

Imaginer

> **Combien serons-nous dans 25 ou 50 ans? Et quelles implications sociales et économiques cette évolution aura-t-elle? Tour de table en compagnie des membres du Laboratoire de démographie économique et sociale**

> **Apporter un supplément d'âme à la démocratie et contribuer à mieux gérer la sortie des conflits: deux axes qui seront essentiels pour Genève au cours des prochaines décennies**

> **Carte génétique complète, prédispositions positives ou négatives face aux maladies: les connaissances du capital santé de chacun vont augmenter considérablement dans les prochaines décennies. En fera-t-on bon usage?**

demain

A quoi sert une université, sinon à anticiper demain? Quand Platon fonde l'Académie dans la banlieue d'Athènes vers 385 av. J.-C., il ne pense pas à autre chose qu'à servir la communauté en formant les décideurs de sa nation. Les universités actuelles, lointaines héritières de cette institution antique – qui a quand même existé durant neuf siècles – ont la même fonction.

Seulement, le monde d'aujourd'hui est plus mouvant que celui de Platon. En plus de former des élites, l'université du XXI^e siècle se doit d'imaginer un futur relativement proche, de dessiner une société qu'elle contribue à changer à toute vitesse. Pour anticiper, justement.

Symboliquement, car il est impossible de le savoir avec exactitude, l'humanité a passé le cap des 6,5 milliards d'individus le 19 décembre 2005. S'il est un facteur des temps modernes qui est essentiel dans l'évolution d'une société, c'est bien sa démographie. Combien serons-nous dans 50 ans, alors que naissent quotidiennement 365 000 bébés et meurent 155 000 personnes, mais que la natalité baisse sur tous les continents, Afrique comprise? Cette question en implique d'autres: qui gouvernera ces foules, comment les loger ou les soigner? Dans tous ces domaines, les chercheurs de l'Université ont des compétences et des idées. Rendre compte de leurs capacités d'analyse et d'innovation, tel est l'objet de ces quelques pages. Un dossier forcément subjectif, mais qui, espérons-le, permettra de nourrir vos réflexions sur le futur.

Dossier réalisé par Vincent Monnet et Anton Vos
Photographies: Olivier Vogelsang

«Nous vieillirons ens

Combien serons-nous dans 25 ou 50 ans? Et quelles implications sociales et économiques cette évolution aura-t-elle? Tour de table en compagnie des membres du Laboratoire de démographie économique et sociale, les professeurs Claudine Sauvain-Dugerdil, Philippe Wanner et Michel Oris

Campus: Pouvez-vous nous dire combien nous serons dans 25 ans?

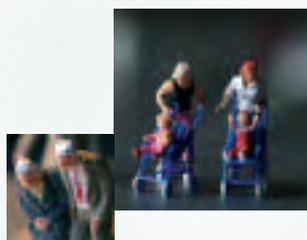
► *Philippe Wanner*: En règle générale, lorsqu'il s'agit de prévoir la mortalité et la fécondité du futur – les deux grands déterminants de l'évolution de la population – les propositions des démographes sont très peu audacieuses. Ils tablent sur une espérance de vie qui augmente très lentement et une fécondité qui reste relativement stable. Une telle tendance, reprise notamment dans les scénarios de l'Organisation des Nations unies, aboutit donc à une population mondiale qui pourrait se stabiliser autour de 9 milliards d'habitants dans une cinquantaine d'années. Il existe d'autres hypothèses plus osées dans leur formulation sans pour autant être plus fausses. Dans ces cas, les prévisions oscillent entre 6 et 12 milliards d'habitants. Il convient néanmoins de savoir que les scénarios pour l'an 2000 que les démographes des années 1950 ont établis à l'échelle des pays se sont tous avérés erronés. On prédisait notamment que la Suisse compterait 4 millions d'habitants alors que nous sommes 7,3 millions. Les experts n'avaient pas suffisamment anticipé le recul de la mortalité ni l'apport de l'immigration. Curieusement, à l'échelle du monde, leurs prédictions ont nettement mieux fonctionné. En 1955, l'ONU avait misé sur 6 milliards d'habitants pour l'an 2000, alors que ce seuil a été atteint en 1999.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: L'exercice de la prévision reste néanmoins délicat. Je rappelle qu'entre deux récentes projections démographiques pour 2050, réalisées en 2000 et en 2002, l'ONU a dû effectuer une sérieuse correction. Les démographes avaient en effet sous-estimé la diminution de la fécondité, même dans les pays africains, et négligé l'impact du sida. Résultat: il a fallu réduire la croissance de la population de plus de 400 millions de personnes.

► *Michel Oris*: On pense que la croissance de la population suit une courbe logistique. Après un long plateau, nous sommes subitement passés de moins d'un milliard d'habitants en 1800 à 2,5 milliards en 1950, avant d'exploser de 2,5 à 6 milliards entre 1950 et 2000. Dans la première période, ce sont les pays occidentaux qui ont progressé, trouvant ainsi les ressources pour conquérir et coloniser le reste du monde, tandis que la seconde correspond à l'explosion démographique du tiers-monde. Finalement, depuis 1980 ou 1985, nous sommes dans la courbe



semble»



rentrante qui devrait, croit-on, se stabiliser à 9 milliards d'habitants vers 2040-2050.

Le taux de fécondité des pays industrialisés a baissé depuis longtemps. Ceux de la Chine (1,7) et de l'Inde (3,07) suivent de près, aidés par des politiques de contrôle des naissances. En somme, il n'y a plus que l'Afrique qui fait des enfants.

› *Claudine Sauvain-Dugerdil*: C'est en effet en Afrique que l'on trouve le plus

de pays avec une fécondité élevée (14 pays sur les 17 qui ont encore une fécondité égale ou supérieure à six enfants par femme sont sur le continent noir). Mais il existe une grande diversité, notamment entre le Nord et le Sud. Les écarts sont également importants entre les villes et les campagnes. Mais, de manière générale, la fécondité a diminué dans toutes les régions du monde.

› *Philippe Wanner*: L'évolution démographique de l'Afrique est très incertaine. En raison de sa diversité (entre huit enfants par femme au Niger et deux au Maroc ou en Tunisie), il est difficile de prédire le niveau minimal qu'atteindra la fécondité dans ce continent ni à quelle vitesse elle y arrivera.

› *Michel Oris*: Entre 1975 et 2000, la population de la planète a cru de 50%. Durant ce laps de temps, l'Afrique a vécu à elle seule une augmentation de presque 100% (de 400 à 800 millions d'habitants). Ce continent est en pleine transition démographique, qui est ce passage d'une période de natalité et de mortalité élevée à celle où la mortalité diminue, mais où la natalité reste importante. Cela entraîne une explosion démographique jusqu'à ce que la natalité chute à son tour. Lorsque des pays comme la Grande-Bretagne, l'Allemagne ou la Suisse ont vécu cette transition au cours du XIX^e siècle, des migrants sont partis un peu partout. Entre 1880 et 1914, ce sont les vagues d'Italiens, d'Espagnols et d'Européens de l'Est qui ont déferlé sur les Amériques. Dans l'entre-deux guerres, c'est au tour des Polonais, puis des Turcs, des Yougoslaves et des Maghrébins d'arriver dans les pays européens en panne de naissances. Ce qui est très particulier avec la situation actuelle, c'est que l'explosion démographique de l'Afrique a lieu alors que les frontières sont fermées. C'est la première fois depuis deux siècles que la valve migratoire n'existe pas.

› *Philippe Wanner*: Précisons tout de même que les flux migratoires en Afrique sont surtout régionaux, entre la campagne et la ville ou d'un pays à l'autre au gré des crises économiques, politiques ou sanitaires.

Il y a pourtant une limite dans la migration intérieure. Au bout d'un moment, →





les villes deviennent tellement grandes et chaotiques qu'il n'y a plus d'avantage à quitter la campagne...

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: La dégradation de la qualité de vie dans les villes est une réalité. On le voit notamment au taux de mortalité infantile qui est aussi élevé, voire plus, dans certains bidonvilles que dans les campagnes. Dans certains pays d'Afrique de l'Ouest, on constate même des flux migratoires de la ville à la campagne.

