

Supplément technologies

Courrier
INTERNATIONAL

HUMAINS, TROP HUMAINS

Quand les robots
se rapprochent
de nous

SOMMAIRE

Hommes et machines doivent apprendre à se comprendre p. III

L'apparence avant tout p. IV

En avant la musique ! p. V

Apprendre par tâtonnement p. VI

La culpabilité comme moteur p. VIII

Les sex-machines sont déjà là p. X

La guerre sans états d'âme p. XII

Feront-ils un jour des petits ? p. XII

Brèves p. XIV

Hommes et machines doivent apprendre à se comprendre

RECHERCHE - Entretien avec Kazuhito Yokoi, l'un des meilleurs experts de la robotique. Les automates vont, selon lui, envahir notre quotidien.

PÚBLICO
Madrid



Epuisé par plus de trois heures de conférence et par un long voyage, Kazuhito Yokoi, tout juste arrivé du Japon, retrouve son énergie dès qu'on l'interroge sur les robots. Ses yeux s'illuminent,

il se lève pour singer leur démarche, nous montre des images de la Grèce ancienne, de la Renaissance ou de la révolution industrielle européenne pour nous rappeler que l'ambition de fabriquer des automates n'est ni récente, ni spécifique aux Japonais. Kazuhito Yokoi codirige le laboratoire franco-japonais de robotique de Tsukuba (capitale internationale de la robotique). Distingué par plusieurs prix scientifiques, ce docteur en génie mécanique est considéré comme l'un des grands spécialistes mondiaux de la robotique, et il s'intéresse tout particulièrement aux humanoïdes. C'est lui qui a conçu l'humanoïde HRP-2, un robot d'une hauteur de 1,54 mètre, inspiré par un personnage de manga et réputé être l'un des plus perfectionnés qui soient pour ses capacités motrices et relationnelles.

Pourquoi le Japon est-il le fer de lance des recherches mondiales en robotique ?

KAZUHITO YOKOI A la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'industrie japonaise a dû se relever et relancer sa production, mais nous manquions de main-d'œuvre. Et le Japon n'a jamais accueilli beaucoup d'immigrés : historiquement, nous nous sommes toujours méfiés des étrangers. De plus, bien que la robotique soit apparue d'abord aux Etats-Unis, là-bas comme en Europe, les syndicats sont puissants et se sont opposés à l'automatisation des procédés. Mais au Japon, les syndicats sont plus faibles. Le gouvernement avait deux possibilités : soit ouvrir les frontières,

soit fabriquer ses propres ouvriers. Il a décidé d'assouplir ses règles d'immigration, mais il a aussi davantage misé sur les robots.

L'Europe a toujours été intriguée par l'intérêt que portent les chercheurs japonais à la création de robots humanoïdes. Comment expliquez-vous ce penchant ?

(M. Yokoi ouvre son ordinateur portable et me montre un dessin de robot de l'époque hellénique et un autre de poupée automate fabriquée en Suisse au XVIII^e siècle.) La Grèce est une région du Japon, d'après vous ? Le Japon n'est pas le seul à s'intéresser aux humanoïdes. Les Etats-Unis se passionnent aussi pour le sujet. Il n'y a d'ailleurs qu'à voir leurs films pour s'en convaincre. Mais, depuis une trentaine d'années, ce domaine de recherche a davantage évolué dans mon pays. Aujourd'hui, c'est notre septième secteur économique.

Pourquoi est-il si compliqué de réaliser un robot capable de marcher, courir ou monter les escaliers ?

Des robots qui marchent – certains ont même écrit un livre –, on en trouve déjà dans le commerce. Le problème n'est pas de marcher, mais de négocier les obstacles. Un robot a beaucoup de mal à comprendre les différentes configurations du terrain, les altitudes, les escaliers, les dénivellations. Le problème mécanique est résolu. Reste maintenant le plus compliqué : assurer l'équilibre du robot. Quand un enfant apprend à marcher, il tombe à tout bout de champ, mais cela ne porte pas à conséquence. Quand un robot de taille adulte tombe, il se casse.

HRP-2, le robot que vous avez créé, marche. Quelle a été la principale difficulté que vous avez rencontrée en cours de conception ?

Le plus dur a été de le rendre aussi compact que possible. De tout intégrer en respectant la taille que nous avions prévue. Je voulais qu'il soit aussi mince que moi.

Qu'est-il devenu ? Que fait-on d'un robot une fois qu'il a été réalisé et présenté au public et aux médias ?

Au Japon, l'activité est constante, et chaque génération de robots sert de plate-forme de recherche pour élaborer la suivante. On continue à chercher et à améliorer. Les médias japonais suivent de très près ce type de recherches, qui ne sont absolument pas perçues comme une perte de temps et d'argent. **La prochaine étape du développement de la robotique humanoïde consiste à apprendre aux automates à interagir avec les humains. Faudra-t-il aussi apprendre aux humains à dialoguer avec les robots ?**

C'est une bonne question. Les humains devront comprendre les robots, et les robots devront comprendre les humains. Prenez l'exemple des voitures. Souvenez-vous des réactions de rejet qu'ont suscitées les premiers véhicules automobiles. Les liens étroits qui existent aujourd'hui entre l'homme et la voiture n'existaient pas autrefois. Nous avons progressivement appris à établir une relation avec l'automobile. Dans la mesure où les hommes et les robots sont appelés à cohabiter, il faudra nécessairement en passer par un apprentissage mutuel.

Comment imaginez-vous le monde en 2020, à travers le prisme de la robotique ?

Nous utilisons d'ores et déjà les robots dans les secteurs technologiques. Nous fabriquons des robots avec d'autres robots. Et nous sommes entourés de nombreux systèmes robotiques que nous ne voyons même plus : dans notre quotidien – des portes qui se ferment toutes seules, des capteurs de toutes sortes –, mais aussi dans le domaine médical et, surtout, en chirurgie... Nous vivons déjà pratiquement à l'ère des robots. A l'avenir, ils accompliront des tâches plus mécaniques et plus laborieuses : le nettoyage des rues et des immeubles, l'assistance domestique, le soin aux personnes âgées. Ils seront également très présents dans les interventions à haut risque comme celles de lutte contre le bioterrorisme, la manipulation de substances toxiques, les tâches environnementales. Les robots iront surtout là où l'homme ne doit pas aller : dans les régions extrêmes, pour l'exploration spatiale et sous-marine. Mais je n'imagine pas non plus une société pleine d'humanoïdes aux côtés des humains.

Miguel Angel Criado



◀ Le robot miniature HRP-2m Choromet.

L'apparence avant tout

INTERACTIONS . Plus l'automate ressemble à un humain, plus il suscite de réactions émotionnelles.

NEW SCIENTIST
Londres

Duke déambule bruyamment dans un couloir, vêtu de son splendide uniforme bleu et blanc aux couleurs de l'université Duke, à Durham, en Caroline du Nord. Mais Duke n'est pas un étudiant. C'est un robot aspirateur en forme de soucoupe de la série Roomba. Ses propriétaires ne l'ont pas seulement habillé, ils lui ont également donné un nom et un genre. Duke n'est pas le seul à avoir été traité de la sorte. Ce genre de comportement est monnaie courante et se décline à l'infini, à en croire l'étude menée l'année dernière auprès de 400 propriétaires de Roomba par Sung Ja-young et Rebecca Grinter, deux spécialistes des interactions entre humains et ordinateurs à l'Institut technologique d'Atlanta, en Géorgie.

Kathy Morgan, ingénieure à Atlanta, a apposé un autocollant "Notre bébé" sur son robot, laissant ainsi entendre qu'elle le considère pratiquement comme un membre à part entière de la famille : "Nous l'aimons, c'est tout. Il nous épargne tellement de corvées ménagères."

Selon Sung, les personnes qui créent des liens avec leurs robots, allant jusqu'à les traiter comme des amis ou des membres de leur famille, ne sont plus des cas exceptionnels. "Ces gens veulent que leur Roomba ne ressemble à aucun autre parce qu'il est beaucoup plus qu'un simple gadget pour eux", analyse-t-elle. En décryptant les réactions humaines face à ces machines, les spécialistes espèrent comprendre quelle sorte de relations nous serions prêts à établir avec des robots.

Des soldats emmènent leur robot à la pêche

Jusqu'à présent, les robots étaient conçus pour effectuer les tâches les plus ennuyeuses, les plus sales et les plus dangereuses, comme le soudage des carrosseries de voitures, le déminage ou la tonte du gazon. Le terme même de "robot" nous vient du tchèque *robota*, qui signifie corvée. Toutefois, les travaux de Sung révèlent que notre comportement a changé. "Une fois que le Roomba est habillé, aucune famille ne le traite plus comme un robot, dit-elle. Quand ils sont recouverts d'une peau ou d'un vêtement, les gens ont tendance à traiter les Roomba avec plus de respect."

