

Si les difficultés du calcul avec l'ADN se confirment en même temps que les succès du stockage moléculaire de données, nous serons en mesure d'affirmer que l'électronique est le meilleur moyen de faire rapidement du calcul (qu'on pourra encore pousser plus loin avec des méthodes quantiques), mais que pour le stockage, ce qu'a mis au point la nature est plus économique, plus robuste et capable de stocker plus massivement l'information que nous souhaitons préserver pour de longues périodes.

Des cellules vivantes programmées

Mentionnons un autre type d'exploit dans le domaine du calcul biologique. Il vient d'être réalisé par une équipe de chercheurs réunis autour de Nathaniel Roquet, du MIT, et ouvre la perspective de programmer à volonté des cellules vivantes (et non plus de soupes moléculaires en bouteille) qui deviendraient des automates à notre service et seraient aussi complexes qu'on le souhaite.

Les cellules vivantes exécutent des sortes de programmes qui, en fonction de leur identité et des signaux chimiques qui leur parviennent, les font réagir de manière spécifique, par exemple en envoyant d'autres signaux chimiques dans la cellule ou à l'extérieur. Jusqu'à présent, on ne savait ni simuler ni reproduire ces réseaux de régulation avec des programmes génétiques artificiels qui, à l'opposé de ceux envisagés par Leonard Adleman, n'ont pas pour objectif un calcul combinatoire ou abstrait, mais une réaction particulière programmée, qui produit une interaction déterminée au sein de la cellule ou avec d'autres cellules. La compréhension et la mise au point de circuits artificiels internes aux cellules qui reconnaissent des entrées successives arrivant dans un ordre fixé et qui répondent spécifiquement semblaient difficilement atteignables. On sait maintenant que c'est possible.

La méthode conçue a pour effet de créer biologiquement des machines à états : la cellule programmée se met dans un état qui est déterminé par la série d'informations qu'elle reçoit et dont l'ordre importe. Ces machines à états biologiques s'appuient sur

des enzymes nommées recombinaisons. Quand une recombinaison est activée par un signal chimique, elle enlève ou inverse un segment particulier d'ADN situé entre deux portions de séquences qui délimitent le segment et qui sont spécifiques à la recombinaison. La séquence (retirée ou inversée) peut contenir des sites de reconnaissance pour d'autres recombinaisons qui pourront alors répondre à d'autres signaux chimiques.

Après avoir créé de tels circuits qui enregistrent des événements, les chercheurs ont incorporé des gènes dans le réseau des séquences manipulées. Dans ces circuits, l'ADN se réorganise, ce qui non seulement enregistre des informations, mais détermine l'activité des gènes, ces derniers étant activés ou désactivés selon les signaux reçus. Les chercheurs ont testé cette approche avec des gènes qui codent pour différentes protéines fluorescentes. Les cellules qui contiennent le circuit artificiel auront par exemple la propriété de présenter une fluorescence rouge si elles reçoivent le signal A puis le signal B, alors que si elles reçoivent le signal B puis le signal A, elles présenteront une fluorescence bleue.

Un ordinateur-univers en perpétuelle reprogrammation

La biologie est une science où le calcul et l'information jouent des rôles centraux. Aujourd'hui, on progresse encore et au lieu d'être simplement les spectateurs de ces calculs et mémorisations d'informations que la vie opère pour fonctionner et se perpétuer, nous apprenons à utiliser et à programmer nous-mêmes des mécanismes moléculaires de traitement de l'information pour en faire ce qui nous arrange.

C'est merveilleux, et cela donne de nouveaux arguments à ceux qui voient dans l'Univers un grand ordinateur : les organismes vivants constitueraient des lieux où s'effectueraient des calculs particulièrement intenses, et leur évolution s'interpréterait comme un perfectionnement de l'ordinateur-univers, qui se reprogrammerait constamment.

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE est professeur émérite à l'université de Lille et chercheur

au Centre de recherche en informatique, signal et automatique de Lille (CRISTAL).

BIBLIOGRAPHIE

N. Roquet *et al.*, **Synthetic recombinaison-based state machines in living cells**, *Science*, vol. 353, 22 juillet 2016.

A. Extance, **How DNA could store all the world's data**, *Nature*, vol. 537, pp. 22-24, 2016.

J. Bornholt *et al.*, **A DNA-based archival storage system**, *Proceedings of the 21st International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, ACM, 2016.

V. Zhirnov *et al.*, **Nucleic acid memory**, *Nature Materials*, vol. 15, pp. 366-370, 2016.

V. Zhirnov et Ralph Cavin III, **Microsystems for Bioelectronics**, William Andrew, 2^e éd., 2016.

Y. Benenson *et al.*, **An autonomous molecular computer for logical control of gene expression**, *Nature*, vol. 429, pp. 423-429, 2004.



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr