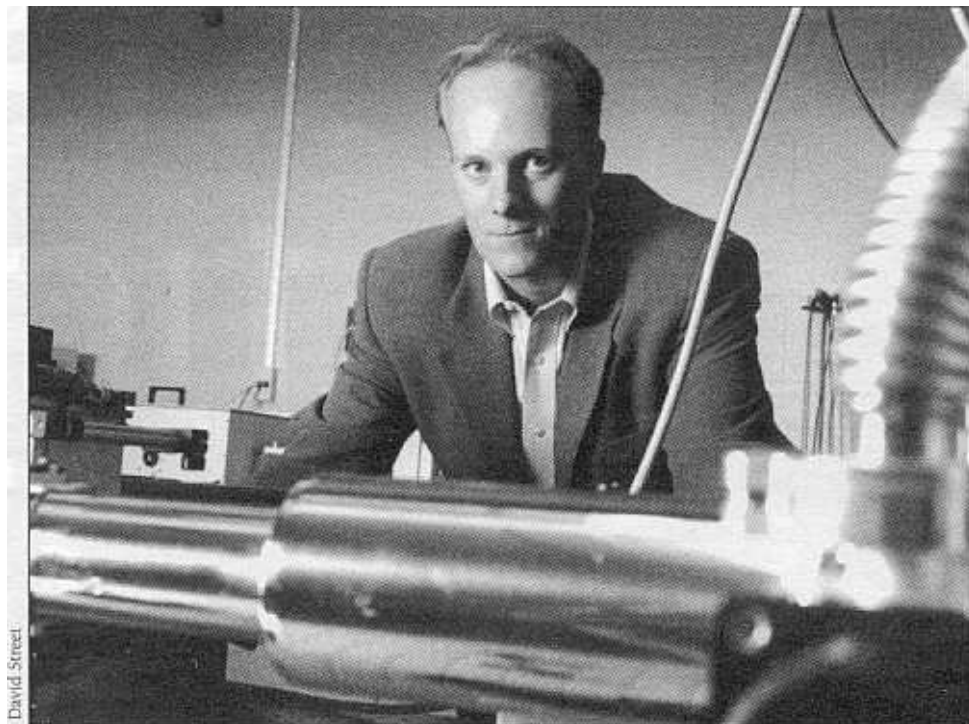
"Future shock," Alvin Toffler wrote in his 1970 best-selling book of the same name, is "the shattering stress and disorientation that we induce in individuals by subjecting them to too much change in too short a time." That's true even in a wireless Net-driven world, where time and speed are commodities and information technologies evolve so quickly that what was considered avant-garde yesterday barely meets today's standards. To hear Canadian scientists in several sub-fields of information processing discuss the all but incredible possibilities of their work, it feels like future shock all over again.

Take Raymond Laflamme, director of the Institute for Quantum Computing at the University of Waterloo and researcher at the Perimeter Institute for Theoretical Physics. A Quebec City-born physicist, he studied under Stephen Hawking at the University of Cambridge, where he helped to change the famous scientist's mind about the reversal of the direction of time in a contracting universe (a feat the notoriously stubborn Hawking acknowledged in his own international best-seller, *A Brief History of Time*).

Dr. Laflamme is one of a small number of scientists around the world who are trying to harness the unpredictable nature and energy of electrons to create a new reality of information processing. "We're working with a new force of nature," says Dr. Laflamme, who holds a Canada Research Chair in quantum information. "If we're successful, it could result in a fundamental change in the basic concept or notion of information as we know it."

Information processing is generally defined as any mental or physical process used to understand and relate an observable event. As such, information processing encompasses everything from human thought and speech to writing, typing and printing texts using digital computers. Computers – machines that use numbers to perform rapid, often complex calculations by using stored instructions and information – have been considered the apex of human ability to process information since the 1950s. But the opening of new avenues like quantum information processing may soon raise the bar.

