

LES RENDEZ-VOUS DES ANNALES DES MINES

DES HOMMES ET DES ROBOTS : PRÊTS POUR LA VIE QUOTIDIENNE ?

Avec les interventions de

Rodolphe GELIN

Directeur Recherche – Aldebaran Robotics

Catherine FARGEON

Membre du conseil général de l'Armement

Olivier LY

Enseignant-chercheur, université de Bordeaux, INRIA Flowers

Gérard DUBEY

Institut Mines-Télécom, université Paris 1 – CETCOPRA

Débat animé par

Pierre COUVEINHES

Rédacteur en chef des *Annales des Mines*

Séance du 24 mai 2012

Organisée en association avec Mines ParisTech Alumni
et l'Association amicale des ingénieurs des Mines
avec le soutien de l'École de Paris du management
Compte rendu rédigé par Olivier Dupourqué

En bref

Dans le prolongement de la robotique industrielle, les progrès de la robotique personnelle sont réels. Au-delà de ces promesses technologiques, c'est le rapport quotidien de l'homme à l'objet qui sera radicalement transformé. Cette révolution scientifique appelle des réflexions d'ordres philosophique, juridique, culturel et social qui permettront de mieux l'appréhender. Cela en conditionne le succès. Plus que jamais, le dialogue entre les sciences de l'ingénieur et les sciences humaines est nécessaire.

EXPOSÉ de Rodolphe GELIN

Genèse de la robotique personnelle

La robotique personnelle est née au Japon. Bien avant tout le monde, les Japonais ont pris conscience de certaines limites qui allaient impacter leur avenir. Confrontés à un vieillissement démographique, le renouvellement de leurs générations n'est plus assuré depuis longtemps. « *Notre île est petite* », disent-ils. L'immigration ne peut donc pas permettre de compenser ce déficit démographique. Dans ces conditions, quid de leurs personnes âgées, quid de la main-d'œuvre sur les chantiers ? La solution de substitution par la robotique s'est donc naturellement imposée.

Mais le problème du vieillissement démographique ne se cantonne plus au Japon. Nombre de pays, notamment occidentaux, vont également connaître le même sort. C'est ainsi qu'après le développement de la robotique industrielle, l'Occident investit de plus en plus dans la robotique dite personnelle, dans le sillage du Japon qui conserve sa suprématie en la matière.

Des fonctions très variées

ASIMO, un robot personnel développé par Honda depuis plus de 20 ans, est incontestablement ce qui se fait de mieux aujourd'hui. C'est d'ailleurs la vitrine technologique d'Honda. Ce robot peut franchir des obstacles, attraper des objets et offre une assistance cognitive de haut niveau. Le seul bémol est son prix. Manifestement, Honda n'envisage pas une diffusion grand public pour l'instant.

Par ailleurs, on voit fleurir au Japon des robots personnels dont les fonctions sont tout autres. Paro est un petit phoque robotisé. Véritable animal de compagnie, il ronronne, "chouine" ou fixe le regard d'une personne comme pourrait le faire un chat par exemple. Des études médicales récentes menées sur une population de malades d'Alzheimer, mettent en évidence une capacité indiscutable à apaiser des crises d'angoisse. Mais cela fait naître une controverse d'ordre culturel : les Occidentaux s'interrogent sur la perte de dignité et l'infantilisation suscitées par cette opération, quand les Japonais répondent, sans hésiter, que dans la mesure où cela calme le malade, rien n'est dégradant.

Dans le domaine de l'assistance aux malades, le projet Ri-Man, très sophistiqué, permet de transférer un malade de son lit à son siège, se substituant ainsi au personnel soignant. En outre, on peut envisager, dans ces conditions, un maintien à domicile. En revanche, il ne procure aucun soutien affectif. Par ailleurs, des questions de sécurité se poseront. Une personne diminuée peut, par maladresse, se blesser lors d'une manipulation.

La robotique personnelle en France

En Europe en général, en France notamment, ces idées se diffusent, dépassant progressivement les résistances culturelles. Des laboratoires très en pointe comme l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique), le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ou le CNRS (Centre national de la recherche scientifique) comptent beaucoup. Il faut cependant bien reconnaître que nous souffrons d'un déficit de communication et de moyens par rapport aux Japonais par exemple. Beaucoup de recherches, parmi les plus innovantes, n'ont pas franchi les portes des laboratoires dans les années 1970. Aujourd'hui, un effort est fait et on commence à considérer la robotique personnelle comme une priorité, une cause importante qui mérite que l'on y investisse. Le CEA, qui a développé des robots capables d'évoluer en milieu hostile, a décidé de mettre à disposition sa technologie à destination des personnes âgées et handicapées. Dans les années 1980, l'INRIA a mis au point le projet Spartacus. Ce robot permet de compenser la perte d'autonomie, en attrapant ou en déplaçant un objet par exemple, mais ne remplit pas du tout la fonction affective.

Une société française, Robosoft, fondée il y a une vingtaine d'années, a également développé des produits de grande qualité. À l'origine, elle fournissait des robots militaires ou de service, dont certains nettoient la pyramide du Louvre. Forts de cette technologie, Robosoft s'est engagé dans la robotique d'assistance personnelle. Ainsi, le robot Kompai permet d'établir une communication avec les personnes malades. Sa technologie permet de gérer l'interface entre un malade, sa famille ou un médecin.

La société Aldebaran

Quant à notre société, Aldebaran, elle est née de différentes études et surtout de la passion de son fondateur, Bruno Maisonnier. Aldebaran est considérée comme un fleuron de l'industrie robotique en France. Nous sommes relativement jeunes, puisque la société a été créée en 2005, et nous sommes plus de 150 aujourd'hui. En particulier, nous avons mis au point et commercialisons Nao, un robot humanoïde.