Dans les pays industrialisés, les maladies émergentes (obésité, allergies chez les enfants, etc.) auront-elles un impact sur la courbe démographique?

► *Michel Oris*: C'est difficile à dire. Actuellement, nous gagnons toujours un an d'espérance de vie tous les trois ans.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: Et puis, malgré l'essor de ces maladies, on meurt toujours moins dans les pays riches que dans les pays pauvres, qui doivent encore lutter contre la malaria, la tuberculose et le sida...

► *Michel Oris*: Même au sein des pays riches, le retrait de la mortalité a davantage profité aux riches qu'aux pauvres. La littérature scientifique est très claire à ce sujet. La sécurité sociale, au lendemain de la Deuxième Guerre mondiale, avait pour but d'effacer toute inégalité sociale devant la mort – à défaut de pouvoir le faire devant la vie, les salaires et

les logements. En réalité, les écarts dans l'espérance de vie se sont creusés entre les riches et les pauvres à peu près partout en Europe occidentale.

Cela signifie-t-il que notre modèle démographique est à deux vitesses?

► *Philippe Wanner*: On remarque en effet qu'un professeur d'université a une espérance de vie plus élevée qu'un ouvrier. Et ces écarts ont tendance à augmenter – c'est encore plus net si l'on compare les indicateurs sur l'état de la santé.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: Le creusement de l'écart d'espérance de vie entre classes socioculturelles est somme toute assez logique. Les maladies de notre temps (obésité, hypertension, cholestérol, etc.) ne peuvent être évitées par des campagnes de vaccination, comme aux temps des épidémies, mais par la sensibilisation de la population à son mode de vie, à son propre corps, etc. On peut comprendre que ces arguments comportementaux touchent davantage les couches sociales plus éduquées... et les femmes. Celles-ci ont en effet beaucoup plus profité de cette transition sanitaire – des épidémies aux maladies de société – au cours du XX^e siècle. Plus à l'écoute de son corps et se rendant plus facilement chez le médecin en raison de la maternité, la

femme a atteint une espérance de vie nettement plus élevée que celle des hommes.

► *Michel Oris*: En matière de mortalité, la vraie hiérarchie est celle du savoir qui, à quelques exceptions près, correspond au statut social. Du côté de la fécondité, en revanche, on assiste à un renversement. Les riches, qui ont pourtant été les pionniers dans le déclin du nombre d'enfants par femme, peuvent s'offrir le «luxe» d'une famille nombreuse s'ils le souhaitent.

Ainsi, contrairement au cliché, les pauvres font moins d'enfants que les riches?



► *Philippe Wanner*: Les grandes familles d'aujourd'hui sont assez riches, effectivement.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: Mais en Suisse, actuellement, le facteur le plus important associé aux grandes familles est la pratique religieuse.

► *Philippe Wanner*: Les études montrent que le revenu du mari joue un rôle déterminant et positif sur la fécondité du couple. En revanche, plus le niveau

de formation de la mère est élevé, moins elle fait d'enfants. Devenir mère équivaldrait à gagner moins d'argent et à renoncer à des ambitions professionnelles.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: Dans les faits, il existe beaucoup de femmes sans enfants en Suisse (20-25%) alors que les enquêtes ont montré qu'elles sont très peu nombreuses à déclarer ne pas en vouloir (5%). Cela signifie qu'il existe des familles qui peuvent réaliser leurs projets et d'autres qui n'y arrivent pas. Cela ne dépend pas seulement des conditions économiques, mais aussi de contraintes telles que la conciliation du travail et de la famille ou de la tendance à repousser l'arrivée de l'enfant. Jusqu'à ce qu'il soit trop tard.

► *Philippe Wanner*: En gros, les raisons pour lesquelles on fait moins d'enfants, c'est qu'ils prennent du temps que les parents voudraient consacrer à d'autres activités. Cela explique d'ailleurs l'échec des politiques familiales. En Suisse, l'écart entre la fécondité désirée (qui se situe entre 2,2 et 2,3 enfants par femme) et la fécondité effective (entre 1,4 et 1,5) est énorme. Ce fossé est beaucoup plus réduit dans des pays comme la Suède ou la Norvège, où l'Etat social permet de compenser en partie les coûts financiers ou humains qu'engendrent les enfants.

A ce rythme, à quoi ressemblera la population suisse dans 25 ou 50 ans?

► *Philippe Wanner*: Même si l'on faisait, pour une raison ou pour une autre, davantage d'enfants, la société sera de toute façon beaucoup plus vieille, ne serait-ce que par l'allongement de la durée de vie. Il faudrait une fécondité de 5 ou 6 enfants par femme ou une très forte immigration pour espérer garder la même structure de la population. Un tel cas de figure n'est simplement pas imaginable.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: Et les immigrés vieillissent aussi.

► *Michel Oris*: Je suis d'avis qu'il faut arrêter les politiques natalistes qui ne fonctionnent pas. Depuis 150 ans, absolument tout le monde, les religieux, les autorités, les partis politiques, ont appelé à faire plus d'enfants. Et pourtant, les gens en ont fait de moins en moins. Les allocations familiales, par exemple, se justifient dans une optique d'égalité entre les parcours de vie féminin et masculin, mais pas comme outils d'une lutte hypothétique contre le vieillissement. Car c'est évident: nous vieillirons ensemble. Et ça, la société a

«En Suisse, l'écart entre la fécondité désirée et la fécondité effective est énorme»

sur le modèle économique et social actuel. On ignore cependant ce que sera la société de demain. Il faut tenir compte des probables progrès technologiques et sociaux. On observe déjà que certains groupes de personnes de plus de 65 ans retournent progressivement sur le marché du travail. On peut ima-



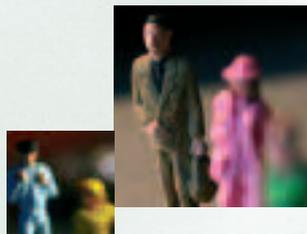
de la peine à l'accepter. D'ailleurs, le fait de faire moins d'enfants n'est pas une catastrophe. Le vieillissement est une des plus belles victoires de l'humanité. Nous gagnons un an d'espérance de vie tous les trois ans, mais l'espérance de vie en bonne santé progresse encore plus vite.

Si l'on continue à vieillir en bonne santé, on devra également reculer l'âge de la retraite ...

► *Philippe Wanner*: Cette analyse se fonde

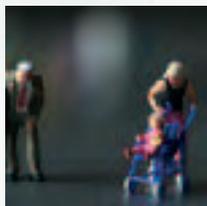
gner une valorisation des connaissances et du savoir-faire des anciens, une flexibilisation des horaires pour que les âgés puissent rester actifs plus longtemps. Les spécialistes de la gérontologie affirment qu'à l'âge actuel de la retraite, les capacités d'exercer une activité professionnelle sont largement plus que suffisantes. En outre, lorsqu'on a 65 ans et une espérance de vie de 30 ans supplémentaires, on n'a pas forcément envie de passer tout ce temps sans travail. →





► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: On peut aussi imaginer que notre relation au travail change radicalement. Comme l'avait préconisé le professeur Orio Giarini dans les années 1990, on pourrait par exemple instaurer la semaine des 20 heures, pour que tout le monde, jeunes ou vieux, ait un emploi et du temps pour d'autres activités.

► *Michel Oris*: L'autre grand enjeu est l'équité. Pour moi, un âge à la retraite équitable devrait tenir compte de l'espérance de vie. Ceux pour qui elle est courte devraient pouvoir cesser de travailler plus tôt. Je signale aussi que cela fait des années que la population suisse stagne autour des 7 millions d'habitants. Pourquoi voulez-vous que l'on ait encore un développement économique? Il suffit de partager le gâteau correctement. Le problème, c'est que nous sommes encore incapables de sortir du paradigme de la croissance, car nous venons de vivre 150 ans d'explosion démographique, une période qui commence à peine à prendre fin.



Jusqu'à quel point l'espérance de vie peut-elle augmenter?

