

Tous les obstacles sont-ils surmontables ?

A quelles applications les progrès des sciences conduisent-ils ? Ceux qui se sont frottés à cet exercice de divination ont souvent échoué, car ils ne pouvaient pas savoir à l'avance quelles idées novatrices germeraient dans le cerveau d'une poignée de personnes inventives ? Néanmoins, dans certains domaines, comme la robotique, l'histoire de la recherche et l'examen des projets en cours permettent de discerner les tendances futures les plus vraisemblables. Les prévisions sont d'autant plus fiables que les idées à la base des applications à venir existent déjà et que le délai d'apparition et de diffusion de ces applications est faible.

Les grandes lignes des progrès de la robotique décrites par Hans Moravec semblent tout à fait plausibles. Il envisage plusieurs générations successives de robots, qui correspondent aux efforts de recherche actuels. Néanmoins, plusieurs obstacles importants subsistent.

La puissance et la miniaturisation des ordinateurs continueront-elles à croître ? L'épaisseur des traits sur le silicium des microprocesseurs limite leur puissance. Aujourd'hui, on ne sait pas faire de traits de moins de 0,1 micromètre d'épaisseur. De plus, on ne voit pas par quelles méthodes on atteindrait 100 millions de MIPS (ou millions d'instructions par seconde). Les techniques actuelles n'offrent aucun début de solution.

H. Moravec envisage des robots dont l'intelligence serait proche de celle du singe, puis de l'homme. Le singe ressent des émotions, a une personnalité et une vie sociale que les robots n'auront pas. Créer des robots qui auraient à la fois les capacités de raisonnement et de déduction du singe, et une certaine perception de leur environnement serait une grande réussite. Aucune théorie ne laisse espérer qu'on ira plus loin.

A quel rythme les générations de robots se succéderont-elles ? La mise au point de chaque génération prendra sans doute plus d'une dizaine d'années, vu la lenteur des progrès scientifiques et techniques déjà obtenus,

et les coopérations interdisciplinaires nécessaires.

Les ordinateurs personnels ont envahi nos vies, à partir des années 1980. De même, les robots personnels s'imposeront sûrement dans quelques décennies, notamment dans les foyers, mais je m'interroge sur leurs performances. Ils seront probablement spécialisés : ceux qui feront la mayonnaise ne pourront pas promener le chien. Un robot ne serait généraliste que s'il comprenait son environnement, or, on ne sait pas comment programmer cette compréhension. Quand il voit un arbre, un robot ne le reconnaît pas en tant que tel, car il ne sait pas généraliser. Il passe en revue tous les objets qu'il a en mémoire et ne reconnaît l'arbre que si l'un des arbres mémorisé lui ressemble. Comme il existe toutes sortes d'arbres, il ne le reconnaîtra pas à coup sûr. Ainsi, ce qu'on sait faire théoriquement (un robot qui sait reconnaître un arbre), c'est-à-dire dans un environnement et avec des objets connus à l'avance, n'est pas toujours réalisable en pratique. Aujourd'hui, un robot peut faire une action donnée, mais il ne sait pas trouver seul l'enchaînement des actions nécessaires à l'exécution d'une tâche un peu complexe : si on demandait à un robot de passer un pot de fleur à quelqu'un, il devrait savoir qu'il faut d'abord marcher en direction du pot, le reconnaître, s'en saisir, identifier la personne à laquelle il doit le donner, l'apporter vers elle, puis lui donner.

Au siècle prochain, l'intelligence des robots augmentera, mais je ne crois pas qu'ils comprendront correctement tout le langage naturel ni qu'ils comprendront parfaitement leur environnement. Leurs capacités à généraliser seront probablement limitées.

On combinera peut-être des tissus biologiques, par exemple des rétines animales, à des microprocesseurs, dans des biorobots. On pourrait ainsi doter le robot de capacités qu'on ne sait pas programmer.

Philippe COIFFET,
Laboratoire de Robotique de Paris

sur les pieds des employés ou tombent dans les escaliers, même après un mois de fonctionnement irréprochable, n'intéressent personne. Après six mois, en revanche, on trouve normal qu'un robot ait besoin d'un jour de «congé maladie».

Certains robots fonctionnent très bien depuis des années. On améliore sans cesse leurs performances, par programme, en remédiant aux défaillances les plus fréquentes : progressivement, ces machines fonctionnent sans fautes. Toutefois, pour l'instant, on n'a obtenu une telle fiabilité que sur des itinéraires fixés à l'avance. Une puissance de 10 MIPS, correspondant aux capacités intellectuelles d'un insecte, suffit tout juste pour que le robot suive quelques points de repère soigneusement choisis, sur chaque portion du trajet. Ces robots sont facilement déroutés : par de minimes changements de l'emplacement des codes-barres ou par l'encombrement d'un couloir. Ils sont comme les fourmis qui perdent leur piste quand celle-ci s'interrompt ou comme les papillons de nuit qui confondent la lueur d'un réverbère avec la Lune.

Où mettre les pieds ?

Des robots qui dressent eux-mêmes leur itinéraire sont apparus au milieu des années 1990, quand la puissance des microprocesseurs a atteint 100 MIPS. Ils réalisent des cartes à deux dimensions de leur environnement, avec un sonar ou un laser, afin de se repérer et de se déplacer. Les plus performants circulent dans des couloirs de bureaux pendant plusieurs jours, sans se perdre. On est encore loin du fonctionnement pendant six mois, car les cartes qu'ils établissent sont trop rudimentaires : ils ne distinguent pas un lieu d'un autre, à coup sûr, ne reconnaissent pas un même lieu quand ils le voient d'une hauteur de 50 centimètres ou de un mètre, si bien que de petits obstacles leur échappent. Néanmoins, les détecteurs et les ordinateurs de leur cerveau font tant de progrès qu'on devrait bientôt résoudre ce problème.