Nous vendons des robots partout dans le monde et nous en avons même vendu 30, l'an dernier, à l'université de Tokyo. Cela montre que la France, comme l'Europe d'ailleurs, n'a pas à rougir de sa place dans le secteur. À la différence de beaucoup de sociétés de robotique, notre objectif ne se cantonne pas à vendre à des laboratoires et à des professeurs, mais nous avons pour ambition d'attaquer les marchés grand public. Nos fonctions de production, de commercialisation, de marketing ou financière sont très solides. Récemment, nous venons de racheter une partie d'une société, Mindscape, qui a développé le robot Karotz. Il a des fonctions similaires à celle de Nao, mais n'est pas mobile et ne peut rien transporter. L'intérêt de cette opération réside davantage dans le fait qu'il a été vendu à grande échelle, diffusé au grand public à travers des canaux comme la Fnac par exemple. Travailler avec des équipes qui ont connu l'expérience de la vente en grande série est une étape essentielle pour nous.

Nao, le petit robot

Nao est donc un robot humanoïde, que nous avons cherché à rendre le plus sympathique possible. Il a clairement vocation, outre un secours pratique, à fournir une présence à son compagnon. Nao parle, peut se présenter et répondre à des questions. Il fonctionne sur le modèle de la reconnaissance vocale, comme cela existe dans la téléphonie mobile. Mais ce système fonctionne aussi à distance. Nao peut, en outre, lire le journal et recevoir ou envoyer un mail sur simple demande orale de son propriétaire. Il fait naturellement office de téléphone, ce qui est très pratique pour les personnes à mobilité réduite. Où que soit la personne, le robot la rejoint dans la pièce où elle se trouve. C'est le robot qui vient à la personne et non l'inverse. Cela peut éviter des accidents fréquents chez les personnes âgées. Surprises par la sonnerie du téléphone, ou pressant le pas pour répondre, il peut se produire une chute pouvant entraîner une fracture. Des médecins et des compagnies d'assurance s'intéressent beaucoup au projet qui pourrait, selon eux, dans le cadre d'un *business model* bien monté, répondre à une demande réelle à l'avenir.

Pourquoi humanoïde ?

Nao est un robot humanoïde pour deux raisons essentielles. La première est rationnelle : Nao, muni de deux bras et deux jambes sait donc s'adapter à un environnement qui demeure humain. Il partage l'environnement de son compagnon et pas l'inverse. Au fur et à mesure que la personne s'amointrit, Nao va devoir l'assister de plus en plus. La forme humanoïde doit permettre de ne pas modifier trop le domicile de la personne en vue de l'intervention du robot.

La seconde raison est d'ordre plus subjectif. En matière de communication, Nao s'anime quand il parle, bouge les bras, et a un véritable langage corporel qui fait oublier la seule technologie. Cela facilite les relations et on en vient à imaginer sa vie intérieure. Autant il est difficile de s'adresser à une poubelle, si "intelligente" soit-elle, autant s'adresser à un robot attentif à vous est tout à fait acceptable. Cela modifie radicalement le rapport à l'objet.

D'ailleurs, nous pouvons mesurer facilement le capital sympathie de Nao. Lorsque nous présentons Aldebaran à des personnes âgées, nous rencontrons, au premier abord, des résistances réelles. Dès que l'on présente Nao, il séduit très rapidement, ce qui facilite beaucoup les transactions. Il s'agit de marketing certes, mais bien intentionné. En amont, nos ingénieurs travaillent énormément sur la manière de disposer la technologie sous contrainte de design. C'est difficile, mais c'est certainement une des clés de notre succès. Beaucoup de progrès technologiques restent à accomplir pour proposer des fonctions plus sophistiquées, comme faire la cuisine par exemple, mais en attendant, le robot est déjà accepté par les gens. C'est un pas culturel décisif.

D'autres applications possibles

Un enfant malade à l'hôpital a besoin de distraction. Parfois, des clowns viennent lire des histoires. Nao peut tout à fait remplir cet office. Il peut passer de chambre en chambre, où il multipliera les mêmes gestes, ce qui peut stimuler les interactions avec l'enfant.

Une expérience menée par un laboratoire américain spécialisé sur l'autisme est aussi intéressante. Ce laboratoire s'est procuré Nao et connaît des succès encourageants. L'autisme étant décrété cause nationale cette année en France, nous allons poursuivre les essais américains. En effet, nous avons remarqué que la fixité du visage de Nao, qui pouvait parfois poser problèmes à certaines personnes, rassurait au contraire les enfants autistes qui ne parviennent pas à lire les expressions du visage. Ils arrivent cependant parfaitement à saisir la gestuelle, à la mimer, et les éducateurs constatent que leur concentration est bien meilleure.

Plus récemment, l'Institut de la Vision s'est offert les services de Nao pour les personnes mal voyantes qui n'arrivent à pas à lire le braille. En portant une notice près de la tête de Nao, en le touchant tout simplement, il peut en déchiffrer le texte.

À l'instar des géants de l'informatique comme Apple, nous avons vocation à développer, nous-mêmes ou avec des partenaires, les logiciels que nous pourrions faire tourner sur notre plateforme. Dans le domaine des loisirs dans lequel nous aimerions investir, un de nos partenaires a développé une application pour Nao lui permettant de jouer à Puissance 4 avec un enfant. Observer, réfléchir, décider et jouer son pion sont des tâches à sa portée. La seule difficulté pourrait résider dans sa capacité à ramasser les jetons en fin de partie, ce dont l'enfant peut s'acquitter seul bien sûr. Dans le prolongement, le domaine de l'éducation est très important. Assister un enfant pour l'aider à faire ses devoirs, apprendre une table de multiplication, résoudre une énigme de manière ludique est tout à fait réalisable. Et dans ce cadre également, l'interaction qui est créée augmente la concentration plus que ne le fait un livre ou même un ordinateur. Autant de perspectives très intéressantes.

