GRAND LYON

DPDP

Robolution et Grand Lyon, Structuration du questionnement

Mémoire technique 295 NOV – V3
NOVA 7

septembre 2010

112 Avenue Charles de Gaulle
69160 TASSIN La Demi Lune
☏ 04 37 41 50 30
🖷 04 37 41 50 28
SARL au capital de 20 000 Euros
RCS LYON B 411 246 028
www.quamconseil.com

Sommaire du document

1| Robolution, le livre 3
1.1 Une formidable introduction au sujet 3
1.2 Quelques autres sources d'information en amont 3

2| Les robots déjà parmi nous 5
2.1 Dès les années 60 5
2.2 Les termes « robot » / « robotisé » dans la vie courante 5
2.3 Les premiers robots « autonomes » 6
2.4 Le courant anthropomorphe ou zoomorphe 7
2.5 D'autres évolutions qui peuvent faciliter la robolution 8

3| Qu'est-ce qu'un robot ? 10
3.1 Les questions de fond sur la définition 10
3.2 Une proposition de définition 11
3.3 Outil, machine, robot… 12

4| Des obstacles sur la route des robots ? 14
4.1 Les concurrents 14
4.2 Le coût d'acquisition du robot domestique 16
4.3 Le développement de la capacité d'apprendre 19
4.4 La garantie de sécurité des personnes 20
4.5 La dilution du concept 21
4.6 Une période propice à la levée des obstacles ? 22

5| Robots et collectivité 23
5.1 Utilisation des robots 23
5.2 Régulation de l'équité 24
5.3 Aménagement de la ville 25
5.4 Soutien à la filière 25

6| Avec qui enrichir la vision sur la robolution ? 26
6.1 Les industriels de l'équipement domestique 26
6.2 Les constructeurs de robots industriels 27
6.3 Les porteurs d'expérience sur les robots hospitaliers 27
6.4 Les laboratoires de recherche sur l'auto-apprentissage 28
6.5 Les spécialistes de la prospective 28
6.6 Autres sources 29

7| Quelques mots personnels 30

Annexes
« Où vont les robots ? » - Texte de Pierre-Yves Oudeyer

Ce document a été rédigé par François Mayssal.

1 | Robolution, le livre

1.1 Une formidable introduction au sujet

Le livre de Bruno Bonnell, qui a donné son titre à ce document, introduit dans des termes très clairs la plupart des attributs du sujet « robots ». Il est de plus associé à des aperçus Internet très illustratifs (à lire près d'un écran donc !).

En particulier, le livre pose bien 3 dimensions essentielles :

- Sa dimension « fantasmatique » (l'homme recréant la vie, le robot se retournant contre l'homme….),
- Sa dimension fonctionnelle (quels services rendus ? avec quelle architecture ?....).
- Sa dimension technologique, au carrefour de multiples disciplines (mécanique, matériaux, électronique, cognitique…).

C'est évidemment un livre militant, « business-oriented » dans le sens où sa parution est évidemment en lien avec l'entreprise dirigée par B.Bonnell. Mais il serait dommage de sous-estimer son contenu en lui reprochant partialité ou prosélytisme : le point de vue d'un entrepreneur, qui a développé une entreprise emblématique et novatrice dans le secteur des jeux vidéo, est évidemment précieux.

Bien sûr, on peut discuter/moduler certains des passages du livre, mais un de ses atouts est justement d'ouvrir le débat de façon large, en ne le confinant pas aux aspects techniques comme souvent dans la littérature industrielle, par exemple : quels sont les avantages du robot 5 axes par rapport au robot 4 axes ?

Le concept même de « robolution » fait partie des débats possibles : est-on face à une révolution comme l'avance B.Bonnell, ou simplement en présence d'un point de convergence entre technologies inscrit dans le continuum du progrès technique ? Au fond, ce débat est moins important qu'une des idée-clés du livre : les évolutions technologiques ne sont pas confinées à l'univers de l'information et du soft ; avec les robots, elles peuvent aussi impacter le monde physique et déboucher sur des produits qui interagiront directement avec l'homme.

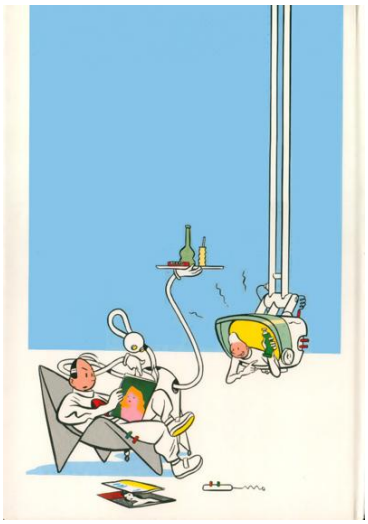
1.2 Quelques autres sources d'information en amont

En termes d'information générale, une autre source facile d'accès est celle fournie par le CNRS (http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosrob/accueil/index.html). On y trouvera une excellente bibliographie et des extraits de vidéos.

Pour se faire une idée de ce que savent faire aujourd'hui les robots industriels, on pourra interroger le site de la revue « Industrie et Technologies ». Une autre source intéressante encore est celle des sites Web des grands constructeurs de robots : Kuka, Adept, Motoman, ABB, Staubli (ce dernier étant français et basé à Faverges, au bord du Lac d'Annecy), et d'autres. Même si elles sont loin des aspects « amicaux » de la robolution (le robot est souvent « encagé », ses pinces sont souvent métalliques et renvoient peu à l'idée de douceur….), les

applications industrielles du robot méritent un regard : elles sont impressionnantes en vitesse et précision, elles ont lieu dans des milieux hostiles, elles associent souvent des systèmes de vision, ou d'autres capteurs complexes, à une programmation évoluée.

Pour accéder à d'autres visuels, signalons le blog « robotblog.fr », très illustré et qui rend bien compte de l'actualité des robots, notamment au Japon.



On peut bien sûr compléter cela par des lectures plus générales, qui ont trait aux robots ou autres créations tendant à reproduire la vie humaine : livres d'Asimov, de science-fiction en général, légende du Golem, Pinocchio, et quelques BD. A ce titre, une mention spéciale pour la BD d'Y.Chaland « Adolphus Claar ».

Enfin, pour se faire une première idée d'un regard plus « institutionnel» sur la robolution (ou du moins sur un des cadres dans lequel elle pourrait s'inscrire), nous recommandons de prendre connaissance du récent rapport de la mission « Vivre chez soi », demandée par la secrétaire d'Etat Nora Berra. Un des 6 axes de travail proposés s'intitule « Technologies et services pour l'autonomie ». On y lit notamment :

« *Les technologies de l'autonomie sont un levier important du vivre chez soi.*
Elles répondent aux besoins et aux attentes des aînés (autonomie, mobilité, accès à l'information et aux services, sécurité, prévention santé, liens familiaux…). Elles soulagent les aidants familiaux et professionnels de certaines contraintes et tâches matérielles, et favorisent une plus grande coordination. Miser sur ces technologies, c'est aussi miser sur des gains de croissance économique, des créations d'emplois qualifiés et une compétitivité internationale. Un secteur en émergence, des offres de produits et services foisonnants, mais le marché domestique n'est pas mature faute d'un environnement institutionnel, social et d'un modèle économique.
L'enjeu est de lever ces freins et de promouvoir le développement de ce secteur en France.
….
Les technologies et services pour l'autonomie constituent un secteur économique porteur, dont l'innovation est fortement encouragée dans certains pays (Etats-Unis notamment) par la recherche académique, donnant naissance à un tissu industriel de PME très dynamiques qui réinvestissent une part importante de leur chiffre d'affaires en R&D. Si certains se spécialisent sur des niches technologiques (les robots thérapeutiques pour les Pays-Bas, les technologies de la motricité et de l'hygiène pour le Danemark, etc.), d'autres comme le Japon ou la Corée du Sud ont intégré plus largement les problématiques d'autonomie dans une approche de « conception universelle » (design for all). En France, des initiatives telles que la création du Centre National de Référence Santé à Domicile et Autonomie ou l'action de certains pôles de compétitivité permettent le développement du secteur, dans une recherche constante d'innovation par les usages ».