Fabriqué par la société iRobot à Burlington, dans le Massachusetts, le Roomba n'est pas le seul robot capable de susciter une forme d'attachement chez ses propriétaires. L'année dernière, plusieurs soldats américains ayant servi en Irak ont confié au *Washington Post* qu'ils avaient développé un lien émotionnel fort avec des robots Packbots et Talon, conçus pour

► Le P' Hiroshi Ishiguro, de l'université d'Osaka (à droite), et l'androïde qu'il a conçu à son image.

Sur les planches

C'est au théâtre que naît le mot robot. Il est employé pour la première fois en 1921, à Prague, dans la pièce *RUR* (*Rossum's Universal Robots*). Son auteur, Karel Capek, écrivain, journaliste, dramaturge, est aussi l'un des pionniers de la science-fiction. Il s'est inspiré du mot tchèque *robota* – dur labeur – pour baptiser ses créatures, des humains organiques fabriqués par l'homme. Dans cette version moderne du mythe du Golem, ces ouvriers artificiels accomplissent les tâches les plus pénibles avant de se rebeller contre leur créateur. Visionnaire ?



ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

la détection et la neutralisation des mines. Les soldats ont déclaré ressentir de la tristesse quand leurs robots étaient détruits dans une explosion. Certains ont tout fait pour les réparer avec des pièces de rechange. Des soldats ont emmené leur robot à la pêche pour se servir de son bras articulé comme appui pour leur canne.

Dans quelle mesure les êtres humains sont-ils prêts à considérer les robots comme des partenaires et non plus comme de simples machines ? La réponse à cette question donnera aux concepteurs en robotique les moyens de mieux déterminer quel genre de tâches ou fonctions attribuer à leurs appareils. Parallèlement, savoir si c'est le robot ou l'humain qui détermine le sentiment d'attachement pourrait leur permettre de créer des machines délibérément conçues pour susciter un lien émotionnel chez les humains. "Les ingénieurs vont devoir identifier quels facteurs déclenchent des émotions positives chez l'humain et tenter de concevoir des robots correspondant à ces critères", explique Sung.

Pour comprendre quels types de robots provoquent une réponse sociale chez les êtres humains, l'équipe de chercheurs de Frank Heger, de l'université allemande de Bielefeld, a scanné le cerveau de plusieurs personnes interagissant avec des machines. Les cobayes ont d'abord été "présentés" à quatre différents "opposants" : un logiciel tournant sur un ordinateur portable, une paire de bras robotisés pouvant taper sur un clavier d'ordinateur, un robot d'apparence humaine doté d'une tête en caoutchouc lui aussi capable de taper sur un clavier et, enfin, un être humain. Les volontaires, équipés de lunettes vidéo, ont ensuite subi un examen par IRM (imagerie par résonance magnétique) au cours duquel des images de

leurs "opposants" étaient régulièrement projetées dans leurs lunettes.

Les sujets devaient alors jouer à une variante du dilemme du prisonnier où le participant est libre de coopérer avec son opposant ou de le trahir. Puisqu'ils ne pouvaient pas savoir ce qu'allait faire leurs adversaires, les cobayes devaient anticiper la manière de penser des autres joueurs. Les volontaires exprimaient leurs choix – trahir ou collaborer – depuis l'intérieur l'appareil grâce à une manette reliée à leurs lunettes. Les chercheurs ont mené cette expérience auprès de 32 sujets, tous confrontés aux quatre mêmes adversaires. Ils ont ensuite comparé les images en accordant une attention toute particulière aux zones activées lorsque le sujet essaie de comprendre les intentions d'autrui – une fonction appelée théorie de l'esprit. Cette capacité est considérée comme un facteur-clé des interactions sociales entre êtres humains.

Aucune machine n'atteindra le degré de complexité de l'humain

Sans surprise, les scientifiques ont découvert que les neurones impliqués dans la théorie de l'esprit étaient mobilisés – dans une certaine mesure – face à tous les opposants. Mais cette activité était plus marquée face un interlocuteur ressemblant davantage à un être humain. L'apparence physique du robot serait donc déterminante dans l'élaboration de relations complexes entre l'homme et la machine.

Mais même s'il existe des points communs entre la façon dont on perçoit les robots et les êtres humains, il y a également des différences. Daniel Levin et ses collègues de l'université Vanderbilt à Nashville, dans le Tennessee, ont montré des vidéos de robots en action à plusieurs personnes avant de leur demander ce qu'elles

en pensaient. Le résultat montre que les personnes testées refusent d'attribuer des intentions aux robots, quel que soit le niveau de sophistication que ces derniers semblent avoir atteint.

Les chercheurs ont identifié une autre variable : le sexe et la nationalité des sujets déterminaient également le degré de socialisation et de confiance qu'ils étaient prêts à accorder aux robots [voir ci-contre].

Malgré ces incertitudes, certains spécialistes ont déjà une opinion arrêtée. Herbert Clark, psychologue à l'université Stanford, en Californie, doute que les êtres humains puissent entretenir des relations véritablement complexes avec des robots. "Les roboticiens devraient admettre qu'aucune machine n'atteindra jamais le même degré de complexité qu'un être humain. Plus tôt ils comprendront cela, plus tôt nous aurons une idée réaliste de ce que nous pouvons attendre des robots", explique-t-il. Selon lui, l'absence de désir et de libre arbitre chez les robots limitera toujours la perception qu'en auront les êtres humains.

Hiroshi Ishiguro, chercheur à l'université d'Osaka, est quant à lui persuadé que les interactions entre l'homme et la machine sont moins limitées que cela. Ishiguro a créé un double de lui-même capable de bouger, de cligner des yeux, de respirer, de parler et de suivre un objet du regard. Il a récemment utilisé son double pour faire cours à l'université en le contrôlant à l'aide d'une télécommande. Selon lui, la réaction des étudiants montre qu'ils s'impliquaient émotionnellement avec son double artificiel. "Les gens traitent mon double de manière tout à fait naturelle et ne manquent pas de le saluer quand ils le croisent, dit-il. Les robots peuvent être des partenaires des humains, et ils vont le devenir."

Paul Marks

En avant la musique !

PERFORMANCE ■ A Brooklyn, compositeurs et chercheurs ont assemblé un surprenant orchestre de machines.

SCIENCE
Washington

Quand les robots ont commencé à jouer, presque personne ne s'en est aperçu. Il est vrai qu'il n'était pas facile d'attirer l'attention. Il n'y avait pas de chaises pour le public. La centaine d'humains présents étaient debout à discuter et à rire en buvant des bouteilles de bière achetées à l'entrée. S'ils avaient été assis, ils n'auraient de toute manière pas eu de scène sur laquelle porter leur regard. Les "interprètes" étaient partout – sur le sol, dans les coins, fixés aux murs ou accrochés à des échafaudages – et il était difficile de les distinguer du reste des appareils électroniques entassés dans la salle. Au bout d'une dizaine de minutes, quand les robots ont brièvement triomphé du brouhaha humain dans une cacophonie de bruits métalliques, de percus-



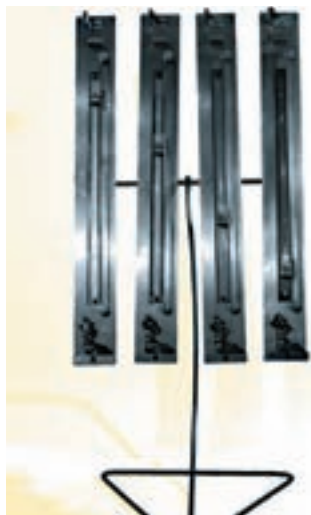
sions et de sons stridents, une jeune femme près de moi s'est interrompue pour s'exclamer : "Mon dieu, que c'est agaçant !" Puis, après avoir parcouru la salle des yeux, elle a ajouté une question : "Ca fait partie du concert ?"

Le concert en question était l'un de ceux auxquels j'ai assisté en janvier dernier pour évaluer le niveau artistique de la musique robotique. C'était le produit d'une collaboration entre des compositeurs (des humains) et un ensemble de musiciens (des machines) appelés LEMURbots. Les compositeurs ont ainsi inauguré LEMURplex, une salle expérimentale et de concert de Brooklyn, à New York, où ils ont passé un mois. Pour juger du résultat, j'ai demandé à trois roboticiens et à deux musiciens professionnels de venir assister à l'événement.

Le morceau s'est achevé de la même manière qu'il avait commencé : non pas dans un grand fracas, mais avec un gémissement surnaturel presque imperceptible. J'ai aperçu le compositeur Drew Krause, un membre de la faculté de musique de l'université de New York, qui se tenait dans un

renforcement, pour ne pas se faire remarquer. Il avait une expression de détachement amusé, nullement affecté, semblait-il, par le fait que peu de gens écoutaient sa musique.