► *Philippe Wanner*: On ne sait pas. Certains affirment que la longévité maximale authentifiée (Jeanne Calmant à 122 ans) n'évoluera pas. D'autre prétendent le contraire. Quoi qu'il en soit, le nombre de centenaires va augmenter. Mais leur «profil» sera peut-être différent. Ceux d'aujourd'hui ont vécu les deux guerres mondiales, la grippe espagnole, la tuberculose... Ils ont été rudement sélectionnés. Les centenaires de demain, qui ont 50 ans aujourd'hui, auront vécu dans des conditions nette-

ment plus favorables. On peut s'attendre à des surprises.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: Peut-être que l'allongement de la vie entraînera aussi un allongement de la période fertile de la femme. On a déjà remarqué qu'une bonne alimentation retarde la ménopause. Un délai d'une année ou deux, cela peut changer beaucoup de choses. Du coup, on verrait peut-être apparaître un modèle familial de «deux enfants uniques», comme le suggère le démographe français Jacques Vallin. Le premier serait conçu à 25 ans, la mère réaliserait ensuite sa carrière professionnelle, puis ferait un deuxième enfant à 50 ans.

Quelle serait une population «idéale»?

► *Michel Oris*: On a longtemps considéré comme une évidence qu'une population jeune était «bonne», alors qu'une population âgée était «mauvaise». Nous sommes à peine en train de remettre cette vision en cause. Certains tablent sur une population «à l'équilibre». C'est un rêve digne de la planification de Staline, du New Deal de Roosevelt ou encore du Bureau du plan de de Gaulle. Evidemment, si l'on parvenait à une fécondité stabilisée de 2,1 enfants par femme (pour compenser une légère mortalité des enfants), nous aurions une pyramide des âges parfaitement rectangulaire grâce à laquelle le gouvernement pourrait tout prévoir. Mais ce genre de scénario, ça ne marche jamais.

► *Claudine Sauvain-Dugerdil*: La notion de population idéale illustre les limites de

la prévision démographique. C'est une manière d'exprimer que les tendances actuelles ne sont pas soutenables. Si l'on continue de s'accroître malgré tout, on sait que l'on buttera sur des problèmes sociaux et les limites naturelles de la planète comme les ressources en eau potable, les surfaces émergées, etc. A l'inverse, si l'on se dirige vers l'enfant unique, l'humanité disparaîtra d'ici l'an 3000. ■

«L'explosion démographique de l'Afrique a lieu alors que les frontières sont fermées. C'est la première fois depuis deux siècles que la valve migratoire n'existe pas»

Laboratoire de démographie économique et sociale:
www.unige.ch/ses/demog/

Office fédéral de la statistique:
www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index.html

Institut national français d'études démographiques:
www.ined.fr/

Prévisions de l'ONU: esa.un.org/unpp



Apporter un supplément d'âme à la démocratie et contribuer à mieux gérer la sortie des conflits: deux axes qui seront essentiels pour Genève au cours des prochaines décennies

Genève a-t-elle une carte particulière à jouer dans le monde de demain? Thomas Woodrow Wilson, président des Etats-Unis et fondateur de la Société des Nations, avait-il raison d'y voir «la plus petite des grandes capitales»? En matière de gouvernance internationale, la ville du bout du lac dispose en tout cas d'un certain nombre d'atouts. Riche d'une longue tradition d'ouverture, siège d'un nombre record d'institutions internationales, elle profite d'un solide réseau de compétences

l'émergence de nouvelles puissances (Chine, Inde, etc.), à l'affirmation de nouveaux acteurs politiques, économiques et sociaux et à l'extension de nouvelles formes de conflictualité? Dans un monde devenant chaque jour plus complexe et plus incertain, comment endiguer la tentation du repli identitaire et du communautarisme ethnique ou religieux? Il est à redouter que peu de réponses viennent des instruments de gouvernance existant au niveau international, qui datent pour

tionale une priorité, les autorités cantonales ont en effet récemment créé un poste de délégué à la Genève internationale ainsi qu'une commission consultative sur le sujet. Par ailleurs, selon un sondage réalisé il y a deux ans pour le compte de l'Institut européen de l'Université, 95% des 600 habitants et des 600 fonctionnaires internationaux interrogés estiment que la présence des organisations internationales a un impact positif sur le canton et qu'il convient de tout faire pour

Genève ville-mo

scientifiques dans ce domaine. Faire fructifier ce capital, en tirer profit pour contribuer à donner du sens au monde de demain: c'est le pari que fait Philippe Braillard, directeur de l'Institut européen de l'Université et membre de la Commission consultative sur la Genève internationale créée récemment par le Conseil d'Etat.

Donner du sens

«La mondialisation, comme chacun le sait, est aujourd'hui une réalité incontournable sur le plan économique, financier, technologique et culturel, explique Philippe Braillard. Mais elle n'est porteuse ni de sens, ni de projets. Elle ne fait pas naître une identité nouvelle, commune et globale.» Dès lors, quelles réponses apporter à la mise en question de l'Etat-nation, à

l'essentiel de 1945 et qui, de l'avis général, ne sont plus adaptés aux réalités actuelles. (lire également l'article en page 22-23). Il faut donc chercher ailleurs.

«La Genève internationale se doit de participer activement au débat, car elle peut y apporter une substantielle contribution, précise Philippe Braillard. Elle cultive depuis toujours un certain nombre de valeurs qui sont susceptibles d'être partagées par le plus grand nombre. Je pense en particulier à ce fameux "esprit de Genève" qui a tant contribué au rayonnement de la cité par le passé et qu'il serait bon aujourd'hui de raviver.» Fait significatif, ce point est l'un des rares sur lesquels la classe politique et l'opinion publique semblent au diapason. Décidées à faire du renforcement de la Genève interna-

maintenir la Genève internationale, voire la développer.

A cette volonté solidement affirmée s'ajoutent les compétences scientifiques de premier plan dont dispose le canton. «En rassemblant les ressources propres aux facultés, à l'Institut de hautes études internationales, à l'Institut d'études du développement et à l'Institut européen, Genève peut s'appuyer sur un outil extrêmement performant en matière de recherche et d'enseignement, complète Philippe Braillard. C'est d'ailleurs l'objectif poursuivi avec le projet de pôle d'excellence en relations internationales qui a récemment été engagé et qu'il faut résolument soutenir.»

Genève, il est vrai, constitue un laboratoire exceptionnel pour les chercheurs. Cité marchande à l'origine, la ville est



nde

«Il ne s'agit pas de concurrencer New York, mais de contribuer à l'élaboration de nouvelles formes de gouvernance»

depuis toujours un carrefour entre le nord et le sud de l'Europe. Terre de refuge dès le XV^e siècle, elle a forgé une grande partie de son identité sur le multiculturalisme et elle accueille aujourd'hui plus d'une vingtaine d'organisations intergouvernementales

monde où se tiennent le plus de réunions et de conférences internationales.

«Il ne s'agit pas de chercher à concurrencer New York, mais de contribuer à l'élaboration de nouvelles formes de gouvernance par le biais d'outils démocratiques prenant

ainsi que près de 300 ONG. L'Union européenne y est également très active en raison de l'importance que revêtent à ses yeux les dossiers qui se discutent dans les enceintes internationales. Au total, quelque 30 000 personnes sont employées dans ces organisations et Genève est la ville au

en compte l'importance du secteur privé, du monde associatif ou des ONG, poursuit Philippe Braillard. Les acteurs non étatiques prennent aujourd'hui une place de plus en plus grande dans le processus d'élaboration de normes et de régulation internationale. Les organisations internationales tendent à devenir des lieux de socialisation au sein desquels la société civile s'implique et prend part aux processus de décision. Cependant, reste posée la question de la légitimité démocratique des entités participant à ces nouvelles formes de gouvernance.»