Quantum information processing (often called QIP) is a relatively new hybrid of computer science and physics. It's based on the quirky workings of quantum mechanics, which describe the nature of matter and radiation at the atomic level. Dr. Laflamme explains that conventional or "classical" computers



Ted Sargent is at the forefront of worldwide efforts to harness particles of light, or photons, for information processing. "It's like trying to herd super-fast lemmings," he says.

must suppress these phenomena in order to function properly. Their main challenge is to herd electrons – the negatively charged particles of an atom that naturally fly in all directions – along wires and circuits. To do that, he says, "a Pentium processor uses a billion times more energy than it needs to perform each operation." That expended (or wasted) energy limits

the ability and capacity of computers to manipulate, store and send information.

In a new twist on the old adage "if you can't lick 'em, join 'em," scientists like Dr. Laflamme have spent the past three decades theorizing, and sometimes demonstrating, how the unruly nature of electrons can be used to develop vastly more powerful ways of processing information. Using thousands or millions of electrons, conventional computers encode information on units called bits, represented by binary numbers (either 0 or 1). A calculation by a conventional computer is simply the manipulation of a string of bits. Quantum computers, however, encode their bit of information on single electrons, called qubits (pronounced Q-bits). A peculiar property of quantum mechanics called the superposition principle allows these qubits to be literally in two states, like 0 and 1, at the same time. This allows groups of electrons to perform a myriad of calculations almost instantly.

While a quantum computer might be unsuitable for everyday computer tasks like word processing or e-mail messaging, it could revolutionize fields that rely on algorithms, particularly cryptography, modeling and database indexing. "This field is still in its early stages,

I can see a world without cell phones, where the mechanisms used for communication are almost invisible – maybe in your clothes, or your sunglasses – and would permit people to interact fully, irrespective of distance, as sensory-driven human beings.

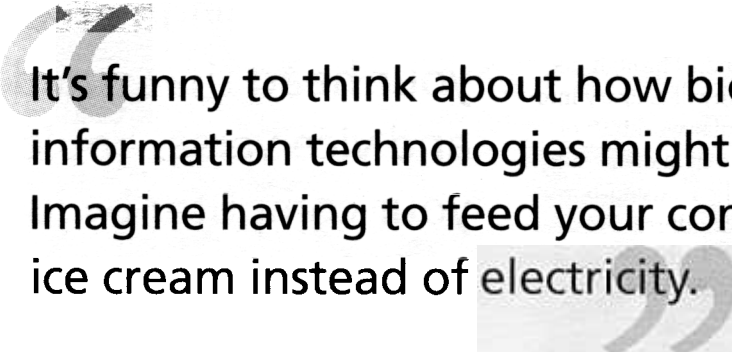
like computers in the 1940s, but we're already able to demonstrate that we can harness and use quantum bits," says Dr. Laflamme, who is able to coax answers to grade-school math problems from seven qubits on an experimental computer at the University of Waterloo. "There are hints of things we can perceive, but we're still puzzled and wondering about where it all may lead."

Fast-growing photonics

The same is true of the latest developments in another fast-growing subfield of information processing: photonic networks. These are progeny of fibre optics, which enable information to be carried between fixed points using light instead of electricity (making the Internet possible, among other things). Photonic networks could move beyond the fundamental limitations of electronics to provide better and more efficient processing and communication services on futuristic devices at the speed of light. "It's all very H.G. Wells-ish," concedes University of Toronto electrical and computing engineer Ted Sargent, who holds the Nortel Networks-Canada Research Chair in Emerging Technologies and is one of the country's leading researchers in the field.

For the past decade, Dr. Sargent and his group of more than a dozen researchers at U of T have been at the forefront of worldwide efforts to make photon-based networks a reality. Last summer, the Toronto team made headlines when it announced that it had made what Dr. Sargent calls "quantum dots" – polymer-coated, vibrating crystals of semiconductors that could be linked like paperclips, forming an organic chain of molecules on which information-packed electrons could zip along in the presence of photons at speeds measured in the trillionths of seconds. "The idea would be to grow them like ivy, to crosslink them into a rich, gnarled network," says Dr. Sargent of the groundbreaking discovery, which turned what had been a theoretical concept into reality.