Une annexe à lire !

Le choix qui a été fait ici est de ne pas multiplier les annexes documentaires : elles seraient très vite dépassées. Nous avons préféré indiquer ici quelques sources, et proposer au chapitre 6 des prises de contact avec des personnes ou des entreprises dont le point de vue sera enrichissant.

Une exception a été faite pour un texte de P.Y Oudeyer qui est un scientifique, spécialiste du sujet, et qui donne en 4 pages la perspective et les points-clés du sujet, dans une tonalité qui complète très bien le libre de B.Bonnell.

2 | Les robots déjà parmi nous

Pour aborder la robolution, il a paru intéressant d'examiner quels étaient les signes avant-coureurs de cette révolution, ou comment l'idée de robot dans le foyer s'était déjà implantée par les mots ou par quelques objets.

2.1 Dès les années 60

Dès les années 60, le terme « robot » a été employé à titre commercial pour l'électroménager : les plus de 40 ans se souviendront peut-être avoir vu dans la cuisine familiale le « robot-charlotte » de Moulinex (coffret rouge), ou le « robot-marie » (coffret bleu). Ils sont d'ailleurs toujours commercialisés.

Ces deux appareils, qui ne présentent en fait aucun automatisme, contiennent cependant en germe deux idées importantes en lien avec la robotique domestique :

- ✓ La polyvalence de tâches : par un jeu d'accessoires, un des atouts de ces « robots » était de se prêter à de multiples tâches (mélange, découpe, hachage….).
- ✓ La participation à la « réduction du temps passé aux corvées ménagères ». Axe directeur des équipes de développement dans l'électroménager, cette course à la réduction de la « corvée » était par exemple poussée par Paul Rivier, emblématique directeur technique de Seb-Calor-Tefal.

2.2 Les termes « robot » / « robotisé » dans la vie courante

En bas de mails adressés par des serveurs d'information, on voit souvent des mentions telles que celle-ci, adressée par le service des marchés publics de Nantes Métropole : « *Ce message est transmis automatiquement par un robot. Vous ne pouvez pas utiliser cette adresse pour communiquer* ». L'emploi du terme « robot » est sans doute ici moins abusif qu'il n'y paraît :

- ✓ Il y a en effet production d'un travail, même si il est essentiellement dématérialisé, et consistant dans le cas présent à vous signaler les AO correspondant à des mots-clés que vous avez préalablement renseignés.
- ✓ Il y a une forme d'interaction entre l'humain et le robot, par le choix d'un certain nombre de critères modulables : choix des mots-clés ; option pour recevoir ou non les appels à candidature.

Dans la même ligne, IBM dans ses présentations des années 90, appelait « robot » des ensembles de macro-commandes réalisées sur des tableurs et permettant, par exemple, de récupérer les données de production de différentes usines, de les consolider, puis d'en extraire les indicateurs-clés pour les comparer à ceux des mois précédents en déclenchant si besoin certaines alertes. Deux questions intéressantes se posent ici :

- ✓ Le champ de travail d'un robot peut-il porter sur le traitement de l'information ? Dans un monde où beaucoup de salariés exercent une fonction tertiaire, sans action directe sur le monde physique, le « oui » n'est pas illogique. Mais cela vient en contradiction avec une caractéristique souvent admise du robot, à savoir sa capacité à produire une action physique.

- ✓ Posséder un robot suppose-t-il la maîtrise de compétences de programmation ? On peut voir les choses positivement ou négativement :
  - Positivement : programmer, piloter un robot est une connaissance déjà répandue. Comme M.Jourdain faisait de la prose sans le savoir, les personnes qui ont écrit une « macro-commande » Excel ont déjà conçu un robot !
  - Négativement : au travers de cet exemple, est-ce qu'on ne discerne pas un risque d'inégalité devant le robot. En effet, quelle est la proportion d'utilisateurs de micro-informatique en mesure de programmer une « macro » ? Est-ce qu'un savoir minimum est un pré-requis pour tirer parti d'un robot ? Ne va-t-on pas au devant d'une ségrégation par la technique.

Pour finir, on parle souvent maintenant de boîte de vitesse « robotisée » pour les voitures. De quoi s'agit-il ? Ce n'est pas une boîte de vitesses dite automatique dans laquelle un système hydraulique va assurer automatiquement la cohérence couple/vitesse ; c'est fondamentalement une boîte de vitesse classique dans laquelle les fonctions de passage des vitesses et de débrayage sont confiées à des actionneurs. Le conducteur a alors le choix soit de déléguer toutes les décisions au « robot » en fonction de la vitesse à laquelle il souhaite rouler, soit de choisir son rapport de boîte en déléguant seulement la fonction de débrayage.

L'emploi du terme « robot » renvoie bien ici à quelques caractéristiques qui définissent un robot : l'aptitude à la décision, l'action sur le monde physique en se substituant à une action humaine.

2.3 Les premiers robots « autonomes »

A ce stade, il faut mentionner les robots domestiques récents, comme l'aspirateur Roomba ou les robots de piscine qui opèrent dans le monde physique, mais avec des comportements beaucoup plus riches que ceux des robots culinaires, soit par l'intermédiaire de capteurs, soit par apprentissage, soit parce que leurs déplacements sont régis par des algorithmes sophistiqués. Ces robots ont la caractéristique d'agir de façon autonome, c'est-à-dire hors surveillance humaine et, comme l'observe B.Bonnell, ils créent ce sentiment d'être animé (au sens étymologique) qui fait que leur propriétaire leur donne souvent un nom.

Dans la même veine, il faut aussi mentionner les robots-tondeuses. Nous ne résistons pas ici au plaisir de reprendre l'avis d'un internaute qui disait que, tant qu'à rechercher une solution autonome, capable d'aller partout, de n'oublier aucune herbe, il lui paraissait plus logique d'adopter un mouton qu'une tondeuse automatique. Manière amusante de rappeler que la vraie vie est sûrement le plus sérieux concurrent de la machine « animée ».

Le robot…..

…et son challenger

2.4 Le courant anthropomorphe ou zoomorphe

Un des points qui revient souvent quand on s'intéresse aux robots, est la constance des formes « humaines » (avec des yeux, des bras….) ou animales. Il y a à cela plusieurs raisons :

- ✓ Le souci de créer une relation de proximité, avec une forme « amicale » (robot de petite taille, avec des formes douces et des couleurs pimpantes),
- ✓ La volonté de créer délibérément un « compagnon »,
- ✓ L'évolution du robot dans un environnement humain qui amène (par une sorte de darwinisme technique) à favoriser les architectures les plus proches de l'homme.