Assurer une paix durable

La sortie des conflits est un domaine dans lequel Genève pourrait s'investir de façon particulièrement utile. Les guerres classiques, qui portent atteinte →

à l'intégrité territoriale des Etats, sont en effet en nette diminution. En lieu et place, on voit se développer un nombre croissant de luttes intra-étatiques ou transnationales. *«Il est clair que, dans la gestion des conflits, la priorité est le gel de la violence et donc l'arrêt des combats, commente Philippe Braillard. Mais on ne peut pas se contenter de cela. Il faut également réunir les conditions pour qu'une paix juste et durable puisse s'imposer.»*

L'exercice est cependant délicat. Pour avoir une chance de réussir, il est impératif de ne pas se limiter à des considérations politiques et de prendre également en compte le contexte social, économique et culturel en réunissant autour d'une même table les acteurs institutionnels, les représentants de la société civile, des juristes, des spécialistes du développement, etc. *«Or la Genève internationale dispose d'une certaine maîtrise de ces questions et elle peut se prévaloir d'une solide expérience en matière de diplomatie parallèle, conclut Philippe Braillard. En intégrant ce savoir au niveau universitaire, on peut ouvrir des pistes de recherche très prometteuses et favoriser une collaboration fructueuse entre le monde académique et celui des organisations internationales.»* ■



Quatre piliers pou

En crise quasi permanente depuis sa naissance, l'ONU saura-t-elle faire face aux défis soulevés par la mondialisation? La partie n'est pas gagnée d'avance. Car si les objectifs à atteindre sont relativement clairs, les sources de blocage restent également nombreuses, notamment du côté des Etats-Unis. Difficile dans ces conditions de rêver à une organisation internationale idéale pour les générations futures. *«La position de l'administration Bush empêche actuellement toute avancée significative, explique Victor-Yves Ghebali, professeur à l'Institut universitaire de hautes études internationales. Ce gouvernement est allergique à la*

notion de droit international et s'il ne souhaite pas la destruction de l'ONU, il tient fermement à la maintenir dans un état de semi-impuissance, de sorte qu'elle soit incapable d'entraver une politique qui ne tolère plus ni puissance rivale ni contre-poids intergouvernemental.»

Aménager le veto

Pièce maîtresse du dispositif onusien, le Conseil de sécurité concentre aujourd'hui toutes les critiques. A raison sans doute: reflet des rapports de force issus de la Seconde Guerre mondiale, sa composition est en décalage croissant avec la réalité géopolitique. Opaque, le processus de décisions





Ghebali. La voix d'un seul pays suffit pour l'heure à bloquer une décision, mais on peut imaginer que cela ne soit possible que de façon collective. Selon une logique similaire, on peut également suspendre l'usage du droit de veto lorsqu'un des membres permanents se trouve directement engagé dans un conflit.»

Droits de l'homme

Autre champ d'action essentiel pour les Nations unies, la protection des droits de l'homme est aujourd'hui régie par une commission intergouvernementale qui peine à réaliser ses objectifs. Elève zélée, la Suisse a récemment proposé de remplacer ladite structure par un organe d'une composition plus restreinte et plus rigoureuse, mesure qui permettrait d'éviter que certains Etats violant ouvertement les droits humains ne se fassent élire dans le seul but d'échapper aux critiques. «Si l'on ne fait pas sortir les renards du poulailler en empêchant les Etats de se prononcer sur des violations qu'ils commettent parfois eux-mêmes, cela reviendra à poser un emplâtre sur une jambe de bois, remarque Victor-Yves Ghebali. La constitution d'une structure composée de sages et qui soit réellement indépendante, à l'image de ce qui a été fait

(Global Compact) vise à encourager la mise en pratique de dix principes fondamentaux liés aux droits de l'homme, aux normes du travail, à la protection de l'environnement et à la lutte contre la corruption. Depuis 2003, les quelque 2000 firmes, ONG et syndicats qui ont adopté ce texte sont passibles d'une suspension, voire d'une exclusion, en cas de non-respect des règles du jeu. «Il est aujourd'hui possible de formuler une plainte contre les entreprises fautives, mais il n'existe pas pour l'instant de réelles sanctions, souligne Victor-Yves Ghebali. Ce qui fait dire à certains observateurs que ce Pacte bénéficie davantage aux entreprises, qui peuvent s'appuyer sur le logo de l'ONU pour assurer leur expansion, qu'il ne fait de bien aux Nations unies.»

En matière de gestion des conflits, les choses semblent plus nettes. Accusée d'intervenir trop peu et généralement trop tard, l'ONU devrait logiquement pouvoir s'appuyer sur une force de réaction rapide placée en permanence à sa disposition. Le hic, c'est que les grands comme les petits pays se montrent plutôt réticents devant ce projet. Les grands y sont opposés parce que si une telle force existait, ils seraient forcés d'intervenir et n'auraient plus d'excuse pour faire la sourde oreille lorsque leurs intérêts ne sont pas en jeu. Les petits pays n'y sont pas plus favorables dans la mesure où ils redoutent d'être les premières victimes de ce qu'ils perçoivent avant tout comme une menace pour leur souveraineté nationale.

«Pour sortir de l'impasse actuelle, je redoute qu'il ne faille une nouvelle grande catastrophe, conclut le professeur Ghebali. La SDN et l'ONU sont en effet nées dans la foulée de crises majeures qui ont donné à leurs contemporains le sentiment qu'il fallait tout mettre en œuvre pour éviter que cela ne se reproduise. Espérons qu'il ne soit pas nécessaire d'aller jusque-là cette fois-ci.» ■

«L'ONU face à la mondialisation: le problème du passage du multilatéralisme au système-monde», par Victor-Yves Ghebali, à paraître dans la revue «Relations internationales» (Paris).

r une nouvelle ONU

actuel permet par ailleurs aux cinq membres permanents de placer régulièrement les autres nations devant le fait accompli. Toutefois, pour les réformateurs, la marge de manœuvre est réduite. Il sera en effet difficile d'admettre de nouveaux membres permanents au sein du Conseil sans leur accorder le droit de veto. Et multiplier les détenteurs de ce pouvoir risque de compliquer encore les prises de décisions. Quant à supprimer cette prérogative, c'est une perspective que les grandes puissances refusent d'envisager. «Ce qui est imaginable, c'est de réglementer l'usage de ce droit, explique le professeur

pour le Tribunal pénal international, me semble être la seule issue valable.»

La fin de la faim

Comme le rappelle Jean Ziegler dans son dernier livre (*L'Empire de la honte*, Fayard), l'humanité dispose pour la première fois de son histoire des moyens matériels pour en finir avec la faim dans le monde. Mais que peut l'ONU dans ce domaine? Probablement pas grand-chose tant qu'elle n'aura pas trouvé le moyen de faire pression sur les grandes multinationales. Des raisons d'espérer existent cependant. Lancé en juillet 2000 par Kofi Annan, le Pacte mondial

Habiter propre



L'avenir appartiendra aux bâtiments peu gourmands en énergie, voire autonomes. La mise sur pied de tels dispositifs, possible dès aujourd'hui, nécessite cependant une réflexion globale sur notre façon de penser l'habitat

Près de 40% de l'énergie consommée dans nos villes est engloutie par le chauffage des bâtiments. Compte tenu des nuisances que cet état de fait implique pour l'environnement et de la raréfaction des ressources pétrolières, c'est un luxe que ne pourront probablement plus se permettre les générations futures. Des solutions existent cependant, que ce soit pour les constructions neuves ou le parc immobilier existant. Et si l'isolation reste la priorité absolue, il est également possible de réaliser des économies conséquentes en matière de chauffage ou de climatisation. Aperçu de quelques solutions pour rendre plus propre l'habitat de demain avec Willi Weber, Bernard Lachal et Peter Haefeli, du Centre universitaire d'études des problèmes d'énergie (Cuepe).