Many scientific hurdles remain, however, before the advent of photonic or optical networks becomes possible. One notable challenge is to build the circuits and switches needed to guide and direct photons through the network. "The hard



It's funny to think about how biology-driven information technologies might function. Imagine having to feed your computer ice cream instead of electricity.

thing about using particles of light is steering them," says Dr. Sargent. "It's like trying to herd super-fast lemmings."

If and when functioning photonic networks are developed, Dr. Sargent predicts they will change society as we know it. "Just name the field – science, medicine, economics – and the possible applications are limitless. I can see a world without cell phones, for example, where the mechanisms used for communication are almost invisible – maybe in your clothes, or your sunglasses – and would permit people to interact fully, irrespective of distance, as sensory-driven human beings, rather than on terms dictated by clunky, one-dimensional machines."

Unimaginable changes

By then, our world may have already been altered in other unimaginable ways by other new information technologies based on biology. Lila Kari, who moved to Canada from Romania in the mid-1990s, is a world-renowned researcher in the field of biological computation. She holds a Canada Research Chair in information technology and teaches computer science at the University of Western Ontario. Dr. Kari says that DNA and enzymes can, in theory, be manipulated and mixed to create a biomolecular or DNA computer that would be far superior to silicon-based systems.

Biocomputing is a broad term for scientific research aimed at determining how biology does computation, and to what extent the process can be used to create new computational models and

information technologies, from the sub-cellular to the practical level. Thanks to genome research, any sequence of the four alphabet-like components – A, C, G and T – that bind together in pearl-like strings to form DNA can now be synthesized.

"Instead of encoding genetic information on DNA, which is done routinely today, why not encode other things, like numbers or letters," suggests Dr. Kari. If that could be done – and the machines, methods and nano-materials needed to make a functioning system were developed – a DNA computer would express numbers in powers of four rather than the two used in a binary system. "The sheer density of information that could be processed and stored is mind-boggling," says Dr. Kari. She estimates that "a few strands" of DNA in a solution of milk would have a storage capacity equal to 120 hectares of hard disks. "It's really a whole new order of magnitude."

The day is still far off when biocomputing will, if ever, become a reality. "There is no time frame, and I'm not sure that should be a goal," says Dr. Kari, who is organizing a DNA computing conference for 150 international experts this summer at Western. But the field offers many tantalizing possibilities. It could lead to the development of smart drugs or DNA nano-machines assigned engineering tasks such as building a nano-car and could revolutionize medicine, not to mention society. "It's like a big treasure chest," she says of the potential of biology-driven information technologies. "There are so many things

you could do with them. It's funny, too, to think about how they might function. Imagine having to feed your computer ice cream instead of electricity."

In some ways, neurobiologist Naweed Syed is already doing that. Through his research at the University of Calgary into the cellular and molecular workings of neuronal mechanisms that allow people to move and breathe, the Pakistan-born physician has made groundbreaking discoveries that have helped advance international efforts to merge and harness the power of biology and nanotechnology, and to open some interesting avenues in information processing.

Nerves on a chip

Working in collaboration with the Max Planck Institute for Biochemistry in Munich, Dr. Syed's Calgary research team made headlines last year when they found that snail nerve cells cultivated on a silicon chip in the lab were able to learn, remember and transmit information to the brain. "We stimu-

“Imagine having an electronic device inside your head that could talk to your brain – and vice versa. You’d be able to turn on your computer by just thinking about it.”

