

pas triviales. Dans le cas de l'enzyme 2-aminoacide transaminase, Adam a trouvé trois gènes distincts qui pourraient résoudre une énigme vieille de 50 ans. Une partie des conclusions d'Adam pourrait être fautive, toute connaissance scientifique étant provisoire. Cependant, il est peu probable que toutes ses conclusions soient fausses. Cela fait maintenant deux ans que les résultats d'Adam sont dans le domaine public, et personne n'a signalé d'erreur. À ma connaissance, les scientifiques d'autres groupes n'ont pas encore essayé de reproduire les résultats d'Adam.

Adam, puis Ève

Une autre façon d'évaluer si Adam est un scientifique est de voir si l'approche d'Adam pour produire des hypothèses nouvelles est généralisable. Une fois les expériences d'Adam lancées, nous avons développé un deuxième robot. Ève applique les mêmes cycles automatisés de recherche au criblage et à la conception de nouvelles molécules biologiquement actives, une activité médicale et commerciale importante. Les leçons que nous avons tirées de la conception

d'Adam font d'Ève un système plus élégant. Les recherches d'Ève concernent le paludisme, la schistosomiase (la deuxième maladie parasitaire après le paludisme dans le monde), la maladie du sommeil et la maladie de Chagas. Nous n'avons pas terminé la mise au point des logiciels d'Ève, mais le robot a déjà trouvé des composés intéressants pour la lutte contre le paludisme.

D'autres scientifiques développent des robots semblables. Hod Lipson, de l'Université Cornell aux États-Unis, tente d'améliorer la conception de la robotique mobile et de comprendre les systèmes dynamiques. Et certains chercheurs essaient de créer des robots scientifiques dans les domaines de la chimie, de la biologie et de l'ingénierie.

En outre, plusieurs équipes, dont la mienne, veulent automatiser la recherche en physique quantique, en particulier le contrôle des processus quantiques. Par exemple, Herschel Rabitz, de l'Université de Princeton, cherche à utiliser des lasers femtoseconde (10^{-15} seconde) pour créer ou briser des liaisons chimiques.

Si nous acceptons que les robots puissent être des scientifiques, nous aimerions

L'AUTEUR



Ross KING est professeur d'informatique à l'Université d'Aberystwyth, au pays de Galles, au Royaume-Uni.

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur www.jardindesplantes.net, dans "l'agenda du jardin"

CONFÉRENCES

Lundi 31 octobre - 18h Cycle « La chimie au Muséum »
La chimie de la mer (M.-L. Bourguet-Kondracki)

FILMS

Reprise du palmarès du Festival International du Film documentaire Océanien 2011
Lundi 3 octobre - 18h
Contact (Grand Prix 2011)
Réal. : B. Dean et M. Butler, Australie, 2009, docu., 78', VOSTFR

Samedi 22 octobre - 15h30
Lucien Kimitete, un homme de la terre des hommes
(Prix du public 2011) Réal. : D. Agniel, Polynésie française, 2010, docu., 52'

MÉTIERS DU MUSÉUM

Dimanche 30 octobre - 15h **Chimiste** - D. Buisson et Ch. Bailly

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, Paris 5^e
Métro : Gare d'Austerlitz - Jussieu

BAR DES SCIENCES **Dimanche 16 octobre - 15h30**

La Nature, source de médicaments
En lien avec l'Année internationale de la chimie et la Fête de la Science. Intervenants : Sabrina Krief, primatologue, Christian Milet, biologiste, Jian-Sheng Sun, PDG de DNA Therapeutics SA. Animé par Marie-Odile Monchicourt.

Café-restaurant la Baleine
47 rue Cuvier - Paris 5^e - Métro : Jussieu



Outre ces robots machines dont traite Ross King, d'autres robots sont conçus pour assister des personnes dans leur vie quotidienne, qu'elles soient scientifiques ou non. Chaque année, les derniers fleurons de la robotique s'exposent et s'affrontent dans des compétitions internationales. Notre robot Nao a obtenu le quatrième prix à la compétition libre du championnat *Robocup@Home* tenu à Istanbul le 11 juillet 2011. Contrairement à d'autres robots, notre petit humanoïde est capable d'apprendre de nouvelles activités coopératives en temps réel, par exemple aider une personne à ranger des objets, grâce à un système cognitif artificiel inspiré de celui de l'homme.

Une voie aujourd'hui en plein essor dans le domaine de la robotique est le développement des capacités d'apprentissage des robots. Jusqu'alors, la plupart des robots domestiques réalisaient des tâches préprogrammées dans leurs lo-

giels et leurs réseaux de neurones, mais n'étaient pas capables d'effectuer une nouvelle activité : ils ne savaient simplement pas apprendre à coopérer pour améliorer leur comportement.