Sans aller chercher des travaux avancés, voici quelques exemples récents d'objets technologiques, qu'on peut assimiler à des robots, et qui offrent un aspect anthropomorphe ou zoomorphe.

Le lapin Nabaztag de Violet est connectable à un boîtier Internet de type Freebox ou Livebox, et change de couleur ou bouge les oreilles quand il reçoit un e-mail.

Dans une catégorie de prix supérieure, il faut citer aussi les « jouets » Sony comme le chien Aibo :

Enfin, des produits comme l'appareil de surveillance SFR Homescope reprennent aussi les codes de l'animal sympathique : forme ronde, truffe amicale au milieu de l'appareil….

2.5 D'autres évolutions qui peuvent faciliter la robolution

En quittant les robots proprement dits, il semble intéressant de porter un regard sur des objets déjà largement diffusés qui peuvent, dans les comportements et la relation entre les hommes et la technique, faciliter la robolution.

2.5.1 Les GPS…et la confiance faite à la machine

Les GPS qu'on trouve dans les voitures sont bien sûr étonnants de précision et apportent beaucoup d'informations. Mais surtout, ils ont bouleversé la relation qui pouvait être entretenue avec la machine : un conducteur va désormais déléguer une tâche complexe (le piloter vers un lieu nouveau) entièrement à un appareil, en renonçant à toute vérification parallèle au moyen d'une carte.

Il existe bien sûr bien d'autres tâches complexes qui peuvent être déléguées à une machine, du pilotage automatique d'un avion à la remontée de store en cas de vent. Mais c'est sans doute le GPS qui marque, au niveau du grand public, le transfert de confiance le plus significatif vers une machine, même au prix d'une interactivité qui, dans les premiers temps, était parfois rugueuse (« Faites immédiatement demi-tour ! »).

Le GPS se situe dans le monde « virtuel » (il montre la route à prendre sur un écran) et pas dans le monde physique (il ne dirige pas la voiture). Mais cela est sans doute un premier pas vers une relation « homme x machine » confiante quand elle interviendra dans le monde physique.

2.5.2 L'usage des commandes « vocales »

Nous parlons à nos téléphones portables, à certains GPS : le fait qu'une machine nous « comprenne » ne constitue plus une surprise. On trouve également dans les voitures équipées pour les personnes handicapées des commandes vocales performantes et fiables pour les clignotants, les essuie-glaces et autres.

Bien sûr, il s'agit plus pour la machine d'une réception de consigne par signal vocal que d'une véritable compréhension de langage. Mais c'est au moins un pré-requis levé pour envisager une interaction « homme x robot » directe, sans l'obstacle d'un pupitre de commande ou d'un code de programmation.

2.5.3 **Quelques objets qui annoncent des nouvelles relations avec le monde physique**

Quelques objets annoncent une interrelation entre le monde « physique » des humains et les objets technologiques grand public. Deux cas semblent intéressants, pour anticiper ce que pourrait être une interrelation entre un robot de service et la personne qui en bénéficie.

Le 1° cas est celui de la console Wii, qui permet sans connaissance approfondie de langage, ou même de protocole de jeu d'animer un personnage (avatar) dans un décor virtuel. Il pourrait y avoir un intérêt direct à de telles technologies pour faire déplacer, non plus un avatar dans un monde virtuel, mais un robot dans une pièce.

Le 2° cas touche quasiment un vrai « robot » car il s'agit du nouveau petit appareil volant de Parrot (en fait un drone) téléguidable à l'aide d'un I-phone. On peut en rappeler simplement le principe : un hélicoptère miniature est équipé de petites caméras et envoie des images sur l' écran du téléphone à partir duquel il peut être piloté. Ce qui est en jeu ici est la capacité à télémanipuler un robot à l'aide de moyens simples. Il est assez facile d'imaginer que, par exemple, au lieu d'un drone, on puisse diriger depuis son lit un robot équipé de caméras, pour l'envoyer chercher un objet dans une autre pièce d'un appartement.

3 | Qu'est-ce qu'un robot ?

Ce robot prépare votre café comme vous l'aimez (sucré ou non, long ou court…) contre une somme d'argent. Il prend les pièces, vous rend la monnaie, accepte aussi votre carte de paiement et, si vous essayez de le gruger, détectera la fausse pièce. Vous avez bien sûr reconnu le distributeur automatique de boissons situé à votre étage…que vous n'appelez pas robot.
Pourtant, il interagit avec le monde physique (prend vos pièces, vous prépare une boisson), détecte les évolutions de son environnement (par exemple, un manque d'eau) et est capable de décision (vous signaler que vous ne pourrez avoir que du potage car tous ces compartiments café sont vides).

Si on s'en tient aux 4 caractéristiques citées par B.Bonnell dans le 1° chapitre de son livre, pages 28 à 35, le distributeur de boissons en possède au moins 3 : **action sur le monde réel**, **capacité à analyser les changements**, **capacité de décision**. Il lui en manque une : l'**autonomie** ; par exemple, même si le bouton « potage au carottes » n'est jamais sollicité, la machine n'a pas l'autonomie nécessaire pour reconvertir le bouton sur une autre saveur.

Ce court exemple est juste donné pour montrer que la frontière entre l'appareil évolué et le robot est ténue, parfois même quasi invisible.

3.1 Les questions de fond sur la définition

Les 4 caractéristiques données par B.Bonnell sont très probantes. On peut juste noter qu'une 5°, la capacité à être reconfigurable pour réaliser des tâches différentes serait très clivante. Avec elle, le robot aspirateur Roomba ne serait plus un robot, car il n'est pas possible de lui faire faire autre chose que de l'aspiration : on serait juste en présence d'un aspirateur évolué et autonome.

L'évolution vers d'autres fonctions de service :
La première question de fond qui en découle est celle de l'assimilation ou non de toute machine, appareil ou installation intelligente à un robot : un métro automatique, une installation domotique, sont-ils des robots ? Autrement dit, peut-on parler de robot lorsqu'il n'existe pas de possibilité d'évolution vers une autre fonction de service que celle prévue à la conception ?

Deux grandes familles de réponse peuvent être apportées :

- Un premier type de réponse consiste à admettre qu'il existe plusieurs familles de robots : certaines, plus simples, portent sur des robots conçus et optimisés pour remplir une fonction de service donnée (aspirer une moquette, nettoyer le fond d'une piscine…). A l'autre extrémité du spectre, se trouvent des familles plus évoluées, incluant par exemple les robots anthropomorphes japonais qui peuvent remplir différentes tâches.

- Une autre réponse consiste à viser la polyvalence fonctionnelle à tout prix, notamment en s'attachant à la reproduction de l'homme, avec les robots anthropomorphes. Et, de ce point de vue, il ne faut pas assimiler le concept anthropomorphe à une sorte de naïveté ou de syndrome d'imitation. Pour s'insérer dans un environnement humain (monter un escalier, prendre des yaourts dans un frigo, aider à se lever d'un fauteuil…), il n'est pas absurde de viser une identité morphologique avec l'homme. De plus, en termes de maitrise des déplacements, de la préhension, d'interprétation de l'environnement, la recherche sur le modèle anthropomorphe est sans doute très riche d'enseignements.

