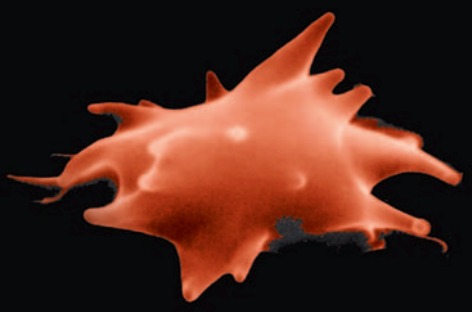
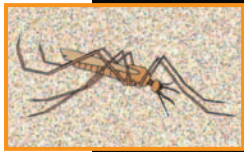




«À quelque chose, malheur est (biologiquement) bon»

Les liens entre la drépanocytose et le paludisme illustrent la sagesse populaire empreinte de fatalisme. Ces deux maladies n'ont à première vue rien de commun. La première, aussi nommée anémie falciforme, résulte d'un défaut de l'hémoglobine. Cette protéine anormale, quand elle a fixé l'oxygène dans nos globules rouges, est moins soluble et forme alors des cristaux allongés : les cellules qui l'abritent ont une forme de faucille et, fragilisées, sont détruites précocement. La seconde résulte de l'infection d'un parasite, *Plasmodium*, transmis par la piqûre d'un moustique anophèle : le micro-organisme envahit les globules rouges où il se reproduit. Pourtant,

dès 1949, le biologiste J.B.S. Haldane est frappé de la concordance des cartes de distribution du paludisme et de la drépanocytose. L'explication est génétique : les individus porteurs d'un gène muté et d'un gène normal sont plus résistants au *Plasmodium* que les individus sans gène muté. Aussi, en Afrique et en Asie où le paludisme fait des ravages, ces individus ont plus de chances que les autres d'avoir une descendance nombreuse : le gène muté est maintenu dans la population. Selon une hypothèse, le parasite qui se nourrit des protéines du globule rouge ne reconnaît pas l'hémoglobine modifiée et ne peut survivre. Ainsi, une maladie protège contre une autre!

Résilience



La plasticité du phénotype augmente la résilience

Les grenouilles communes se reproduisent dans des mares qui s'assèchent parfois avant la métamorphose des larves. Comment résister aux aléas du climat? Des études ont montré que les larves exposées à l'assèchement se métamorphosent plus rapidement que celles qui restent dans un environnement constant. Pourtant, les mécanismes de cette transformation sont inscrits dans des gènes qui sont identiques d'une grenouille étudiée à l'autre. Ainsi, cette plasticité n'est pas génomique ; c'est la plasticité phénotypique, la capacité d'un génome à adapter la morphologie et la physiologie des individus aux fluctuations de leur milieu. Il s'agit de la source ultime

de la diversité biologique! Autres exemples plus proches de nous : lors d'un séjour en altitude, le nombre de globules rouges dans notre sang augmente pour compenser la raréfaction de l'oxygène ; au soleil, notre peau brunit pour résister aux rayonnements ultraviolets. Ces mécanismes qui ont été sélectionnés au cours de l'évolution confèrent aux individus — animaux ou végétaux — qui en sont pourvus une plus grande flexibilité et un moyen de s'adapter à plusieurs environnements. Là où un génome rigide serait inadapté face à une trop grande variabilité du milieu, les gènes de la plasticité phénotypique sont le support de la résilience des individus face à l'imprévu.



La résistance du cœur face au manque d'oxygène : le cœur a sa résilience que la raison connaît

Des épisodes brefs de souffrance cardiaque sont à l'origine de la **résilience myocardique face à l'ischémie**. Depuis 1986, de nombreuses études expérimentales ont démontré que des cycles brefs d'ischémie-reperfusion protègent le cœur de lésions irréversibles lors de la survenue d'épisodes ischémiques plus sévères et plus longs. Chez l'animal, des expériences d'occlusions coronaires brèves sublésionnelles précédant un épisode d'occlusion prolongé entraînent une réduction de la taille de l'infarctus de 60 pour cent. Chez l'homme, lors d'une intervention de chirurgie cardiaque avec circulation

extracorporelle, un clampage bref et intermittent de l'aorte limite la consommation d'énergie au cours d'une ischémie globale ultérieure prolongée. De même, l'on sait que lorsque des patients ont un infarctus précédé d'épisodes d'angine de poitrine, la zone de nécrose est plus limitée, la mortalité et le risque de développement d'une insuffisance cardiaque moindres que chez les patients présentant un infarctus d'emblée.