Une chose est sûre en ce qui concerne les LEMURbots : ils ne ressemblent en rien aux robots humanoïdes classiques et ne produisent pas



► De gauche à droite et de haut en bas : ModBot ; GuitarBot ; XyloBot ; HydroBots ; NotBot ; ForestBots.

■ Chantez maintenant !

A l'université de Plymouth (Grande-Bretagne), les robots font des vocalises. Le chercheur en informatique Eduardo Miranda, qui est aussi compositeur, a programmé deux robots pour "chanter" des séquences aléatoires de six notes. Quand l'un des robots chante, l'autre l'écoute et tente de reproduire la séquence. Le chercheur a laissé deux de ses robots gazouiller ensemble pendant deux semaines, et il a finalement constaté qu'ils s'étaient constitué un répertoire de vingt séquences musicales... Pour Miranda, c'est peut-être les bases d'une culture musicale robotique.

les mêmes sons. En fait, la majorité des gens ne doivent pas les prendre pour des robots. Ainsi, le Bucketbot, le cylindre qui cognait au-dessus de nos têtes, n'est rien d'autre qu'un seau et un maillet actionné par un mécanisme à ressort appelé solénoïde. Le petit ensemble de cloches qui tintaient au niveau de nos coudes – les Tibetbots – fait appel au même mécanisme. Les LEMURbots les plus imposants se trouvaient dans mon coin. Le XyloBot, également connu sous le nom d'Ill-Tempered Clangier, est un instrument en forme d'arc composé de maillets frappant sur des tubes métalliques. Le GuitarBot, une grille métallique suspendue au-dessus du public, est une gigantesque guitare à quatre cordes pourvue de plectres actionnés par un moteur fixé sur des tringles coulissantes. Tous les robots sont reliés au même ordinateur.

Avant le concert, j'avais demandé à Drew Krause ce que représentait pour lui le fait de travailler avec des robots. "Un challenge, a-t-il répondu, car on ne peut pas simplement s'adresser à eux et leur expliquer comment ils doivent jouer une certaine note." Au lieu de cela, le compositeur a dû communiquer avec eux via un langage de programmation



Photos : www.lemurbots.org

appelé LISP. En revanche, un point positif des LEMURbots est que le compositeur a pu "entendre leur interprétation tout en travaillant sur un morceau", explique-t-il. C'est vrai, les robots ne réclament pas de pause-café ! Autre avantage : Krause a pu obtenir "des prestations rythmiques que des interprètes humains auraient été incapables de fournir, comme un rythme à l'unisson suivant une courbe sinusoïdale à huit décimales." Mais, comme la seule chose clairement audible durant le concert était les vibrations de la GuitarBot qui se trouvait près de moi, ces subtilités m'ont échappé.

Par la suite, autour d'un dîner, mes auditeurs ont sévèrement critiqué le concert. "Rien de nouveau", ont décrété Jeff Lieberman et Daniel Paluska, d'anciens élèves de groupes de robotique du Massachusetts Institute of Technology (MIT) qui partagent aujourd'hui leurs activités entre le milieu universitaire et le monde artistique. Les instruments capables de faire de la musique de façon autonome ont une très longue histoire, a observé Daniel Paluska, depuis les pianos mécaniques qui sidéraient le public du XIX^e siècle jusqu'aux "sculptures cinétiques" musicales d'Alexander Calder et de Jean Tinguely. "Technologiquement, c'est juste



une réédition", a poursuivi Jeff Lieberman, déçu de voir "plus ou moins la même vieille robotique" et non "une expression nouvelle".

"En quoi un tourne-disque n'est-il pas un robot ?" a demandé Vijay Iyer, un compositeur et pianiste de jazz new-yorkais. Les roboticiens ont haussé les épaules. "Les robots ne peuvent pas improviser", a fini par répondre Jeff Lieberman. "Mais savez-vous au juste ce qu'est une improvisation ?" a repris Vijay Iyer. Ce débat entre musiciens et roboticiens s'est poursuivi jusqu'à une heure avancée de la nuit, générant plus de questions que de réponses. Une seule chose a fait l'unanimité : il était impossible pour les auditeurs de juger la musique de Krause. Pour la violoniste Lara St. John, c'est dû à une erreur classique des interprètes, qu'ils soient humains ou robots : "Si vous ignorez votre public, il vous ignore aussi."

Guy Hoffman, un roboticien travaillant au Media Lab du MIT, a pourtant considéré que le concert était un pas dans la bonne direction pour l'intelligence artificielle, même s'il ne répondait pas aux critères classiques. "Lorsque les gens se demandent quand les



robots seront vraiment intelligents, a-t-il dit, ils se réfèrent encore au test de Turing." Selon ce test, imaginé par le pionnier en informatique Alan Turing dans les années 1950, le jour où un ordinateur sera capable de discuter de n'importe quel sujet avec des humains sans que l'on puisse déceler qu'il s'agit d'une machine, on pourra considérer qu'il a une intelligence équivalente à celle d'un humain. Chaque année, le prix Loebner dote de 2 000 dollars et d'une médaille de bronze le programme informatique qui se rapproche le plus de cet objectif. (Il est possible de discuter en ligne avec le lauréat de l'année dernier, UltraHAL, pour se faire une idée du chemin qui reste à parcourir : <www.zabaware.com/webhal/index.html>.) Mais la véritable formule pour évaluer l'intelligence – qui va du raisonnement et de l'émotion à l'incarnation physique – fait encore l'objet d'un vif débat entre scientifiques et philosophes.

Selon Guy Hoffman, dont les recherches portent sur la communication entre l'homme et la machine, les arts du spectacle pourraient à ce titre être un meilleur terrain d'essai pour l'intelligence artificielle que la conversation. Dans sa version du test de Turing, "une machine doit être capable de répéter avec des humains et de fournir une bonne prestation sur scène, en ne se contentant pas de suivre un programme préétabli mais en réagissant à l'accueil du



public en temps réel". Selon lui, le plus difficile pour une machine est d'interpréter un rôle. Mais, comme la compréhension du langage naturel est un obstacle colossal pour les machines, il pense que "la musique peut permettre de franchir des étapes importantes". Pour ce roboticien, les scientifiques ne pourront pas atteindre leur but seuls. Pour les aider à l'atteindre, "les artistes devraient accepter de mettre les mains dans le cambouis de la robotique", dit-il.

John Bohannon

Apprendre par tâtonnement

REPÉRAGE . Pour saisir un objet inconnu, la main doit identifier sa forme, sa consistance, son poids. Pas si facile.

TECHNOLOGY REVIEW
Cambridge (Massachusetts)

Dans les usines et sur les chaînes d'assemblage, les robots font aujourd'hui partie des meubles. Mais on ne les voit toujours pas interagir dans les maisons avec des êtres humains. A en croire Josh Smith, chercheur chez Intel, le problème viendrait essentiellement de l'incapacité des robots à avoir des interactions simples avec leur environnement proche. C'est une chose de parvenir à attraper une galette de silicium posée à un endroit bien déterminé ; c'en est une autre d'aider une personne âgée à se lever d'un fauteuil.

Fin septembre, Smith et son équipe sont parvenus à mettre au point une nouvelle technologie, appelée "pre-touch", permettant à un robot de "sentir" un objet se trouvant à quelques centimètres. Par le bout de ses doigts doté d'électrodes, la main du robot émet un champ électrique qui est modifié dès qu'un objet conducteur – métallique ou contenant de l'eau – se trouve à sa portée. Des algorithmes interprètent ensuite cette modification du champ électrique et créent un visuel de localisation de l'objet.

Lors d'un récent rassemblement Intel à Mountain View, en Californie, Smith a dévoilé la dernière version de sa main robotisée. Outre les capteurs "pre-touch", le scientifique a équipé son invention de jauges de pression mesurant la force exercée sur chaque doigt. Cette mesure permet au robot de savoir si l'objet glisse ou est fermement maintenu par l'ensemble de ses doigts. Une fois l'objet correctement positionné, les doigts automatisés se resserrent dessus de manière à ne pas le laisser échapper.

