

L'insertion des robots dans la vie quotidienne (avec un focus sur les robots humanoïdes)

Cet article aborde le problème du déploiement de robots, en particulier de robots humanoïdes, à l'échelle du grand public. Jusqu'à présent, la robotique trouvait ses applications essentiellement dans les outils de production. Mais, depuis peu, elle investit le marché grand public, mettant à la portée de tout un chacun de véritables robots. Les potentialités sont énormes, mais des obstacles subsistent. Cet article présente les potentialités en question et examine les principaux défis à relever tant du point de vue technologique que des points de vue industriel et commercial.

Par Olivier LY* et Hugo GIMBERT**

ROBOTIQUE PERSONNELLE – ROBOTIQUE HUMANOÏDE

La robotique personnelle

L'introduction de robots dans la vie quotidienne relève de la robotique dite personnelle, qui se définit par opposition à la robotique dite industrielle. Il s'agit de donner à l'homme un accès aux technologies robotiques pour que celles-ci l'assistent et l'aident dans la vie de tous les jours et de mettre ainsi à la disposition de tout un chacun des machines dotées d'un appareil sensorimoteur permettant la locomotion et/ou la manipulation, associé à un système de décision auto-

nome. Le robot dépasse le stade d'outil de production et devient une machine destinée à l'utilisateur final. Au vu du marché potentiel, le déploiement à grande échelle de robots parmi les hommes comporte non seulement un enjeu économique considérable, mais aussi des changements profonds d'ordre sociétal. Aujourd'hui, nombre de robots sont d'ores et déjà déployés à grande échelle. Ainsi, les voitures sont dotées progressivement de systèmes automatisés assistant l'homme dans la conduite, en l'occurrence des régulateurs de vitesse ou encore des systèmes de guidage facilitant le parcage des véhicules. Dans le monde de la recherche, les technologies de véhicules autonomes dont la conduite est totalement

* LaBRI - Université de Bordeaux / INRIA Flowers.

** LaBRI - CNRS.



LE JOUEUR DE GALOUBET, LE CANARD ET LE JOUEUR DE TAMBOURIN
PIÈCES AUTOMATIQUES CONSTRUITES PAR VAUCANSON.

© Coll. IM/KHARBINE-TAPABOR

« La conception de robots humanoïdes s'inscrit dans la continuité d'un rêve ancestral qui fascine l'homme depuis l'apparition des premiers automates, ceux de Vaucanson, au XVIII^e siècle, voire ceux de Léonard de Vinci, au XVI^e siècle. » *"Le joueur de galoubet, le canard et le joueur de tambour", pièces automatiques construites par Vaucanson, gravures in "Histoire des jouets" par Henri-René d'Allemagne, vers 1900.*

automatisée sont d'ores et déjà opérationnelles (comme les « Google Cars » autorisées à la circulation dans l'Etat du Nevada [30]). Dans un autre domaine, les avions de ligne peuvent aujourd'hui être qualifiés de robots du fait de leur caractère autonome. Mentionnons également les robots d'entretien autonomes, en particulier les robots-aspirateurs, qui sont depuis peu des produits communs distribués à grande échelle.

Dans l'avenir, nombre de tâches robotisées sont envisageables : entretien, manutention, assistance à la personne, surveillance, conduite, sauvetage, etc. ; cela, aussi bien dans un cadre quotidien qu'en milieu hostile (comme, par exemple, les sites de catastrophes).

La robotique humanoïde

La *robotique* humanoïde se caractérise, quant à elle, par une morphologie du robot similaire (ou partiellement similaire) à celle de l'homme. Un robot humanoïde est généralement doté d'un grand nombre de degrés de liberté lui conférant un champ d'action très étendu. La conception de robots humanoïdes s'inscrit dans la continuité d'un rêve ancestral qui fascine l'homme depuis l'apparition des premiers automates,

