

d'une stratégie dans l'ensemble des environnements envisageables.

Cette dernière notion (dont nous ne formulons pas ici la version définitive avec tous ses détails techniques) est trop abstraite pour être utilisable directement dans des applications. Cependant, elle permet le développement mathématique d'une théorie de l'intelligence et fournit des pistes pour comparer sur une même base abstraite, non anthropocentrée et objective, toutes sortes d'intelligences. Contrairement à l'idée de H. Gardner, cette voie de recherche soutient que l'intelligence est unique, qu'on peut dépasser le côté arbitraire des tests d'intelligence habituels pour classer sur une même échelle tous les êtres vivants ou mécaniques susceptibles d'avoir un peu d'intelligence.

Malgré la difficulté à mettre en œuvre pratiquement la théorie (par exemple pour concevoir de meilleurs tests d'intelligence, ou des tests s'appliquant aux humains comme aux dispositifs informatiques), on a sans doute franchi un pas important avec cette théorisation complète. Conscients de son importance pour la réussite du projet de

l'intelligence artificielle, les chercheurs ont maintenant créé un domaine de recherche particulier sur ce thème de « l'intelligence artificielle générale » qui dispose de sa propre revue spécialisée, le *Journal of General Artificial Intelligence* (à accès libre).

Dans le but sans doute d'éviter à la discipline de se satisfaire du développement de sa partie mathématique, un concours informatique a été créé par M. Hutter. Il utilise l'idée que plus on peut compresser, plus on est intelligent. Pour gagner et empocher une partie des 50 000 euros mis en jeu, il faut compresser au mieux le contenu de l'encyclopédie *Wikipedia* considéré comme une sorte d'image miniature de la richesse de notre univers (voir l'encadré 2).

La nouvelle discipline aidera peut-être les chercheurs à réaliser cette intelligence générale qui manque tant à nos machines actuelles et les oblige à n'aborder que des tâches spécialisées, le plus souvent en contournant les difficultés qu'il y aurait à employer les mêmes méthodes que les humains, qui eux disposent – au moins de façon rudimentaire ! – de cette intelligence générale. ■

■ L'AUTEUR



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

au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

■ BIBLIOGRAPHIE

B. Goertzel, *Artificial general intelligence: Concept, state of the art, and future prospects*, *Journal of Artificial General Intelligence*, publié en ligne, juin 2014 (<http://tinyurl.com/ln86g5b>).

M. Hutter, *50 000 euros prize for compressing human knowledge*, <http://prize.hutter1.net/>, consulté en 2014.

G. Tesouro et al., *Analysis of Watson's strategies for playing Jeopardy!*, 2014 (<http://arxiv.org/pdf/1402.0571.pdf>).

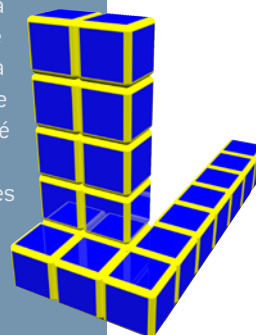
D. Dowe et J. Hernández-Orallo, *How universal can an intelligence test be*, *Adaptive Behavior*, vol. 22(1), pp. 51-69, 2014.

Références supplémentaires sur le site www.pourlascience.fr

Retour sur les golyèdres

Dans le numéro de septembre 2014, je présentais les « golyèdres », des polyèdres composés de cubes de côté unité accolés, et dont les différentes faces ont des aires valant exactement 1, 2, 3, ..., n . On montrait que la plus petite valeur de n pour laquelle un golyèdre existe est 11 ou 12. Un golyèdre à 12 faces était dessiné, mais cela n'excluait pas l'existence d'un golyèdre à 11 faces, existence qui restait donc en question. Or un tel golyèdre à 11 faces vient d'être trouvé (ci-contre) par Alexei Nigin. Il est assez étrange que ce golyèdre, plus simple que les quatre autres déjà connus, ait été trouvé si tardivement !

Une autre question posée dans l'article a été résolue. Si, pour définir les golyèdres, on remplace les cubes par des tétraèdres réguliers dont chaque face a une aire unité, existe-t-il des golyèdres ? Gilles Esposito-Farèse m'a fait remarquer que le tétraèdre régulier ne pave pas l'espace et donc que, en collant par leur face des tétraèdres réguliers dont les faces ont pour aire l'unité, on ne construit jamais de face ayant plusieurs unités d'aire. Il n'existe ainsi pas de golyèdres faits de tétraèdres réguliers. J'ai cependant une consolation : Aristote pensait aussi que le tétraèdre régulier, comme le cube, pavait l'espace et l'écrivit dans son *Traité du ciel*. Son erreur, inaperçue pendant près de 1 800 ans, fut révélée par Johannes Müller (1436-1476).



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

SCIENCE & FICTION

Les cyborgs sont parmi nous !

À la frontière entre le robot et l'homme, le cyborg est un thème récurrent en science-fiction. Les progrès de la science posent la question de sa définition et de celle de l'humanité. Ne serions-nous pas déjà des cyborgs ?

Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

U n cinquième opus de la saga *Terminator* est en cours de tournage : *Terminator Genisys*. Lors d'une conférence de presse, Arnold Schwarzenegger précise la nature de son personnage : « La manière dont le personnage est écrit, c'est une machine en dessous. C'est un squelette en métal mais, au-dessus, c'est de la peau humaine. Et la peau du Terminator vieillit, exactement comme la peau des êtres humains. Peut-être pas aussi vite, mais elle vieillit véritablement. » Terminator, que l'on pensait artificiel à 100 %, ne serait donc pas un robot mais un cyborg. Ces êtres dépassent aujourd'hui la fiction et posent la question de la frontière de plus en plus ténue entre l'humain et la machine.

Il faut distinguer le cyborg du robot. Le second est composé exclusivement d'alliages métalliques, de composants électroniques et autres matériaux synthétiques (on parle de dispositif « mécatronique »). Sa définition ne pose pas de problème et le robot fait maintenant partie de notre quotidien. Comme son nom l'indique (*robota* signifie « corvée » ou « travail » en tchèque), le robot est créé par l'homme pour le remplacer dans des tâches pénibles et répétitives, du travail à la chaîne à l'exploration sous-marine ou martienne, en passant par la guerre.

Le terme de cyborg (contraction de l'anglais *cybernetic organism*) fait référence, lui, à un mélange entre l'organique et le mécanique, il allie des matériaux artificiels et des tissus vivants. Plus récent, ce concept

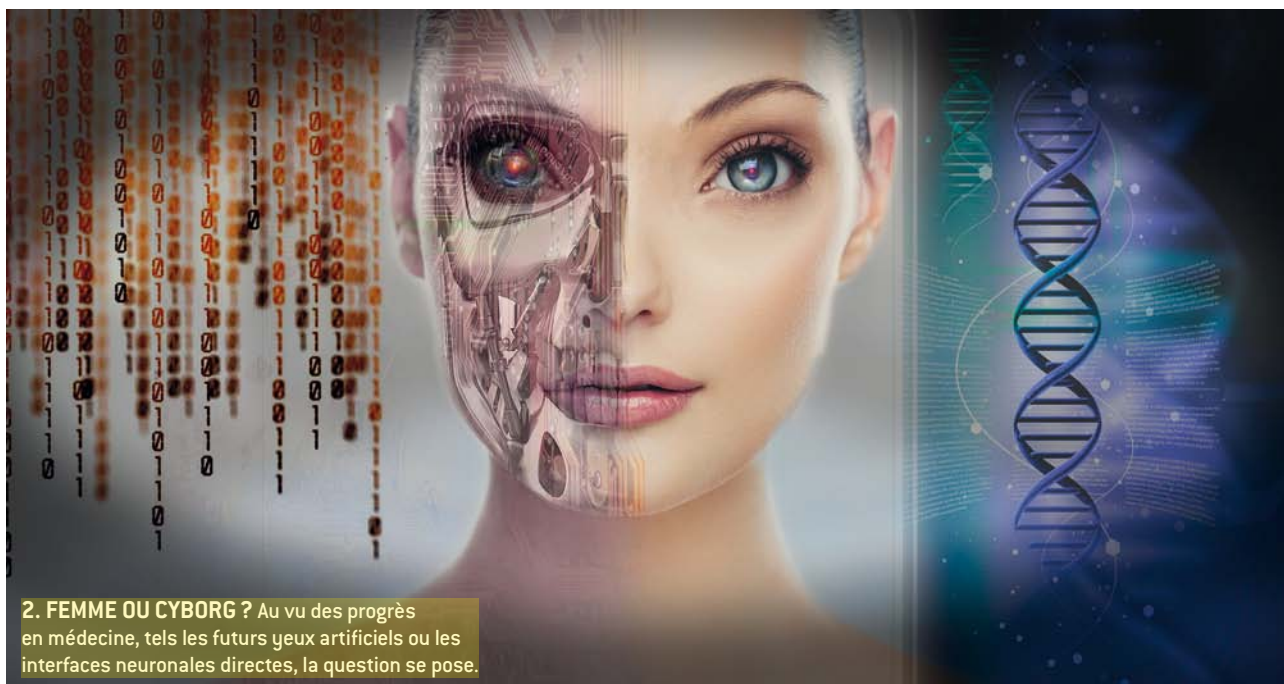


1. TERMINATOR EST UN CYBORG, à mi-chemin entre l'homme et le robot. Son squelette métallique est recouvert de peau organique.

a été développé en 1960 par les Américains Manfred Clynes et Nathan Kline dans un article exposant les avantages d'un humain « augmenté » pour explorer l'espace. Mais déjà Edgar Allan Poe, dans sa nouvelle *The Man That Was Used Up* (L'homme qui était refait, 1839), mettait en scène un homme étrange muni de nombreuses prothèses. Citons aussi Jean de la Hire qui, dans son roman *L'homme qui peut vivre dans l'eau* (1908), introduisit le Nyctalope au cœur artificiel, premier super-héros et cyborg de la littérature !