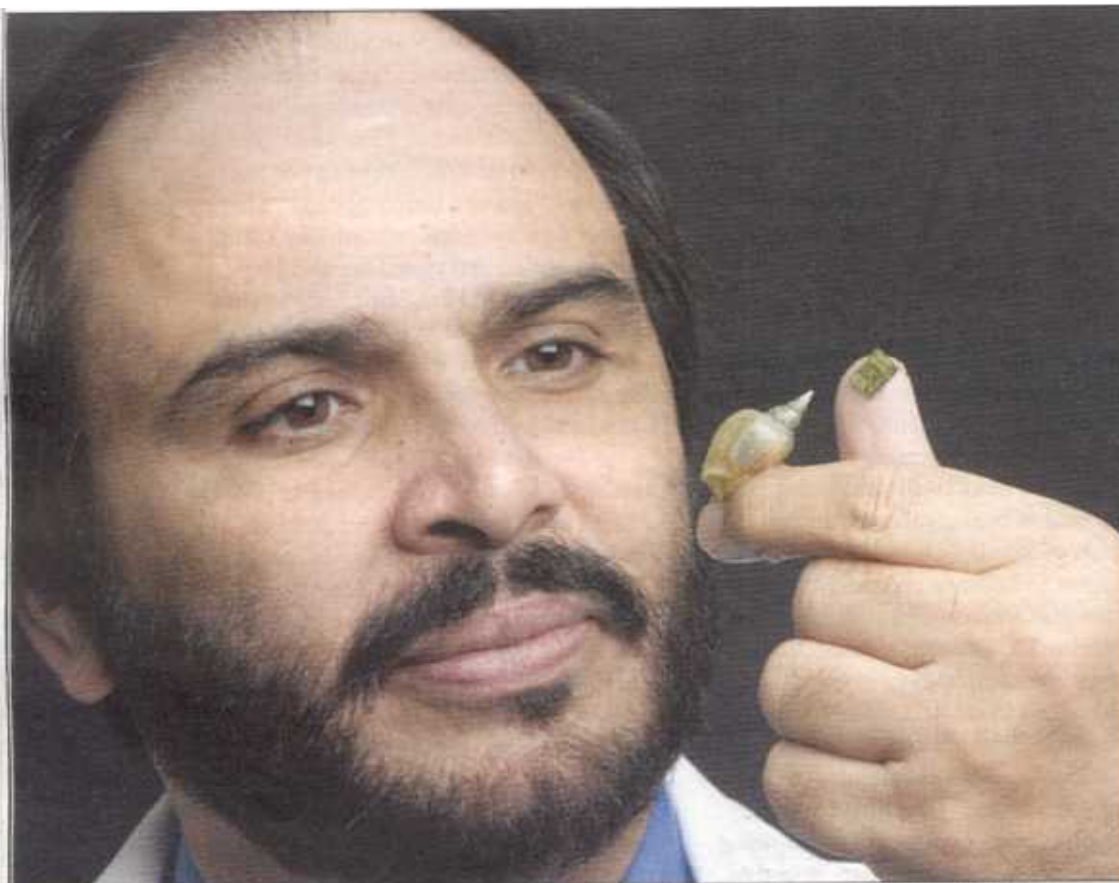
lated one nerve cell through the chip with a positive charge,” relates Dr. Syed. Once excited, the cell released neurotransmitters that defused and bonded with the appropriate receptors on a second cell, which then relayed the signal to other cells in the same fashion. “The results helped us answer some fundamental questions concerning biology and neuro-electronics,” says

Dr. Syed. Using different techniques, similar experiments at research centres in the United States and Europe have confirmed the utility of chip technology for successful bionic hybrids. The most recent occurred in October, when researchers at the University of Florida used a group of rat brain cells on a petri dish to control the virtual flight of a fighter aircraft in a simulator.

Electronic devices that could talk directly to brains and vice versa would have wide-ranging implications, particularly in health care. According to Dr. Syed, chips could be designed and loaded with information needed to control artificial limbs, to help paralysed limbs move again and even to restore lost brain functions in people who suffer from neuropsychological disorders like Parkinson's and Alzheimer's disease. Very tiny chip particles called nano-dust could gather vital medical information from transmitters in organs and arteries throughout the body. “It would revolutionize medicine,” asserts Dr. Syed.