ceux de Vaucanson, au XVIII^e siècle, voire ceux de Léonard de Vinci, au XVI^e siècle (voir [1] [2]). Les robots humanoïdes sont apparus il y a une quarantaine d'années (probablement avec le Wabot-1, en 1973). Depuis, de nombreux projets ont vu le jour. On peut mentionner les plus connus, comme l'Asimo (*Advanced Step in Innovative MObility*) [7] [8] [9] de la société Honda ou encore le Hubo 2/KHR-4 ([11]), des robots capables de courir ; Lola[13], ou encore le robot ICub [14], création d'un consortium européen. Mentionnons également Sarcos [17] ou Petman [4] reposant sur une technologie hydraulique, ou Justin ([26]), des robots contrôlés en force ou, enfin, l'androïde HRP-4C [6] [12], dernier-né de la série produite par la plateforme de recherche japonaise HRP (*Humanoid Robotics Project*) conçue par l'Institut public Japonais des technologies industrielles avancées (AIST).

Les robots humanoïdes s'inscrivent tout naturellement dans la perspective de la robotique personnelle :

- leurs possibilités d'action très diverses ajoutées à la locomotion permettent d'envisager la réalisation d'un grand nombre de tâches assumées par la même plateforme, tout comme le ferait l'homme. Ce caractère multitâches est d'autant plus à souligner qu'il implique un rapport plus favorable entre le coût et le service rendu ;

- leur morphologie les rend *a priori* plus adaptés aux infrastructures conçues pour l'homme et, par conséquent, leur déploiement ne nécessite aucune adaptation de l'environnement ;
- enfin, avec eux, l'interaction entre l'homme et le robot est plus naturelle.

Bien qu'une des caractéristiques attendues d'un robot humanoïde soit un déplacement bipède, la notion de robot humanoïde doit être comprise de manière plus générale : par exemple, l'usage d'un bras robotique anthropomorphe, ou encore d'une main ressemblant à une main humaine, pour la préhension, relève typiquement de la robotique humanoïde (voir, par exemple, le robot Justin [26]).

Dans un autre domaine, la robotique humanoïde révolutionne le principe de la prothèse, avec le concept de l'exosquelette, qui permet d'étendre les capacités motrices de l'homme tant à des fins médicales que professionnelles (voir, par exemple, le bras robotisé Jaco, de la société Kinova). Ce domaine repose sur deux défis technologiques. Le premier est l'intégration du système robotique au corps humain. Différents modes sont envisagés, qui vont de la combinaison, dans laquelle l'utilisateur se glisse (voir, par exemple, [31]), jusqu'au bras robotisé qui permet à l'utilisateur d'étendre son champ d'action. Le second défi est la mise au point d'interfaces homme/machine

qui doivent être les plus directes et les plus naturelles possible. Le robot doit comprendre les mouvements de l'utilisateur pour les accompagner et les compléter. On imagine souvent cette interaction sur un mode physique où le robot capture directement les tensions des muscles de l'utilisateur *via* des capteurs cutanés, voire *via* des prothèses connectées aux terminaisons nerveuses (on parle alors de neuroprothèses).

Enfin, un certain nombre de recherches s'orientent vers l'utilisation de robots humanoïdes dans le champ des relations publiques, pour des applications d'accueil ou de divertissement (en anglais, *entertainment*). Ces robots, des *androïdes*, dont non seulement la morphologie, mais également l'apparence, sont extrêmement proches de celles de l'humain, incarnent, avant même d'être utiles, toute une mythologie issue de la science-fiction et ils exercent de fait une très forte fascination, positive comme négative. Le robot HRP-4C [6] [12] en est une belle illustration. Le projet Amio [3] pousse plus avant encore ces idées en recherchant la mise au point d'algorithmes décryptant les émotions humaines en vue de permettre au robot d'accéder à une communication non verbale avec son utilisateur. Mentionnons également les Geminoids, d'Hiroshi Ishiguro, dont le plus célèbre est une réplique exacte de lui-même (voir, par exemple, le Geminoid F [27]).