Bien avant *Terminator*, ces écrivains visionnaires s'étaient donc posé la question : à partir de combien d'implants un homme n'en est-il plus un et quels critères marquent la séparation entre l'homme et le cyborg ? La question se pose aujourd'hui en médecine lorsque l'on pense par exemple aux *pace-makers* – permettant aux victimes d'attaques cardiaques de rester en vie – ou aux prothèses médicales de plus en plus perfectionnées comme le cœur artificiel récemment implanté chez un patient français ou l'œil artificiel, encore en développement.

Ces éléments de technologie « embarquée », qui repoussent les frontières du handicap ou de la mort, font-ils de nous des cyborgs avant l'heure ? Au-delà du fait que notre système immunitaire rejette (ou non) le greffon – qu'il soit synthétique ou biologique –, la question se pose bien sûr en termes philosophiques et éthiques : jusqu'où peut-on « réparer » l'homme ?



2. FEMME OU CYBORG ? Au vu des progrès en médecine, tels les futurs yeux artificiels ou les interfaces neuronales directes, la question se pose.

Dans la série *L'homme qui valait trois milliards*, Steve Austin, astronaute devenu pilote d'essai, est mutilé après un crash. Son œil gauche, son bras droit et ses jambes sont alors remplacés par des prothèses coûteuses qui font de lui un homme « augmenté ».

Il a plus de chance qu'Alex Murphy, ancien policier déclaré cliniquement mort à la suite d'un attentat, mais soigneusement réparé et transformé en Robocop. Ce dernier semble plus près de la machine que de l'homme. Il ne sert alors plus que les intérêts d'une société hypersécuritaire et corrompue : sa mémoire a été effacée et son cerveau est connecté en permanence à la base de données des fugitifs recherchés par la police. Mais, étrangement, ce cyborg fait encore preuve de sentiments humains et se révolte.

Cyborg malgré lui

Cette fiction rappelle celle, véridique, de Johnny Ray. Cet homme souffrait du syndrome d'enfermement (une paralysie totale) après une attaque cérébrale. Le neurologue Philip Kennedy l'a opéré en 1997 et a implanté dans son cerveau une « interface neuronale directe », c'est-à-dire une sorte d'électrode qui transmet aux muscles le signal électrique émis par le cerveau. Le patient a retrouvé une partie de sa motricité jusqu'à son décès en 2002. Les travaux sur les interfaces neuronales ont bien avancé depuis, si bien que l'on parle maintenant de « neuroprothèses » capables de restaurer l'ouïe, la vue et certains

mouvements : il s'agit de rendre à des patients certaines de leurs capacités perdues à la suite d'une maladie ou d'un accident. Ces prothèses, qui raccourcissent la chaîne cerveau-nerfs-muscles et réduisent parfois de plusieurs dixièmes de seconde le temps de réponse, intéressent aussi les militaires : l'armée américaine effectue déjà des recherches dans le but d'améliorer les performances de ses troupes.

L'accélération des capacités techniques, la convergence entre nanotechnologie, biotechnologie, sciences cognitives et techniques de l'information rendent plus crédibles l'hypothèse d'une humanité profondément modifiée par la technique. Cette tendance est encouragée par le mouvement transhumaniste qui promeut la fusion entre l'humain et la machine, d'abord pour réparer, puis pour transformer et augmenter. Mais comment s'assurer qu'un tel monde ne creuse pas des inégalités entre ceux qui ont accès aux techniques et les autres ?

Aujourd'hui, deux aspects techniques semblent encore séparer les cyborgs des hommes. Les premiers sont incapables de générer la totalité de l'énergie nécessaire à leur fonctionnement : après chaque mission, Robocop doit revenir dans son laboratoire pour se recharger. Le T-800, modèle initial du Terminator, est censé, grâce à une « batterie nucléaire à iridium », être autonome pendant au moins trois ans. Mais vu la demi-vie courte de l'iridium 192 (74 jours), il aurait été plus adapté d'utiliser une bat-

terie au plutonium 238, déjà employée dans les générateurs thermoélectriques des sondes spatiales et dont la demi-vie est proche de 88 ans. Cependant, ce dispositif n'est pas assez compact pour loger dans le torse du Terminator.

Autre différence essentielle entre le vivant et les cyborgs : les derniers ne sont pas capables de se reproduire en totalité d'une manière indépendante – même si aujourd'hui une imprimante 3D, donc un robot, peut créer des pièces détachées de robot.

Si l'on peut se demander à partir de quel seuil de technologie – et de tolérance – l'homme allié à la machine perd son identité humaine, la question se pose aussi dans l'autre sens : si l'intelligence artificielle devient vraiment performante, à partir de quand une hypothétique machine intelligente deviendrait-elle humaine ? Dans l'excellent manga *Ghost in the Shell* (Masamune Shirow, 1989), certains androïdes – robots de forme humaine – prennent conscience d'eux-mêmes et, désespérés, se suicident. Et Philip K. Dick de nous rappeler, dans son roman devenu référence *Les androïdes rêvent-ils de moutons électriques ?* (1966, adapté à l'écran par Ridley Scott en 1982 sous le titre *Blade Runner*), que des robots doués de compassion valent peut-être mieux que de cupides et égoïstes humains... ■

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.