Chez l'animal et chez l'homme, les études suggèrent un rôle essentiel des canaux potassiques dans cette protection endogène, **base de la résilience myocardique face à l'ischémie**.

Résilience

« Pour en savoir plus » :

- Jean RACINE, *Mithridate*, Gallimard.
- Boris CYRULNIK, *Ces enfants qui tiennent le coup* - 2^e édition, Hommes et Perspectives, 1998.
- Boris CYRULNIK, *Les vilains petits canards*, Odile Jacob, 2001.
- Dossier : *De l'importance d'être imparfait*, Pour la Science n° 200, juin 1994.
- I. THORNTON, Krakatoa, *The Destruction and reassembly of an Island Ecosystem*, Harvard University Press, 1999.
- J. LESOURNE, *Économie de l'ordre et du désordre*, Economica, 1991.
- E. KRÄHENBÜHL et R. GOTTHARDT, *Mémoire de formes, formes en mémoire*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2002.
- Jean Paul DELAHAYE, *Information, complexité et hasard*, Hermès Sciences, 1999.
- Hervé LE GUYADER (sous la direction de), *L'évolution*, Belin-Pour la Science, 1998.

- VINCENT Thomas Louis, *L'anthropologie de la mort*, Payot, 1975.
- C.E. MURRY, R.B. JENNINGS et K.A. REIMER, *Preconditioning with ischemia : a delay of lethal cell injury in ischemic myocardium*, in *Circulation*, n° 5, pp. 1124-1136, 1986.
- G.S. LIU et al., *Protection against infarction afforded by preconditioning is mediated by A1 adenosine receptors in rabbit heart*, in *Circulation*, n° 84, pp. 350-356, 1991.
- M. OVIZE et al, *Coronary cyclic flow variations precondition the ischemic myocardium*, in *Circulation*, n° 85, pp. 779-789, 1992.
- D.M. YELLON et al., *Preconditioning the human heart*, in *Lancet*, n° 342 (8866), pp. 276-277, 1993.
- E. DEUTSCH et al., *Adaptation to ischemia during percutaneous transluminal angioplasty : clinical, hemodynamic, and metabolic features*, in *Circulation*, n° 82, pp. 2044-2051, 1990.

L'ordinateur ultime

JEAN-PAUL DELAHAYE

Depuis le Big Bang, l'Univers, vu comme un ordinateur, a effectué 10^{120} calculs élémentaires. Nos limites physiques du calcul seront atteintes avant 200 ans ; pourrons-nous jamais disposer d'une puissance de calcul infinie qui engendrerait des paradoxes ?

Quand nous déplaçons une boule de haut en bas sur l'une des colonnes d'un boulier, nous effectuons une opération binaire de calcul, tout comme lorsque nous ouvrons un interrupteur, lorsqu'un condensateur se charge, lorsque l'état d'un transistor bascule, lorsqu'une porte logique détermine le OU logique entre ses deux entrées, etc.

Un ordinateur ne fait rien d'autre que de combiner des opérations binaires : le microprocesseur évalue le produit de 2345 par 721921, recherche un mot dans un dictionnaire, modifie un document affiché à l'écran, décomprime une page provenant du réseau Internet, exécute une piste du CD-audio placé dans votre lecteur, etc.

Tout changement, tout mouvement, toute interaction dans le monde physique peuvent être décomposés en suite d'opérations binaires, donc en calculs. De ce point de vue, tout système physique est un ordinateur qui, à chaque instant, enchaîne des opérations, et la physique, finalement, n'est que la théorie du calcul.

