

de la structure en double hélice de l'ADN, en 1953. Peu après, c'étaient les idées issues de la cybernétique sur l'auto-organisation qu'avaient reprises de nombreux biologistes pour expliquer le vivant.

Aujourd'hui, avec l'émergence de la biologie de synthèse, où les chercheurs modifient profondément des cellules vivantes, on assiste à un nouveau souffle de la théorie de l'information et à de nouveaux questionnements. Pour mieux comprendre comment fonctionne une cellule vivante, des biologistes comme Antoine Danchin, instigateur de la génomique bactérienne en France et fondateur de la Société *AMAbiotics*, pensent qu'il faut voir les organismes vivants comme des systèmes qui recueillent de l'information et l'utilisent, l'information étant ici définie de façon plus large comme une quantité qui est transférée (sans nécessairement être conservée) au cours d'un processus de mesure, des corrélations étant créées entre le système mesuré et le système qui effectue la mesure.

Selon A. Danchin, il faut de nouveau faire appel à des démons de Maxwell : dans une cellule, de telles entités (des molécules ou des complexes moléculaires)

recueilleraient de l'information pour contrer les effets du vieillissement et permettre à la cellule de se reproduire. Par exemple, la cellule contiendrait des démons moléculaires capables de distinguer entre protéines normales et protéines dysfonctionnelles, et capables d'éliminer ces dernières (voir la figure 3).

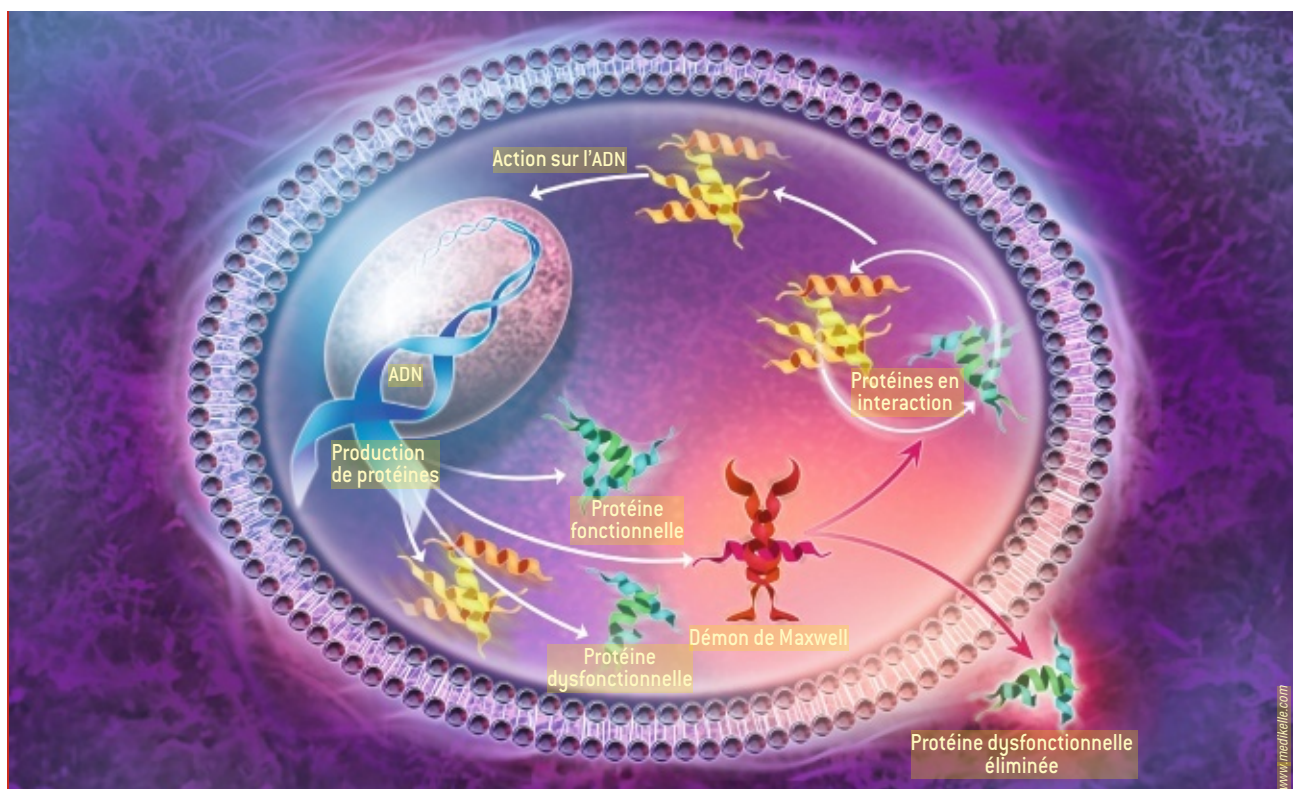
Effacer de l'information coûte de l'énergie