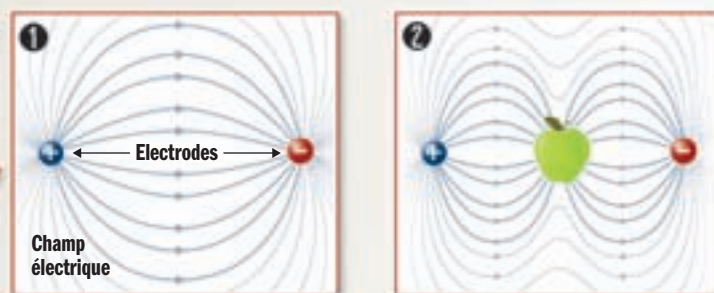
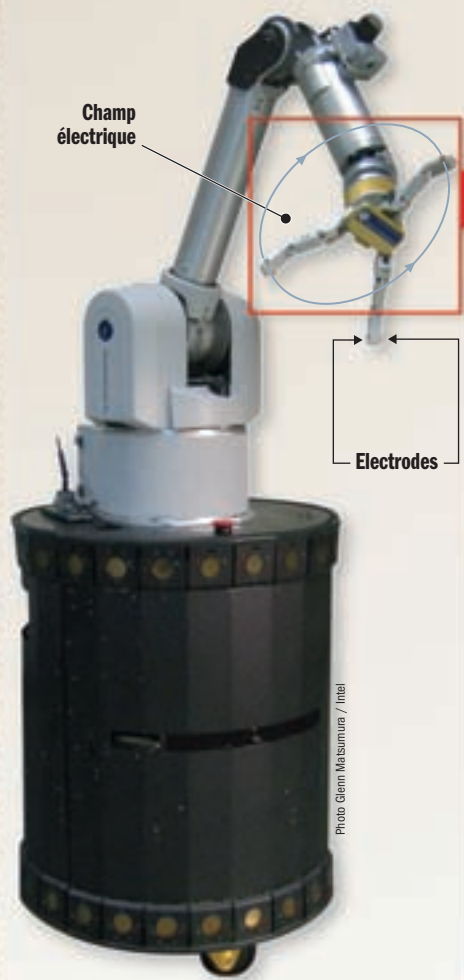
Pour aider les êtres humains dans leur maison, les robots devront être capables de réagir face à l'inconnu. Aujourd'hui, si les scientifiques savent programmer des machines pour leur faire effectuer des tâches de plus en plus complexes, ils ne savent toujours pas bien comment leur apprendre à s'adapter à des environnements non prévisibles.

Un robot développé par l'université Amherst, dans le Massachusetts, est toutefois capable d'apprendre à utiliser des objets inconnus. Baptisé UMass Mobile Manipulator ou UMan, cet appareil pousse des objets sur une table afin d'étudier

JUSQU'AU BOUT DES DOIGTS

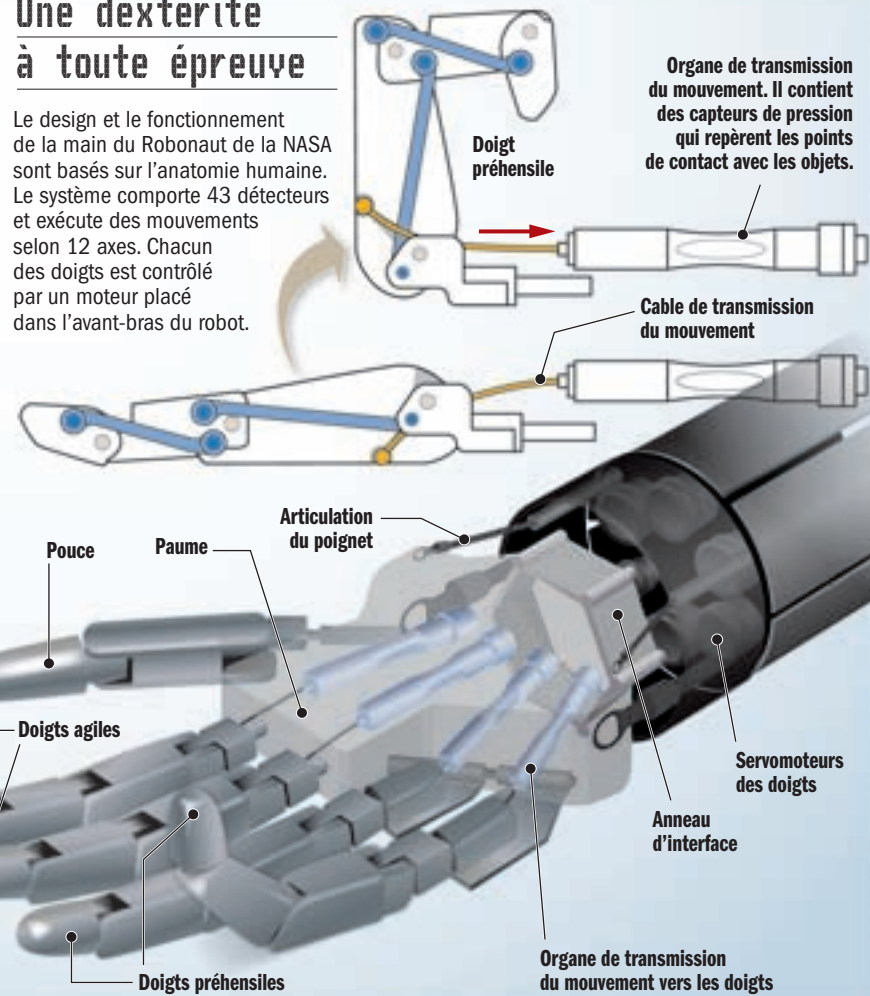
Les recherches menées pour concevoir des mains artificielles sur le modèle humain vont dans deux directions différentes. La NASA cherche, avec son Robonaut, à reproduire les articulations, tandis que les laboratoires Intel visent, comme les créateurs du robot UMan, à doter leur outil d'un véritable sens du toucher.

La sensibilité avant tout



Une dextérité à toute épreuve

Le design et le fonctionnement de la main du Robonaut de la NASA sont basés sur l'anatomie humaine. Le système comporte 43 détecteurs et exécute des mouvements selon 12 axes. Chacun des doigts est contrôlé par un moteur placé dans l'avant-bras du robot.



Les doigts du bras robotique mis au point par les laboratoires Intel possèdent des capteurs qui repèrent les objets avant même de les toucher. Deux électrodes situées au bout des doigts robotisés créent un champ électrique par courant induit (1). Tout objet conducteur – qu'il s'agisse d'un couteau métallique, d'une pomme ou d'un corps humain – arrivant à proximité de la main perturbe ce champ (2). Des algorithmes calculent alors la forme exacte de l'objet et la main adapte son mouvement.

leur comportement. Après avoir identifié les parties articulées d'un objet, il commence à les tester et à les manipuler pour accomplir des actions. "C'est comme un bébé tirant sur les différentes parties d'un jouet pour comprendre quel morceau bouge, et comment", explique Dov Katz, auteur et chercheur en robotique, qui a collaboré avec Oliver Brock, professeur en science informatique.

Doté d'une petite caméra, UMan peut observer la table d'en haut. En analysant les différences entre pixels voisins, le robot commence par deviner les contours de l'objet. Il le pousse ensuite et, selon son comportement, recalculé sa forme. Il

continue ainsi afin de déterminer comment les différentes composantes de l'objet se comportent les unes par rapport aux autres. UMan déplace l'objet en avant et en arrière, sur sa longueur et sur sa largeur, puis à 45 degrés si nécessaire, jusqu'à ce qu'il ait compris son fonctionnement. Partout où le mouvement est limité, le robot considère qu'il y a une articulation. UMan se sert ensuite de ces informations pour trouver la meilleure façon de manipuler l'objet. Le robot est également capable de repérer les articulations multiples et de comprendre leurs relations.

"L'un des défis de la robotique est de parvenir à faire réagir un robot de

manière intelligente face à un objet, même quand il n'en connaît pas la forme", commente Andrew Ng, chercheur à l'université Stanford (Californie) et spécialiste des robots agrippés. "Je pense que ce travail est un pas important dans cette direction, poursuit-il. Avant, quand quelqu'un voulait apprendre à un robot à se servir d'une paire de ciseaux, il fallait rédiger de longues lignes de codes pour décrire l'objet et expliquer le fonctionnement des deux lames. Aujourd'hui, Katz et Brock proposent une vision totalement différente, dans laquelle le robot joue d'abord avec les ciseaux, avant de comprendre comment sont assemblés les deux lames.

Kate Greene



Ferdad Fardol/Personal Robot Group/MIT

La culpabilité comme moteur

ÉMOTIONS . Un bon robot doit être motivé. Rien de tel pour cela que la peur, la gêne, la honte ou le plaisir.

THE SUNDAY TELEGRAPH
Londres

Dans le roman *Le Guide du voyageur galactique* [Titre original : *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*, de Douglas Adams], Marvin, l'androïde paranoïaque, est une machine dépressive qui erre dans l'espace. C'est lui qui a popularisé l'idée de robots dotés de sentiments. Mais, d'ici dix ans, nous en croiserons bien plus près de chez nous, si l'on en croit certains scientifiques. D'après eux, il est maintenant indispensable de doter les robots d'émotions. Ce sont elles qui les feront fonctionner de manière suffisamment indépendante et efficace pour exécuter leurs tâches.

Pour l'heure, les robots disponibles sur le marché, comme les aspirateurs automatiques, ne sont guère plus que des drones capables d'effectuer un seul travail. Mais le 17 février 2007, devant l'American Association [association scientifique qui édite la revue *Science*], à San Francisco, un panel de spécialistes de la robotique a prédit que les machines qui pourront non seulement s'acquitter de différentes corvées à la maison mais également tenir compagnie à leurs propriétaires arriveront d'ici dix ans. Ces mêmes scientifiques prétendent qu'il est d'ores et déjà possible de les doter de "sentiments".

