HORS SÉRIE 247 trimestriel juin 2009

SCIENCE & VIE

MONDADORI FRANCE

Japon
Enquête au pays des robots

Nao
Petit domestique humanoïde

Le siècle des ROBOTS

Comment la réalité rejoint la fiction

FRANCE METRO 4,90 € - DOM 5,80 € - REU AVION 7,50 € - BEL 5,40 € - CH 9,90 FS - CAN 6,95 $ - AND 5,00 € - ESP 5,50 € - FIN 6,50 € - GR 5,50 € - ITA 5,50 € - LUX 5,40 € - MAR 49 DH - MAY 7,50 € - TOM AVION 1590 CFP - TOM SURFACE 790 CFP - PORT. CONT. 5,50 € - TUN. 5,9 DTU

T 02579 - 247 H - F: 4,90 € - RD

Au bureau, à la maison, à l'hôpital... *Ils sont partout !*

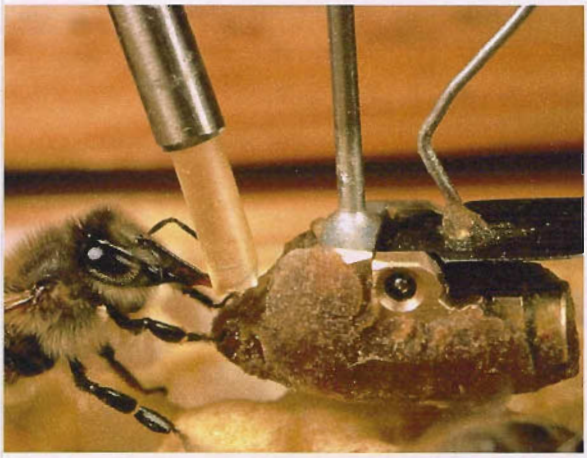
Les robots nous en disent long sur le vivant

Après avoir imité le vivant pour améliorer les performances de leurs robots, les chercheurs font la démarche inverse : étudier les robots pour mieux comprendre le comportement des êtres vivants. Un outil révolutionnaire pour percer les secrets du langage et de la cognition.

« La révolution des robots. » L'expression n'a sans doute jamais été aussi bien adaptée à la situation que nous vivons aujourd'hui : ils débarquent, ils sont là… Robots-chirurgiens, robots-démineurs et décontamineurs, drones, robots-astronautes, robots sous-marins, robots-aspirateurs, robots-jouets, etc. Cette révolution technique est aussi sociétale. Mais ce n'est peut-être pas le plus important.

Car si les robots ont commencé à chambouler le monde avec une force irrésistible, c'est au niveau des concepts que tout s'embrase le plus violemment : si révolution robotique il y a, c'est aussi dans le domaine plus abstrait de la pensée scientifique. Parce que les robots apportent de nouvelles réponses à LA question centrale, énigmatique entre toutes, que des décennies d'études sur le cerveau et le comportement humain (et animal) ont à peine entamée : qu'est-ce qui fait de nous des êtres pensants ? Avec, à la clé, une fusion entre robotique et neurosciences, entre robotique et éthologie (science du comportement et de la cognition animale),

HIGYOU-DON MASON/CORBIS-UPPERCUT IMAGES/GETTY IMAGES



^> La danse des abeilles, un moyen de communication ? L'hypothèse était connue depuis les années 1940, mais c'est un robot introduit dans une ruche après avoir été recouvert de cire qui a permis de la vérifier.

et, en arrière-fond, la fin du dualisme corps-esprit, une conception qui a orienté et façonné notre culture durant des siècles, voire des millénaires... Rien de moins !

C'est pourtant par la petite porte que la robotique, en tant qu'instrument de la connaissance, est entrée dans les sciences : pour l'étude des abeilles, par exemple, dont les robots ont su percer le langage, après des décennies de débats. En effet, on sait que ces insectes dansent pour communiquer. Le principe est connu depuis les années 1940 grâce aux travaux de l'Autrichien Karl von Frisch : quand une éclaireuse découvre une zone à fleurs riches en pollen, elle revient à la ruche pour donner à ses camarades un « plan de vol » sous une forme dansée. L'abeille frétille de l'abdomen et bourdonne des ailes tout en exécutant des 8, formés de deux demi-cercles reliés par une ligne droite... Une chorégraphie qui est un véritable langage. Mais quel est son vocabulaire ? De ses observations, von Frisch avait réussi, dans les années 1970, à isoler quatre paramètres : la fréquence de frétillement de l'abdomen, la fréquence de battement des ailes et la vitesse d'exécution des demi-cercles renseigneraient la ruche sur la distance à laquelle se trouvent les fleurs. L'angle entre la ligne droite et le demi-cercle, lui, indiquerait l'orientation à prendre par rapport au soleil. Las ! Malgré la précision de ses observations, la description de von Frisch avait déclenché une controverse. Les pas de danse étaient noyés dans des quantités de signaux parasites et de « styles » propres à chaque abeille, ce qui laissait planer le doute : les paramètres de von Frisch n'étaient-ils pas plutôt des éléments secondaires et anecdotiques de communication ? Ainsi, le fait qu'un homme se gratte la tête en parlant n'est pas nécessairement une indication sur ce qu'il est en train de dire.