© Hitoshi Yamada/ANDIA

« Dans un autre domaine, la robotique humanoïde révolutionne le principe de la prothèse, avec le concept de l'exosquelette, qui permet d'étendre les capacités motrices de l'homme tant à des fins médicales que professionnelles. » *Home Care and Rehabilitation Exhibition (HCR), Tokyo (Japon), septembre 2010.*

LES DÉFIS À RELEVER

Un robot est un système *réactif*. Il reçoit de l'information de son environnement *via* ses capteurs (accéléromètre, gyroscope, vision, etc.), et adapte - en temps réel - son comportement en fonction de cet environnement. Les actions d'un robot peuvent se stratifier selon deux niveaux : d'abord, au niveau moteur, le robot adapte continuellement et continument ses *primitives motrices* (c'est-à-dire ses mouvements) à l'environnement tel qu'il le perçoit : c'est la boucle de rétroaction sensorimotrice. Ensuite, au niveau (plus abstrait) de la prise de décision symbolique, il doit adapter l'enchaînement de ses actions (ses stratégies) à la configuration de l'environnement. L'analyse symbolique permet à une machine de savoir communiquer et appréhender son environnement, et ses facultés motrices lui permettent d'agir (locomotion, préhension).

Une connaissance partielle de l'environnement

La perception qu'a le robot de son environnement est en général *partielle* et *incomplète*. Typiquement, le calcul d'une position absolue, à partir d'un gyroscope électronique qui fournit la vitesse de rotation instantanée, est incertain : en s'accumulant, le bruit du capteur produit une dérive qui entraîne une erreur non négligeable sur le résultat.

De même, la vision met en œuvre des processus de segmentation de l'image dont l'efficacité et la pertinence peuvent être détériorées dans des conditions exceptionnelles ou en présence d'éléments visuels inattendus. A cela s'ajoutent les délais de traitement, qui peuvent être importants (en particulier, pour l'analyse des images).

Un robot s'appuie habituellement sur une connaissance *a priori* de l'environnement, ainsi que sur celle de lui-même, un *modèle* dont il se sert et qu'il adapte à la réalité de ses observations. Ce modèle peut lui-même être partiel, mais il peut néanmoins permettre au robot de s'appuyer sur un certain nombre d'hypothèses. Par exemple, savoir que le sol est plat ou non est une information primordiale pour sa locomotion. En général, un robot opérant sur une chaîne de production dispose d'un modèle précis de son environnement. Il connaît la géométrie, les événements probables pouvant survenir, la géométrie exacte des objets à manipuler, etc. Ainsi, sa conception peut se concentrer sur la précision, l'efficacité énergétique ou la rapidité d'exécution.

A cet égard, le cadre de la robotique personnelle comporte des difficultés d'un type nouveau :

- *L'environnement n'est pas, a priori, adapté au robot.* Cela contraste avec le cadre d'un processus de production dans lequel le concepteur a, dans une certai-

ne mesure, la latitude d'adapter l'environnement (la chaîne de montage, typiquement) à l'usage du robot.

- *L'environnement est a priori inconnu.*

En effet, le déploiement de robots dans les maisons individuelles, sur des chantiers ou sur d'autres sites d'opération où la présence des robots n'était pas prévue implique une connaissance *a priori* de l'environnement qui est encore extrêmement parcellaire au moment de la conception du robot. Le caractère multitâches d'un robot humanoïde accroît d'autant plus la complexité de ce problème.

Il en résulte que la compréhension du monde dans lequel le robot évolue est difficile pour lui. Pourtant, appréhender une tâche pour la mener à bien est une action qui repose en général pour beaucoup sur cette compréhension. Par exemple, la capacité à reconnaître et à distinguer les objets qui composent l'environnement est souvent nécessaire. On peut imaginer aisément la difficulté de cette opération si l'on songe à la variabilité des objets du quotidien. Les formes que peuvent prendre une chaise ou un fauteuil, par exemple, sont nombreuses et variées. Le concept même d'objet est difficile à définir ; il nécessite d'inclure des éléments abstraits, comme, par exemple, le fait pour un fauteuil d'« être susceptible de soutenir un homme assis ». Ainsi, reconnaître et classifier les différents objets de son environnement sont d'ores et déjà des problèmes difficiles pour le robot.