L'autonomie dans l'espace :
Attend-on d'un robot qu'il sache forcément conquérir son espace et se déplacer seul, comme le font les robots aspirateurs ? L'autonomie spatiale est sans doute fascinante et contient peut-être en germe une idée qu'on peut lier au robot et qui serait la « capacité exploratoire ». On peut citer ici B.Bonnell qui décrit la fascination quasi-enfantine pour cette capacité exploratoire : « *(parlant d'un ami qui possède un robot-tondeuse) Il organise régulièrement des visites où, du haut de son balcon, ses amis peuvent venir observer l'Automower quand il se fraye son chemin dans le jardin et assure une coupe au rasoir.* »

Le contact avec l'homme :
Le véritable robot est-il celui qui peut venir au contact physique de l'homme ? On voit bien que les questions de sécurité ont, dans le monde industriel, réduit l'interaction à quasiment rien : les robots sont isolés des opérateurs humains par des grilles ou des barrières photo-électriques. Or, si on envisage des robots domestiques qui pourront accompagner, aider les personnes à manger, les aider à s'habiller, cette question de l'interpénétration de la sphère d'action du robot et de celle de l'homme devra être résolue.

Les spécialistes de la robotique s'en soucient, ainsi on peut lire sur le site Web de Kuka (constructeur allemand de robots industriels) :
« *KUKA dévoilera le robot léger LWR KUKA les 7 et 8 juillet sur le campus Recreation Center de l'Université Georgia Tech. Ce robot, qui repose sur le développement technologique, est une étape intermédiaire importante et un pas essentiel dans la transition des robots industriels conçus principalement pour la construction automobile vers des robots davantage orientés sur les services : un robot est aujourd'hui en mesure de « percevoir » ses collègues de travail humains et de réagir avec les précautions de rigueur, créant ainsi un environnement de travail homme-robot sûr.*

Selon des analystes indépendants, le segment de la robotique de service dans cette branche industrielle enregistrera d'ici l'année 2025 une croissance exponentielle de 5 à 50 milliards de dollars US, avec une concentration initiale pour les prestations à l'égard des grandes entreprises dans les secteurs de la transformation alimentaire, de la logistique, de la chirurgie et des soins aux personnes âgées. La robotique de service sera également un marché en croissance pour des petites et moyennes entreprises du segment industriel. »

3.2 Une proposition de définition

Pour définir un robot, on peut proposer des critères plus nombreux, donc un peu plus restrictifs, que les 4 critères de B.Bonnell qui sont rappelés ici :
- ✓ Autonomie,
- ✓ Capacité à analyser les changements,
- ✓ Capacité de décision,
- ✓ Action sur le monde réel.

Notre proposition est qu'un robot :
- ✓ Appréhende les caractéristiques de son environnement, (ex : détecte un obstacle),
- ✓ Interagit avec cet environnement (contourne un obstacle et/ou déplace l'obstacle),
- ✓ Possède une capacité exploratoire de l'espace,
- ✓ Est doté d'une autonomie décisionnelle (ex : choisir quand aller en position « recharge »),
- ✓ Communique (Il reçoit des informations, et est aussi en mesure d'en donner),
- ✓ Peut apprendre, c'est-à-dire enrichir son processus décisionnel par des éléments acquis, ne faisant pas partie de sa programmation initiale,
- ✓ Evolue en présence et au contact des humains

- ✓ Produit une action perceptible dans le monde physique (ex : bouge un objet),
- ✓ Est reconfigurable et reprogrammable pour remplir d'autres tâches que celles qui lui ont été initialement assignées.

Note FM : A titre personnel, je suis méfiant vis-à-vis du risque de dilution qui pourrait résulter d'une acception trop large du concept de robot : ce point de vue est développé au point 3 du chapitre 5 « Des obstacles sur la route des robots ».

3.3 Outil, machine, robot…

Pour clore ce chapitre avec un angle de vue un peu différent, voici un essai de différenciation rapide entre un outil, une machine et un robot. En effet, on a vu que les cloisons n'étaient pas si étanches que cela, notamment entre machines évoluées et robots.

On s'intéressera d'abord au monde industriel :

- **Outil** : un fer à souder est un outil. Il prolonge la main de l'homme, facilite la réalisation d'une tâche, mais s'il n'est pas guidé, animé par l'homme, il est juste un objet inerte.

- **Machine** : une soudeuse automatique par points est une machine. Composée de mécanismes divers, alimentée en énergie, la machine est capable de répéter la même tâche en étant juste assistée par l'homme (par exemple par un opérateur qui lui présente les pièces à souder), soit même de manière autonome pendant un temps donné (si elle dispose d'un magasin de chargement des pièces à souder).

- **Robot** : un robot de soudage est aussi une machine. Mais cette machine a des attributs particuliers :
  - Par ses degrés de liberté dans l'espace, le robot va être capable de souder des formes complexes, et de faire des points de soudure dans des endroits difficiles d'accès.
  - Par son potentiel de programmation, par ses capteurs, le robot sera non seulement capable de passer rapidement d'une aile de voiture à un pavillon de toit, mais aussi de reconnaître les pièces, ou même de signaler des anomalies (cote inadaptée, trou oublié….).
  - Par la combinaison des deux attributs précédents, le robot sera ré-employable. Il pourra être démonté de l'atelier de soudage et être transféré à l'atelier d'injection plastique pour ranger des pièces en sortie de presse.

Illustrons cette typologie, dans le domaine de la peinture industrielle :

Outil : pistolet de peinture

Machine : chaîne de peinture

Robot de peinture

Dans la perspective de la robolution, on peut relever ici un point intéressant : une machine va parfois se situer très loin, en morphologie et fonctionnement, du couple « homme + outil » qu'elle remplace. Par exemple, un tunnel de peinture ne ressemble en rien à un opérateur qui tient un pistolet, un marteau-pilon est loin d'un homme qui tient un marteau…Mais le robot de peinture « ressemble » à l'homme : il peut avoir des mouvements similaires à des gestes d'opérateur humain. C'est un peu une machine qui utilise un outil.

Dans la sphère domestique, on peut aussi imager ces 3 notions :

Outil : presse-agrumes

Machine à laver le linge

Robot domestique

Cela permet de commenter rapidement quelques différences/similitudes entre machine et robot :

- La machine à laver le linge n'est pas dépourvue d'intelligence ou d'adaptation à son environnement :
  - Elle s'arrêtera si elle détecte un manque d'eau.
  - Elle adaptera son temps de cycle en fonction du poids de linge mis dans la machine,
  - Elle démarrera son cycle à l'heure qu'on lui a indiquée.
- Mais la machine reste mono-tâche, ici le lavage du linge. Elle est prisonnière de la fonction de service principale qui lui a été assignée, alors que le robot est doté d'organes et de degrés de liberté qui le rendent polyvalent.

4 | Des obstacles sur la route des robots ?

Ce n'est pas le chapitre de Cassandre. Sont abordées ici quelques questions qui portent sur des obstacles possibles sur la route des robots, mais sans préjuger du fait qu'ils ne puissent être levés. Nous en proposons cinq ici :

- ✓ Les concurrents
- ✓ Le coût d'acquisition du robot domestique
- ✓ Le développement de la capacité d'apprendre
- ✓ La garantie de sécurité des personnes,
- ✓ La dilution du concept.