De fait, plusieurs équipes de chercheurs dans le monde sont en train de mettre au point des robots capables de ressentir des émotions dites primaires.

▲ *Quelques-unes des expressions de Léo, un robot social qui a été développé par une équipe du MIT.*

■ **Le test de Turing**
Le mathématicien britannique Alan Turing n'est pas seulement le fondateur de l'informatique, celui qui inventa en 1936 le concept de programmation et construisit le premier ordinateur universel programmable, la "machine de Turing". Il est aussi le concepteur, en 1950, du test de Turing, une méthode d'évaluation de l'intelligence artificielle. Dans cette expérience, un humain est face à un homme et à une machine. Si le sujet n'est pas capable de distinguer l'homme de la machine, celle-ci est consciente.

Le but ? Les motiver. S'ils sont satisfaits d'avoir particulièrement bien nettoyé une moquette sale, ils continueront à traquer la saleté afin de refaire la même chose. De même, s'ils se sentent coupables ou tristes d'avoir raté un travail, ils redoubleront d'efforts la fois suivante. "L'émotion joue un rôle important dans l'orientation de l'attention vers l'essentiel et le détourner du superflu", explique Cynthia Breazeal, professeur au Massachusetts Institute of Technology et l'une des plus grandes spécialistes de la robotique au monde. "Elle permet au robot de prendre de meilleures décisions, de mieux assimiler ce qu'il apprend et d'interagir de façon plus appropriée."

Les émotions humaines sont avant tout une série de signaux électriques et chimiques que notre cerveau interprète pour produire un sentiment particulier. Et cette émotion est à la base d'une série de décisions sur ce qu'il faut faire ensuite. De la même manière, M^{me} Breazeal a programmé son robot pour qu'il interprète les signaux électroniques comme autant d'émotions qui déclencheront une réaction physique, par exemple un changement d'expression du visage, de la voix, et même de la posture. Ainsi, si on lui présente un jouet, le robot sourira de joie, mais s'il est surpris, il sera saisi par la peur. A en croire la scientifique, si l'on crée l'équivalent de l'agacement devant l'incapacité à mener à bien une tâche difficile, le robot changera de tactique.

D'autres scientifiques se sont aperçus qu'en reproduisant la sensation de faim chez leurs robots, ceux-ci se rendent compte de la faiblesse de leurs batteries et cherchent à "s'alimenter" en se rechargeant.

Des spécialistes de l'informatique de la Glasgow Caledonian University s'efforcent également de donner des émotions aux machines. David Mof-

fat, un professeur d'informatique de cette université, a mis au point des robots qui connaissent la peur, un sentiment qui les aide à échapper à leurs pairs "prédateurs". "L'émotion, note-t-il, est très importante chez les humains. Ainsi, un homme poursuivi par un ours éprouve de la peur ; et il apprend à la suite de cette expérience à ne pas s'approcher des plantigrades. Les robots ont besoin de la même chose. Un sujet complètement dépourvu d'émotion ne se fixe aucun objectif et n'a aucune raison de se lever le matin. L'émotion devient la récompense ou la punition qui l'inciteront à atteindre son but."

On assiste depuis cinq ans à de formidables progrès technologiques, indispensables pour la construction de meilleurs robots. L'intelligence artificielle a rendu possible la création d'appareils capables de résoudre des problèmes et d'apprendre. Sony a produit un chien robot, Aibo, dont le comportement dépend des ordres de son propriétaire et qui reconnaît les visages.

La société d'électronique Honda a poussé la technologie encore plus loin avec son humanoïde Asimo, qui sait exécuter des mouvements complexes comme des pas de danse, éviter la circulation sur une voie très fréquentée et même mimer des gestes humains. D'autres entreprises mettent au point des "infirmières robots" et des machines qui exécutent des opérations chirurgicales simples, afin d'alléger la charge de travail du personnel médical.

A l'avenir, "Nous disposerons d'un nombre croissant de robots à la maison, pour les tâches ménagères et comme compagnons", prévoit David Calkins, de la Robotics Society of America. "Nous aurons des distributeurs interactifs de médicaments, des gardiens et même des valets robotisés."

Richard Gray

EMPATHIE Au gré de nos humeurs

Le robot de prochaine génération ne sera utilisé ni pour des opérations militaires kamikazes, ni pour des missions spatiales. Il sera là pour tenir compagnie aux cœurs solitaires, s'occuper des personnes âgées, jouer avec les enfants et donner un coup de main à la maison. Tout cela passera nécessairement par des modélisations informatiques très pointues afin de détecter et d'interpréter les émotions humaines, et de permettre au robot d'apprendre à réagir au caractère de son maître.

C'est le défi que se propose de relever le projet européen Feelix Growing, dirigé par Lola Cañamero, une chercheuse espagnole de l'université de Hertfordshire (Royaume-Uni). "Pour que les robots puissent vivre avec des humains, ils doivent grandir avec eux et apprendre à interpréter leurs émotions, affirme-t-elle. Cela implique diverses stratégies sur lesquelles nous travaillons en parallèle, comme équiper les robots de l'équivalent d'un système de plaisir et de douleur qui leur permette de catégoriser les stimuli ; leur donner les moyens d'apprendre des comportements sociaux - comme la distance qu'ils doivent observer envers chaque personne - et d'interpréter les émotions des humains."

Comment un robot peut-il lire les émotions de son maître ? "Les robots devront s'adapter à chaque personne, explique M^{me} Cañamero. Mais, les humains exprimant beaucoup d'émotions par des signes extérieurs universels et inconscients, ce sont ceux-là auxquels nous nous intéressons le plus." Les émotions fondamentales - tristesse, joie, ennui, peur, amour, haine et surprise - sont communes à toutes les cultures humaines. Leurs manifestations extérieures, nombreuses et identifiables d'une culture à l'autre, peuvent donc tout aussi bien être appliquées à des robots. "Les signes que nous privilégions dans nos recherches sont la distance, la vitesse de marche d'un individu, les constantes de son mouvement, la façon dont il bouge les bras - autant de mouvements qui varient selon que l'on est triste, en colère ou content -, la posture générale du corps et le port de tête", explique M^{me} Cañamero. Et le visage ? "La reconnaissance des expressions faciales est un thème sur lequel travaille l'équipe de l'université technique d'Athènes (en Grèce), poursuit-elle. Mais il faudra du temps pour le développer."

Avec tous ces systèmes, on peut établir un certain feed-back : en fonction des réactions de l'être humain - grimaces, intonations de colère dans la voix -, le robot est capable de déduire qu'il a fait quelque chose de mal et de rectifier son comportement pour mieux répondre aux attentes de son "maître" la fois suivante.

Javier Sampedro, El País, Madrid

Les sex-machines sont déjà là

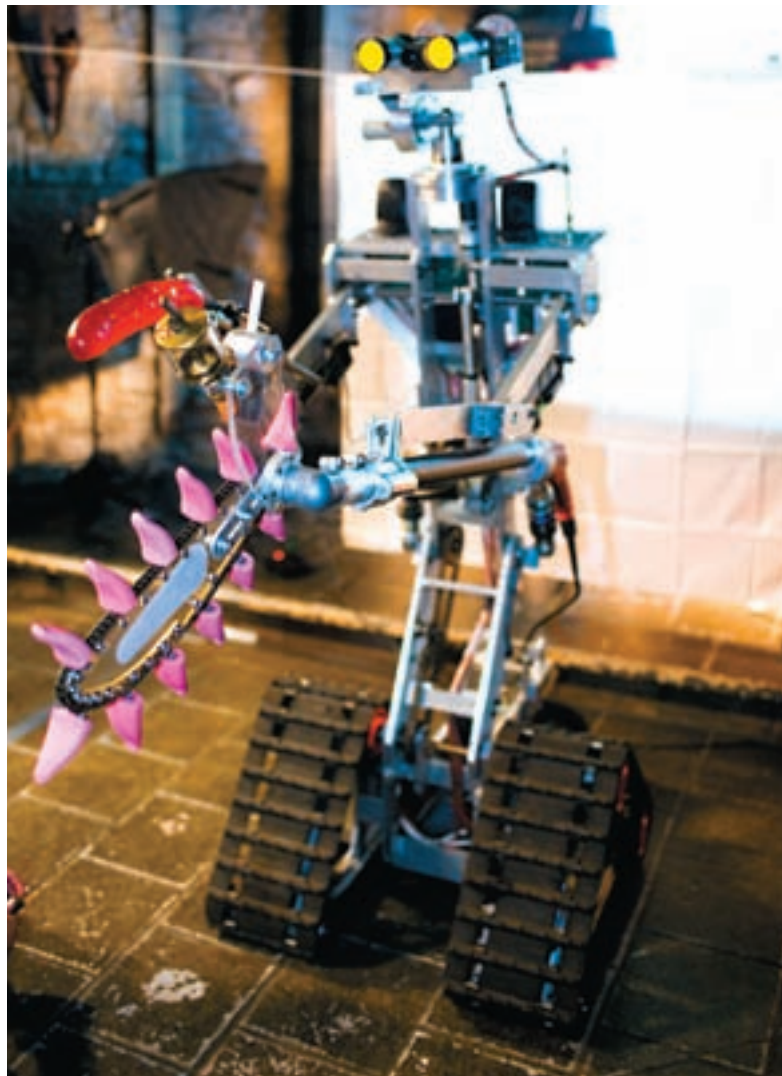
PLAISIRS . Fuckzilla fait partie d'une nouvelle génération de stars du X. Présentation du prodige.