EXPOSÉ de Catherine FARGEON

Mon exposé s'inspire d'un article que j'ai publié, il y a quelque temps, dans les *Annales des Mines*, traitant de la miniaturisation des drones. Cela revient, en quelque sorte, à faire des projections à 150 ans, en se posant la question suivante : comment s'organiser pour permettre que des avions à forts tonnages, des engins de loisirs tel que l'ULM (Ultra-léger motorisé), ou encore des drones de travail (dont on trouvera que les applications sont multiples) puissent voler simultanément dans des travées différentes, comme le montrait le film *Le Cinquième élément* ?

Cette image, loin d'être anecdotique, donne un avant-goût de la complexité des questions qui sont posées. Cela suppose d'établir une réglementation qui englobe tous les types d'engins, d'autant plus que les enjeux financiers sont colossaux. Beaucoup de réflexions sont menées en ce sens.

Récemment, le Congrès américain a enjoint la FAA (aviation civile américaine) de rendre un rapport, dans un délai d'un an, sur l'utilisation des drones de travail, et d'établir une réglementation adéquate. Cela fait plus de 15 ans que des groupes de travail américains tentent d'élaborer une réglementation, sans pour l'instant qu'aucune réponse n'ait été considérée convaincante. En France, nous avons tenté en avril une proposition, que j'estime courageuse, mais qui malheureusement ne répond pas totalement au problème. En effet, cette proposition ne prend pas bien en compte l'intensification du trafic aérien qu'entraîne un accroissement de l'automatisation. Par ailleurs, la question de l'homme et de sa place dans les dispositifs de pilotage reste centrale.

Y a-t-il un pilote dans le drone ?

La place de l'homme varie suivant les types de pilotages. On en distingue deux principaux :

- l'homme au sol, en vue directe, qui a conservé la vue du drone, et sans l'intermédiaire d'une imagerie embarquée pour le diriger. C'est la seule catégorie autorisée aujourd'hui dans le monde civil ;
- l'homme au sol, en vue indirecte. C'est la plus utilisée, à titre militaire, en cas de conflit par exemple. Bien protégé dans un lieu ou dans un véhicule, il prend les décisions de pilotage par l'intermédiaire des images et des informations provenant des systèmes embarqués. Il a d'ailleurs été reproché à des soldats américains de pouvoir diriger des tirs ciblés à distance, à la frontière de l'Afghanistan depuis Washington, et de terminer leur journée par un apéritif avec des amis, toujours à Washington.

L'homme, facteur de sécurité ?

La véritable question qui se pose finalement est : l'homme est-il vraiment un facteur de sécurité dans ces dispositifs, a fortiori, selon les cas, en fonction des informations plus ou moins fiables qui lui parviennent ? Cela conditionne évidemment les choix réglementaires. Malheureusement, les limites humaines, ici plus qu'ailleurs, sont évidentes. Deux illustrations suffisent.

L'homme y voit-il vraiment bien ?

Il n'est en rien évident que l'homme y voit vraiment bien. Des études menées par l'IRMA (Institut de recherche mathématique avancée), le service santé des armées et les Mines ParisTech sur la vue des pilotes, ont permis de mettre en lumière plusieurs difficultés.

Sa vue peut être pervertie, par exemple, par une superposition d'images infrarouges. Cela dépend bien sûr des conditions dans lesquelles sont prises ces images. L'homme peut même voir des *chimères*. Les conditions environnementales telles que les variations météorologiques, le relief ou encore ce que l'on appelle les "canyons urbains" viennent ajouter aux troubles de perception.

Il suffit d'imaginer un pilote au sol basé à 150 mètres du drone qu'il pilote. Si un deuxième drone arrive dans l'axe du premier, les manœuvres à distance sont vite compliquées. Dans ce cas, un homme aux commandes d'un pilotage instantané n'est clairement pas un facteur de sécurité. Cela peut même être catastrophique. Il n'y voit pas bien, ne peut pas être réactif, se trompe s'il y a trop d'interfaces de contrôle, et ne peut pas sérieusement gérer plusieurs risques à la fois.

La question du délai temporel

La question du délai temporel est un point central. Il existe en effet une latence chez l'homme qui entraîne des délais de traitement de données, des latences d'affichage et de commande, de cognition personnelle, qui se complique dès lors, qu'en plus, il faut interroger une base de données.

Une autre étude, menée également par l'IRMA sur les délais de latence le montre. Ce groupe de chercheurs composé d'ingénieurs, de pilotes et de médecins s'est focalisé sur ces problèmes dans une population destinée à piloter des avions, ou des engins au sol par exemple. Il s'agissait d'équiper chaque pilote d'un système de vision artificielle et de superposer des images réelles et des images infrarouges, puis d'augmenter le délai de latence. Au début, 10ms (millisecondes), puis 50 et 100 pour voir jusqu'à quel moment les soldats perdaient l'équilibre et chutaient. L'étude conclut que c'était à 125ms. C'est un temps infime par rapport au temps de décision de l'homme.

Par ailleurs, il faut faire la différence entre un drone à capacité stationnaire, qui peut s'arrêter en vol et permettre à son pilote de prendre le temps d'une analyse et d'une décision de pilotage, d'un drone en voilure fixe, qui ne peut arrêter de voler au risque de tomber.

Cela signifie par ailleurs que, selon que le drone a une capacité stationnaire ou non, la réglementation ne peut être la même. C'est une difficulté supplémentaire dans le parcours juridique.