Cependant, les stratégies de compréhension de l'environnement se sont considérablement développées au cours de la dernière décennie. En particulier, des progrès importants ont été réalisés en matière de segmentation d'images. On voit ainsi, par exemple, des appareils photo capables de distinguer les visages, lors de la mise au point automatique, en s'appuyant sur un système embarqué à ressources limitées. Par ailleurs, très récemment, les technologies de vision en trois dimensions (3D) ont enregistré des avancées très significatives, et elles se sont, dans le même temps, démocratisées (la Kinect, par exemple, est aujourd'hui disponible pour une centaine d'euros). Ces technologies très récentes simplifient considérablement le problème. Et l'on peut espérer de nombreuses avancées dans l'analyse de ces images 3D dans un futur très proche [28], avancées qui se traduiront directement par des performances accrues des robots personnels.

La robotique personnelle doit faire preuve d'une robustesse plus importante au regard des incertitudes et de la variabilité de l'environnement. Ainsi, un robot personnel doit être doué d'une faculté d'adaptation très développée. Celle-ci se décline aux deux niveaux précédemment décrits : moteur et symbolique.

L'apprentissage

Les animaux, de manière générale, et en particulier les êtres humains, possèdent une capacité remarquable à

apprendre et à adapter rapidement leurs facultés, notamment motrices, à de nouvelles conditions. La locomotion en est un exemple saisissant : son apprentissage rapide eu égard à la difficulté du problème posé, l'adaptation à toutes natures de sols, le réapprentissage, en cas de problème physique (comme, par exemple, après une entorse). Cette faculté d'apprendre est une source naturelle d'inspiration pour la robotique en ceci qu'elle constitue l'un des atouts essentiels des êtres vivants.

Si les règles et conditions des prises de décisions symboliques (comme celle de choisir une tâche à effectuer en fonction d'un objectif donné) peuvent être typiquement spécifiées de manière exhaustive par les concepteurs d'un robot, la mise en œuvre de ces décisions ne peut être que grossièrement esquissée *a priori*, car il existe tout un *continuum* de conditions environnementales dans lesquelles le robot devra réaliser avec efficacité des actions.

Les concepteurs d'un robot humanoïde peuvent être tentés d'analyser eux-mêmes, *ex-ante*, ce *continuum* de conditions pour fixer de manière définitive les modes opératoires du robot. Mais dans le cadre de la robotique personnelle, cette démarche se heurte rapidement à la variabilité très importante de l'environnement. Au niveau moteur, comme on peut facilement l'imaginer, cette barrière est encore plus importante.

Cette analyse doit donc être complétée par des mécanismes d'adaptation mis en œuvre tout au long du cycle de vie du robot (en particulier après son déploiement). Notons que ces mécanismes doivent par conséquent être autonomes ou, en tout cas, qu'ils ne peuvent s'appuyer que sur des utilisateurs finaux n'ayant *a priori* aucune connaissance technique.

Dans les cas les plus favorables, l'optimisation des comportements (moteurs ou décisionnels) du robot sera suffisante : il effectuera ses tâches de mieux en mieux, mais il sera opérationnel dès sa mise en service, comme l'est aujourd'hui un aspirateur automatique. Mais dès lors que des tâches plus complexes sont envisagées, la variabilité de l'environnement est telle que des processus d'apprentissage plus complexes peuvent s'avérer nécessaires. Un robot de service opérant dans une maison individuelle (par exemple, pour y effectuer du rangement) devra apprendre avant toute chose la configuration des lieux : il pourra le faire avec l'aide de l'utilisateur ou bien seul, mais il ne pourra en aucun cas s'appuyer sur ses concepteurs. Il devra donc mettre en œuvre un processus d'apprentissage s'appuyant, la plupart du temps, sur des méthodes nécessitant un processus d'essais et d'erreurs.

Un robot autonome peut également être guidé par son utilisateur. Dans ce cadre, le développement d'une interface homme/robot qui soit à la portée de tous est l'une des clés de la démocratisation des robots humanoïdes et de leur insertion dans le quotidien.

L'interaction homme/machine nécessite des capacités d'analyse symbolique, un aspect crucial dans le cadre de la robotique personnelle (et en particulier humanoïde) où le mode de communication canonique est la communication orale et visuelle.