EL MUNDO
Madrid

Contrôler le tout-puissant orgasme avec un interrupteur. Atteindre les sommets de la jouissance en pressant sur la touche OK de la télécommande. Appuyer sur l'accélérateur des assauts. Accéder à l'infirmité des perversions dans une alcôve de câbles et de boulons qui n'a jamais la migraine, en veut toujours plus et obéit au quart de tour...

Finis les corps cavernaux, les fluides corporels, les pannes, la chaleur des muscles et l'odeur de la peau : l'orgasme robotisé est arrivé. L'industrie multimilliardaire de l'érotisme anticipe sur la sexualité du futur avec d'authentiques Nacho Vidal [star du porno espagnol] fabriqués pour l'extase. Le nouveau dieu de la pénétration métallique a pour nom Fuckzilla. Son disque dur, programmé pour donner du plaisir électronique à gogo, offre à ses utilisateurs et utilisatrices des rapports sexuels sans les ennuis de la chair humaine. Depuis sa sortie d'usine, Fuckzilla est devenu l'attraction principale des grands salons de l'érotisme dans le monde, l'obscur objet du désir d'affriolantes actrices du porno, la vedette que tous les producteurs veulent faire tourner dans leurs films X. Le monde du porno se l'arrache. Et lui, ou ses mentors – la société américaine Fuckingmachines –, se laisse désirer. Tel que vous le voyez là, avec ses tripes en acier inoxydable, son

► Fuckzilla, création de la société américaine Fuckingmachines.



squelette de câbles et ses bras extractibles, Fuckzilla est le dernier messie de la religion de l'érotisme. Il y a même une liste de femmes qui veulent coucher avec lui. Et ce ne sont pas des femmes anonymes qui passaient par

là, mais d'authentiques stars du porno, vaches sacrées du business du plaisir sexuel, qui doivent faire la queue et attendre que leur nouveau partenaire de galipettes et de fellations soit libre. Son fonctionnement est à première vue

très simple. Fuckzilla est doté à la hauteur du bassin d'un bras mécanique au bout duquel peuvent être ajoutés divers accessoires – godemichés de toutes formes et de toutes tailles, langues rotatives et autres instruments en latex ou en plastique.

Et, comme on n'arrête pas le progrès robotique, notre nouveau héros possède également des senseurs qui, placés stratégiquement sur le corps de sa victime, mesurent son niveau d'excitation. Comment ? En fonction du rythme cardiaque ou des gémissements captés par des microphones. Après avoir traité ces informations, Fuckzilla règle la force et la rapidité de la pénétration. A savoir : plus l'intensité des gémissements ou du rythme cardiaque est élevée, plus il y aura de passion dans le sprint électronique.

Le boom Fuckzilla n'est pas un phénomène isolé. Les robots sexuels défient la science-fiction pour prouver que presque tout est possible dans le monde des vivants. Internet est un véritable marché à la ferraille où des centaines d'entreprises exhibent ce type de machines. Mais il faut dire que la majorité s'en tient au mécanisme simple de la pénétration : ce sont en fait des godemichés sophistiqués, des appareils électroniques munis de pénis en latex ou en métal qui reproduisent les mouvements de base d'un rapport sexuel. Les universités japonaises et américaines – car c'est dans leurs cuisines que se mijote tout cela – prévoient que le sexe avec des robots sera monnaie courante dans le futur. "On ne remplacera jamais le corps à corps", reconnaît Marvin Minsky, pionnier dans l'étude de l'intelligence artificielle, "mais le sexe avec des machines va être une option bien réelle, et cela dans moins de temps qu'on ne le pense".

Javier Cid

CRITIQUES Quelques problèmes d'intimité

En 1816, l'écrivain allemand E.T.A. Hoffman publie *L'Homme au sable* [une nouvelle des *Contes nocturnes*], dans laquelle un étudiant lunatique tombe amoureux d'une jolie jeune femme très réservée. Il la courtise avant de s'apercevoir qu'il s'agit en réalité d'un automate astucieusement conçu – une révélation qui le rend fou et le mènera à la mort. Un siècle plus tard, lorsque Sigmund Freud rédige *L'Inquiétante Étrangeté* [*Das Unheimliche*, un essai qui relate combien certains comportements répétitifs dont on ne saisit pas le sens, ou bien certaines figures – le double, l'image de soi non reconnue dans le miroir –, provoquent un sentiment de malaise et d'inquiétude], ce n'est pas par hasard qu'il choisit la nouvelle d'Hoffman comme base de son argument. C'était, à l'époque, aussi vrai que maintenant : rien ne définit mieux l'angoisse que l'intimité entre hommes et robots.

Mais c'est apparemment nouveau pour David Levy. Ou alors, si ce ne l'est pas, n'en cherchez pas la preuve dans son nouvel ouvrage, *Love and Sex with Robots* [Amour et sexe avec les robots, non traduit en français]. La thèse

de Levy est aussi directe qu'audacieuse : d'ici à 2050, les comportements sociaux et les technologies robotiques auront évolué à un point tel que "les êtres humains tomberont amoureux de robots, se marieront et auront des relations sexuelles avec eux, et l'ensemble de ces comportements seront considérés comme les prolongements 'normaux' de nos sentiments amoureux et de, notre désir sexuel envers d'autres êtres humains."

Ce n'est pas une mince affaire que de présenter une hypothèse aussi bizarre avec l'aisance dont fait preuve Levy. Mais ce qui est encore plus impressionnant, c'est la cohérence des arguments sur lesquels il s'appuie. Son expertise en matière d'intelligence artificielle et dans les domaines connexes se fonde sur plusieurs années d'expérience, mais cette fois, pour se justifier, il a dû s'aventurer beaucoup plus loin, dans des domaines de recherche qui se trouvent clairement au-delà de sa "zone de confort" intellectuelle.

Le résultat ? Une liste sans fin de références rassemblées grâce à l'appétit omnivore d'un autodidacte, tirées de sources aussi dis-

parates que les essais de Donna Haraway, théoricienne du poststructuralisme, ou le site Internet de Cheyenne, "un animateur de sex shows en ligne". Ces sources forment néanmoins un tout étonnamment convaincant qui amène le lecteur à penser que les "mystères" de l'amour et de l'attrance ne sont peut-être pas aussi impénétrables que l'on pourrait le croire, et que les technologues devraient tôt ou tard trouver une façon de les simuler.

Mais Levy ne parvient pas à convaincre – sans surprise, hélas – sur la question de savoir ce que signifieront ces astucieuses simulations pour ceux qui interagiront avec elles. Levy a pour héros le grand théoricien informatique Alan Turing. Il utilise son test ("Si un ordinateur semble intelligent, nous devrions admettre qu'il l'est", résume Levy) pour prouver que les ordinateurs peuvent non seulement penser, mais seront également amenés à ressentir des émotions telles que l'amour et le désir sexuel. Mais le plus intéressant, c'est qu'en réalité le principe de Turing ne prouve rien du tout. Il ne s'agit que d'un outil intelligent pour trier les individus

en fonction de trois catégories : ceux pour qui la pensée informatique sera toujours différente de la conscience humaine, ceux qui se situent à l'autre extrême et ceux qui, comme la majorité d'entre nous, passent constamment d'un groupe à l'autre. David Levy fait définitivement partie de la deuxième catégorie, et vous vous situez probablement dans la troisième, parmi ceux qu'on considère comme ayant le plus de chance. Car si vous êtes toujours en vie en 2050 et que vous faites la rencontre de ces affectueux robots du futur, vous pourrez vivre une expérience très intéressante : un voyage émotionnel distordu à travers l'univers ambigu de l'"inquiétante étrangeté", aussi excitant ou douloureux qu'il puisse être. Quant à David Levy, il n'a malheureusement rien d'autre à espérer que la concrétisation de la promesse – étonnamment banale – qu'il a formulée dans la conclusion de son curieux ouvrage : "Du sexe à volonté pour tout le monde, vingt-quatre heures sur vingt-quatre et sept jours sur sept."