De telles considérations remettent en avant des travaux de Landauer effectués dans les années 1960 sur le coût, en termes d'entropie, lié à l'effacement de l'information. Car en recueillant de l'information, le démon de Maxwell biologique doit changer d'état, et pour fonctionner à nouveau, son état doit être réinitialisé. Or cela implique un coût en entropie, associé à un coût en énergie. En effet, Landauer avait montré que des opérations logiques réversibles, telles que l'opération NON (qui inverse la valeur d'un bit d'information, transformant 0 en 1, ou 1 en 0), peuvent se dérouler sans consommer d'énergie ; il avait aussi montré qu'en revanche, une opération irréversible telle que l'efface-

ment exige un minimum d'énergie : il faut une énergie au moins égale à $k_B T \ln 2$ pour chaque bit d'information perdu, où T est la température absolue.

Cette consommation d'énergie pourrait, selon A. Danchin, aider à identifier les démons de Maxwell cellulaires. S'ils existent, explique-t-il, ils doivent être codés par le génome, et plus particulièrement par le « paléome », un ensemble de gènes qui codent les fonctions essentielles à la vie. Or les biologistes ont constaté que certaines de ces fonctions, censées être impliquées dans la maintenance de la cellule, utilisent de l'énergie d'une façon qui ne leur correspond pas clairement. Autrement dit, une énergie dépensée de façon inattendue pourrait trahir un démon de Maxwell cellulaire.

Une telle dépense suspecte d'énergie pourrait être en jeu dans un mécanisme de vérification de la traduction des ARN en protéines, identifié dans les années 1970. Cela étant, d'autres pistes existent pour identifier des démons de Maxwell cellulaires. Par exemple, une famille de protéines nommées septines semblent impliquée dans le confinement de vieilles protéines dans des cellules de levure, ces vieilles protéines restant au sein de la cellule mère



3. LE FONCTIONNEMENT DU VIVANT met en œuvre des processus opérant de façon analogue à un démon de Maxwell. Ainsi, une cellule produit grâce à son ADN de nombreuses protéines, dont certaines sont défectueuses et à éliminer. Un « démon de Maxwell » moléculaire, lui-même produit par l'ADN cellulaire, effectuerait ce tri. Les entités moléculaires qui jouent le rôle de démons de Maxwell restent toutefois à identifier.

Théorie de l'information, cybernétique : dérives et abus

Dès le début du développement de la théorie de l'information, et malgré le caractère incomplet et hétéroclite de celle-ci (ou peut-être grâce à lui), certains milieux ayant des motivations avant tout idéologiques ont tenté de tirer profit de cette possible unification.

Lors des conférences de la fondation Macy, en 1949, c'est le fondateur de « l'Église » de la scientologie, Ron Hubbard, qui approche Shannon pour s'immiscer dans le groupe des scientifiques. Il entretient ensuite sciemment une confusion entre *Dianétique*, le titre de son livre-testament, et la cybernétique. Sans doute parce que cette unité du savoir n'était pas revendiquée par une institution forte et suffisamment établie sur le plan international, des sectes ont voulu utiliser la théorie de l'information pour leur propre promotion.

En 1975, lorsque des prestigieux physiciens, chimistes et biologistes se sont retrouvés officiellement pour échanger autour du thème « La centralité de la science et les valeurs absolues », il n'était question que de la notion scientifique d'information, et le riche mécène qui avait invité les 11 lauréats du prix Nobel n'était autre que le « révérend » Sun Myung Moon, présenté comme le responsable de « l'Église de l'unification », que d'aucuns qualifient – non sans raison – de secte Moon. Des scientifiques tels Eugene Wigner, Ilya Prigogine ou John Carew Eccles y ont surtout servi de caution scientifique à la secte, même si Eccles, dans son allocution d'ouverture, a cité Moon selon qui le sens de cette unification est à trouver dans « l'esprit cosmique ».

Les propos tenus par d'autres scientifiques, tel le biologiste Gunther Stent, témoignaient clairement

d'une fétichisation de la notion d'information génétique. Pour Stent, par exemple, « transmettre par des signaux radio la séquence des nucléotides d'un chat vers une civilisation extraterrestre est équivalent à transmettre le chat lui-même ».