Priorité à l'enveloppe

Tout le monde est d'accord sur ce point: le meilleur moyen de réduire la consommation d'énergie de nos logements est une bonne enveloppe. Des murs, des vitrages et une toiture bien étudiés permettent en effet des gains aussi considérables que durables. On dispose par ailleurs désormais de matériaux fabriqués à partir de résidus de papier et de carton récupérés qui remplacent avantageusement les mousses issues du pétrole (qui sont vingt fois plus coûteuses en énergie grise). Relativement simples à mettre en place sur des constructions neuves, ces mesures deviennent il est vrai

plus compliquées à réaliser lorsqu'il s'agit du parc construit, qui reste – et restera longtemps encore – le principal terrain d'intervention des architectes. «Dans le cas d'un bâtiment déjà existant, il ne faut surtout pas se montrer dogmatique,

explique Willi Weber. *Il est possible dans la plupart des cas de réaliser des aménagements utiles – comme la mise en place de vitrages intérieurs – sans pour autant dénaturer la façade concernée. Et ce même sur les immeubles construits pendant les années*

Deux façons de concevoir l'autonomie énergétique

► Revendiquant sa simplicité, la maison «passive» de Trin dans les Grisons est pour sa part totalement autonome sur le plan énergétique. Elle ne fait pas pour autant appel à des trésors de technologie. Située à 1000 mètres d'altitude et profitant d'une bonne exposition solaire, elle a été construite entièrement en bois et se distingue essentiellement des chalets alentour par le plancher séparant le rez-de-chaussée et l'étage, qui est constitué par une double couche de briques silico-calcaires dans laquelle l'air chaud s'infiltré et s'accumule avant d'être redistribué à l'intérieur.

► A l'opposé, la maison «zéro énergie» bâtie à Fribourg-en-Brigau bénéficie d'un appareillage *high-tech*: panneaux solaires thermiques, une isolation thermique transparente, cellules photovoltaïques, batteries d'appoint au plomb, dispositif permettant la production et le stockage d'hydrogène (utilisé pour la cuisinière et le chauffage des pièces). En hiver, le système est complété par une pile à combustible basse température. Egalement autonome, cette maison a des besoins en chauffage inférieurs à 15 kWh/m² par année, soit environ

cinq fois moins qu'une demeure ancienne et trois fois moins qu'un bâtiment répondant aux normes actuelles.

► Ce type d'habitat, capable de tirer profit du soleil, du vent et de la pluie tout en recyclant ses propres déchets, notamment les eaux usées, n'est toutefois pas la panacée. Chers à concevoir, ils supposent également certaines avancées en matière de production, de distribution et de stockage de l'hydrogène, manipulations qui posent encore des problèmes majeurs pour des réalisations à plus grande échelle.

n'est pas un rêve

1960, qui sont particulièrement déplorable sur le plan énergétique.»

Un pas supplémentaire peut être franchi moyennant une légère évolution des comportements. Depuis la généralisation du chauffage central, au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, il est en effet devenu normal, pour des raisons de confort, que toutes les pièces d'un bâtiment dépassent les 20°. «*Cette logique n'est pas une fatalité, précise Willi Weber. Il est tout à fait imaginable de structurer un espace de façon à disposer de zones chaudes, comme la cuisine*

ou la salle de bains, et de parties plus fraîches, comme les chambres à coucher. On peut même envisager des logements à géométrie variable, avec des espaces qui peuvent être utilisés de façon saisonnière: l'hiver, on se retire au centre et l'été on vit dans les zones ouvertes. C'est une solution très efficace, puisque dans certains immeubles où les gens se chauffent avec des moyens individuels (poêle à bois, brûleur à gaz ou à mazout), nous avons relevé des consommations inférieures au standard "Minergie", soit moins de 42kWh par m² habitable par année (l'équivalent de 5 litres de mazout environ).»

Désormais obligatoires sur les bâtiments neufs en Espagne, les capteurs solaires thermiques pour l'alimentation en eau chaude constituent un «plus» non négligeable. Nécessitant un investissement très raisonnable, l'installation d'un tel

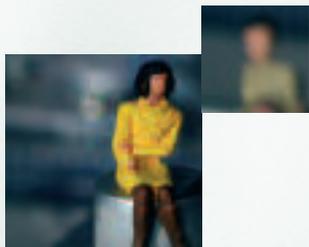


système peut en effet suffire à couvrir jusqu'à 50% des besoins en eau chaude d'un ménage, pour autant qu'il soit bien proportionné.

Chaud l'hiver, frais l'été

Chaud l'hiver, un bâtiment bien conçu doit rester frais durant l'été, sans qu'il soit nécessaire de pousser la climatisation à fond. A cet égard, l'architecture de verre internationale dont Genève compte de nombreux exemples représente une option souvent catastrophique. Durant l'été 2003, la demande d'énergie de pointe a d'ailleurs dépassé pour la première fois celle de l'hiver. «*En plein soleil, derrière un mètre carré de vitrages, on mesure un rayonnement de 500 watts, complète Peter Haefeli. A l'échelle d'un immeuble, cela devient une véritable chaudière.*»

De là à supprimer les surfaces vitrées, qui sont souvent un apport esthétique important, il y a un pas que les membres du Cuepe refusent de franchir. «*Sitôt que 30% de la surface d'une façade est vitrée, on sait qu'on risque d'avoir des problèmes, poursuit Willi Weber. Il faut donc prendre les précautions nécessaires au moment de la conception du projet.*» Pour ce faire, les solutions sont là encore variées. Elles vont du simple store extérieur aux très complexes dispositifs «double peau». Ces systèmes permettent, par le biais d'une structure extérieure, une meilleure circulation de l'air et une évacuation efficace de la chaleur. A Genève, le nouveau siège de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a été bâti sur ce modèle, tout comme la tour de l'Office fédéral des statistiques de Neuchâtel. →



L'exercice reste cependant délicat sur le plan technique. «Dans ce type de démarches, le diable est dans les détails, prévient Bernard Lachal. Si un paramètre est mal calculé, c'est l'ensemble du système qui perd son efficacité, avec comme conséquence possible d'importants problèmes de confort.» L'informatique permet heureusement de limiter considérablement les risques. Grâce à des simulations énergétiques très pointues, que seuls quelques bureaux sont aujourd'hui capables de mener à bien en Suisse, il est en effet possible de modéliser des mouvements d'air naturels. Les architectes peuvent ainsi simuler les variations de température dans chaque pièce d'un immeuble virtuel et à chaque heure de la journée.

Il est également tout à fait envisageable de concevoir des bâtiments qui restent confortables (moins de 26°) même sous de fortes chaleurs sans avoir besoin de climatisation artificielle.

Rassembler les compétences

Mis au point par une équipe du Cuepe, le «déphaseur» ouvre des perspectives intéressantes dans ce domaine. Intégré dans le système de ventilation d'un bâtiment, le procédé permet de donner à l'air qui le traverse une température qui régnait dehors jusqu'à 12 heures auparavant. Pour un coût énergétique dérisoire, le seul besoin en électricité étant les quelques centaines de watts consommés par un ventilateur, il est ainsi possible de diffuser en plein midi une agréable brise nocturne. Le dispositif a en outre l'avantage d'être peu onéreux, puisque les coûts d'installation sont actuellement estimés à 4000 francs pour une villa, 15000 pour un petit immeuble et 60000 pour un grand. «Cet appareil n'a de véritable sens que s'il est intégré dans un bâtiment entièrement pensé en fonction de l'économie d'énergie, précise Bernard Lachal. Et pour cela, il faudra parvenir à convaincre les architectes et les

ingénieurs, qui sont traditionnellement assez conservateurs, d'évoluer un tant soit peu dans leur pratique. Enfin, ce genre d'approche peut aussi poser certains problèmes, notamment pour ce qui est par exemple des risques d'intrusion ou des mesures anti-incendies dans les bâtiments administratifs.» Et Willi Weber de poursuivre: «Si nous disposons déjà de moyens fiables et efficaces sur le plan technique, leur mise en œuvre reste souvent problématique. Le promoteur qui veut rentabiliser son investissement, le Service des monuments et sites, qui lutte pour la conservation des bâtiments, le Service cantonal de l'énergie ont en effet des intérêts très différents. D'autre part, le métier de l'archi-

tecte a tendance à devenir toujours plus complexe. Celui-ci doit désormais s'entourer d'un "team" réunissant un nombre croissant d'intervenants, qu'ils soient spécialistes du chauffage, de la climatisation, des façades ou de l'isolation. Sans oublier les différents experts qui peuvent être consultés à un moment ou à un autre. De par leur statut de neutralité, les chercheurs de l'Université peuvent apporter une aide précieuse dans ce processus. Ils sont également bien placés pour faire en sorte que les innovations développées en laboratoire trouvent le plus rapidement possible une application concrète dans nos sociétés.» ■



Vers le diagnostic intégral

Carte génétique complète, prédispositions positives ou négatives face aux maladies: les connaissances du capital santé de chacun vont augmenter considérablement dans les prochaines décennies. En fera-t-on bon usage?