Julian Dibbell,
The Daily Telegraph, Londres

La guerre sans états d'âme

ÉTHIQUE . Peut-on laisser à une machine la responsabilité de choisir sa cible ?

THE GUARDIAN
Londres

Avec le déploiement en Irak des premiers robots de combat armés, une nouvelle étape a été franchie sur une voie dangereuse. Nous entrons dans un monde où ce sont des robots qui décideront quand, où et qui tuer. Déjà, la Corée du Sud et Israël déploient des garde-frontières robots armés. La Chine, Singapour et le Royaume-Uni ont de plus en plus recours à des robots militaires. Mais, pour l'heure, ce sont les Etats-Unis qui en sont les plus grands consommateurs. Plus de 4 000 robots servent actuellement en Irak, d'autres en Afghanistan. Et, maintenant, ils sont armés. Mais, surtout, les robots font partie intégrante de leur projet "Systèmes de combat du futur". Ce programme de 230 milliards de dollars, envisage le développement de véhicules sans équipage capables de frapper sur terre, sous la mer ou depuis les airs. Le Congrès [américain] a pour objectif qu'un tiers des véhicules de combat terrestre soient automatisés d'ici à 2015.

La plupart des engins aujourd'hui en première ligne sont des extensions de combattants humains : ce sont les hommes qui contrôlent l'application



▲ A Bagdad, un robot d'inspection utilisé par l'armée américaine dans des situations particulièrement dangereuses.

■ **L'auteur**
Noel Sharkey est professeur spécialiste de l'intelligence artificielle et de la robotique à l'université de Sheffield.

de la force létale. Quand un Predator MQ-1 semi-autonome survole une voiture abritant des membres présumés d'Al-Qaida, la décision de les pulvériser à coups de missiles Hellfire est prise par des pilotes à 10 000 kilomètres de là. Ces machines semi-autonomes ou commandées à distance induisent pour le moment une responsabilité éthique comparable à celle d'une frappe aérienne traditionnelle.

Mais les recherches pour aboutir à des robots complètement autonomes, qui prennent leurs propres décisions en ce qui concerne les actions mortelles, sont une priorité pour l'armée américaine. De fabrication peu

coûteuse, ils nécessitent moins de personnel et, selon la Navy, se comportent mieux lors de missions complexes.

La guerre entre là dans une nouvelle ère dangereuse, car il n'existe aucun code, aucune directive en vigueur sur le plan éthique. Je travaille sur l'intelligence artificielle depuis des décennies, et l'idée qu'un robot puisse prendre des décisions portant sur la destruction d'êtres humains me paraît terrifiante. Apparemment, les responsables de ces programmes ont de l'intelligence artificielle une vision qui aurait plus sa place dans les romans de science-fiction et les mythes. D'après un document récent de la marine amé-

ricaine, le principal problème posé est celui de l'identification des cibles autorisées. La réponse donnée dans le document au problème à cette question éthique est très simple : "Il faut que les hommes se chargent d'attaquer les hommes, et les machines de détruire les machines." Mais un robot ne peut réellement viser une arme sans viser du même coup la personne qui s'en sert, ni même distinguer de manière certaine une arme d'autre chose. Imaginez une petite fille éliminée parce qu'elle tendrait sa glace à un robot !

S'efforçant de tempérer l'opposition politique, l'armée américaine finance un projet qui prévoit de doter des soldats robots de conscience afin qu'ils soient capables de prendre des décisions éthiques. Mais des machines ne seraient pas en mesure de faire une distinction fiable entre des bus transportant des soldats ennemis et d'autres contenant des écoliers, pour ne rien dire de leur capacité à faire preuve de réflexion éthique. C'est comme si on cherchait à rejeter la responsabilité d'erreurs fatales sur des systèmes sans conscience. Nous allons confier la responsabilité de pertes humaines à des machines qui ne sont même pas assez intelligentes pour être considérées comme stupides.

Avec la baisse des coûts de développement et la plus grande accessibilité des technologies impliquées, on pourrait bientôt assister à une course aux armements robotisés qu'il sera difficile d'endiguer. Il est impératif que l'on crée une législation internationale et un code éthique pour les robots autonomes en guerre, avant qu'il ne soit trop tard.

Noel Sharkey

Feront-ils un jour des petits ?

RÉPLICATION . Pas de panique : les robots ne sont pas près de se reproduire.

SCIENCE
Londres

Comme le savent tous les fans de science-fiction, à force de jouer avec les robots, on finit par aller droit au carnage. Depuis *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*, la pièce [tchèque] qui, en 1921, a lancé le mot "robot", jusqu'aux batailles avec les Daleks dans l'émission de télévision *Doctor Who*, en passant par les films *Terminator*, l'histoire a été racontée maintes et maintes fois. Les hommes commettent l'erreur de fabriquer des robots qui se reproduisent. Les robots autorépliquants finissent par décider que l'humanité est un fléau et se lancent dans son extermination.

Pas de panique... Du moins, pour l'instant. Certes, nous savons programmer des

robots pour qu'ils fabriquent d'autres machines sur une chaîne de production. Mais la véritable reproduction, c'est-à-dire la construction autonome par un robot d'une machine identique, n'est pas pour demain. L'autoréplication "joue un rôle fondamental dans la nature, elle est au cœur de l'évolution, et pourtant nous ne savons pas du tout comment la réaliser avec des systèmes artificiels", confirme l'ingénieur Hod Lipson, de l'université Cornell.

Une poignée de chercheurs s'efforcent pourtant d'y parvenir. Disposant de très petits budgets, ils travaillent sur un matériel qu'on imaginerait plutôt dans un magasin de jouets que dans un centre de recherche. Les progrès restent modestes, mais les scientifiques espèrent bientôt parvenir à mieux saisir les données du problème. Tous reconnaissent que les avancées ont été ralenties par manque de financement,

dans la mesure où les robots autorépliquants n'ont pas d'applications basement matérielles – même si, en théorie, ils pourraient servir à établir une base sur la Lune ou sur Mars. "Nous ne sommes pas plus de trois dans cette discipline", rappelle Gregory Chirikjian, de l'université Johns Hopkins (Baltimore).

Les chercheurs se heurtent aussi à des obstacles conceptuels. Si l'on donne un jeu de Lego à un enfant, il va aussitôt disperser les pièces devant lui et rechercher dans le tas celles dont il a besoin. Telle est précisément la tâche qui laisse les machines perplexes. "Ce n'est pas la principale difficulté pour l'autoréplication seulement, mais pour la robotique d'une façon générale", reconnaît Chirikjian.

Résultat, certains ingénieurs donnent un coup de main à leurs robots. Il y a deux ans, Lipson et ses collaborateurs ont présenté des

cubes programmables de 10 centimètres de côté. Chacun était constitué de deux moitiés en forme de pyramide pouvant pivoter l'une sur l'autre. Ces cubes s'accrochaient les uns aux autres grâce à leurs faces aimantées. En se tortillant comme une danseuse de hula-hoop ivre, une pile de quatre cubes pouvait assembler une deuxième pile, à condition que les nouveaux cubes soient amenés au bon endroit et au bon moment, comme l'expliquaient les chercheurs dans *Nature* (numéro daté du 12 mai 2005). Même si un premier empilement de cubes peut en former un deuxième, on n'a manifestement pas encore affaire à un robot autorépliquant.

Loïn d'être une simple pièce détachée, chaque cube est en soi un robot relativement complexe. Et la tour qui se contorsionne a besoin de beaucoup d'aide pour localiser les cubes supplémentaires. Afin de parvenir à un résultat qui soit davantage dans l'esprit de l'autoréplication, Lipson travaille aujourd'hui sur des cubes plus simples, de seulement 500 microns de côté, qui s'assemblent au hasard dans un liquide. (suite p. XIV) ▶

◀ Les cubes programmables du chercheur Hod Lipson, à l'université de Cornell.



► (suite de la p. XII) Chirikjian a également commencé à faire des expériences sur des robots qui en assemblent d'autres à partir de quelques éléments complexes.

En 2002, ses étudiants et lui se sont mis à travailler sur des robots faits de pièces de Lego. Dans un premier temps, ils ont construit des véhicules télécommandés qui pouvaient être ramenés à un petit nombre de composants. Quand on plaçait ces pièces dans un petit espace clos, les robots étaient en mesure d'assembler les composants afin de fabriquer une copie – une forme d'autoréplication rudimentaire, étant donné que tous les "organes vitaux" des robots étaient contenus dans un seul composant, celui contenant le contrôleur informatique.

Des tuiles intelligentes qui peuvent se fixer toutes seules

Depuis, Chirikjian et ses étudiants se sont efforcés de rendre leurs robots plus autonomes et de les assembler à partir de pièces plus simples. Ils ont élaboré un système de capteurs optiques qui permet à un robot de trouver les différentes pièces. Ils ont simplifié les robots en remplaçant le contrôleur central par des circuits électroniques plus simples, répartis à travers les pièces. Récemment, les chercheurs ont fait la démonstration d'un robot autorépliquant composé de six modules relativement simples. Chirikjian et un étudiant de troisième cycle travaillent maintenant sur un modèle constitué de cent pièces.

Vu les difficultés de l'assemblage pas à pas, ou déterministe, certains chercheurs ont opté pour une autre méthode : le chaos. Les robots n'ont plus à chercher les pièces eux-mêmes, ce sont des collisions aléatoires qui les leur apportent, un peu à la manière du brassage biomoléculaire dans les cellules. Le spécialiste des matériaux Saul Griffith, alors étudiant de troisième cycle au Massachusetts Institute of Technology (MIT), a ainsi élaboré des tuiles intelligentes qui peuvent se fixer les unes aux autres en voletant dans tous les sens au-dessus d'une table à coussin d'air. La probabilité qu'ont deux tuiles de s'accrocher l'une à l'autre dépend de la manière dont elles sont déjà fixées aux autres tuiles. Mais, si les tuiles ont été correctement programmées, une chaîne de tuiles peut en former une autre, comme l'ont rapporté Griffith et ses collaborateurs dans *Nature* (numéro daté du 26 septembre 2005).

La méthode aléatoire, ou "stochastique", pourrait avoir un net avantage. C'est paradoxal, mais il devrait être plus facile d'assembler des pièces en les mélangeant que de les fixer une par une, si l'on en croit l'ingénieur Eric Klavins, de l'université de l'Etat de Washington (à Seattle), qui a mis au point un ensemble analogue de tuiles triangulaires. "Si l'on cherche à obtenir une autoréplication à partir de milliards de pièces, le déterminisme n'est pas la bonne méthode", assure-t-il. Cela étant, l'approche stochastique présente des difficultés spécifiques : les chercheurs doivent trouver le moyen de former de plus grandes structures utiles à partir des pièces, tout en les empêchant de former des amas indésirables.

Adrian Cho

► *Pleo.*

■ **Lois d'Asimov**
Encore un écrivain aux commandes ! Après Karel Capek en 1920, l'auteur américain d'origine russe Isaac Asimov s'empare dans les années 1950 de la thématique des robots et en fait le thème central de son œuvre.

Pour prévenir tout danger, il imagine trois lois qui régiront désormais les actions des machines :

1. Un robot ne doit pas causer de tort à un être humain ou, restant passif, laisser un humain subir un dommage.
2. Un robot doit obéir aux ordres d'un humain, sauf si l'ordre donné peut conduire à enfreindre la première loi.
3. Un robot doit protéger sa propre existence aussi longtemps qu'une telle protection n'est pas en contradiction avec la première et/ou la deuxième loi.

EN BREF

■ L'aventure intérieure

Toujours plus proches de l'homme, les robots entrent maintenant à l'intérieur de son organisme. Les chercheurs de l'Ecole polytechnique de Montréal viennent de mettre au point un nanorobot bactérien : une bactérie équipée d'un système de propulsion artificielle, annonce *Technology Review* dans son édition du 31 octobre. Le système de propulsion ? L'imagerie par résonance magnétique (IRM). L'équipe québécoise a utilisé des bactéries qui contiennent naturellement des particules magnétiques. Dans la nature, ces particules aident la bactérie à se diriger dans les eaux profondes, en l'absence d'oxygène. Elles forment une chaîne qui agit comme l'aiguille d'une boussole. Quand l'équipe soumet le micro-organisme à un champ magnétique piloté par l'IRM, elle peut la diriger où elle veut – en l'occurrence, dans les vaisseaux sanguins, où elle pourra délivrer, localement, des médicaments comme des anticancéreux, contenus dans des perles de polymères de 150 nanomètres de diamètre.

■ Qui pourra détrôner "Citizen Kane" ?

Peut-être *Wall-E*. Le robot compacteur de déchets, héros du film de Pixar sorti l'été dernier, a accumulé les superlatifs, rapporte le *Financial Times*. Aux Etats-Unis, il a même été qualifié de "meilleur film depuis *Citizen Kane*" par certaines revues. Cet enthousiasme a laissé perplexe le quotidien financier. Le petit *Wall-E*, "qui a l'air d'être né d'une nuit de passion entre *E.T.* et *R2D2*", sa collection d'objets hétéroclites et son roman d'amour avec *Eve*, un autre robot, a amusé le *Financial Times* pendant quarante minutes [dont vingt sans aucun dialogue] – pas plus. Selon le quotidien, la suite du film

– prévisible – se résume à une longue course-poursuite. Le quotidien est pourtant l'un des rares à avoir boudé son plaisir. Avec

62,5 millions de dollars récoltés en trois jours depuis sa sortie aux Etats-Unis,

Wall-E est le troisième succès au box-office de Pixar.



► *Wall-E.*



Ugobe

■ Du fond des âges

Il est tout vert, mesure quelques centimètres, aime les caresses, renifle, tousse, dort, ouvre de grands yeux... Lui, c'est *Pleo*, un bébé dinosaure *Camarasaurus*, et le nouveau compagnon à quatre pattes de Courtney Myers, une chroniqueuse de *Forbes*, visiblement séduite par la petite créature. Car ce jouet est aussi un robot ultraperfectionné, doté de capteurs, de caméras, de micros... Véritable tamagotchi en trois dimensions, *Pleo* est expressif, et sa personnalité évolue selon la manière dont vous le traitez. Si sa personnalité ne convient pas, il est toujours possible de télécharger de nouveaux traits de caractère sur le site Internet *Pleoworld.com*. "Est-ce que *Pleo* m'aime ?" s'interroge M^{me} Myers. Probablement pas, mais tout le monde aime *Pleo*.

65 millions

C'est le nombre de robots recensés sur la Terre en 2007. Une démographie galopante, annonçait en octobre dernier le magazine *IEEE Spectrum*, qui reprenait les chiffres de la Fédération internationale de la robotique. En effet, d'ici à 2011, la population de robots devrait avoir quasiment triplé, pour atteindre 18,2 millions d'unités. A ce moment-là, les robots industriels ne représenteront qu'une toute petite partie du total. La grande majorité des machines sera des robots de service : depuis les aspirateurs automatiques jusqu'aux robots militaires, en passant par les robots agricoles, ils seront partout.

■ Pas de retraite pour les androïdes

Le Japon vieillit. D'ici à 2030 la population active aura diminué de 16 % alors que les personnes âgées, elles, seront de plus en plus nombreuses à avoir besoin de soins et d'attention, selon le gouvernement japonais. La solution ? Utiliser des robots pour certaines tâches. D'ici à 2025, ils pourraient prendre la relève

de 3,5 millions de personnes, estime un groupe d'experts de la Machine Industry Memorial

Foundation, cité par le

quotidien espagnol *Público*. Le Japon pourrait ainsi économiser 2 100 milliards de yens (1,3 milliards d'euros) en plaçant la santé des personnes âgées sous la surveillance de robots spécialisés. En 2025, un tiers de la population japonaise aura plus de 65 ans.

■ Disney à la recherche de robots joueurs

Sont-ce les suites du succès planétaire de *Wall-E* ? L'un des deux premiers laboratoires ouverts par la toute-puissante Walt Disney Corporation, en collaboration avec des équipes universitaires, sera consacré aux robots, rapportait fin août le magazine *Science*. Jessica Hodgins, professeur d'informatique et de robotique à l'université Carnegie Mellon de Pennsylvanie, sera la directrice du laboratoire de Pittsburg. L'objectif de sa nouvelle équipe ? Mettre au point des robots capables d'interagir avec les humains et même de jouer avec eux dans les parcs à thème Disney. Après Mickey, Minnie et Donald, les prochains personnages à être photographiés avec les enfants seront peut-être des androïdes.

■ Un maître architecte

Le pavillon suisse de la dernière Biennale de Venise a été construit, en partie, grâce à *Rob*. *Rob* est un robot conçu par Fabio Gramazio et Matthias Kohler avec l'équipe d'Architecture et fabrication digitale de l'Ecole polytechnique de Zurich. Ces deux enseignants, remarqués à l'occasion d'un dossier spécial "Construire autrement" par le quotidien suisse *Le Temps*, développent avec leur équipe un outil de conception numérique créé spécifiquement pour l'architecture et une technique de construction aidée par un robot. Leur technologie s'applique tant aux matériaux les plus anciens – la brique ou le bois – qu'aux matériaux contemporains. Les deux associés, âgés respectivement de 38 et 40 ans, ont présenté leur robot, *Rob*, lors de la Biennale de Venise. Il a construit, dans le pavillon suisse, la structure autour de laquelle s'organise l'exposition.



Profitez-en !
L'agenda Courier international est encore en vente chez votre marchand de journaux
9,90 € (avec le numéro 934)