4.1 Les concurrents

4.1.1 Robot versus homme

Le développement du robot industriel s'est bâti sur des raisons essentiellement économiques :

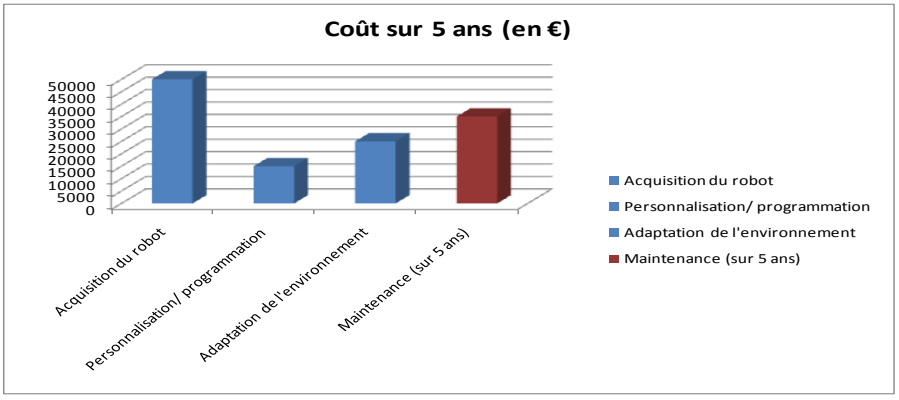
- ➲ Dans des environnements hostiles, lorsque le coût des dispositions à prendre pour protéger valablement les opérateurs humains s'est trouvé supérieur au coût d'une machine capable d'évoluer dans cet environnement de manière autonome,
- ➲ Dans des environnements industriels normaux, lorsque le coût complet d'une installation robotisée et de son exploitation est rentable par rapport à d'autres moyens (main d'œuvre et/ou machine spéciale).

En se tournant vers la sphère domestique, on conçoit bien que les robots envisagés sur des fonctions de surveillance, d'assistance physique, de guidage, de délivrance de repas, de distraction seront en concurrence avec les salariés de ces secteurs (gardiens, assistantes ménagères, baby-sitters….). Ce sont souvent des professions assez faiblement rémunérées dont les coûts horaires complets, en fonction des qualifications et des horaires pratiqués (nuit, week-end) vont se situer entre 18 €.HT et 35 €.HT par heure.

Pour donner une idée de l'équation à laquelle on se trouve confronté, on peut donner des ordres de grandeur. Par exemple, une structure décide de s'équiper d'un robot de livraison d'objets ou repas dans ses locaux, elle devra alors :

- ✓ Acheter le robot,
- ✓ Programmer le robot selon le plan des lieux, les messages à donner,
- ✓ Configurer l'environnement pour que le robot puisse circuler (pans inclinés, portes automatiques, …)
- ✓ Intégrer les coûts annuels de maintenance de ce robot.

La structure de dépense à laquelle faire face est alors du type suivant :



Cette structure de coût rend compte de points très souvent vérifiés :

- ✓ Les robots demandent à être configurés, puis placés dans des environnements adaptés, ou du moins réaménagés,
- ✓ Le coût des dépenses hors acquisition du robot proprement dit représente souvent 40 à 60 % du budget global,
- ✓ Bien qu'étant très fiables, les robots demandent quelques soins mécaniques réguliers et des mises à jour de programmation.

Au final, un robot de 50 000 € coûtera sur 5 ans 125 000 € (c'est bien sûr indicatif) ; il se trouvera équilibré du point de vue économique s'il assure 5000 à 6000 heures de travail. S'il fonctionne jour et nuit tous les jours, ce chiffre sera très vite atteint…mais s'il a un fonctionnement épisodique de quelques heures par jour, l'opération n'a pas d'intérêt.

En donnant cet aperçu chiffré, le propos n'est pas de rendre le débat forcément économique, mais d'attirer l'attention sur les conditions du développement de la robotique domestique :

- ➲ Condition N°1 : le robot doit rendre des services homogènes en durée avec son coût complet. Un robot sophistiqué, à demeure dans une maison pour fournir un service de 1 à 2 heures par jour, est à coup sûr moins intéressant que le recours à un opérateur humain. Pour faire sauter ce verrou, on peut envisager deux pistes :
    - La **mutualisation** (entre plusieurs personnes, ou plusieurs foyers),
    - La **polyvalence** : elle est sans doute la clé de l'augmentation de la durée de travail possible dans la sphère domestique.

- ➲ Condition N°2 : les contraintes de mise en œuvre (programmation, aménagement…) ne doivent constituer ni une barrière économique, ni une barrière temporelle (imaginons une personne immobilisée qui doive attendre des mois qu'on peaufine la programmation de son robot d'assistance !). De ce point de vue, on peut mentionner deux enjeux complémentaires :
    - L'**adaptabilité morphologique**, pour limiter les aménagements physiques (d'où l'intérêt d'avoir des robots qui savent grimper un escalier par exemple),
    - Le **développement des capacités d'auto-apprentissage**, déterminantes pour alléger les programmations spécifiques (d'où les efforts faits dans les laboratoires autour de l'intelligence artificielle).

Nota : Les pistes citées expliquent, au moins pour partie, toute l'énergie mise par les centres de recherche asiatique sur les formes anthropomorphes de robot : plus un robot sera proche de l'humain, plus vite il pourra s'insérer dans son environnement.

4.1.2 Robot versus machine spécialisée sur une fonctionnalité

On peut résumer le match en deux questions :

- ✓ Vaut-il mieux équiper ses volets roulants d'un dispositif d'ouverture électrique télécommandé ou acheter un robot capable de tourner une manivelle ? Face à un tel énoncé, le robot perd.
- ✓ Vautt-il mieux automatiser ses volets roulants, acheter une machine à tourner les pages d'un livre, s'équiper d'un petit monte-charge, se promener avec un collier-alarme autour du cou, ou bien se faire assister d'un robot ? Le match est certainement plus ouvert, et les supporters de la robolution ne craindront pas de pronostiquer la victoire du robot.

On peut tenter ici un peu de prospective : sur le terrain des appareils nomades, miniaturisés, embarquant surtout du soft, on voit mal les robots reconquérir une place…si ce n'est comme jouet. De même, dans le domaine de l'électroménager « meublant », comme le réfrigérateur ou le lave-linge, on voit mal les robots se substituer à des produits rendant le service à des coûts très compétitifs.

En revanche, on peut imaginer de façon assez crédible que, dans le domaine de l'aide physique à la personne, un robot polyvalent puisse se substituer à une kyrielle d'appareils (alarme, élévateur, dispositif de surveillance médicale…).