The development of Cyborg-like hybrid computer-brain devices could offer other possibilities. Blind people could be “programmed” to see again, says the scientist. “Imagine the implications of having an electronic device inside your head that could talk to your brain – and vice versa. You’d be able to turn on your computer by just thinking about it. You’d almost become God-like.

“And remember,” he goes on, “IP works both ways. As your brain became more powered by the computer, you could also make the computer feel your feelings. Science fiction is becoming reality.” **U-U**



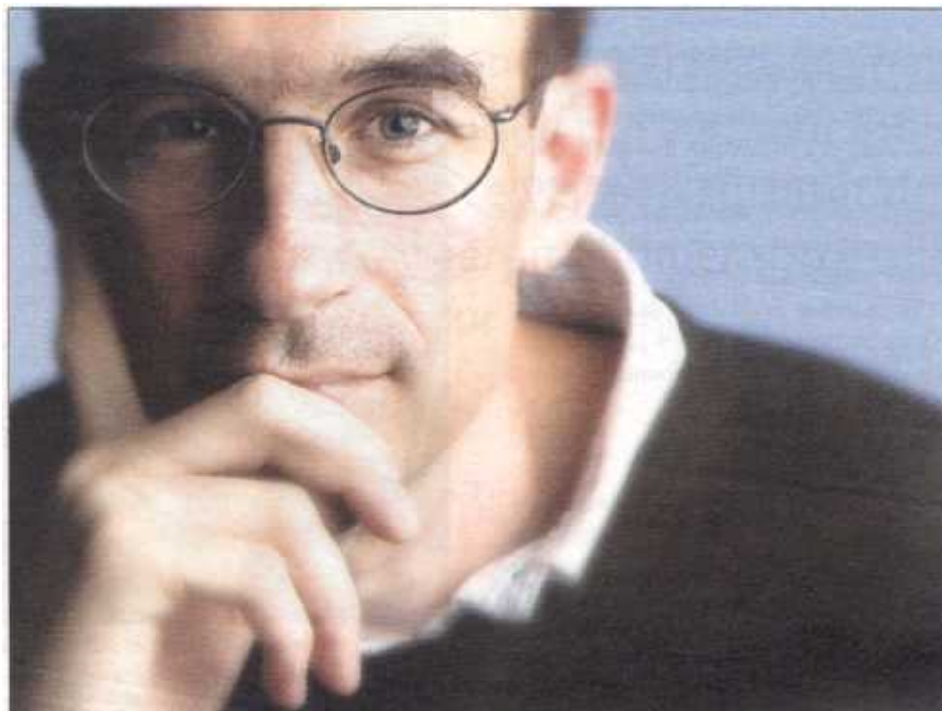
At the University of Calgary, Naweed Syed is doing research on the brain which involves taking cultured nerve cells from a snail and placing them on a silicon chip.

Raymond Laflamme est l'un des rares scientifiques à tenter de maîtriser la nature et l'énergie imprévisibles des électrons pour amener le traitement de l'information dans une nouvelle ère.

« Nous travaillons avec une nouvelle force de la nature, explique M. Laflamme, titulaire d'une Chaire de recherche du Canada sur l'information quantique. Si nous réussissons, il faudra sans doute revoir complètement le concept même d'information tel que nous le connaissons. »

Par « traitement de l'information », on entend généralement « tout processus mental ou physique servant à comprendre un fait observable, ou à y faire référence »; autrement dit, tout ce qui va de la pensée et de la parole humaines à l'écriture, à la saisie et à l'impression de textes à l'aide d'un ordinateur. Depuis les années 50, on considère que les ordinateurs – ces machines qui utilisent des nombres pour faire des calculs rapides et souvent complexes à l'aide d'instructions et d'information stockées – représentent la capacité humaine maximale de traitement de l'information. Mais la naissance de l'information quantique, entre autres choses, pourrait bientôt repousser cette limite.

