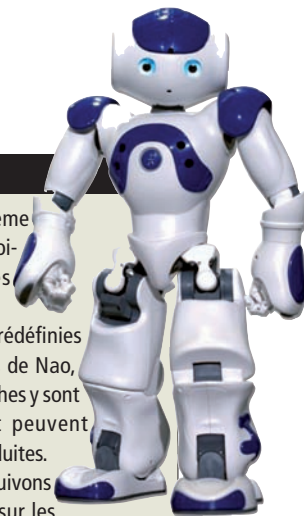




Outre ces robots machines dont traite Ross King, d'autres robots sont conçus pour assister des personnes dans leur vie quotidienne, qu'elles soient scientifiques ou non. Chaque année, les derniers fleurons de la robotique s'exposent et s'affrontent dans des compétitions internationales. Notre robot Nao 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-

giciels 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

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. ■

### ✓ 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.

# Un fléau mondial : la contamination de l'eau par l'arsenic

Romain Millot, Laurent Charlet et David Polya

**Dans plusieurs régions du monde, l'eau contient de l'arsenic. Cet élément y est naturellement présent, mais l'utilisation de puits profonds a fait augmenter sa concentration. Des solutions de dépollution sont à l'étude.**

**D**ans les années 1980, le dermatologue indien Kshitish Saha, d'une école de médecine tropicale proche de Calcutta, est frappé par les symptômes de plusieurs des malades qu'il voit en consultation. Ils présentent des lésions cutanées et des taches noires sur les paumes des mains et les plantes des pieds. Pour lui, ces marques sont les premiers signes d'une intoxication à l'arsenic. Or ces malades sont pour la plupart originaires de l'État voisin du Bengale de l'Ouest, d'autres venant du Bangladesh. Suspectant l'eau d'en être responsable, il fait prélever et analyser l'eau des puits approvisionnant la population du Bangladesh. Effectivement, elle contient des traces d'arsenic.

Pourtant, toutes les analyses effectuées auparavant par les autorités indiquaient que l'eau était consommable... à ceci près que l'arsenic n'avait pas été dosé. Ce n'est qu'en 1993 que l'hypothèse d'une contamination de l'eau par l'arsenic fut confirmée par le gouvernement bangladaï : l'eau des puits contenait de fortes concentrations d'arsenic. Ces puits avaient

la particularité d'être tubés, prélevant l'eau à des profondeurs allant de 10 à 40 mètres. En effet, dans les années 1970 et 1980, le gouvernement bangladaï avait mis en place avec l'UNICEF, la Banque mondiale et l'ONU un vaste programme de forage de puits pour capter les eaux souterraines. Une dizaine de millions de puits tubés ont ainsi été creusés pour approvisionner les villages du pays. Pourquoi creuser des puits si profonds ? Parce que les eaux de surface y étaient contaminées par de nombreux agents infectieux, responsables de diarrhées ou du choléra. En 40 ans, grâce en partie aux puits tubés, la mortalité infantile a été réduite de moitié. Mais personne n'avait imaginé la catastrophe qui se profilait : un empoisonnement collectif à l'arsenic.

En 2000, l'ensemble des puits tubés a été sondé, montrant qu'environ 30 pour cent d'entre eux fournissaient de l'eau contenant plus de 50 microgrammes d'arsenic par litre, et cinq à dix pour cent en contenaient six fois plus. Or l'Organisation mondiale de la santé – OMS – recommande une teneur maximale en arsenic

dans l'eau de boisson de dix microgrammes par litre. Au Bangladesh, on estime à quelque 35 millions le nombre de personnes exposées à des concentrations supérieures à 50 microgrammes d'arsenic par litre, soit un quart de la population du Bangladesh (voir la figure 1).

## Des polluants naturels

La toxicité de l'arsenic dépend de sa forme chimique, et une trop longue exposition à des doses trop élevées provoque l'arsenicisme, une maladie chronique commençant à se manifester par des lésions cutanées et des extrémités rongées par la gangrène. Au bout de cinq à dix ans, les organes internes, tels le foie, les reins, la vessie et les poumons, sont atteints, et un cancer peut apparaître en une vingtaine d'années. Dans le Sud du Bangladesh, où les concentrations en arsenic de l'eau sont particulièrement élevées, on estime qu'un décès d'adulte sur dix serait dû à un cancer engendré par une exposition prolongée à l'arsenic.