4.2 Le coût d'acquisition du robot domestique

4.2.1 Un robot à la maison ? A quel prix ?

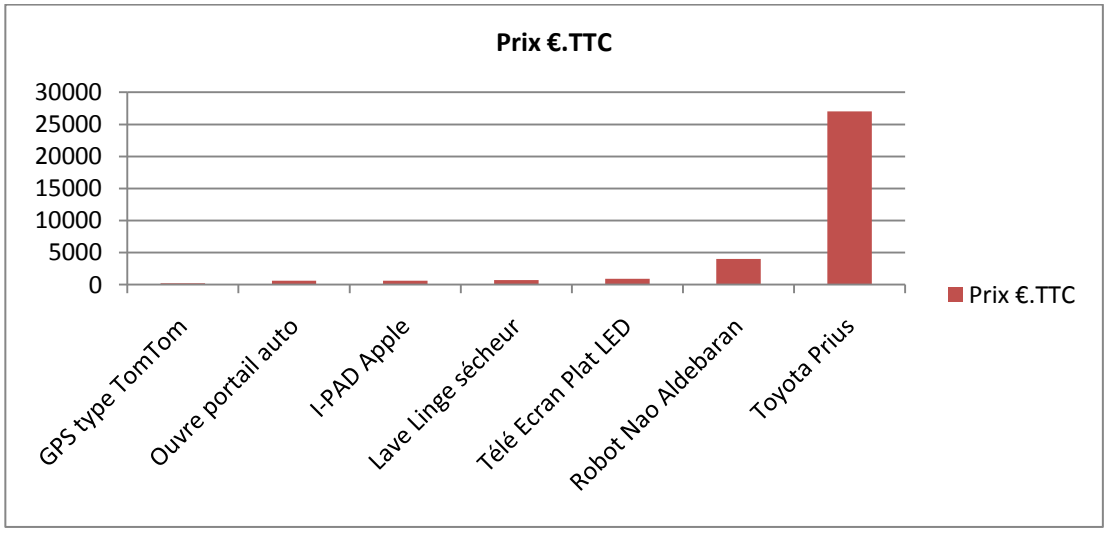
Si on raisonne à l'échelle d'un ménage en se posant la question du prix à partir duquel un robot polyvalent peut devenir un objet de consommation courante, les recherches documentaires indiquent que ce prix se situe autour de 2000 €.

Pour information, le petit robot NAO d'ALDEBARAN devrait coûter autour de 4000 € pour un poids de 4,3 kg. Pour s'amuser, on peut positionner ce produit dans le spectre de quelques objets dits « technologiques » :

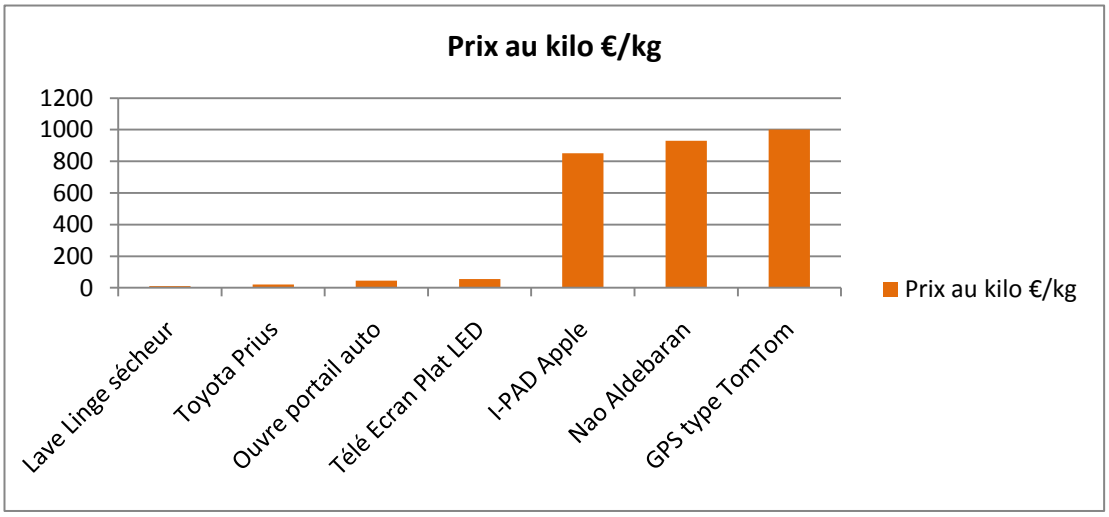
Objet	Prix €.TTC	Poids kg	Prix au kilo €/kg
Télé Ecran Plat LED	**900**	**17**	**55**
I-PAD Apple	**600**	**0,7**	**850**
GPS type TomTom	**200**	**0,2**	**1000**
Lave Linge sécheur	**700**	**76**	**10**
Ouvre portail automatique (à installer)	**600**	**14**	**45**
Toyota Prius	**27 000**	**1 370**	**20**
Robot Nao Aldebaran	**4 000**	**4,3**	**930**

Nota : chiffres indicatifs juillet 2010

Si on s'intéresse au prix brut, on voit qu'un budget de 4000 € est élevé et se rapproche des « gros » investissements de type mobilier, véhicule. Et même à 2000 €, on resterait hors des biens de consommation courante :



Un autre indicateur intéressant est celui du coût au kilo. Il permet en effet de voir qu'un robot qui associe électronique et mécanique peut difficilement rester dans une zone à 900 €/Kg. En effet, avec ce ratio des robots capables de rendre des services fonctionnels (lever des charges) qui seront plus lourds atteindraient des prix prohibitifs. Pour fixer les idées, on peut avancer qu'un ratio correct pour parler de diffusion des robots domestiques serait autour de 100 €/kg :



On peut enfin étendre ce regard sur les coûts, en comparant les tarifs de quelques robots commercialisés aujourd'hui, avec ceux de produits de la même famille (automatisé ou non) :

Objet	Prix €.TTC	Poids kg	Prix au kilo €/kg
Robot aspirateur ROOMBA 581	500	5,6	90
Aspirateur sans sac Dyson	*250*	*5,7*	*45*
Chien robot Genibo	2000	1,5	1330
Tamagoshi Bandai	*10*	*0,05*	*200*
Robot tondeuse Robomow RL550	1499	37	40
Tondeuse sans fil Bosch Rotak	*550*	*14*	*40*
Robot Nao Aldebaran	4 000	4,3	930
Jeu Robot Lego Mindstorms NXT	*230*	*2,2*	*100*

Nota : chiffres indicatifs juillet 2010

De ce tableau, on peut dégager deux points :

- Les robots dédiés à une fonction (ex : tonte de pelouse) sont d'un coût plus élevé que leurs cousins classiques, mais ne sont pas « décrochés » du segment.

- En revanche les robots « anthropomorphes » (en étendant ce vocable au chien Genibo) restent des objets très chers, sévèrement concurrencés par les simples jeux qui, sans offrir les mêmes caractéristiques, sont beaucoup plus abordables.

Globalement, si on vise la robolution à l'échelle du foyer, les fabricants devront s'attacher à l'optimisation industrielle pour produire en grande série des robots avec des coûts de revient industriels beaucoup plus faibles qu'aujourd'hui. A cette échelle, le savoir-faire est plutôt chez les producteurs automobiles et les fabricants d'électroménager. Et, géographiquement, la zone de meilleure compétitivité est plutôt celle du Sud-est asiatique.

4.2.2 Faire baisser le coût d'accès : la mutualisation

Sans tenir aux seuls aspects de marché de masse développés au paragraphe précédent serait sans doute trop réducteur. En effet, on peut mentionner au moins deux autres voies qui peuvent ouvrir à d'autres modèles économiques :

- Le premier est celui de la mutualisation,
- Le second est celui des marchés de niche, dans lesquels la relation au prix est différente des offres grand public.

Mutualisation :
On peut imaginer qu'un robot soit partagé entre plusieurs utilisateurs, à l'échelle d'un immeuble, d'une maison de retraite, d'un hôpital, d'un hôtel…. La notion de coût d'acquisition pour un ménage n'a alors plus de sens ; on peut imaginer des schémas où l'aide apportée par le robot est incluse dans une offre globale de services, ou se paierait à l'heure ou à l'acte.

Notons que la collectivité territoriale est, par essence, elle-même une forme de mutualisation : il est donc tout à fait licite de penser que des robots, utiles à des segments significatifs de la population, puissent être acquis par la collectivité, puis mis à disposition selon des modalités à définir.