Le traitement de l'information quantique est un hybride assez nouveau issu de l'informatique et de la physique. C'est une discipline fondée sur le fonctionnement étrange de la mécanique quantique, qui décrit la nature de la



« Nous avons des indices de ce qui s'en vient, mais nous ne savons pas vraiment où nos recherches vont aboutir », admet Raymond Laflamme de la University of Waterloo.

matière et la radiation à l'échelle de l'atome. M. Laflamme explique que les ordinateurs conventionnels doivent éliminer ces phénomènes pour bien fonctionner. La grande difficulté consiste à maîtriser les électrons – particules négatives d'un atome qui « volent » naturellement dans toutes les directions – le long des fils électriques et des circuits. Pour y parvenir, dit-il, un pro-

cesseur Pentium utilise un milliard de fois plus d'énergie qu'il en a besoin pour effectuer chaque opération. Cette perte d'énergie limite donc la capacité des ordinateurs de manipuler, de stocker et de transmettre l'information.

Des scientifiques comme Raymond Laflamme étudient depuis une trentaine d'années, à coup de théories et de démonstrations, comment l'indiscipline des électrons peut mener à la création de méthodes de traitement de l'information extrêmement plus puissantes que les méthodes actuelles. Utilisant des milliers ou des millions d'électrons, les ordinateurs conventionnels codent l'information sur des unités appelées bits, représentée en nombres binaires (0 ou 1). Le calcul, sur un ordinateur conventionnel, s'effectue simplement par la manipulation de séquences de bits. Mais les ordinateurs quantiques codent l'information sur des électrons uniques appelés qubits (prononcer Q-bits). Le principe de superposition, une propriété particulière de la mécanique quantique, permet aux qubits de se trouver simultanément dans l'état 0 et 1; ce qui permet aux groupes d'électrons d'effectuer d'innombrables calculs presque instantanément.

Les ordinateurs quantiques ne conviennent peut-être pas aux activités

J'imagine la fin des téléphones cellulaires, un monde où les moyens de communication presque invisibles (intégrés aux vêtements ou aux verres fumés, par exemple) permettraient les interactions sans restriction, sans égard à la distance, en tant qu'êtres humains régis par nos sens.

courantes comme le traitement de texte ou le courriel, mais ils pourraient révolutionner des domaines qui reposent sur les algorithmes, en particulier la cryptographie, la modélisation et l'indexation de données. À l'instar de l'informatique des années 40, il s'agit d'un tout nouveau domaine, mais on arrive déjà à maîtriser et à utiliser les bits quantiques. M. Laflamme a en effet réussi à résoudre des problèmes de mathématiques simples à l'aide de qubits sur un ordinateur expérimental à la University of Waterloo. « Nous avons des indices de ce qui s'en vient, mais nous ne savons pas vraiment où nos recherches vont aboutir », admet M. Laflamme.

Photonique accélérée

Il en va de même des nouveautés dans un autre sous-domaine du traitement de l'information qui connaît une croissance fulgurante : celui des réseaux photoniques. Descendants de la fibre optique, ces réseaux transportent l'information entre des points en utilisant la lumière au lieu de l'électricité (ce qui permet notamment le fonctionnement d'Internet).

Les réseaux photoniques pourraient repousser les limites fondamentales de l'électronique en accélérant le traitement de l'information et en améliorant les services de communication à l'aide d'appareils futuristes, à la vitesse de la lumière. Ce n'est pas sans rappeler H. G. Wells, concède Ted Sargent, ingénieur électricien et informaticien à la University of Toronto, titulaire d'une Chaire de recherche du Canada-Nortel en technologies émergentes, et une sommité canadienne du domaine.