Ce sont les robots qui, en 1992, ont levé ce doute. Une équipe de l'université Sud-Danemark, dirigée par Axel Michelsen, a introduit une abeille-robot éclaireuse dans une vraie ruche. Son corps, en cuivre, avait été recouvert de cire. La fréquence de vibration de ses ailes – des lames de rasoir – et ses déplacements étaient pilotés par un algorithme. Reproduisant les quatre paramètres de von Frisch, le robot effectuait une danse sans aucun mouvement parasite ni « style personnel ». A la surprise – et à la grande joie – des éthologues, les abeilles de la ruche ont obéi sans sourciller à ce petit robot, les scientifiques parvenant effectivement à les conduire là où ils voulaient. Mieux : le robot avait permis de découvrir que la vitesse d'exécution du demi-cercle et l'angle entre celui-ci et la ligne droite n'étaient finalement pas significatifs. La distance et la direction de la source dépendaient uniquement des fréquences de frétillement et de bourdonnement de l'éclaireuse durant ses lignes

C'est par la petite porte que la robotique est devenue un instrument de la connaissance : en étudiant les abeilles

MARK MOFFETT/MINDEN PICTURES/J. HALIQUA ED. AGENCY-SCIENCE MUSEUM/SCIENCE & SOCIETY/COSMOS

droites… A elle seule, cette petite abeille artificielle venait de clore cinquante ans de discussion… Dès lors, les éthologues se sont pris d'affection pour les robots, qui ont investi leurs laboratoires. Avec succès.

FUSION AVEC LES NEUROSCIENCES

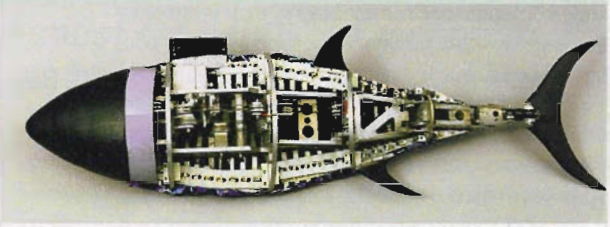
C'est aux robots que l'on doit par exemple la résolution du paradoxe de la nage des dauphins, en 1995 (voir encadré). Sans eux, ces modèles théoriques n'auraient jamais pu être si clairement et indiscutablement validés : les robots ont prouvé que, dans le champ expérimental, ils avaient la force d'une démonstration mathématique. Mais ce n'est pas tout. Ces succès ont vite gagné d'autres disciplines plus proches de l'homme, comme les neurosciences, où une véritable fusion avec la robotique s'opère actuellement, sous le nom de « neurorobotique ».

« L'idée-force de la neurorobotique est celle de "fertilisation croisée" », précise Alain Berthoz, professeur au Collège de France, titulaire de la chaire de physiologie de la perception et de l'action. *« Si les robots sont un moyen formidable de tester des modèles cognitifs, les principes et algorithmes élaborés en robotique se révèlent à leur tour extrêmement pertinents pour modéliser des fonctions cérébrales… »* En clair, l'étude de notre cerveau donne certes l'occasion de concevoir des robots plus performants, mais ces derniers aident en retour à mieux comprendre le fonctionnement de notre matière grise. *« Par exemple,* poursuit le professeur, *nous avions postulé que le cerveau contient un modèle newtonien de la gravité, qui lui permet d'anticiper la trajectoire d'une balle en vol pour que la main puisse la rattraper. Notre équipe a alors élaboré un modèle et a fait appel à des roboticiens du Massachusetts Institute of Technology pour le tester. Ceux-ci l'ont traduit en un algorithme, qu'ils ont implémenté dans leurs robots… Ce faisant, ils ont dû préciser, voire modifier, certains éléments de l'algorithme pour que le robot exécute correctement la tâche, ce qui, en retour, nous a conduits à améliorer notre modèle neurocognitif. »* Un retournement surprenant. Poursuivant sur cette logique, le chercheur a testé, avec les roboticiens de l'université de Pise, un modèle des mécanismes de contrôle des yeux suivant une cible. Et, là encore, les modifications que les roboticiens ont dû apporter à l'algorithme ont fortement influencé le modèle cognitif lui-même.