Les drones de travail

L'utilisation des drones dans l'activité économique générerait des gains financiers faramineux. Qu'il s'agisse des loisirs évidemment, mais également du BTP (10 % des budgets sont consommés pour compenser les erreurs de mesures humaines que ne ferait pas un drone, même miniature), pour le suivi des travaux, de surveillance des bâtiments, ces outils sophistiqués sont révolutionnaires.

Le bénéfice social pour l'environnement est évident, en termes de pollution notamment. Par extension, dans le domaine de l'agriculture par exemple, il devient très facile et moins coûteux de repérer une attaque de parasites, de la traiter localement pour en limiter l'extension. Ce sont autant d'améliorations pour l'alimentation, la santé.

D'autres domaines très divers, tels que les retransmissions télévisées du sport, de reportages, ou encore celui de la sécurité y gagneraient beaucoup.

Mais s'intéresser aux drones de travail appelle indirectement à s'interroger sur la notion d'équipe au travail. Il faut donc être capable d'envisager le fonctionnement simultané de plusieurs drones sur le même champ de travail, sur un espace limité. J'évoquais la difficulté du pilotage à distance pour deux drones dans un même axe ; quid de plusieurs drones dans un espace de collaboration limité ? La réglementation, dans ce cas également, n'en sera que plus compliquée à établir.

Conclusion

Qu'il s'agisse de problèmes de vue, de latences de tous ordres à titre individuel, largement augmentée par le nombre d'hommes pilotant simultanément, il apparaît clairement que l'homme n'est pas un facteur de sécurité quand il est dans une fonction de pilotage. Cependant, il reste extrêmement utile dès lors qu'il s'agit de programmation et de supervision.

Alors se pose du coup un problème culturel. Comment faire comprendre et intégrer aux autorités de tutelle qu'il faudrait exclure l'homme de la boucle du pilotage pour que le risque soit minimum ? Autant dire qu'en Occident notamment, c'est quasiment impossible. Le problème de la réglementation est donc loin d'être résolu.

EXPOSÉ d'Olivier LY

Mais, qu'est-ce qu'un robot ?

Pour commencer, il peut être intéressant de rappeler tout simplement qu'un robot est l'addition d'un appareil moteur et d'un ordinateur. Cet ordinateur peut être une unité centrale de contrôle qui, dans ce cas, peut par exemple permettre de contrôler, voire de planifier une trajectoire. L'ordinateur permet d'asservir la mécanique soumise à son environnement : on parle de *mécatronique*. La mécanique intervenant dans son environnement produit des effets physiques mesurés par des capteurs qui communiquent avec l'ordinateur, qui réagit en retour. Le robot fait vivre une "boucle d'interaction". La difficulté principale de ce système tient aux délais entre information et réaction. Des retards sont engendrés, que l'on étudie notamment dans la théorie du contrôle. Il est bien sûr possible de sophistiquer le robot en intégrant à l'ordinateur des algorithmes d'apprentissage qui permettront, par exemple, de prévoir et de définir précisément le comportement d'un robot.

La France, pays de robots

Nous sommes habitués aux robots en France, surtout dans l'industrie où la robotique de production existe depuis des dizaines d'années. Les progrès sont d'ailleurs fantastiques. La technologie a beaucoup gagné en précision qui est aujourd'hui parfaite, et bien sûr, très largement supérieure à celle de l'homme. La "répétabilité" du geste est impressionnante. Tant la puissance que la vitesse ou la cadence connaissent des progressions continues.

La France a une réelle expertise en robotique industrielle, notamment en matière de recherche, beaucoup plus qu'en fabrication. Mais il faut cependant noter une statistique importante. Pour un robot vendu en France, 2 le sont en Italie, contre 7 en Allemagne et bien sûr 11 au Japon. Cependant, en ramenant cette statistique à la population active dans le secteur industriel, la France qui est de plus en plus un pays de services, atténue son retard.

La robotique humanoïde

La robotique humanoïde s'oppose à la robotique industrielle. On parle également de *robotique de service* ou *personnelle*, que l'on peut étendre jusqu'au domaine militaire. Sa définition est finalement assez floue, mais on l'associe souvent à la robotique qui investit le monde domestique et rend des services ménagers. Bien que peu diffusée chez les ménages, elle est néanmoins familière à l'esprit des gens. Ne serait-ce que par le cinéma.

Si son domaine d'application est très différent de la robotique industrielle, beaucoup des technologies utilisées sont directement transposées du monde industriel. C'est ainsi qu'un petit robot domestique est capable de saisir un objet, de verser un verre d'eau avec une précision héritée des savoir-faire industriels. Mais, alors que la robotique industrielle peut être dangereuse pour l'homme, il ne saurait en être question s'agissant de la robotique personnelle.

Les exosquelettes

C'est une autre application de ce champ technologique. Il s'agit finalement de laisser une plus grande place à l'homme dans la décision motrice. L'exosquelette est un système qui soutient l'homme dans son activité. Un moteur vient le doubler dans ses actions, qu'il s'agisse de marcher, de porter. Il peut décupler sa force.

La seule difficulté réside dans l'incapacité de l'ordinateur à prévoir ce que veut l'homme, pour amplifier ou freiner ses mouvements. Il est aujourd'hui encore extrêmement difficile de capturer l'intention physique de l'homme et d'embarquer les moteurs correspondants. On imagine aisément toutes les applications médicales qui peuvent en découler, mais en l'état, il n'y a rien de vraiment opérationnel. Il existe certains projets universitaires, mais nous sommes très loin d'aboutir.

Le robot androïde : une question d'interaction sociale

On s'interroge finalement sur l'interaction homme/robot, mais sous l'angle social. Le robot androïde cherche à ressembler à l'homme en quelque sorte. Il est affublé d'un visage capable d'expression, de muscles et d'une peau qui le rendent à l'image de l'homme. Cela produit de véritables effets sur l'homme. On trouve ces développements essentiellement en Asie.