Dans les années 1980, mes collègues et moi-même avons mis au point une méthode de traitement de grandes quantités de signaux bruyants pour en faire des cartes fiables (à deux dimensions) : on accumule des données statistiques pour chaque portion de l'espace, afin de

déterminer si elle est occupée ou vide. Plusieurs robots mentionnés précédemment ont mieux fonctionné grâce à cette méthode.

Les cartes en trois dimensions seraient beaucoup plus efficaces que les cartes en deux dimensions, mais elles étaient jusqu'ici hors de portée de nos ordinateurs. En 1992, nous avons utilisé différentes astuces pour réduire d'un facteur 100 le coût des cartes en trois dimensions. Nous avons réalisé un programme qui accumule des milliers de mesures, effectuées par des caméras stéréoscopiques, et qui dresse ainsi le plan d'une pièce au centimètre près. Exécuté par un processeur qui effectue 1 000 MIPS, le programme analyse un «coup d'œil» par seconde, ce qui est suffisant pour un déplacement lent en intérieur.

Des robots qui retrouvent leur chemin

Pour l'instant, les microprocesseurs de 1 000 MIPS n'équipent que les ordinateurs haut de gamme. Dans quelques années, ils équiperont les portables et les petits ordinateurs bon marché, adaptés aux robots. Pour nous préparer à cette évolution, nous cherchons à mettre au point un prototype de robot commercial qui contiendra ce genre d'ordinateur. Nous voulons automatiser les processus d'apprentissage, afin d'optimiser les centaines de paramètres contenant des données pertinentes pour la vision. Nous avons prévu d'écrire des programmes qui déterminent les itinéraires possibles, la position des objets, des sols, des murs, des portes... à partir des cartes en trois dimensions. Nous testerons aussi des programmes plus performants, qui se chargent des livraisons, du ménage, de la surveillance, par exemple.

Nous commenceront avec un petit robot mobile doté d'une multitude de caméras. Deux ordinateurs le feront fonctionner : un *Apple iBook* embarqué et une machine dérivée d'un *Apple G4*, de 1 000 MIPS environ, qui communiquera sans fil avec le *iBook*. De minuscules caméras numériques, produites en série par les techniques de la micro-électro-

nique, seront certainement le moyen le plus économique pour faire les millions de mesures nécessaires à la réalisation de cartes de haute résolution.

Nous envisageons ensuite d'équiper des véhicules industriels avec notre système de navigation, que nous voulons réduire à la taille d'un ballon. Il comportera plusieurs caméras stéréoscopiques, des logiciels de cartographie, de reconnaissance et de commande, un programme spécifique à l'application visée (par exemple, le nettoyage du sol) et des connexions physiques avec les détecteurs, les commandes et l'alimentation du véhicule. Les véhicules équipés de ce système de navigation apprendront de nouveaux itinéraires très facilement : on devra seulement les accompagner une fois ; pour les robots de nettoyage des sols, on leur montrera les limites de leur zone de travail.

Une fois dans leur lieu de travail, ces robots tiendront compte des éventuelles modifications de l'environnement. Ils travailleront ainsi pendant plusieurs mois sans faire d'erreur grave. Des dizaines de milliers de VGA,

des centaines de milliers de machines de nettoyage et un million de chariots élévateurs pourront être équipés de la sorte. Le marché robotique s'élargira considérablement.

La fin du travail humain

Grâce à la vente de ces robots industriels, les sociétés de robotique pourront investir dans la recherche de nouveaux robots plus intelligents et meilleur marché pour le grand public. Par exemple, des robots aspirateurs trouveront tout seul leur chemin dans la maison, afin de nettoyer les pièces inoccupées et les endroits sales. Ils se faufleront sous les meubles, auront une brosse extensible et rejoindront eux-mêmes leur poste de recharge, où ils pourront, de plus, se débarrasser de la poussière qu'ils auront accumulée. Le marché potentiel de telles machines est considérable.

Après les premiers succès commerciaux, la concurrence industrielle favorisera les progrès ; le rythme des investissements pour la recherche, la

conception et la fabrication de ces robots s'accéléra. Des aspirateurs intelligents, on passera à des robots plus performants, équipés de bras d'époussetage, de récurage et de ramassage, suivis de robots multifonctions dont les capacités seront encore supérieures, avec des bras plus forts, plus adroits, et de meilleurs détecteurs. Ces machines ramasseront les affaires qui traînent, feront du rangement, retrouveront et livreront des objets, feront des inventaires, surveilleront les maisons, ouvriront les portes, tondront la pelouse, joueront avec les enfants... De nouvelles applications entraîneront à leur tour de nouveaux progrès en termes d'acuité, de précision, de force, de portée, de dextérité, d'habileté ou de capacité de traitement des robots. Le volume de production, le nombre de ventes, la qualité de la conception et de la fabrication, la rentabilité se renforceront mutuellement. Dès 2010, on disposera peut-être des premiers robots généralistes, de taille humaine, aussi intelligents que les lézards (5 000 MIPS),



4. LE ROBOT P₃ est l'un des plus performants du monde. Il sait marcher, monter et descendre les escaliers, mais son autonomie n'est que de 25 minutes. Il a été construit par la Société Honda.