Le robot, parce qu'il est lui aussi un corps « intelligent » en interaction constante avec son environnement,

DES ROBOTS AU SECOURS DE LA ZOOLOGIE

La zoologie a tiré bénéfice de l'arrivée des robots. Un cas célèbre est la résolution robotique du problème de la nage des poissons et des dauphins : le paradoxe de Gray… En 1936, le zoologiste britannique James Gray (1891-1975) avait remarqué que, d'après leur musculature, les dauphins ne devraient pas dépasser une vitesse de nage de 7 ou 8 km à l'heure… alors qu'ils atteignent voire dépassent les 35 km à l'heure ! Durant des décennies, le mystère est resté sans réponse, certains considérant que les modèles anatomiques étaient erronés, d'autres que des phénomènes hydrodynamiques, apparitions de turbulences (vortex), permettaient aux dauphins d'atteindre une telle vitesse, mais sans disposer de modèle physique convaincant… jusqu'à l'arrivée en 1995 de RoboTuna. Ce dauphin robotique, conçu par Michael Triantafyllou du Massachusetts Institute of Technology, mimait au plus près, mais de manière à la fois autonome et contrôlable, la nage des vrais dauphins (en amplitude et en puissance). Dans les essais en bassin, RoboTuna, qui atteignait de grandes vitesses (sans pour autant égaler celle des dauphins), confirma l'hypothèse des vortex : les oscillations de son corps permettent à sa nageoire caudale (queue) de propulser l'animal, mais créent également des tourbillons latéraux qui, comme un tapis roulant, entraînent le corps vers l'avant…



A RoboTuna ou comment un robot a réussi à résoudre un casse-tête vieux de 60 ans : celui de la rapidité de la nage des dauphins.

mais dont on peut changer chaque paramètre à volonté, est l'outil qui manquait à la science pour tester une à une ses hypothèses sur nous-mêmes. Y compris dans des débats fort théoriques, comme ceux portant sur la part de l'inné (génétique) et de l'acquis (culturel) dans des compétences aussi complexes que l'apparition même du langage.

PAS D'ALGORITHME DU LANGAGE

En effet, on considère habituellement que la prédisposition des humains à parler est le fruit d'un « câblage spécifique » dédié à cette fonction particulière, câblage dont les plans seraient inscrits dans notre patrimoine génétique. Il y aurait, en quelque sorte, un module « langage » dans le cerveau, comme il y a un module de la vision. Ce postulat a été énoncé par le linguiste Noam Chomsky dans les années 1960 sous les termes de « grammaire générative » (ou « universelle »). Il venait en réaction aux conceptions antérieures, qui faisaient de l'émergence des langues une conséquence des interactions humaines, sans qu'il y ait de zone cérébrale spécifique.

Au contraire, pour Chomsky, il y a bien une sorte de code-circuit cérébral, dédié spécifiquement au langage, contenant non pas une langue, mais la structure générale de toute langue. Sa théorie – qui est pour beaucoup dans la fondation des sciences cognitives – a conduit des générations de chercheurs à tenter de modéliser puis de traduire algorithmiquement cette structure universelle du langage. Las ! Malgré les belles avancées que cette voie de recherche a permises, aussi bien en linguistique qu'en informatique, la grammaire universelle n'a pas pu être modélisée, ni sa trace physique identifiée dans le cerveau...

Mais, là encore, la robotique a permis d'éclairer nos connaissances, notamment grâce aux expériences des « têtes parlantes ». Menées depuis 1998 par le linguiste et roboticien Luc Steels, elles avaient pour objet de déterminer quel était l'algorithme cérébral « minimal » nécessaire pour voir apparaître une structure linguistique dans une communauté de robots en interaction (par ondes radio). Or – surprise ! –, après dix ans d'expériences, il semble que les robots n'ont besoin d'aucun algorithme contenant des règles linguistiques : il suffit de leur fournir un programme les incitant à communiquer pour que, plongés dans un environnement d'objets fixes ou mobiles, de formes et de couleurs différentes, ils construisent d'eux-mêmes un langage très basique mais structuré (voir p. 78). Mieux ! Steels a relevé des similitudes frappantes avec les langues humaines : les protolangues développées par des groupes distincts de robots diffèrent les unes des autres, mais certaines structures reviennent fréquemment. Par exemple, l'utilisation d'un ensemble particulier de voyelles faciles