En effet, il faut noter un clivage culturel très important entre ce que ressentent les asiatiques et ce que ressentent les européens. Autant, en Asie, ce type de robot est parfaitement accepté, domestiqué au quotidien, autant en Europe, en France en particulier, il suscite des réactions de grande méfiance, sans pour autant qu'on sache l'expliquer. C'est pourquoi les projets de robots qui sont menés en Europe ont des expressions beaucoup plus symboliques. Il n'y a ni peau, ni visage. D'ailleurs, les seuls robots que l'on trouve sont des aspirateurs domestiques.

Le robot humanoïde : prometteur mais limité

Les premiers humanoïdes sont tout simplement les automates que l'on trouve au rayon des jouets dans les grandes surfaces. Ces robots n'ont pas d'unités centrales de contrôle, pas de feed-back. Ce sont des mécaniques simples qui ont néanmoins plusieurs degrés de liberté leur permettant certains mouvements. Le design est recherché et la robustesse réelle. Mais ils ne sont pas très réactifs parce que l'électronique embarquée est simplissime. Néanmoins, la mécanique réagit car ils sont équipés de ressorts qui permettent, par exemple, d'amortir certains chocs. Cela ne va pas plus loin.

On est très loin de la robotique humanoïde la plus perfectionnée. Les projets ASIMO ou encore HRP, tous deux japonais, dans la droite ligne de la robotique industrielle, sont véritablement des bijoux de technologie et de mécatronique. Ils ont des capacités de calculs dynamiques, de modélisation de l'environnement, de mise en équation des comportements qui sont surprenantes. Ils connaissent un succès réel, mais pour l'instant, aucun déploiement industriel n'est envisagé.

La seule limite que l'on peut leur trouver est leur locomotion. ASIMO par exemple, ne sait pas courir dans un champ. Si l'environnement ne correspond pas exactement à la modélisation qui en avait été faite, il y a dysfonctionnement. Par exemple, une marche trop haute et c'est la chute. La question qui se pose donc à l'avenir est celle d'une modélisation plus précise afin que l'imprévu soit bien géré.

Le naturel inimitable du crabe

Dans la nature, le problème de locomotion que l'on rencontre en intelligence artificielle ne se pose pas. Prenons l'exemple d'un crabe que l'on soumet à des obstacles sur un tapis roulant. Il manifestera une agilité et un équilibre que l'on ne trouve pas chez le robot. Finalement, le crabe a la solution du problème posé à un robot beaucoup plus sophistiqué que lui. Que l'on parle de précision, de propension au calcul ou encore de boucle de rétroaction, les capacités artificielles sont pourtant incomparables. C'est là un grand mystère de l'intelligence motrice que nous avons à résoudre dans l'avenir.

Un paradoxe scientifique

Le paradoxe est donc le suivant : dans les années 1960, on pensait que les défis de l'intelligence artificielle se limitaient essentiellement à des capacités de calcul et de modélisation très puissantes. La fluidité de la locomotion n'était pas un souci identifié. Aujourd'hui, on est capable de produire un robot joueur d'échec à un niveau international, mais on est incapable de concevoir un robot joueur de foot, qui puisse être comparable à un humain.

Une piste est explorée néanmoins. C'est la robotique bio-inspirée. Par exemple, on intègre une colonne vertébrale à un robot. C'est le cas du projet américain RHX. Ce robot architecturé autour d'une colonne avec un grand nombre de pattes, permet des capacités de locomotion étonnantes, provenant de la flexibilité de la colonne et surtout du matériau employé. Il ressemble à un insecte un peu gauche, mais il passe précisément tous les obstacles qu'aucun robot traditionnel beaucoup plus performant technologiquement ne saurait franchir. Sur un terrain accidenté, malgré un degré de précision moyen, ce type de robot sera beaucoup plus efficace qu'un engin bipède ou même à roues. En quelque sorte, c'est ce type de robot beaucoup plus simple qui résout le problème de la locomotion.

Quelques mots sur Acroban

En guise de conclusion, nous fabriquons un robot, Acroban, sur lequel nous essayons d'optimiser la souplesse tant mécanique que mécatronique. À la différence d'autres robots, Acroban ne possède pas de caméra ou de capteurs par exemple. Mais pour l'utiliser, il faut privilégier un contact physique comme le toucher ou lui prendre la main. C'est ainsi qu'il peut se déplacer en nous suivant. Ses articulations sont libres et sont couplées à des amortisseurs pour éviter les chocs physiques du déplacement. Mais ce degré de liberté a un prix, cela complique beaucoup son contrôle.

EXPOSÉ de Gérard DUBEY

Le sociologue et l'ingénieur

La contribution du sociologue s'interrogeant sur la problématique contemporaine de la robotique m'apparaît d'autant plus essentielle que les occasions de dialogue entre les sciences appliquées et les sciences humaines sont assez rares. L'incursion de la sociologie dans le monde des ingénieurs est donc très précieuse. L'objet robot s'y prête tout particulièrement et même plus que d'autres. Historiquement et depuis le début de la robotique, il est apparu fondamental de s'intéresser au jeu spéculaire entretenu par l'humain et le robot, et entre les humains entre eux, a fortiori, quand l'avenir proche de la robotique connaît ses développements les plus importants en matière collaborative et personnelle.

Le développement de la robotique grand public ne pourra pas faire l'économie d'intégrer la compréhension de l'usage en amont de la conception. Cela peut sembler une lapalissade, mais ce sont autant de défis théoriques que pratiques qui sont à relever. Cela suppose d'étudier la proximité du robot à l'homme, dans ses habitudes, dans son environnement et dans ses désirs.