Marchés de niche :
Dans le domaine du maintien à domicile et de services aux personnes dépendantes (âgées ou handicapées), il est à noter que la maille de coût est souvent bien supérieure à celle des produits grand public mentionnés plus haut. Voici quelques exemples :

Objet	Gamme de prix €.TTC
Tricycle électrique	1700 à 3000
Baignoire à porte (non posée)	2500 à 5000
Monte-escalier droit	2500 à 4000
Monte-escalier tournant	7500 à 11000
Aménagement voiture pour handicapé avec fauteuil	A partir de 10000 €

Nota : chiffres indicatifs 2010

On peut penser qu'un robot qui apporterait une aide significative à la mobilité, aux tâches ménagères courantes, à la surveillance de la personne, pourrait donc accéder à des tranches de prix supérieures à 5000 €, voire 10 000 €.

Nota : nous avons évoqué plus haut le coût du robot Nao. Pour un robot de service plus grand, plus sophistiqué, l'émission de FR3 « Faut pas rêver » du 23 juillet 2010 évoquait pour un robot de type ASIMO Honda un coût d'environ 80 000 €. Cela est d'ailleurs proche des coûts des robots industriels installés « prêts à fonctionner » (en effet, au coût du robot proprement dit, il faut comme cela a été expliqué au point 5.1.1 souvent ajouter de la programmation, des dispositifs de sécurité, des préhenseurs adaptés aux opérations à réaliser).

4.2.3 Un modèle économique sans doute à inventer

La question du coût du robot se pose donc de manière différente selon le marché auquel on pense. La considérer uniquement sous l'axe « grand public » nous semble réducteur et pas forcément en phase avec les savoir-faire occidentaux en matière de productivité industrielle.

Il nous semble qu'il sera nécessaire de poser au minimum la question des alternatives à l'achat pur : location, usage à l'heure, usage à l'acte, constitution de pool, portage par des groupements d'acquisition.

4.3 Le développement de la capacité d'apprendre

Apprendre à un robot ce qu'on attend de lui n'est pas simple : cela passe par une programmation qui est, soit faite en amont pour les robots prêts à l'emploi (type robot-aspirateur), soit faite par le client sur la base de 2 modes essentiels :

- ✓ Le premier est celui de la programmation pure : les enchainements d'opération sont prévus, codifiés par l'intermédiaire d'un langage de programmation et liés pour s'enchaîner selon des séquences logiques.
- ✓ Le second est celui du guidage par l'homme : le robot va apprendre, en enregistrant le mouvement humain, à refaire ensuite le même mouvement.

Les deux modes diffèrent par le fait que, dans le second cas, le langage de programmation est rendu transparent. Mais sur le fond, c'est la logique de l'automate de Vaucanson qui domine : le robot n'apprend[1] pas, il recopie.

Même si il reste sans doute beaucoup à faire dans le domaine de la physique du robot sur son architecture, ses préhenseurs, ses capteurs ; c'est dans le domaine de son intelligence, et notamment des liens entre son appréhension du monde extérieur par ses capteurs d'une part, et ses décisions d'autre part qu'il reste le plus de chemin à faire.

C'est pour cela que les centres de recherche concentrent aujourd'hui tant d'énergie à l'intelligence artificielle, avec des ambitions qui pourront sembler très modestes : doter une machine de la capacité d'apprendre d'un enfant de 18 mois serait une grande avancée !

Cet enjeu explique l'intérêt de challenges a priori un peu vains comme faire jouer des robots au foot-ball. Mais, dans un autre registre que la maîtrise de la combinatoire et de la puissance de calcul nécessaire pour faire un programme de joueur d'échec, c'est également un exercice très difficile, du fait que :

- ✓ l'environnement est mouvant,
- ✓ la réactivité doit être optimale,
- ✓ aucune configuration de jeu ne peut être précisément prédite.

[1] L'apprentissage peut être rapidement défini comme la capacité à organiser des connaissances acquises (par opposition aux innées qui seraient dans le cas du robot celles explicitement programmées), en vue d'atteindre un objectif donné.
L'optimisation de l'apprentissage, telle que la définit l'équipe TAO de l'INRIA, va alors consister à ce que le robot utilise ces connaissances pour réduire progressivement le taux d'erreur caractérisant la réalisation d'une action.

4.4 La garantie de sécurité des personnes

Dans l'imaginaire collectif, les « robots » font courir deux dangers majeurs à l'homme :

- Ils peuvent se rebeller contre lui et tenter de l'asservir (voir Hal de 2001 l'Odyssée de l'Espace, les 3 lois d'Asimov….).
- Ils mettent à mal sa relation naturelle au travail et à l'effort, ce qui peut être perturbant, voire déséqulibrant.

Mais, dans un monde physique plus immédiat, les robots posent d'abord des questions de sécurité physiques : lorsqu'ils sont en mouvement, ils peuvent heurter ou blesser les personnes se situant dans leurs rayons d'action. Ce danger peut avoir plusieurs causes, par exemple :

- **L'énergie cinétique mise en œuvre** : avec des charges déplacées de plusieurs kilos, à des vitesses importantes (la vitesse en bout de bras d'un robot industriel manipulateur atteint couramment plusieurs mètres par seconde), le robot peut créer des dégâts ou des blessures en cas de choc. On peut d'ailleurs être frappé par les écarts de vitesse entre les robots opérant au contact des personnes (vitesse maxi autour de 3 km/h) et les vitesses fulgurantes des robots encagés en milieu industriel.

- **L'imprévisibilité par l'homme de certains mouvements du robot**. Typiquement, quand un robot est arrêté de façon accidentelle, l'opérateur qui va le remettre en marche peut difficilement prévoir quelle trajectoire le robot va suivre pour retourner à son point zéro. La présence d'un être humain dans le champ d'action peut alors être catastrophique. Pour juguler ces risques, on peut ralentir les robots, les alléger, ou les doter de capteurs de présence ou de détecteurs de choc. Mais, globalement, « encager » les robots, soit derrière des vitres, soit par des barrières photo-électriques, reste la solution dominante dans le monde industriel, même si les fabricants de robots s'efforcent d'aller vers des environnements partagés avec les hommes, en les dotant de différents capteurs.

On voit bien d'ailleurs que les robots anthropomorphes sont souvent, soit de très petite taille (NAO), soit au moins de taille inférieure à l'être humain (B.Bonnell mentionne d'ailleurs l'importance de ce rapport de taille pour qu'il n'y ait pas de sentiment d'être menacé).

Un autre facteur de risque est celui de l'erreur dommageable, dont on peut donner ici quelques exemples pour un robot d'assistance personnelle : ordre mal compris, défaut de surveillance, préhension trop forte….

Pour que des robots de service polyvalents pénètrent la sphère domestique, il est probable qu'ils seront soumis à un certain nombre de contraintes, s'ajoutant à tout l'arsenal réglementaire déjà existant pour les appareils ménagers et les jouets. Parmi les hypothèses qu'on peut faire, citons :

- ✓ Limitation des vitesses de déplacement par rapport au sol, et des vitesses tangentielles en bout de bras,
- ✓ Limitation des efforts de levée ou de serrage et/ou équipement avec des capteurs de retour d'effort,
- ✓ Limitation des tailles et encombrements,
- ✓ Validation par des organismes agréés des systèmes de commande, et des détecteurs de présence humaine et systèmes de non interférence,
- ✓ ….