Parions que cette idée – qu'on dénomme déjà le réductionnisme computationnel – aura un grand succès dans le siècle qui commence. Elle remplacera sans doute l'idée chère au XVIII^e siècle selon laquelle l'univers est une grande horloge dont les engrenages complexes nous entraînent indéfiniment dans leur course, ou l'idée concurrente du XIX^e siècle que l'univers n'est qu'une machine thermodynamique dégradant sans cesse l'énergie et s'acheminant inéluctablement vers la mort thermique. Nous ne prétendons pas que l'assimilation du monde physique à un ordinateur est une conception qui résume et dépasse toutes les autres, mais qu'il est amusant d'en explorer les conséquences. Nous vous proposons ici de réfléchir à cette troublante hypothèse que des travaux récents corroborent.

En 1998, les physiciens Norman Margolus et Lev Levitin, de l'Université de Boston, se sont posé la question fondamentale : combien d'états distincts un système physique donné peut-il occuper dans un temps donné ? Autrement dit, quelle est la vitesse maximale de changement d'un système physique ? On sait, d'après le principe d'incertitude de Heisenberg appliqué à l'énergie et au temps, que pour mesurer l'énergie E d'un système il faut au moins passer un temps t tel que le produit $E \times t$ soit égal à h , la constante de Planck, qui vaut $1,0545 \times 10^{-34}$ joule-seconde. Une variante élaborée de ce principe, le Théorème de Margolus-Levitin, indique que le nombre maximum d'états distincts qu'un système d'énergie moyenne E peut occuper par seconde, c'est-à-dire sa vitesse de calcul si on le considère comme un ordinateur, est donné par l'expression simple : $2E/\pi h$, où π est l'inévitable 3,14159...

Or l'énergie d'un corps de masse m est, nous le savons depuis Einstein, est égale à mc^2 . Un ordinateur portable d'une masse de 1 kilogramme, donc d'énergie $8,9874 \times 10^{16}$ joules, peut, en conséquence, opérer un maximum d'environ 10^{51} opérations binaires par seconde. Ce nombre est la puissance maximale d'un ordinateur portable ultime d'un kilogramme. Si la mécanique quantique est bien la théorie adaptée à ce genre de problèmes – ce que l'on croit aujourd'hui – alors jamais dans l'avenir, quels que soient les progrès que feront les sciences et les technologies, vous ne disposerez sur votre table d'un ordinateur de un kilogramme ayant une puissance de calcul supérieure à ces 10^{51} opérations par seconde.

1. SI LES FACULTÉS DE CALCUL DE L'UNIVERS sont telles qu'il peut simuler sa propre dynamique, il s'ensuit des paradoxes dignes de la science-fiction.

En sommes-nous loin ? Combien de temps faudra-t-il pour que cette limite absolue soit atteinte ?

HERTZ, INSTRUCTIONS, OPÉRATIONS BINAIRES ?

À vrai dire, aucune de ces questions n'est simple, car les mesures de puissance des ordinateurs contemporains sont données en hertz (nombre de cycles d'horloge par seconde du microprocesseur) ou en instructions par seconde (une instruction est une opération entre groupes de données : comparaison, addition ou multiplication de deux entiers, recopie d'un mot mémoire, incrémentation d'un compteur, etc.).

Si l'on peut admettre, en gros, qu'un hertz correspond à quelques instructions par seconde (de un à dix selon les microprocesseurs), en revanche la conversion des instructions en opérations binaires est délicate, car tout change d'un microprocesseur à un autre et ce qui se passe au cours d'un cycle est très variable. Les processeurs actuels comportent plusieurs millions de transistors (42 millions de transistors pour le Pentium-IV) donc, à chaque cycle d'horloge du microprocesseur, un très grand nombre d'opérations binaires peuvent être effectuées, en théorie plusieurs millions. En revanche, le nombre d'opérations binaires utiles (impossibles à réduire par une meilleure conception des circuits ou organisation des calculs) est bien plus petit : pour additionner deux entiers codés sur 32 bits, une centaine d'opérations binaires suffisent ; pour une multiplication, un millier d'opérations binaires conviennent. Le facteur de conversion entre cycle (ou instruction) et opération