Une vingtaine d'années plus tard, au printemps 1997, à l'occasion de l'émoi que provoqua l'annonce de la naissance (un an auparavant) du clone d'une brebis adulte, la secte des raëliens poussa plus en avant encore ses élucubrations, annonçant que « la prochaine étape sera le transfert d'information et de la personnalité d'un individu vieillissant à son propre clone encore jeune », « comme le font les Élohims avec leurs 25 000 ans d'avance scientifique » (sic).

Dans d'autres cas, la théorie de l'information, et plus précisément la partie liée à la cybernétique, a pu apporter un ersatz de religion. En Répu-

blique démocratique allemande, par exemple, la cybernétique était d'abord bannie, considérée comme une théorie *made in USA* (ce qui suffisait déjà, en période de guerre froide, pour la discréditer), mais aussi comme la théorie à l'origine de l'automatisation, et donc du remplacement des valeureux ouvriers par des robots.

À partir du moment où, au début des années 1950, les militaires soviétiques ont pu faire comprendre aux apparatchiks qu'il était nécessaire pour la défense du pays d'ouvrir des centres de recherche spécialisés sur ces questions, la cybernétique a été considérée comme une incarnation du matérialisme dialectique, et même sa justification scientifique. En 1992, le dramaturge est-allemand Heiner Müller a ainsi fait remarquer que « la cybernétique avait été pendant un temps un substitut de religion pour les fonctionnaires ».

et ne passant pas aux cellules filles ; les septines seraient ainsi de possibles démons de Maxwell pour la cellule.

Identifier les démons de Maxwell à l'œuvre dans les cellules vivantes, déterminer comment ils fonctionnent exactement, etc., est donc pour A. Danchin et d'autres biologistes un enjeu majeur. Plus largement, l'étude de ces questions pourrait faire progresser la théorie de l'information, qui reste imparfaite : on ignore par exemple si l'information doit obéir à un principe de conservation analogue à celui de la conservation de l'énergie, et la théorie de Shannon ne traite pas de l'information en elle-même, mais plutôt de sa transmission, sans se préoccuper de sa signification.

Il y a un côté fascinant à considérer qu'une unité du savoir pourrait se forger autour du concept d'information. Cette perspective a parfois entraîné des dérives et des interprétations abusives (voir l'encadré ci-dessus). Mais des liens plus sérieux entre domaines différents se sont aussi établis autour du concept d'information. On peut citer l'exemple du structuralisme, né en grande partie de la rencontre, à New York dans les années 1940, entre le linguiste russe Roman Jakobson et l'anthropologue français Claude Lévi-Strauss. Or leur langage commun, ce qui justifiait

même leurs échanges, était la définition de la notion d'information. À cette époque et jusqu'à la fin des années 1960, il était question d'une unité du savoir autour des sciences du langage.

Une théorie qui a encore de beaux jours devant elle

Dans un deuxième temps, avec le développement de ce qu'on a appelé (peut-être un peu abusivement) la « deuxième cybernétique » (ou cybernétique de deuxième ordre) – selon laquelle des systèmes autorégulés peuvent créer de l'ordre (on parle d'autopoïèse) –, la théorie de l'information a connu des applications importantes dans la conception des systèmes économiques. Le marché devait dès lors s'autoréguler sans intervention de l'État, et des penseurs économistes tels que l'Autrichien Friedrich Hayek ont cru pouvoir justifier scientifiquement, sur cette base, une conception libérale de l'économie. Étendue ensuite à des domaines *a priori* non marchands, cette conception a donné naissance au « néolibéralisme » tel qu'il fut défini et surtout promu par l'École de Chicago.

Toutefois, c'est dans les domaines plus strictement scientifiques et techniques que le concept d'information s'est révélé le plus fécond et le plus pertinent. Nous en avons mentionné quelques exemples, avec notamment le démon de Maxwell en physique théorique. On peut aussi citer l'astrophysique des trous noirs, où le sort de l'information ou de l'entropie engloutie avec la matière reste une question stimulante et non résolue. Quant aux applications concrètes, elles sont innombrables, qu'elles relèvent des télécommunications ou de l'informatique.

Qui plus est, les recherches liées à l'information quantique commencent à porter leurs premiers fruits technologiques. L'entreprise *ID Quantique*, par exemple, jeune pousse de l'Université de Genève, en Suisse, a déjà pu prendre en charge, à l'aide d'un procédé de cryptage quantique, une partie des communications cryptées liées à la Coupe du monde de football ; à Vienne, en Autriche, l'équipe rassemblée autour d'Anton Zeilinger est parvenue à battre le record de distance pour une transmission (sur plus de 140 kilomètres) à partir de photons dont les états quantiques étaient intriqués. La théorie de l'information a aujourd'hui 65 ans, mais, comme la plupart des sexagénaires, elle a encore de beaux jours devant elle. ■