«*Vu votre profil génétique, vous présentez une prédisposition dix fois plus élevée que la moyenne à développer un cancer de la prostate entre 50 et 70 ans. En revanche, je puis vous informer que votre score en ce qui concerne la maladie d'Alzheimer est nettement plus favorable: le risque que vous en soyez affecté avant 85 ans est 100 fois plus faible que la moyenne. Quant aux maladies cardiovasculaires...*» Quand nous irons chez le docteur, dans 25 ans, ce ne sera plus tant pour savoir de quelle maladie nous souffrons, mais plutôt de quelle maladie nous risquons de souffrir. Ensuite, aux patients de prévenir – dans la mesure du possible – les «mauvaises» probabilités tout en s'assurant que les bonnes se réalisent. L'aide d'un gestionnaire de capital santé, capable de comprendre et de traduire les chiffres abscons issus de l'analyse génétique, sera bien utile. Tout comme quelques gadgets domestiques permettant, entre autres, de mesurer en temps réel ses carences alimentaires chaque matin afin de les combler dès le petit-déjeuner. Il ne faudra pas oublier non plus de se faire mesurer son cycle circadien, histoire d'optimiser ses heures de repas, de coucher et de lever ainsi que celles de prise de médicaments pour soigner les maladies qui auraient malgré tout traversé les mailles du filet préventif (il faut bien que le médecin serve encore à quelque chose).

La prévention n'est toutefois pas le comportement qui caractérise la société actuelle, beaucoup plus concentrée →

sur le traitement des maladies que sur les moyens de les éviter. Mais peut-être que cela changera dans un proche futur, grâce notamment à des moyens techniques.

«Toutes les maladies ont une composante génétique et/ou une composante environnementale (accident, agent infectieux, alimentation, comportement, etc.), explique Stylianos Antonarakis, professeur au Département de médecine génétique et développement. Certaines affections sont dues à la mutation d'un seul gène, mais elles sont assez rares. Pour la grande majorité d'entre elles, il existe un terrain génétique plus ou moins favorable à son apparition. Il

ne s'agit pas forcément de mutations graves, d'ailleurs, mais d'un "profil génétique" qui prédispose à certaines affections. C'est vrai pour toutes les maladies: cardiovasculaires, neurodégénératives, cancéreuses psychiatriques et même infectieuses. Certaines personnes ont en effet une prédisposition plus importante à se faire infecter par une bactérie ou un virus que d'autres.»

Débat éthique

Eviter des maladies sur la base d'informations génétiques, c'est déjà possible, mais seulement pour des maladies monogéniques. Ainsi, la femme qui présente une mutation sur un gène appelé BRCA et dont la mère et la grand-mère ont déjà eu des cancers du sein est pratiquement certaine d'en développer un aussi. Le risque est tellement grand qu'il est possible dans certains pays, aux Etats-Unis notamment, de procéder à une ablation préventive du sein – une stratégie qui soulève néanmoins un débat éthique.

«Le défi est nettement plus grand pour des maladies comme certains types de diabète, sans même parler de l'autisme, de la dépression ou des troubles bipolaires, estime Denis

Duboule, professeur au Département de zoologie et de biologie animale. Ces affections sont dues non pas à un gène qui serait noir ou blanc, mais à une multitude de gènes plus ou moins gris. Il nous manque pour l'instant une méthode bon marché et rapide pour analyser tous les gènes impliqués dans de telles maladies, sans compter que l'on ne les connaît pas tous. Et de loin.»

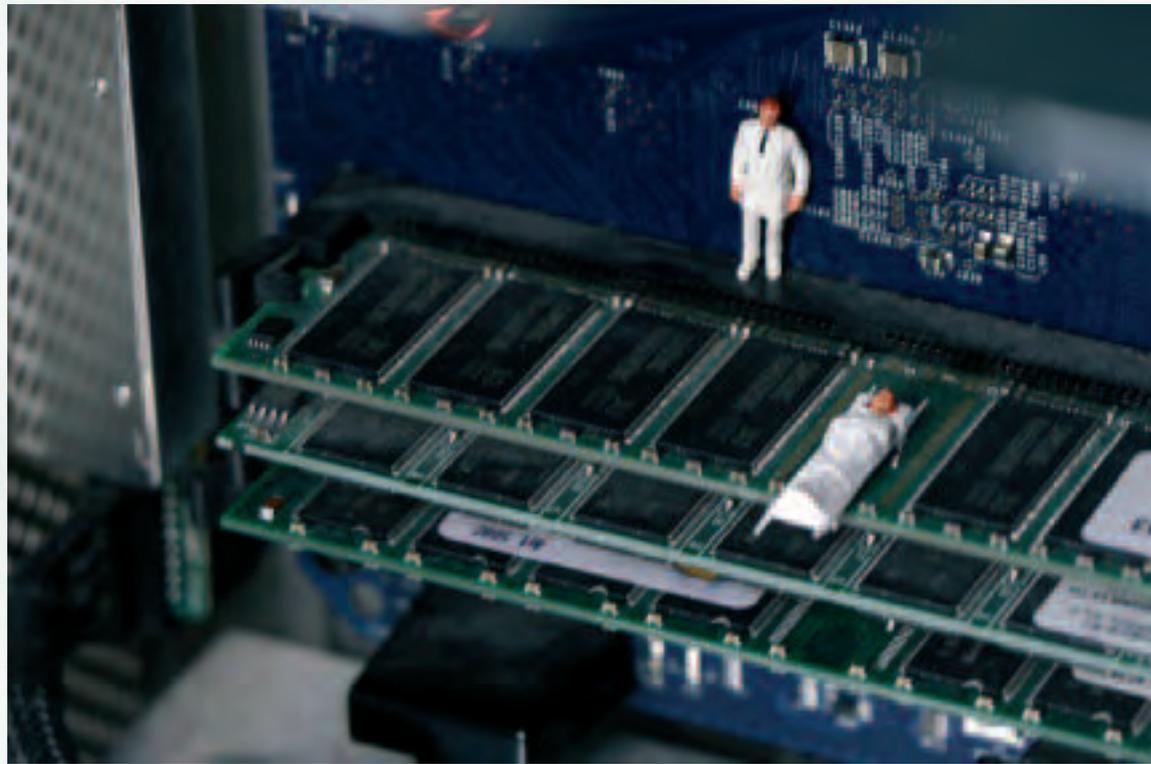
Une telle machine existera dans 20 ans, affirme Stylianos Antonarakis. «Aujourd'hui, il faut 30 millions de francs et plus d'une année pour réaliser une carte génétique complète d'une personne, rappelle-t-il. Dans deux décennies, grâce au perfectionnement des appareils et à l'explosion de la demande, on pourra faire de même pour 1000 francs et en moins d'un mois.»

D'ici là, encore faut-il déterminer les fameux «profils génétiques» des principales maladies. Les progrès de la recherche le permettront sans doute, en grande partie grâce aux avancées tech-

niques justement. Mais est-ce une si bonne chose que de connaître avec autant de précision ses forces et ses faiblesses? Cela ne va-t-il pas augmenter les angoisses ou la culpabilité de ceux qui n'ont pas les moyens de prévenir les maladies pour lesquelles ils sont desti-

«La génétique ne permet de connaître aucune destinée. Elle ne peut fournir que des prédispositions»

nés? «En effet, à quoi cela sert-il de savoir, surtout si l'on ne peut rien faire, souscrit Stylianos Antonarakis. A ce propos, toutes les commissions d'éthique s'accordent à dire que si l'on ne connaît pas de remède à une maladie, il ne faut pas pratiquer de tels tests. Mais la médecine thérapeutique peut aussi



Une vieillesse heureuse

faire des progrès. Je précise, en passant, que la génétique ne permet de connaître aucune destinée. Elle ne peut fournir que des prédispositions, autant positives que négatives. Aucune certitude pour l'individu.»