DES ROBOTS POUR SOIGNER L'AUTISME

Et si les robots devenaient des assistants thérapeutes ? Plusieurs recherches menées, notamment par Brian Scassellati de l'université Yale (Etats-Unis), avec des enfants atteints d'autisme ont permis de poser un meilleur diagnostic sur cette maladie qui handicape leurs interactions sociales et leur capacité d'apprentissage. En effet, lorsque l'on place ces enfants devant des jeux composés de jouets classiques et de robots androïdes, ils vont s'intéresser exclusivement à ces derniers, ce qui ne sera pas forcément le cas d'enfants ne présentant pas de syndrome autistique. De fait, les autistes, qui ont du mal à communiquer avec les autres, sont plus à l'aise avec des robots. La raison ? Le fait que ceux-ci, tout en ayant un comportement de type humain, ont une expressivité gestuelle et vocale réduite. Or, les autistes ont le plus grand mal à interpréter et à comprendre les expressions des autres (joie, colère, douleur, etc.). Les robots joueraient donc le rôle de « chaînon manquant » entre l'autiste et son entourage. Mieux : des expériences ont montré que l'interaction avec des robots permettait d'améliorer le lien entre l'autiste et le monde extérieur, et donc sa qualité de vie.

< Le langage naîtrait spontanément de la volonté des êtres d'interagir. Une théorie élaborée grâce à l'expérience dite des « têtes parlantes » menée sur des robots.

à prononcer, prédominance qu'on retrouve dans les langues humaines. Et lorsque plusieurs groupes de robots qui ont déjà constitué leur langue sont réunis, il se produit une sélection « culturelle » d'où émerge une nouvelle langue, selon des mécanismes qui rappellent ceux mis au jour dans la fusion d'anciennes langues humaines. *« Cela plaide en faveur d'une théorie "culturelle" de l'émergence du langage,* dit Steels. *On peut émettre l'hypothèse que le cerveau contient non pas un câblage spécifiquement dédié au langage, mais des circuits cérébraux assez généraux liés à la fonction de communication, qui sont investis* a posteriori *par le langage, lequel est seulement un phénomène émergent de l'interaction entre individus dans leur environnement. »* Le langage ne serait donc qu'une conséquence naturelle mais non programmée, émergeant spontanément de la mise en présence de corps animés d'une même volonté de communiquer. Il trouverait sa source dans le corps qui perçoit et qui agit. Mais s'il naît spontanément du couplage entre la sensation et l'action (qui au passage sonne presque comme une définition de la robotique…), que dire de ces activités intellectuelles plus abstraites qui s'expriment aussi par le langage, comme les mathématiques ? Il pourrait y avoir *« une correspondance directe entre la manipulation sensorimotrice et les raisonnements mathématiques les plus abstraits »*, écrivent Frédéric Kaplan et Pierre-Yves Oudeyer, faisant écho à ce que, déjà, dans les années 1930, le philosophe des sciences Jean Cavaillès avait pressenti : plus que d'une supposée pensée pure, les mathématiques – et, partant, les sciences physiques – relèvent d'une « idéalisation » (cognitive) du geste corporel.

Au-delà, c'est donc bien le corps qui, à travers la robotique, s'est subrepticement invité dans le questionnement scientifique sur l'intelligence. Et, de ce fait, il a changé les termes mêmes du débat : *« On ne peut plus soutenir l'idée que la pensée est une manipulation de symboles et de concepts abstraits s'effectuant dans le cerveau (à partir des données recueillies par nos sens), qui soumet le corps à sa volonté,* dit Jean-Gabriel Ganascia, du Laboratoire d'informatique de Paris 6. *Si la pensée est un calcul, alors c'est un calcul de sensations, non de symboles. »* Propos littéralement… renversants. Car notre science s'est bel et bien construite sur le dualisme corps-esprit qui, dans sa version « XVIIe siècle », considère que la pensée n'est pas soumise aux lois de la physique autrement que par son emprisonnement dans un corps corruptible et mortel : la toute-puissance de la pensée symbolique (l'algorithme) face au corps robotique, idée qui a eu cours jusqu'aux années 1990, n'en est que l'expression moderne. Mais le corps « retrouvé », en cette aube du XXIe siècle, atteste de l'aptitude de la recherche scientifique à se renouveler. Que la science soit arrivée à rompre son propre préjugé, avec des moyens hérités de ce dernier, voilà qui révèle la vraie puissance de la pensée. ●

Paramétrable à volonté, le robot est l'outil qui manquait à la science pour tester une à une les hypothèses émises sur l'homme

> Les robots comme Kaspar pourraient faire le lien entre un autiste et son entourage.

ROMÁN IKONICOFF

BOB THOMAS/GETTY IMAGES-UNIV. OF HERTFORDSHIRE