Alors que la reconnaissance des gestes et son utilisation dans les interfaces hommes/machines sont des technologies émergentes (Wii, Kinect, domotique) mais déjà opérationnelles, la communication orale est un des vieux démons de l'informatique (voir le test de Turing et le Prix Loebner). Des méthodes statistiques (voir, par exemple, [29]) ont mis à la portée des machines des tâches linguistiques avancées (telles que la traduction automatique), et elles représentent un premier pas vers une communication orale fluide entre un robot et un être humain.

Par ailleurs, pour les apprentissages moteurs, l'interaction physique entre le robot et l'utilisateur est très prometteuse (l'interface la plus naturelle pour l'apprentissage de mouvements est d'ailleurs la manipulation directe du robot par son utilisateur).

La locomotion

La locomotion est un point essentiel de la robotique, et plus encore dans le cadre de la robotique personnelle où elle est un pré-requis à la réalisation de nombreuses tâches.

Les roues ou les chenilles offrent des solutions éprouvées dans le cas d'un terrain plat (dans un appartement, par exemple) ou peu accidenté. Elles rendent possible la conception de plateformes d'ores et déjà opérationnelles dans le quotidien (par exemple, pour les tâches d'entretien).

Ces solutions deviennent cependant moins adaptées en présence d'obstacles, que ce soit sur un site accidenté après une catastrophe, ou simplement dans un cadre domestique (marches d'escalier, présence de petit mobilier). Des robots munis de jambes (ou de pattes), bipèdes, quadrupèdes ou hexapodes... peuvent alors être envisagés, cela d'autant plus que ce type de morphologie est davantage adapté aux infrastructures conçues par les humains. Cela soulève néanmoins des problèmes fondamentaux, de robustesse et d'équilibre. D'importants progrès ont été accomplis durant les trois dernières décennies (voire, par exemple, [16] [9] [8] [15] [19]). Cependant, le problème de la bipédie n'a pas encore été complètement résolu : *aucun robot bipède n'a jusqu'à présent atteint la robustesse, l'agilité et la fluidité de l'être humain.*

L'étude de ce problème fascinant est très active aujourd'hui et suscite l'exploration de nombreuses pistes nouvelles, que ce soit dans le contrôle et la planification, les techniques basées sur le « *Zero Moment Point* » [9] [15] ou sur le « *virtual leg* » [3] [4], ou encore, dans la mécatronique, avec le contrôle en



© Jastrow/LOOK AT SCIENCES

« Des robots munis de jambes (ou de pattes), bipèdes, quadrupèdes ou hexapodes... peuvent alors être envisagés, cela d'autant plus que ce type de morphologie est davantage adapté aux infrastructures conçues par les humains ». *Maquette du véhicule lunaire de l'Agence Spatiale Européenne, un véhicule inspiré de la marche à huit pattes d'une araignée, Salon international du Bourget, 2007.*

force [17] [25], mais aussi dans le domaine de l'apprentissage, ou encore dans celui de la morphologie. L'explication de ces différentes méthodes excède le cadre de cet article ; remarquons néanmoins que l'exploration de nouvelles structures basées sur des *matériaux souples et/ou flexibles* est elle aussi très prometteuse. Un exemple intéressant en est le robot RHEX [21]. Ce robot n'emploie pas de roue ni de pattes. Son déplacement repose sur des membres flexibles accumulant et restituant l'énergie, tout en absorbant les perturbations. Une idée importante de ce type de conception est de laisser une partie du contrôle à la structure mécanique elle-même, laquelle, de par sa flexibilité et sa souplesse, s'adapte directement à l'environnement. L'inspiration est toujours biologique, mais, cette fois-ci, elle provient des insectes. Il en résulte un robot extrêmement robuste dans ses déplacements. Mais, dans le même temps, cela complexifie les algorithmes de contrôle, qui doivent prendre en compte la déformation de la structure, une déformation qui n'est contrôlée qu'indirectement. Cette idée de déformation non contrôlée est poussée encore plus avant par le concept des *robots passifs*. Il s'agit en fait de mécanismes sans motorisation dont les mouvements sont engendrés uniquement par la force de gravité. Malgré leur apparente simplicité, leur conception produit des démarches saisissantes de réalisme [18].