Les ingénieurs doivent alors bénéficier des contributions des sociologues. L'article d'Olivier Ly et d'Hugo Gimbert dans les *Annales des Mines* met en lumière combien l'environnement n'est pas adapté, a priori, au robot. Cela souligne la variabilité du réel, tant au plan humain, que physique et social bien sûr.

Une anecdote permet d'illustrer les difficultés pratiques de ces projets. Deux personnes âgées de 90 ans ont accepté de recevoir chez elles un robot d'assistance personnelle pour une expérimentation à Toulouse. C'est assez rare pour être souligné, surtout à cet âge. L'expérience se faisait donc in situ, sans aménagement. Mais les problèmes ont commencé dès qu'un robot s'est bloqué dans les franges du tapis d'une des personnes. Elle a refusé ensuite que le robot ne circule. Cette petite contrariété, bien prosaïque, illustre les problèmes à résoudre quand la participation de tous est nécessaire.

L'homme et le robot : une relation complexe

Tout semble désormais pratiquement possible d'un point de vue technologique, surtout depuis les progrès de la miniaturisation ou des capteurs sensoriels. Mais finalement, cela ne fait qu'accroître la complexité de la relation homme/robot.

Historiquement, les premiers automates répondaient déjà à des choix politiques et sociaux bien distincts. Par exemple, les joueurs de flûtes ou les canards dansants avaient pour objet d'émerveiller les spectateurs. En retour, cela pouvait fournir des informations sur l'intelligence et les différences de réactions des personnes.

Les métiers à tisser, quant à eux, sont nés à la demande de Louis XV, et répondaient à un objectif plus politique. Dans le cadre d'un conflit avec la corporation des tisserands, les manufactures royales ont cherché les moyens de se passer de leur main-d'œuvre.

Il apparaît clair qu'il s'agit, dans le premier cas, d'une démarche spéculaire et cognitive, alors que dans le second, la priorité portait sur la dimension substitutive de la machine à l'homme dont elle dépassait, par ailleurs, les capacités de travail et de réplication.

L'assistance aux personnes

J'ai participé avec des ingénieurs à la conception d'un robot d'assistance personnelle à destination de personnes âgées atteintes de troubles cognitifs. Le premier objectif était de permettre une stimulation cognitive de la personne depuis son domicile. Le second consistait à mettre en œuvre un système de vigilance permettant de prolonger le maintien à domicile, en optimisant les services proposés par la téléassistance. Il s'agissait en quelque sorte d'une plateforme mobile de téléassistance.

Malheureusement, il apparut assez vite que le transfert d'expérience entre domaines technologiques est moins évident que cela n'apparaissait. L'expertise acquise dans les secteurs militaires ou industriels ne sont pas directement transposables et constituent, parfois même, un frein à l'innovation en matière de robotique personnelle.

Une logique substitutive inadéquate

Un robot militaire qui intervient sur un site miné ou nucléaire a vocation à se substituer à l'homme. L'autonomie de l'objet lui permet de pallier à la défaillance de l'homme, dans les cas où l'environnement est précisément inhumain. En robotique chirurgicale, il convient de substituer la précision inégalée de la technologie à celle de l'homme. Dans ces conditions, l'humain est appréhendé à partir de ses faiblesses et de ses limites, dans la perspective de fournir un niveau de performance maximal. C'est un soutien à la personne sur la base de ses défaillances.

Mais cela pose un problème en amont de la conception puisque, tant l'hostilité de l'environnement, que la défaillance de l'humain y est intégrée. Techniquement, cela suppose de considérer, par défaut, un usager maintenu dans un état de passivité ou de déficience fonctionnelle. En conséquence, le choix technologique en réponse est le plus souvent substitutif.

Repenser la conception

Donc, l'innovation technologique ne se fait pas en fonction d'une compétence supposée intacte, mais d'une défaillance présumée. Or, la compétence, dans son sens fonctionnel, est essentielle dans l'étude du maintien à domicile.

En conséquence, cela suppose un changement de perspective majeur en matière de conception. On passe d'un monde d'objets à un monde de sujets, qui parlent, pensent et jugent. Repenser la conception en ce sens est un saut qualitatif considérable, que les progrès en termes de puissance ou de capteurs ne permettent pas de franchir.

En "gérontechnologie", la robotique *téléopérée* permet à des malades atteints d'Alzheimer, à un stade léger, de se maintenir à domicile. Plusieurs facteurs de résistance sont apparus : la robotique téléopérée présuppose une perte d'autonomie, de capacité de décision. Le robot manifeste l'échec de la personne, en lui renvoyant, presque par anticipation, sa dégradation.

Sa présence physique même est intrusive. Beaucoup moins qu'une nouveauté, cela renvoie une image de déclin, de dépendance. Nombre de réactions de malades nous l'ont fait comprendre.

L'espace et le temps au quotidien

Le rapport spatio/temporel des individus à leur environnement est déterminant. La maladie opère une modification de ce rapport. La maladie d'Alzheimer se traduit notamment par une perte de repères dans l'espace et dans le temps, qui dégrade la stabilité du malade. La perte de ces points de stabilité rend progressivement tout l'environnement agressif pour l'individu. C'est une source d'angoisse d'autant plus grande que la régularité et la familiarité de l'environnement permettent précisément de pallier à des défaillances du corps, de la mémoire.

Fabrice Gzil, auteur d'une thèse en philosophie sur le sujet, met en évidence que des malades symptomatiquement atteints de démence, conservent néanmoins certaines capacités cognitives quand ils sont soutenus par l'outil.

Cela signifie que si l'environnement domestique est modifié par l'incursion du robot, cela ne doit pas s'accompagner de modifications radicales du domicile. Il faut agir avec discernement et la robotique doit rester discrète. Il ne faut pas ajouter de l'étrangeté à l'étrangeté.