Au cours de la dernière décennie, M. Sargent et son groupe de plus d'une douzaine de chercheurs de la U of T sont à l'avant-plan des efforts mondiaux visant à concrétiser les réseaux photo-



Le fonctionnement potentiel des biotechnologies a de quoi faire sourire, selon Lila Kari de la University of Western Ontario. « Imaginez un ordinateur alimenté à la crème glacée plutôt qu'à l'électricité. »

niques. L'été dernier, l'équipe torontoise a fait les manchettes en annonçant qu'elle avait conçu ce que M. Sargent qualifie de « points quantiques » – des cristaux vibrants enduits de polymère semi-conducteur que l'on pourrait attacher ensemble, comme des trombones, pour former une chaîne biologique de molécules où circuleraient des électrons chargés d'information en présence de photons, à une vitesse se mesurant en trillionièmes de seconde. « Reste maintenant à les multiplier et à les rattacher pour former un réseau vaste et serré », explique M. Sargent, en parlant de la découverte révolutionnaire qui a transformé un concept théorique en réalité.

Il demeure toutefois de nombreux

obstacles scientifiques à l'apparition de réseaux photoniques, entre autres la difficulté de fabriquer les circuits et les commutateurs nécessaires pour guider et diriger les photons dans le réseau. « Le plus difficile avec les particules de lumière, c'est de les diriger, précise M. Sargent; il est presque impossible de les rassembler. »

Lorsqu'on parviendra à les fabriquer, dit M. Sargent, les réseaux photoniques transformeront la société. « Quel que soit le domaine – science, médecine, économie – les possibilités sont infinies. J'imagine la fin des téléphones cellulaires, un monde où les moyens de communication presque invisibles (intégrés aux vêtements ou aux verres fumés, par exemple) permettraient les interactions sans restriction, sans égard à la distance, en tant qu'êtres humains régis par nos sens et non par des commandes dictées par des machines maladroites et unidimensionnelles. »

Ce jour-là, notre monde aura peut-être déjà subi d'autres bouleversements invraisemblables entraînés par de nouvelles technologies de l'information issues de la biologie. Originaire de Roumanie, Lila Kari est une sommité mondiale de la bioinformatique. Elle est titulaire d'une Chaire de recherche du Canada en technologie de l'information et enseigne l'informatique à la University

« Quelques brins d'ADN dans une solution lactée auraient une capacité de stockage équivalant à celle d'un disque dur de 120 hectares. »

of Western Ontario. Selon elle, il est théoriquement possible de manipuler l'ADN et les enzymes, et de les combiner afin de créer un ordinateur biomoléculaire de loin supérieur aux systèmes à puces de silicium.

La bioinformatique est un terme générique qui englobe la recherche visant à déterminer comment la biologie effectue des calculs, et dans quelle mesure ce processus peut servir à créer de nouveaux modèles informatiques et de nouvelles technologies de l'information, du niveau sous-cellulaire au niveau de la pratique. Grâce à la recherche en génomique, il est désormais possible de synthétiser toute séquence composée des quatre « lettres » de l'alphabet génétique (A, C, G, T), qui se combinent pour former l'ADN.

« Au lieu de coder l'information génétique sur l'ADN, ce qui se fait couramment de nos jours, pourquoi ne pas coder autre chose, comme des chiffres ou des lettres? », demande Mme Kari. Si l'on y parvenait – et si l'on arrivait à créer les appareils, les méthodes et le nanomatériel nécessaires à la conception d'un système fonctionnel – on obtiendrait un ordinateur à ADN qui exprimerait les nombres à la puissance quatre plutôt qu'à la puissance deux du système binaire. « Le volume d'information que l'on pourrait traiter et stocker est ahurissant », explique Mme Kari, en estimant que quelques brins d'ADN dans une solution lactée auraient une capacité de stockage équivalant à celle d'un disque dur de 120 hectares. « Il s'agit d'un tout autre ordre de grandeur. »