La préhension

On attend d'un robot de service qu'il se charge de la réalisation de tâches quotidiennes. A la maison, il pourrait se charger de l'entretien, du rangement, voire de certaines réparations ; sur un chantier, il peut s'occuper de la manipulation de matériaux lourds ou de tâches répétitives ou pénibles. Ces tâches reposent sur la *préhension*, la faculté de saisir et manipuler des objets (qui est également une question centrale pour la robotique), qui se décline en deux problèmes : la conception mécanique de stratégies de préhension et leur mise au point.

Planifier une stratégie de préhension d'un objet donné est un problème difficile, notamment à cause de la variabilité des objets à manipuler, et donc de la difficulté à les représenter (voir, par exemple, [19]). D'autre part, la conception d'une main ou d'une pince efficace est un problème mécanique difficile eu égard à la complexité mécatronique intrinsèque et à des dimensions souvent réduites (degrés de liberté nombreux, nécessité d'une force importante, mais aussi d'une dextérité et d'une finesse tactile très développées). Les progrès sont également importants dans ce domaine. On peut mentionner, entre autres, de nouveaux procédés de conception basés sur des matériaux nouveaux, comme le plastique modelable (voir

le robot ECCE [20]). Enfin, l'analyse et la compréhension de l'environnement sont des points cruciaux de la préhension, et les avancées récentes en matière d'imagerie 3D laissent augurer des progrès très significatifs, dans un futur proche.

Les aspects industriel et commercial

La robotique au quotidien est également *un grand défi industriel*. La maîtrise des coûts de production d'un robot est un obstacle important au développement massif de la robotique personnelle, qui implique des coûts abordables à l'échelle de l'individu.

Ces dernières années, le développement extraordinaire du marché de la téléphonie mobile a permis une baisse très significative des coûts de matériels autrefois inaccessibles (capteurs, systèmes embarqués, etc.), ainsi que les progrès accomplis dans le domaine de l'énergie (en particulier dans celui des batteries), de la miniaturisation des systèmes embarqués et de leur puissance de calcul, en perpétuelle augmentation.

Mais la robotique repose également sur la motorisation et la mécatronique, ainsi que sur une mécanique de précision. Ces éléments sont encore très onéreux, et ils le sont d'autant plus pour la robotique humanoïde, du fait du haut niveau de complexité mécanique requis.

Cependant, il devient possible d'abaisser le niveau de précision et de puissance ; ainsi, depuis peu, apparaissent des robots extrêmement sophistiqués pour des coûts de moins en moins importants (comme les robots Nao [23], Darwin OP [22] ou encore Acroban [24]). Sans pour autant s'être démocratisés, ils ouvrent actuellement deux segments de marchés intéressants qui touchent au grand public : le marché de l'éducation et celui de la robotique de loisirs. La robotique, en général, et les robots humanoïdes, en particulier, couvrent un très large spectre de connaissances et de savoir-faire allant d'une ingénierie mécanique très concrète à l'intelligence artificielle la plus abstraite. Les robots précédemment cités sont aujourd'hui de par leur prix accessibles aux établissements éducatifs non nécessairement spécialisés en robotique. Le second marché actif aujourd'hui est celui des passionnés : comparable à celui du modélisme, il se développe de façon très significative, comme en atteste le succès de compétitions, telle Robo-One, en Asie [25].

Au niveau du grand public, il faut mentionner le succès très important des aspirateurs et des tondeuses autonomes, comme par exemple le robot Roomba. On peut également observer, dans le domaine du jouet, l'apparition (à des prix extrêmement bas) de produits disposant de l'infrastructure propre aux robots (mécatronique, capteurs, unité de calcul).

L'exemple des jouets robotisés est important ; il démontre, en effet, la faisabilité industrielle du déploiement à l'échelle du « grand public » de véritables robots autonomes.