L'importance de l'environnement social

De même, il faut faire preuve de vigilance quant à l'environnement social. Il est constitué des routines, d'attentions, des exigences de l'entourage. La perte de mémoire provient souvent du sentiment de ne plus se sentir utile socialement et de ne plus être attendu par personne. Or, la relation homme/robot tend à devenir exclusive de toute autre relation humaine et finit par constituer un désert social.

La priorité semble être donnée à la continuité de la fonction vitale, en permettant des communications visuelles et verbales en cas de chutes par exemple. L'intention est réparatrice, mais le choix est délibérément fait de privilégier la sécurité sur le maintien de l'activité sociale. Or, avant de concevoir l'usage, il faudrait d'abord faire l'inventaire des impensés, au premier rang desquels le statut de l'homme, du vivant, qui a pour corollaire de nous interroger sur notre représentation du grand âge, du vieillissement.

Des gériatres américains ont mis en valeur les compétences en premier lieu, avant de privilégier le secours, et les premiers résultats montrent que cela aide les malades à supporter leurs détériorations. L'insertion des objets techniques dans l'environnement des personnes suppose donc de réviser nos présupposés. Le défi essentiel suppose de savoir articuler une logique dite *empirico historique* privilégiant l'évènement particulier, assise sur un savoir par liste et l'analogie, à une logique plus théorique de modélisation visant à la généralisation. Mais il ne saurait être possible de modéliser l'approche historique au risque d'en perdre toute la valeur de sa spécificité.

Le cas des drones

À la différence de la robotique personnelle, l'utilisation des drones dans le domaine militaire est loin d'être une activité robotisée, au sens où l'automate a définitivement remplacé l'humain. Ce qui est difficile à penser, c'est la relation entre un mode de perception et un mode d'analyse du réel distincts.

Cette question est fondamentale dans le domaine de l'automatisation. L'environnement n'est pas une donnée brute. Pour l'être humain, la perception et la représentation ne font qu'un. C'est d'ailleurs comme cela que certains voient des chimères. Le drone renouvelle précisément ce questionnement.

Les effets de la distanciation

À la différence du pilote d'avion, l'opérateur de drone est physiquement séparé de la situation de combat. Cela signifie que ses représentations sont décorréliées de ses sensations. Par ailleurs, la multiplication des capteurs et des sources d'informations contribue à morceler la réalité et cela affecte la perception de l'humain.

De plus, si l'on ajoute la multiplication des réalités perçues par chacun des opérateurs du système, on comprend que la difficulté est augmentée. Ce sont autant de sous cultures professionnelles qui partagent une même réalité. Les acteurs du renseignement, du commandement, les pilotes, ont des regards différents qui augmentent la complexité des perceptions.

Dans les faits, cela revient, pour les pilotes, à reconstruire consciemment ou inconsciemment une réalité unifiée sur la base de leurs expériences passées, dans leurs dimensions sensorielles, culturelles ou cognitives. Finalement, l'apparente facilité dont font preuve les pilotes de drones masque, en vérité, le rôle de l'expérience et de la culture.

La “normativité” de la technologie

On peut se poser ce type de question dès lors que l'on parle d'intelligence ou de technologie de surveillance de deuxième génération. Ces dispositifs intègrent des algorithmes qui ont vocation à aider l'opérateur en diminuant le nombre d'informations dont il dispose, tout en le garantissant contre le risque de fragmentation du réel. Mais ces progrès engendrent, dans le même temps, de nouvelles zones d'incertitude, y compris morales, qui peuvent devenir problématiques.

En effet, un logiciel d'aide à la décision est développé dans des situations qui n'intègrent pas le même référentiel et le même temps qu'en situation de combat. Or, l'opérateur qui a la responsabilité morale et même juridique, doit s'y fier pour décider. C'est une forme de vide situationnel qui pose question.

Conclusion

Ces différents points me semblent témoigner de la complexité posée par la relation homme/technique, spécialement dans le champ de la robotique. Cela suppose, selon moi, de reconnaître le caractère normatif de la technique, et surtout de ne pas opposer humain et technique, ou même de considérer un retard de l'humain par rapport à la technique.

Cela reviendrait sinon à accepter une forme d'autonomie de la technique, voire un surplomb du technologue sur la société, ce à quoi le sociologue ne peut se résoudre.

En revanche, on peut admettre un décalage entre la conception ou la préconception de l'humain intégrée à la technologie, et la pluralité et l'hétérogénéité des situations pratiques dans lesquelles la technique est sollicitée.

Cela supposerait d'accepter peut-être une technique moins parfaite, moins précise, mais qui laisserait en quelque sorte la main à l'humain. Ce sont des questions passionnantes qui sont autant de raisons pour les sociologues et les ingénieurs de poursuivre leur collaboration.

DÉBAT

Le robot obsolète ?

Un intervenant : *Quand on regarde ce qui se fait en France et à l'étranger, on ne peut pas s'empêcher d'être un peu déçu. Cela ne progresse pas vite. Si l'on s'intéresse à ASIMO par exemple, sa version V2 montre qu'il est plus grand, plus agile, plus robuste, qu'il a gagné des degrés de liberté. Pour autant, il n'est pas encore commercialisé. On en arrive à se poser la question : le robot n'est-il finalement pas dépassé ? C'est ce qu'a par exemple avancé Frédéric Kaplan dans son ouvrage La métamorphose des objets. Après avoir travaillé pendant 10 ans dans la robotique, il s'intéresse aujourd'hui à l'internet des objets. N'est-ce pas cela le véritable développement ?*

S'agissant des exosquelettes, c'est un peu la même chose. Notre loi sur l'accessibilité des lieux publics à tous, pose des problèmes auxquels ce type de technologie peut répondre. Car si l'on applique cette réglementation à la lettre, c'est la moitié des villes qu'il faut démonter. Pourquoi ne pas aller plus vite ?