C'était le cas du robot Nao, un humanoïde autonome interagissant avec l'homme, développé par la Société française *Aldebaran Robotics* depuis 2005. Nao dispose de nombreux capteurs (optique et auditif par exemple), de sorte qu'il reconnaît des voix et des visages, et réalise des tâches – préprogrammées – quand un homme le lui demande.

En collaboration avec les concepteurs de Nao, nous l'avons équipé d'un système cognitif artificiel reproduisant certaines capacités d'apprentissage du cerveau humain.

Le système nerveux humain analyse et ordonne de nouvelles informations, soit en écoutant, soit en observant une démonstration, et les apprend vite. Les neurobiologistes ont

reproduit ces facultés en donnant au robot la capacité d'apprendre : Nao peut observer une séquence d'actions réalisées par l'homme et analyser la façon dont elles sont coordonnées dans le temps. Si le robot ne connaît pas une action, il la mémorise par interaction directe avec son interlocuteur. Il devient autonome et reproduit la tâche apprise, voire l'adapte selon une nouvelle exigence. Par exemple, il peut apprendre à ouvrir et fermer une boîte, en coordination avec une personne qui range un objet dans la boîte ; et si on le change de pièce, il sait toujours effectuer le rangement dans le nouvel environnement.

Pour ce faire, nous avons intégré à Nao plusieurs systèmes : un système de compréhension du discours ; un système d'apprentissage des tâches coordonnées entre deux personnes, dont ne disposait aucun autre robot et qui permet de suivre une série d'actions en l'observant ou en l'écou-

tant ; et un système qui met en mémoire les nouvelles informations.

Sans être prédéfinies dans les circuits de Nao, les nouvelles tâches y sont mémorisées et peuvent donc être reproduites.

Nous poursuivons nos recherches sur les fondements neurologiques de la compréhension et du sens. Nous espérons construire des systèmes cognitifs artificiels encore plus proches du cerveau humain.

Ces robots interactifs seraient-ils des scientifiques ? Nous pourrions en effet apprendre à Nao à réaliser une expérience de neuropsychologie, comme le fait un chercheur, pour répondre à une hypothèse qu'il aurait formulée.

**Peter Dominey
et Stéphane Lallec**

Institut cellule souche et cerveau,
CNRS, Bron

BIBLIOGRAPHIE

R. D. King *et al.*, *The automation of science*, *Science*, vol. 324, pp. 85-89, avril 2009.

R. Carnap, *An Introduction to the Philosophy of Science*, édité par Martin Gardner, Dover, 1995.

J. Lederberg, *How DENDRAL was conceived and born*, *ACM Symposium on the History of Medical Informatics, National Library of Medicine*, novembre 1987.

A. M. Turing, *Computing machinery and intelligence*, *Mind*, vol. LIX, pp. 433-460, octobre 1950.

connaître leurs limites. Pour cela, comparons l'automatisation de la science à celle du jeu d'échecs. L'automatisation des échecs est un problème résolu. Les ordinateurs jouent aux échecs aussi bien, voire mieux, que les meilleurs joueurs humains. Une telle maîtrise des échecs par les ordinateurs est possible parce que le monde des échecs est abstrait et clos : 64 cases, 32 pièces. Les sciences partagent la nature abstraite des échecs, mais l'automatisation des sciences sera plus compliquée, car l'expérimentation se fait dans le monde réel. Je pense néanmoins qu'il sera plus facile de développer des robots scientifiques capables de faire des sciences que des systèmes d'intelligence artificielle qui interagissent socialement avec les êtres humains (*voir l'encadré ci-dessus*). En science, nous pouvons penser que le monde réel n'essaie pas de nous tromper, ce qui n'est pas vrai en société.

Aujourd'hui, les maîtres des échecs améliorent leur jeu en utilisant les ordinateurs pour analyser les positions et préparer les attaques. De même, en travaillant de concert, les hommes et les robots scientifiques devraient arriver à des résultats supérieurs à ce que les uns ou les autres pourraient obtenir séparément. Les progrès de l'informatique et des systèmes d'intelligence

artificielle produiront des robots scientifiques encore plus intelligents. Ces créations seront-elles un jour capables de faire des découvertes remettant en question les paradigmes, ou se limiteront-elles à des investigations scientifiques de routine ? Voilà une question clé de la science de demain.

Les hommes et les robots travaillent ensemble

Certains scientifiques, tel le lauréat du prix Nobel de physique Philip Anderson, pensent que la science qui change les paradigmes se fait à un niveau si élevé qu'elle pourrait ne pas être accessible à l'automatisation. Mais un autre Nobel de physique, Frank Wilczek, a écrit que, dans 100 ans, le meilleur physicien sera une machine. L'avenir nous dira qui a raison.

Quoi qu'il en soit, j'entrevois un futur où des réseaux d'êtres humains et de robots scientifiques travailleront ensemble. La connaissance scientifique sera décrite en utilisant la logique et disséminée aussitôt *via* Internet. Les robots vont jouer un rôle de plus en plus important dans les progrès de la science. ■