Le second obstacle au déploiement « grand public » de robots personnels est la *sûreté de leur fonctionnement*. Comme nous l'avons vu précédemment, le robot personnel opère sur la base d'une information partielle sur son environnement. La sûreté de son fonctionnement en est d'autant plus difficile à assurer. Il y a aussi probablement un facteur psychologique qui fait qu'en information partielle, la décision humaine est bien mieux admise qu'un processus automatisé, sur la base notamment du concept commun « d'intuition ». Pourtant, des technologies basées sur l'adaptation et l'apprentissage impliquent souvent l'occurrence d'erreurs qui ne sont pas des défaillances, mais plutôt des étapes dans l'optimisation d'une tâche. Cette variabilité de la sûreté de fonctionnement est un frein important au développement de la robotique « grand public » (par exemple, dans le domaine des transports).

Cependant, certains domaines d'application peuvent accepter cette variabilité. C'est notamment le cas du domaine agricole, par exemple, ou le coût d'erreurs de fonctionnement lors des phases d'apprentissage est acceptable, car la mesure d'efficacité est plutôt d'ordre quantitatif et s'évalue sur le long terme. C'est également le cas du marché de l'*Entertainment*, dont l'essor est très important ces dernières années.

Notons également que les robots humanoïdes (mais également le concept d'apprentissage, lorsqu'il est appliqué aux machines) suscitent en général une certaine fascination, qui peut être soit positive soit négative ; une fascination portée par toute une culture, notamment à travers la science-fiction. Pour le marché ludique, il est évident que cela favorise le développement commercial. Mais dans le domaine du service, l'impact de cet état de fait est plus difficile à évaluer.

CONCLUSION

La robotique a toujours suscité une fascination importante auprès du grand public. Le cinéma, depuis les années 1960, confirme très régulièrement cet intérêt intrinsèque. Mais il aura fallu des dizaines d'années pour mettre de véritables robots à la portée du grand public. C'est, depuis peu, le cas, et l'on observe aujourd'hui une certaine effervescence autour de la robotique personnelle, et de la robotique humanoïde, également, même si les robots réellement accessibles au public restent aujourd'hui extrêmement simples.

Sur le plan technologique, il subsiste encore des obstacles réels, et la robotique pose de nombreux défis scientifiques et techniques. Par conséquent, les capa-