La bioinformatique n'est toutefois pas pour demain. Personne n'a d'ailleurs d'échéancier, et ce n'est peut-être pas souhaitable de toute façon, souligne Mme Kari, qui organise un congrès sur la bioinformatique qui réunira 150 experts mondiaux à Western l'été prochain. Le domaine présente cependant des possibilités alléchantes. Il pourrait mener à l'élaboration de médicaments intelligents, ou de nano-ordinateurs à ADN capables d'effectuer des tâches d'ingénierie comme construire une nano-automobile, ce qui révolutionnerait la médecine, voire la société tout entière. « C'est un immense coffre aux trésors, dit Mme Kari, en parlant des biotechnologies. Les possibilités sont innombrables. Et leur fonctionnement potentiel a de quoi faire sourire; imaginez un ordinateur alimenté à la crème glacée plutôt qu'à l'électricité... »

Dans un sens, le neurobiologiste

Imaginez ce qui se produirait si l'on pouvait implanter dans un cerveau humain un appareil électronique qui communiquerait avec le cerveau et vice versa. Il suffirait de penser que l'on aimerait allumer son ordinateur pour que l'ordinateur s'allume.

Naweed Syed de la University of Calgary en est déjà là. En étudiant le fonctionnement cellulaire et moléculaire des mécanismes neuronaux qui permettent à l'être humain de se déplacer et de respirer, ce physicien d'origine pakistanaise a fait des découvertes révolutionnaires. Il a d'ailleurs fait progresser les recherches mondiales visant à fusionner et à canaliser la puissance de la biologie et de la nanotechnologie de manière à créer des possibilités intéressantes dans le domaine du traitement de l'information.

Des nerfs sur une puce

Le Max Planck Institute for Biochemistry de Munich et l'équipe de recherche de M. Syed à Calgary ont fait les manchettes l'an dernier. Les chercheurs ont en effet découvert que des nerfs d'escargots cultivés sur une puce électronique en laboratoire parvenaient à assimiler, à mémoriser et à transmettre de l'information au cerveau. « Nous avons stimulé un neurone par l'entremise d'une charge positive transmise par la puce », raconte M. Syed. Une fois stimulé, le neurone a relâché des neurotransmetteurs qui se sont neutralisés et ont fusionné avec les récepteurs correspondants d'une autre cellule, qui a à son tour transmis le signal à d'autres cellules de la même façon. « Ces résultats ont fourni des réponses à des questions fondamentales de biologie et de neuroélectronique », explique M. Syed. Des expériences semblables effectuées dans des centres de recherche américains et européens ont confirmé ces résultats. La plus récente expérience a été réalisée en octobre, à la University of Florida : en plaçant des cellules cervicales de rat dans une boîte de Petri, des chercheurs ont

réussi à diriger le vol virtuel d'un avion de chasse dans un simulateur.

La conception d'appareils électroniques qui pourraient communiquer directement avec le cerveau et vice versa aurait des répercussions de toutes sortes, notamment dans les soins de santé. Selon M. Syed, on pourrait envisager de concevoir des puces et de les charger de toute l'information nécessaire pour faire bouger des membres artificiels ou des membres paralysés, ou même pour réparer des fonctions du cerveau détruites, par exemple chez les gens atteints de troubles neuropsychologiques comme les maladies de Parkinson ou d'Alzheimer. De minuscules particules de puces (nano-poussières) pourraient recueillir des renseignements médicaux vitaux émis par des transmetteurs situés dans les organes et les artères. « Ce serait une véritable révolution médicale », soutient M. Syed.

La création de machines hybrides, tenant à la fois du cerveau humain et de l'ordinateur, pourrait offrir d'autres possibilités. On pourrait par exemple « programmer » les aveugles pour leur redonner la vue, explique le scientifique. « Imaginez ce qui se produirait si l'on pouvait implanter dans un cerveau humain un appareil électronique qui communiquerait avec le cerveau et vice versa. Il suffirait de penser que l'on aimerait allumer son ordinateur pour que l'ordinateur s'allume. Ce serait un peu comme se prendre pour Dieu. »

« Sans oublier, renchérit-il, que le fonctionnement serait bilatéral. Plus le cerveau serait alimenté par l'ordinateur, plus l'être humain pourrait transmettre ses sentiments à la machine. La science-fiction devient réalité. »