

LES ROBOTS, CES NOUVELLES MACHINES

Gagnant des domaines de plus en plus nombreux, les robots suscitent interrogations et fantasmes. Pour comprendre ce qu'il en est en réalité, **Jean-Paul Laumond** dévoile les coulisses de la robotique. Science du mouvement, elle ouvre des possibilités inédites.

Un robot est une machine. Comme tel, il s'agit de l'inscrire dans l'histoire millénaire des objets techniques façonnés par l'homme et de comprendre en quoi il est une « nouvelle » machine. Un outil, du biface apparu au paléolithique inférieur au scalpel du chirurgien d'aujourd'hui, se définit par sa forme. Sa fonction est assurée par le mouvement de la main de l'homme. L'homme constitue la source d'énergie nécessaire à sa mise en mouvement.

ROBOTIQUE

Dans le cadre de notre partenariat avec l'Académie des sciences, des académiciens présentent un éclairage sur leur discipline et ses enjeux scientifiques, éthiques, politiques et sociétaux, à travers leur expérience personnelle.

Une machine, quant à elle, est animée par une source d'énergie propre, le vent pour les moulins du même nom, l'électricité pour un TGV. La source d'énergie met en rotation un axe principal. La rotation de l'axe est transmise de proche en proche aux organes de la machine par l'intermédiaire d'un ensemble de bielles et d'engrenages. Le mouvement des différentes parties de l'ensemble est fixé une fois pour toutes. D'astucieux systèmes mécaniques permettent néanmoins une programmation mécanique. Pensez aux pianos mécaniques ou aux métiers Jacquard : à chaque air de musique ou motif de tissu son cylindre à picots ou sa carte perforée. Reste que le mouvement de l'axe principal doit être régulier pour que la machine soit utilisable et que le piano mécanique joue correctement. La régulation du mouvement est un problème en soi.

On ramène souvent l'origine de l'ère industrielle à

l'invention de la machine à vapeur. C'est juste, mais pas suffisamment précis. L'essor de la machine à vapeur est dû surtout à la mise au point du régulateur à boules par l'ingénieur écossais James Watt dans les années 1760. Cet ingénieux système mécanique permet de régler la vitesse de rotation de l'axe, et ce, quelle que soit la pression exercée par la vapeur d'eau.

Avec la maîtrise de l'électricité à la fin du XIX^e siècle, le développement de l'électronique au début du XX^e, les systèmes mécaniques de régulation cèdent la place aux systèmes électroniques de régulation. La mesure d'une température prend la forme d'un signal qui, une fois transmis à une chaudière, actionne ou non le brûleur. C'est le principe du thermostat. Au milieu du siècle dernier, l'étude de la régulation des systèmes devient une discipline à part entière. Elle prend le nom de cybernétique.

ALGORITHME ET PLANIFICATION DU MOUVEMENT

Le développement conjoint de l'informatique accélère les choses. Les systèmes électroniques laissent à leur tour la place à des systèmes numériques de régulation assurant, par l'intermédiaire du calcul sur ordinateur, un couplage entre les capteurs et les moteurs de la machine. Les capacités d'adaptation de la machine aux aléas de l'environnement s'accroissent. Nous sommes dans les années 1960. La machine est devenue robot.

La robotique traite ainsi du rapport que peut entretenir avec le monde physique une machine qui bouge et dont les mouvements sont commandés par un ordinateur. Du premier robot introduit sur les chaînes de montage de la General Motors en 1961 aux robots



PROFIL

Roboticien, directeur de recherches émérite au CNRS, **Jean-Paul Laumond** est membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies. Il a contribué à jeter les bases scientifiques de la planification de mouvement en robotique. Ses recherches couvrent des champs disciplinaires variés appliqués à la robotique mobile et à la robotique humanoïde.

industriels d'aujourd'hui, la robotique a entièrement modifié les systèmes de production manufacturière, comme la mécanisation l'a fait pour l'économie rurale au début du XX^e siècle.

Elle a pénétré des secteurs aussi diversifiés que la médecine, les transports, l'agriculture, la défense, le spatial ou les services. De nouveaux mondes sont explorés, de la planète Mars aux abysses des fonds sous-marins. Les aspirateurs et les tondeuses à gazon s'automatisent. Le robot assiste le chirurgien et donne à son geste plus de précision. Dans tous ces domaines, les avancées techniques reposent sur la maîtrise du mouvement. Comment une machine peut-elle générer automatiquement un mouvement qui répond à la tâche qu'on lui assigne ? Cette question est au cœur des recherches en robotique.

Prenons pour exemple le robot HRP-2 (voir photo page 64), issu d'un programme de recherche japonais. HRP-2 est un robot humanoïde, une machine parmi les plus complexes qui soient. Une vingtaine d'exemplaires servent de support aux recherches fon-

damentales en robotique. Il est muni de deux bras et de deux jambes, et chacune de ses trente articulations est motorisée. Il est capable de se déplacer et de manipuler des objets. Ce type de robot n'est pas encore sur le marché. Il est encore loin le temps où nous le côtoierons au quotidien.

Quel mouvement doit faire HRP-2 pour saisir une balle au sol ? Il faut en premier lieu qu'il soit capable de reconnaître la balle comme étant l'objet à saisir. C'est le rôle de la fonction perception, assurée par des caméras. La balle étant localisée, il s'agit maintenant de coordonner les 30 moteurs qui animent le corps de la machine pour qu'elle se penche sans perdre l'équilibre, tende son bras de telle sorte que son préhenseur (sa main) se referme sur la balle. Problème : comment faire ? Vous êtes-vous posé la question pour vous-même ? Que se passe-t-il dans votre corps lorsque vous prenez une balle au sol ? Vous avez quelque 700 muscles à votre disposition. Comment parvenez-vous à coordonner tous ces « moteurs » ? Nous ne nous posons pas la question. De fait, si nous nous la posons, nous ne savons pas y répondre précisément.

LE FAMEUX PROBLÈME DU DÉMÉNAGEUR DE PIANO

Tout un pan des sciences du vivant, la biomécanique, explore cette question. Le roboticien, quant à lui, doit la résoudre par des méthodes de calcul (des algorithmes). Il a recours à des modèles mathématiques mis au point dans les années 1980 et qui se concentrent sur l'emblématique problème du déménageur de piano. Comment des déménageurs peuvent-ils décider du mouvement à effectuer pour faire passer un piano dans une cage d'escalier ? Pour situer le piano dans l'espace, six paramètres sont nécessaires : trois pour sa position et trois pour son orientation. Ils définissent ce qu'on appelle une configuration. L'espace des configurations du piano est ainsi un espace de dimension 6. Le mouvement du piano dans la cage d'escalier se traduit ainsi en un mouvement d'un point dans un espace de dimension 6. Planifier le mouvement d'un point est beaucoup plus simple que planifier le mouvement d'un solide encombrant. Les algorithmes que les roboticiens ont mis au point opèrent dans l'espace des configurations plutôt que dans l'espace physique.

Reprenons le cas du robot HRP-2. Il se situe dans l'espace par sa position (deux paramètres qui correspondent à ses coordonnées GPS), son orientation et sa posture. Sa posture est définie par l'état de ses 30 articulations (il peut être bras tendu ou bras replié, debout ou assis, etc.). L'espace des configurations d'HRP-2 est ainsi un espace de dimension 33. Cet espace constitue l'espace corporel du robot. L'action « prendre »

Vous ramassez une balle, avec 700 muscles à disposition. Comment parvenez-vous à coordonner tous ces « moteurs » ? Nous ne nous posons pas la question. De fait, si nous nous la posons, nous ne savons pas y répondre précisément.

Comprendre ce que recouvrent les prouesses actuelles des robots est essentiel pour ne pas se laisser aller à une fascination qui leur donnerait un statut autre que ce qu'ils sont en réalité.

» la balle » signifie placer une main (la gauche ou la droite) sur la balle. Le roboticien traduit cette action dans l'espace de dimension 33, l'espace corporel du robot. La planification du mouvement que le robot doit effectuer pour saisir la balle est résolue par des algorithmes qui effectuent des calculs dans un espace dimension 33. La question posée « comment faire ? » prend dès lors tout son sens. Il s'agit de représenter l'action dans l'espace corporel du robot. On parle d'« encorporation » de l'action.

La projection de l'espace où se déroule l'action dans l'espace corporel du robot est une transformation de nature géométrique. Le mathématicien Poincaré en a défini les fondements à la fin du XIX^e siècle. Parlant de l'homme, le neurophysiologiste Alain Berthoz a cette belle formule : « Le cerveau est une machine géométrique. » Suivant la même idée, le robot n'est rien d'autre qu'une « machine géométrique ». Il y a donc bien quelque chose à comprendre derrière la question que nous ne nous étions peut-être jamais posée auparavant : « comment faire pour prendre une balle ? ». Les termes de la question sont précis. Les mathématiques créent un socle commun au dialogue entre roboticien, neurophysiologiste et biomécanicien. La recherche se poursuit.

UN PONT ENTRE LE VIVANT ET LA MACHINE

La science du mouvement jette ainsi un pont entre le vivant et la machine. Elle contribue à l'imaginaire collectif qui, des mythes anciens à la science-fiction, interroge notre rapport à la technique. Comprendre ce que recouvrent les prouesses actuelles des robots est essentiel pour ne pas se laisser aller à une fascination qui leur donnerait un statut autre que ce qu'ils sont en réalité. Passe encore que nous qualifions les robots de machines intelligentes puisqu'ils réalisent des tâches souvent difficiles mieux que nous et avec plus de précision, voire des tâches impossibles pour nous. Mais constatons qu'aucune de ces nouvelles machines n'a été capable d'intervenir dans les zones irradiées de la centrale de Fukushima. Les progrès sont lents.

Surtout, ne suivons pas le transhumaniste qui nous demande de ne pas chercher à comprendre et d'admettre, hors de tout fondement scientifique, que la machine s'imposera un jour, douée de conscience, voire d'empathie pour nous assister. Pour parodier Georges Bernanos, le transhumaniste est un « imbécile que nous devrions tenir pour tel, jusqu'à ce qu'il

nous ait prouvé le contraire » (1). Reste qu'il parle aujourd'hui à l'oreille des dirigeants des grandes entreprises. Si la vigilance vis-à-vis de lui s'impose, elle ne doit pas faire écran à la lucidité.

La lucidité exige de comprendre ce qu'il en est réellement des nouvelles machines et de dépasser le sensationnalisme cher à nombre de médias. Partant, nous savons que, de tout temps, la technique a fait disparaître des savoir-faire. La robotique poursuit l'œuvre de l'automatisation des systèmes de production et questionne notre rapport au travail. Elle est un enjeu de pouvoir et sert souvent d'alibi à des choix qui nous échappent. Tout à la fois, elle nous ouvre des possibilités jusqu'ici inexplorées. ★

(1) « La France contre les robots », de Georges Bernanos. Robert Laffont, 1947.



« Machine des plus complexes », HRP-2 peut se déplacer et manipuler des objets. Mais « il est encore loin le temps où nous le côtoierons au quotidien ».

EN SAVOIR PLUS

Le site de l'Académie des sciences
WWW.ACADEMIE-SCIENCES.FR

COLLOQUE
« Mythes et machines. Robotique et intelligence artificielle : penser la technologie aujourd'hui »,

colloque de l'Académie des sciences et de l'Académie des sciences morales et politiques, le 24 novembre 2021, de 9h 15 à 18 heures. Institut de France, auditorium André et Liliane-Bettencourt, 3, rue Mazarine, 75006 Paris.

Programme et inscription (avant le 19 novembre 2021) :

www.academie-sciences.fr/fr/Colloques-conferences-et-debats/mythes-et-machines.html

Diffusion en direct sur la chaîne YouTube de l'Académie des sciences. À visionner ensuite sur le site de l'Académie des sciences (lien ci-dessus).