cités des robots « grand public » resteront dans l'imédiat limitées et l'équation qui mettra en relation de véritables robots et des attentes (parfois fantasmagiques) des consommateurs est une des inconnues de ce marché naissant. Cependant, de récentes avancées permettent d'être optimistes, car elles laissent augurer de l'apparition prochaine de robots de service multitâches réellement utiles, et déployés à grande échelle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jacques de Vaucanson, *Le Mécanisme du flûteur automate, présenté à Messieurs de l'Académie royale des sciences*, 1738.
- [2] Jean-Claude Heudin, *Les Créatures artificielles : Des automates aux mondes virtuels*, 2008.
- [3] M. Raibert, K. Blankespoor, G. Nelson, R. Playter & the Big-Dog Team, "Bigdog, the rough-terrain quadruped robot," Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control, 2008.
- [4] The Petman Humanoid Robot. Boston Dynamics. <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/stunning-video-of-boston-dynamics-petman-humanoid>
- [5] Hyun Seung Yang, Il Woong Jeong, Yeong Nam Chae, Gi Il Kwon & Yong-Ho Seo, *Developing New Abilities for Humanoid Robots with a Wearable Interface*, Humanoid Robots, Ben Choi Editor, InTech, 2009.
- [6] Kenji Kaneko, Fumio Kanehiro, Mitsuharu Morisawa, Tokuo Tsuji, Kanako Miura, Shinichiro Nakaoka, Shuuji Kajita & Kazuhito Yokoi, Hardware Improvement of Cybernetic Human HRP-4C for Entertainment Use, in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, 2011.
- [7] K. Hirai, "Current and Future Perspective of Honda Humanoid Robot," Proc. of IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 500-508, 1997.
- [8] K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa & T. Takanaka, "The development of Honda humanoid robot", in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, 1998.
- [9] K. Nishiwaki and S. Kagami, "High frequency walking pattern generation based on preview control of zmp", in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2006.
- [10] M. Hirose, Y. Haikawa, T. Takenaka & K. Hirai, "Development of Humanoid Robot ASIMO", Proc. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop2, 29 octobre 2001.
- [11] B. K. Cho, S. S. Park and J. H. Oh, "Controllers for Running in the Humanoid Robot, HUBO", Proc. IEEE-RAS Int. Conference on Humanoid Robots, pp. 385-390, 2009.
- [12] K. Kaneko, F. Kanehiro, M. Morisawa, K. Miura, S. Nakaoka & S. Kajita, "Cybernetic Human HRP-4C", Proc. IEEE-RAS Int. Conference on Humanoid Robots, pp. 7-14, 2009.
- [13] S. Lohmeier, T. Buschmann & H. Ulbrich, "Humanoid Robot LOLA", Proc. IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 775-780, 2009.
- [14] Giorgio Metta, Giulio Sandini, David Vernon, Lorenzo Natale & Francesco Nori, The iCub humanoid robot: an open platform for research in embodied cognition, Proc. of 8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS'08), New York, 2008.
- [15] S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K. Yokoi & H. Hirukawa, "Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point", In Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, 2003.
- [16] P.-B. Wieber, "Trajectory Free Linear Model Predictive Control for Stable Walking in the Presence of Strong Perturbations", in Proc. of the IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, vol. 25:4, 2006, pp. 137-142.
- [17] B. J. Stephens and C. G. Atkeson, "Dynamic Balance Force Control for Compliant Humanoid Robots", in Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2010.
- [18] Collins S. H., Ruina A. L., Tedrake R. & Wisse M. (2005), "Efficient bipedal robots based on passive-dynamic walkers", Science, 307, pp. 1082-1085.
- [19] Sébastien Dalibard, Alireza Nakhaei, Florent Lamiroux & Jean-Paul Laumond, "Manipulation of Documented Objects by a Walking Humanoid Robot", in Proc. of 10th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Nashville, 2010.
- [20] HG. Marques, M. Jäntschi, S. Wittmeier, C. Alessandro, O. Holland, C. Alessandro, A. Diamond, M. Lungarella & R. Knight (2010), "ECCE1: the first of a series of anthropomorphic musculoskeletal upper torsos", in Proceedings of Humanoids'2010, Paris.
- [21] U. Saranlı, M. Buehler & D. E. Koditschek, "RHEx: A simple and highly mobile robot", *International Journal of Robotics Research*, 20(7): pp. 616-631, July 2001.
- [22] Muecke K. & Hong D., "DARwIn's Evolution: Development of a Humanoid Robot", IEEE International Conference on Intelligent Robotics and Systems, San Diego, CA, 29 octobre – 2 novembre 2007.
- [23] *The NAO Humanoid Robot*, Aldebaran robotics. www.aldebaran-robotics.com
- [24] O. Ly, M. Lapeyre & P.-Y. Oudeyer, "Bio-Inspired Vertebral Column, Compliance and Semi-Passive Dynamics in a Lightweight Humanoid Robot", in proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on

Intelligent Robots and Systems (IROS'2011), San Francisco, 2011.

[25] The ROBO-ONE biped robot entertainment competition. www.robo-one.com

[26] C. Borst, T. Wimböck, F. Schmidt, M. Fuchs, B. Brunner, F. Zacharias, P. Robuffo Giordano, R. Konietschke, W. Sepp, S. Fuchs, C. Rink, A. Albu-Schäffer & G. Hirzinger, "Rollin' Justin - Mobile Platform with Variable Base", in Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation, 2009, ICRA'09.

[27] Hiroshi Ishiguro: Studies on Humanlike Robots - Humanoid, Android and Geminoid, SIMPAR 2008:2.

[28] The Point Cloud Library. <http://pointclouds.org>

[29] F. J. Och & H. Ney, "The Alignment Template Approach to Statistical Machine Translation", Computational Linguistics, 30(4), pp. 417-449.

[30] « La Google Car, le rêve d'une voiture sans conducteur », Journal *Le Monde*, 10 octobre 2010.

[31] Top 5 DARPA Technology Projects of 2010. www.networkworld.com/community/node/57992