Le chercheur l'admet cependant, l'avènement éventuel du «diagnostic intégral» impliquerait la création d'un nouveau métier. Celui d'intermédiaire entre le laboratoire et le patient, de vulgarisateur de profils génétiques, d'explicateur de maladies probabilistes. On ne peut pas juste livrer des colonnes de chiffres aux citoyens sans un minimum de contexte. Les médecins actuels n'étant pas formés pour cette tâche, il faudra bien inventer un nouvel acteur de la santé. De la même manière, la connaissance de plus en plus précise du capital santé de chacun exigera l'existence de professionnels dans la gestion de cette manne, à l'image du gestionnaire de fortune.

Curieuse époque

Il n'en reste pas moins que dans l'esprit de beaucoup de gens, aidés par des films de science-fiction comme *Bienvenue à Gattaca* (Andrew Niccol, 1997), la génétique est la porte ouverte à la sélection, à la ségrégation, à la stigmatisation voire à l'eugénisme.

«Notre époque est curieuse, estime Denis Duboule. Nous avons le potentiel technologique pour réaliser de grandes choses dans le domaine médical, mais la société ne l'assume pas. Je suis donc heureux que les chambres fédérales acceptent finalement de rentrer en matière sur le diagnostic préimplantatoire, jusqu'alors interdit en Suisse. Cette technique permettra d'éviter des maladies graves et à terme de les faire disparaître. On parle de sélection et d'eugénisme, mais, en dehors du sexe et éventuellement de la couleur des yeux ou des cheveux, on ne pourra pas sélectionner grand-chose. L'écrasante majorité des caractères individuels sont issus d'un équilibre entre la contribution génétique et l'environnement, bien trop subtil pour cela. Et quand bien même on choisirait un embryon sur certains critères (prédictifs d'une bonne santé, sexe, etc.) avant de l'implanter, est-ce vraiment un problème? Pour ma part, ce qui compte pour un enfant, ce ne sont pas ces

La proportion de personnes âgées ne cessera d'augmenter dans les décennies à venir. Les maladies de vieillesse seront donc plus fréquentes, mais, la recherche aidant, la gériatrie devrait, elle aussi, faire des progrès. Karl-Heinz Krause, professeur au Département de pathologie et d'immunologie, s'attend à des avancées thérapeutiques, notamment en ce qui concerne la maladie d'Alzheimer, qui est la démence la plus fréquente. Parallèlement, la qualité de vie durant le vieillissement devrait également s'améliorer considérablement. Selon lui, on vieillira de plus en plus, mais aussi en meilleure forme.

«Dans vingt ans, je crois fermement qu'il existera des médicaments capables de prévenir chez de nombreuses personnes la maladie d'Alzheimer, ou en tout cas de reculer l'âge de l'apparition des premiers symptômes, prévoit le chercheur. On n'y arrivera pas chez tout le monde, mais dans ce cas, il sera encore possible de freiner la progression de l'affection. A ce stade, on pourra peut-être traiter les cerveaux malades grâce aux cellules souches embryonnaires, qui ont un potentiel considérable pour régénérer des tissus endommagés. D'ici cinq à dix ans, on y arrivera pour la maladie de Parkinson, pour laquelle il sera probablement suffisant de remplacer les cellules mortes par de nouvelles. Pour celle d'Alzheimer, dont le traitement paraît nettement plus complexe, il faudra attendre peut-être cinq fois plus longtemps. Dans ce cas, il sera en effet néces-

saire de rétablir correctement les connexions neuronales. Cela demandera pas mal de travail.»

Quant à la vieillesse du futur, Karl-Heinz Krause la voit avec optimisme. Selon les enquêtes sur la qualité de vie réalisées ces dernières années, il est apparu que la population âgée est potentiellement la tranche la plus heureuse de la population. «Ce résultat dénote une tendance relativement nouvelle, précise le chercheur. Mais il se vérifie seulement dans les cas où les gens peuvent rester à la maison et ne sont pas obligés d'aller dans un foyer. On peut être heureux dans ses vieux jours, du moment que l'on est autonome. C'est pourquoi la médecine universitaire doit, à mon avis, davantage développer ses activités extra-hospitalières.»

détails-là, mais la relation qu'il aura avec ses parents et son environnement affectif. Que la société commence d'abord à assurer à tous ses enfants la même éducation, les mêmes chances et les mêmes droits avant de légiférer sur la couleur de leurs yeux.»

D'ailleurs, avec un peu d'imagination, le chercheur genevois ne serait pas étonné que, dans quelques décennies, on ne fasse plus les enfants comme aujourd'hui: «Sans jugement de ma part, je pense qu'il est possible que des femmes décident de passer par la fécondation in vitro, non parce que leur couple a des problèmes de stérilité, mais pour n'implanter dans leur utérus que des embryons sains et éviter ainsi les traumatismes de l'avortement. Par ailleurs, le choix du sexe des nouveau-nés deviendra une routine pour satisfaire les couples qui ont déjà deux garçons, par exemple, et qui voudraient une petite fille sans devoir jouer à

pile ou face. Après quelques siècles, on s'en lasera et on en reviendra à une méthode plus romantique, pour autant que l'on s'en souvienne... Mieux: il ne sera peut-être bientôt plus nécessaire de sélectionner l'embryon puisqu'on pourra fabriquer des spermatozoïdes et des ovules à partir de cellules souches...» ■



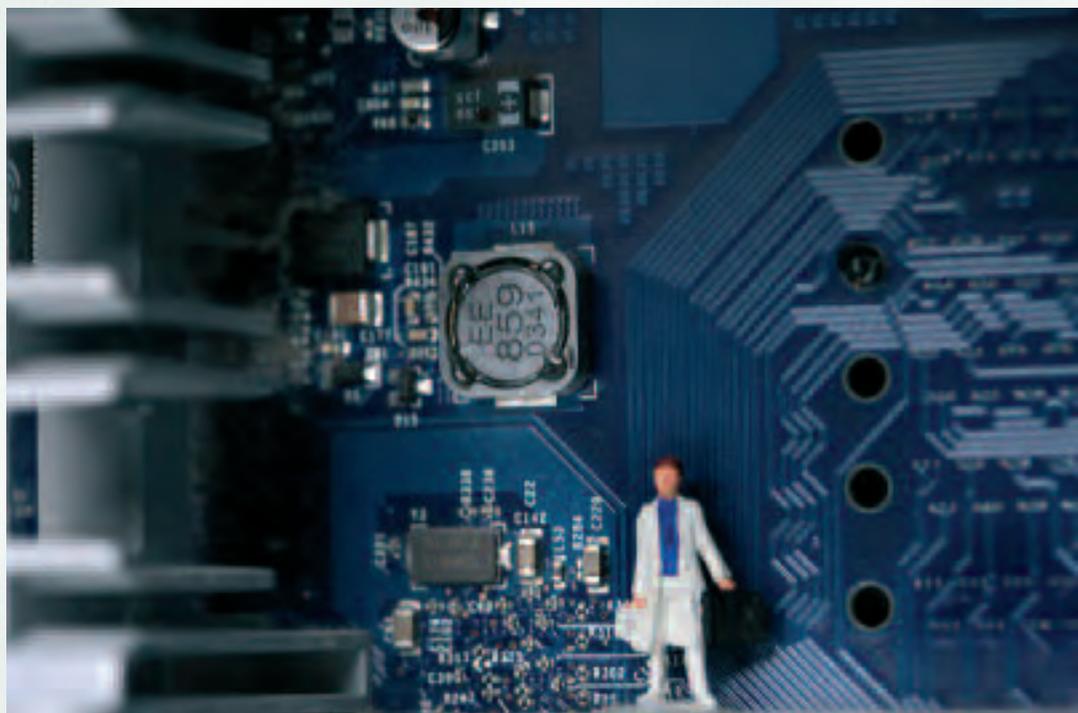
De l'électronique à la «S

Aller plus vite, dans le monde des ordinateurs, implique de concevoir des composants toujours plus petits. Mais jusqu'à quel point pourra-t-on miniaturiser les différents éléments qui constituent les microprocesseurs?