Rodolphe Gelin : Votre remarque est juste. Cela ne va pas assez vite, mais cela s'explique très bien de mon point de vue. Avant d'envisager une diffusion grand public, il faut envisager les investissements qui le permettent. De même que les premiers prototypes automobiles étaient inabornables au consommateur moyen, les prototypes de robots les plus aboutis le sont tout autant. Il faudrait l'équivalent de quelqu'un comme Ford qui accepte d'assumer le risque de l'investissement initial pour la grande série. Nao, qui peut déjà rendre quelques services précis, devra dans tous les cas, être un objet de confort avant d'avoir une utilité pratique. Il faut commencer à domestiquer le robot, justement si l'on veut éviter que les utilisateurs ne se voient renvoyés à leur défaillance. Si l'on prend l'exemple de la canne, ce fut d'abord un instrument de confort et d'élégance, que les gens n'ont pas eu de mal à utiliser le jour où le besoin était réel puisqu'ils y étaient habitués.

Olivier Ly : Le meuble intelligent au sens de Kaplan est évidemment une piste intéressante. Mais il existe déjà des objets très intelligents. Des voitures commandent leur vitesse, savent se garer, et gérer des problèmes de moteur sans qu'il s'agisse d'humanoïdes. Un avion est d'ailleurs le robot certainement le plus intelligent.

Avant de voir un humanoïde chez tout un chacun, il faut par ailleurs résoudre les problèmes de locomotion que nous avons évoqués, le manque de compréhension que les robots ont du monde et des objets. Cela n'est pas évident et donc pas très rapide. Les exosquelettes n'échappent pas à la règle de l'investissement initial. Pour l'instant, l'industrie robotique jouit d'un soutien moral évident, mais manque d'un soutien financier certain.

Le robot, auxiliaire médical de demain ?

Int. : *Vous évoquiez les fonctions médicales du robot. Cela fait une bonne vingtaine d'années que l'on voit des appareils affectés à la surveillance de certains paramètres chez le malade. Peut-on envisager que le robot devienne, en quelque sorte, un intermédiaire entre le malade et une centrale de médecins ?*

R. G. : Parfaitement. Parmi les projets de recherche que nous menons chez Aldebaran, nous nous penchons sur la détection de certains comportements et les reconnaissances des habitudes notamment. Quelqu'un qui se lèverait plus tard que d'ordinaire, qui n'aurait pas la même voix que d'ordinaire, peut être détecté et signalé à un médecin ou à toute personne ad hoc. C'est évidemment une direction que nous empruntons énergiquement.

Un retard industriel typiquement français ?

Int. : *Vos exposés montrent que la France a raté le coche de la phase industrielle de la robotique, puisque, malgré certaines recherches valables, il n'y pas d'entreprise de production et une utilisation réduite. Nao commence à montrer la voie industrielle mais qu'en*

est-il des drones ? On voit bien la projection futuriste à plusieurs dizaines d'années d'un monde de drones, mais existe-t-il aujourd'hui des entreprises compétitives capables de fabriquer des drones à usage civil ?

Catherine Fargeon : Un mot d'explication pour expliquer ce retard. Il y a une vingtaine d'année, une start-up américaine s'était intéressée aux questions des robotiques d'insertion, en utilisant les travaux du MIT de Boston (Massachusetts Institute of Technology) et du Draper Lab sur des modèles géométriques, cinématiques et dynamiques. Cela donnait trois types de modèles intéressants.

À l'époque, Renault, qui était industriellement le plus légitime pour s'intéresser aux problématiques d'insertion, avait repéré le procédé. Dans le cadre d'une mission au ministère de la Défense à laquelle j'étais associée, nous avons décidé d'envoyer des ingénieurs ENSTA (École nationale supérieure de techniques avancées) aux États-Unis pour comprendre leur savoir faire en la matière. À leur retour, Renault les a naturellement employés, mais les a rapidement placés dans une division qui n'avait rien à voir avec ces questions. Et le projet a tout bonnement été abandonné un peu plus tard.

Quant à la vision qualifiée de futuriste, elle ne l'est pas tant que cela pour une raison simple. Il s'agissait de poser la question de la réglementation et l'exemple chinois est particulièrement illustratif. Les Chinois ont construit 300 aéroports en 15 ans et estiment que la formation des pilotes nécessaire à cette croissance rapide est trop coûteuse et difficile. Ils étudient un passage à une automatisation beaucoup plus large que ne l'envisage l'Occident. La problématique de la réglementation est donc plus vaste que celle de l'usage des drones à titre civil. Cela mérite une réflexion de fond et une remise à plat complète à l'échelle internationale.

Il faut préciser que la réglementation européenne place le degré de sécurité à un niveau très élevé que les Chinois n'exigent pas de la même façon. La demande sociale en la matière est très différente en Europe, aux États-Unis et en Chine, ce qui contraint les compagnies chinoises à ne pas quitter la Chine. Pour information, le niveau de tolérance en Occident d'un incident, est de 10^{-6} par heure (un sur un million).

S'agissant de l'industrie des drones civils, la France n'est pas en reste. Citons par exemple le projet mené par Dassault Aviation qui promet des résultats de très hauts niveaux. Par ailleurs, il existe en France des groupes de personnes jeunes et dynamiques, qui n'ont d'ailleurs pas tous de formation aéronautique, qui sont déjà capables de fabriquer et d'utiliser des drones de manière tout à fait satisfaisante. D'autant que tous les composants sont en vente sur internet et que l'utilisation de logiciels libres est totalement possible pour y parvenir. C'est une dynamique à ne pas sous-estimer.