Quand le transistor a été inventé en 1947 dans les laboratoires Bell aux Etats-Unis, qui aurait pu imaginer que soixante ans plus tard on pourrait en introduire des centaines de millions dans un microprocesseur de moins d'un centimètre carré? La découverte de ce composant est considérée comme une des avancées technologiques les plus importantes de l'humanité (à l'image de la roue ou de la maîtrise des métaux), puisqu'elle a permis le développement de tous les appareils contenant un circuit électronique (ordinateurs, téléphones cellulaires, cartes bancaires, etc.). Autant d'engins qui ont imprégné la vie quotidienne et dont on voit mal comment on pourrait désormais se passer. Du point de vue scientifique, technologique, industriel, économique, culturel et social, le transistor, produit à des milliards de milliards d'exemplaires par année, est un succès total.

Toutefois, si l'on porte le regard vers le futur, le problème s'inverse. On sait à quoi peut servir le transistor, mais on ne sait bientôt plus comment le perfectionner davantage afin qu'il réponde aux besoins toujours plus exigeants des utilisateurs. A force de le miniaturiser pour rendre son fonctionnement plus rapide, les fabricants butent en effet sur des obstacles naturels: à une certaine échelle, des parties du transistor tel qu'il est conçu aujourd'hui voient en effet leurs performances plafonner.

«Depuis des décennies, le développement des transistors suit la loi dite de Moore,



explique Jean-Marc Triscone, professeur de physique et membre du Pôle national de recherche MaNEP (matériaux aux propriétés électroniques exceptionnelles) basé à l'Université de Genève. Cette loi stipule que la densité des transistors dans les microprocesseurs double tous les 18 mois. Cette augmentation constante des performances, qui se vérifie jusqu'à aujourd'hui, se traduit par une miniaturisation tout aussi régulière des composants électroniques. Les structures (gravures) des appareils les plus sophistiqués mesurent actuellement 65 nanomètres (ou millièmes de millimètre), c'est-à-dire la largeur occupée par une centaine d'atomes de silicium. On s'attend à ce que cette taille se réduise à 45 nm en 2007, 32 en

2009, 22 en 2011 et ainsi de suite, selon un scénario un peu moins optimiste que celui prédit par la loi de Moore.»

Le problème, c'est que toute la technologie des microprocesseurs est basée sur le silicium. Ce matériau a été une véritable aubaine pour les industriels durant près de cinquante ans: il est abondant dans la croûte terrestre et peu cher; c'est un semi-conducteur; il permet la fabrication de grandes plaques monocristallines dans lesquelles sont gravés des circuits électriques minuscules; une couche d'oxyde de silicium qui se forme naturellement à sa surface joue le rôle d'isolant diélectrique indispensable au fonctionnement des transistors. Mais,

spintronique»



désormais, les propriétés physiques inespérées du silicium ne suffisent plus.

Rupture franche

Dans un an ou deux, selon les prédictions de l'industrie, la couche d'oxyde de silicium sera devenue en effet si fine qu'elle perdra ses facultés isolantes. Elle laissera passer un courant de fuite (par effet tunnel) qui provoquera une dissipation de chaleur très importante (le refroidissement des microprocesseurs est un des enjeux de plus en plus importants pour les fabricants). «Des milliers de gens cherchent de nouveaux matériaux pour remplacer l'oxyde de silicium, explique Jean-Marc Triscone. Des candidats comme l'oxyde de hafnium (HfO_2) ou le titanate de strontium (SrTiO_3), dont la constante diélectrique est beaucoup plus élevée que celle de l'oxyde de silicium, pourraient faire l'affaire, mais les difficultés de les intégrer dans le processus de fabrication industrielle sont importants. Quoi qu'il en soit, les entreprises comme Intel (le plus grand fabricant de microprocesseurs) ont

probablement déjà trouvé une solution pour les développements à court terme, mais la garde secrète pour l'instant.» Pour en savoir plus, rendez-vous en 2007.

Cet écueil franchi, la course en avant pourra se poursuivre quelques années encore. Mais d'autres obstacles surgiront lorsque la taille des transistors s'approchera de celle des atomes, ce qui devrait survenir dans une dizaine d'années selon la loi de Moore. A cette échelle, les effets de la mécanique quantique deviennent prédominants et provoqueront de nombreuses difficultés. D'aucuns comptent donc sur une rupture franche de la technologie dans les décennies à venir pour permettre aux ordinateurs de calculer de plus en plus vite. Parmi les supputations, il en est une qui prédit que l'électronique sera délaissée au profit de la «spintronique». En d'autres termes, on n'exploiterait plus la charge électrique de l'électron, mais son «spin», qui est une grandeur quantique qu'on associe à la «vitesse de rotation» de la particule sur

elle-même. De la théorie (lire *Pour la Science* n° 299 du mois de septembre 2002 pour en savoir plus) à la pratique, toutefois, il y a un pas qui n'a pas encore été franchi.

Encore plus hypothétique est la conception d'un ordinateur franchement quantique. Les propriétés exotiques des lois de la physique régissant le monde du tout petit, comme la téléportation quantique et l'intrication – sur lesquelles travaille notamment l'équipe de Nicolas Gisin, professeur au Groupe de physique appliquée –, donnent des idées pour la conception de «transistors» – ou quelque dispositif équivalent – effectuant un très grand nombre de tâches simultanément. Un tel ordinateur aurait en principe une puissance de calcul phénoménale, mais il n'est pas près de voir le jour. Le développement des q-bits (bits quantiques), éléments centraux de cette approche, se poursuit néanmoins dans de nombreux laboratoires et des progrès importants sont enregistrés. ■

Vers une mémoire dense et non volatile

Le défi pour l'ordinateur de demain n'est pas seulement de posséder une plus grande vitesse de calcul. C'est aussi de disposer d'une mémoire dynamique plus dense et, surtout, non volatile. C'est-à-dire une mémoire qui ne s'effacerait pas à chaque fois que l'on éteint l'appareil et qui ne mettrait pas plusieurs minutes à se recharger lorsqu'on le rallume, comme c'est le cas aujourd'hui. Le gain de temps serait certainement appréciable pour l'utilisateur et conduirait également à une économie significative d'énergie pour la société. A l'échelle mondiale, le nombre d'ordinateurs restant continuellement sous tension –

de crainte de perdre des données lors de chaque arrêt et allumage – est en effet considérable. Plusieurs matériaux sont pressentis pour fabriquer les mémoires dynamiques non volatiles du futur. Mais il n'est pas simple d'allier, d'une part, haute densité d'information par unité de surface et, d'autre part, rapidité et fiabilité d'écriture et de lecture (deux raisons qui excluent la mémoire magnétique utilisée dans les disques durs actuels). «Les mémoires "flash", qui ont permis l'essor spectaculaire des clés USB et des nouveaux appareils pour stocker et jouer la musique, sont non volatiles, explique Jean-

Marc Triscone, professeur de physique et membre du Pôle national de recherche MaNEP (matériaux aux propriétés électroniques exceptionnelles). Toutefois, elles ne sont pas assez flexibles et robustes dans l'effacement et la réécriture continue de données pour jouer le rôle de mémoire dynamique dans un ordinateur.» En revanche, les matériaux ferroélectriques, sur lesquels les chercheurs de MaNEP travaillent, ont un vrai potentiel. Ceux-ci sont en effet composés de minuscules dipôles électriques permanents que l'on peut basculer par une simple impulsion électrique. Récemment, l'équipe de Jean-

Marc Triscone a réussi à développer un dispositif sur lequel elle a pu «écrire» avec une densité de 40 milliards de «bits» (une quantité d'informations qui correspond environ à l'*Encyclopaedia universalis*) par centimètre carré. Des collègues japonais ont tout récemment fait encore mieux, avec un autre matériau, en obtenant 1500 Gbits/cm². Il existe d'autres pistes menant vers cette mémoire non volatile tant convoitée. Elles s'appellent verre chalcogénide, mémoire holographique, etc. Toutes sont encore dans une phase de recherche et de développement.