Il n'est pas question ici d'être pessimiste, mais d'anticiper sur des réflexes de protection qui ne manqueront pas de surgir quand les robots quitteront les champs du laboratoire, du jouet ou de l'application industrielle. Mais rien n'est impossible :

- ✓ Des métros automatiques fonctionnent sans quais fermés (A Lyon, alors qu'on a des quais fermés dans le Val ou sur la ligne 14 à Paris…).
- ✓ Les voitures équipées pour être conduites par des handicapés moteurs disposent déjà de systèmes de reconnaissance vocale fiables et performants,
- ✓ Les maisons sont équipées de plus en plus souvent de volets ou de portails automatiques qui ont su résoudre des problèmes de sécurité, notamment en termes de coincement.

Notre recommandation est simplement ici de rappeler que, comme toute nouveauté, la robolution génèrera des mécanismes de crainte, de retrait, et qu'il est prudent de les anticiper.

4.5 La dilution du concept

« Qui trop embrasse mal étreint » dit le dicton ; ceci peut concerner les robots s'ils sont assimilés à toutes machines intelligentes et amalgamés à tous travaux visant à créer une interaction entre l'utilisateur et la machine.

Les systèmes d'aide à la conduite des voitures, les métros automatisés, les distributeurs de boisson, la domotique, ont un lien avec les robots certes, mais ils ne sont pas des robots, car leur architecture et leurs choix constructifs les empêchent d'évoluer vers d'autres fonctions. Il y aurait un risque majeur d'appauvrissement des concepts, si les robots perdent leur identité et ne constituent qu'un champ parmi d'autres des technologies de l'automatisation et de la construction de machine.

On pourra s'étonner de cette position assez radicale de soutien au « robot-robot ». Pour la défendre, 3 arguments peuvent être mis en avant :

- ➲ L'intérêt continu des japonais et anglo-saxons pour des formes de robot « androïdes » mérite qu'on y porte attention. On ne peut imaginer que ce soit pour la simple satisfaction de faire un robot qui marche, qui joue au ballon…Il y a là une volonté d'aller vers des machines polyvalentes et fusionnelles avec l'environnement de l'être humain. On sait faire des dispositifs qui ouvrent les portes à distance, ainsi que des machines à tourner les pages des livres, mais l'enjeu n'est pas de multiplier les machines : il est d'avoir un jour une machine unique, capable de tourner les pages d'un livre, puis de le poser pour aller ouvrir la porte à un visiteur.

- ➲ Les champs de l'automatisme, de l'intelligence artificielle, de la bionique (pour ne citer qu'eux) sont immenses. A la conjonction de ces champs, il y aura tôt ou tard des éclosions d'idées, de technologies, de produits très intéressants. Mais, si on ne veut pas être dépendant de cet immense mais incertain processus, où tout est dans tout, il est plus raisonnable de se concentrer sur des problèmes plus circonscrits, tels que la marche d'un robot androïde.

- ➲ Enfin, il y a le bénéfice de l'effet de compétition entre équipes et solutions techniques, sur la base de challenges précis. Comme pour la conquête de l'espace : pour qu'il y ait une compétition stimulante, il faut que plusieurs parties veuillent la même chose : aller sur la lune, sur Mars…. Les chercheurs en robotique travaillent sur des thèmes communs : la marche, l'auto-apprentissage, l'interaction physique homme x machine, l'assistance aux personnes dépendantes, et cette compétition féconde, autour de cibles fonctionnelles précises, n'existerait plus si on dilue le concept.

4.6 Une période propice à la levée des obstacles ?

Pour conclure sur les obstacles éventuels sur la route des robots, on peut se demander en quoi la période actuelle est plus propice à la « robolution », alors que, depuis le début des années 80, ils sont diffusés (au moins dans l'industrie) mais sans occuper les premières places du hit-parade de l'innovation dans l'esprit du public.

Voici quelques hypothèses. Isolément, elles ne peuvent constituer une explication mais leur conjonction est sans doute plus significative :

Technologie :

- ✓ Il y a eu dans certains domaines des avancées considérables. Par exemple, les systèmes de vision automatisés et les caméras et logiciels associés ont fait des progrès déterminants. Les matériaux légers, très utiles pour réduire les inerties, sont plus abordables. Les capacités de calcul se sont beaucoup accrues. Tout ceci permet d'aller vers des robots rapides, réactifs, qui voient les obstacles.
- ✓ Cependant, quelques sujets demandent encore à être développés comme l'intelligence (voir 5.3), ou les aspects tactiles.

Facteurs économiques :

- ✓ Les constructeurs de robot industriels et professionnels cherchent de nouveaux débouchés, alors que les sites industriels ont fait soit le plein de certaines applications (ex : soudage/peinture), soit migrent vers des pays où le coût de la main d'œuvre ne justifie pas encore de penser robotisation des activités.
- ✓ Les coûts de production en petite série ont tendance à baisser avec l'arrivée de nouvelles techniques : dès lors qu'on atteint des séries de 500 unités à peu près, il est possible d'obtenir des carters ou des bras à des prix raisonnables. De même, le prix de composants comme les capteurs optiques, les actionneurs et moteurs pas à pas montés dans les robots, baisse aussi. Du coup, pour la partie « mécanique » des robots, on est dans une situation beaucoup plus favorable qu'il y a 15 ans. D'ailleurs, le prix des robots industriels baisse : un robot de 300 000 F en 1990 vaut aujourd'hui environ 40 000 €.

Facteurs sociétaux :

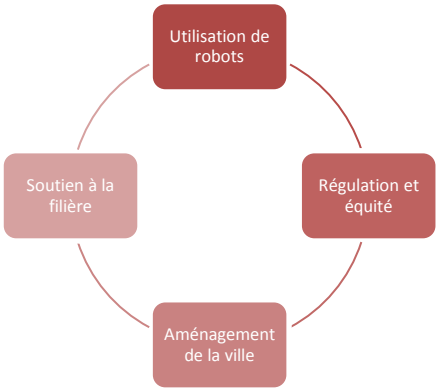
- ✓ On peut aussi faire l'hypothèse d'une certaine lassitude pour les univers uniquement virtuels (type jeu vidéo). C'est bien de se battre avec un avatar sur un écran d'ordinateur, mais on peut aussi envisager des jeux mixtes dans lesquels on jouera, par robot interposé, dans des univers réels (c'est d'ailleurs une facette développée par B.Bonnell).
- ✓ Il y a enfin bien sûr le pressenti immense marché de la lutte contre la dépendance des personnes âgées. Le Japon, avec son fort taux de vieillissement, est sans doute le pays qui le plus révélateur de la prise de conscience de cet enjeu.

L'embellie actuelle doit-elle faire penser à une robolution patente dans les toutes prochaines années ? La micro-informatique, la téléphonie portable, le net ont eu des développements planétaires explosifs en peu d'années….mais la propulsion électrique des véhicules (sujet d'innovation dès le début du XX° siècle, remis en selle après guerre) attend encore de se déployer ailleurs que dans les magazines, la domotique court encore son big bang, les énergies renouvelables mènent un dur combat depuis des décennies….

Les mutations dans le monde physique des équipements apparaissent comme beaucoup plus longues à éclore que celles des objets nomades, faits avant tout de software et de quelques composants électroniques pointus. La route des robots jusqu'à un statut d'intégration domestique courant est sans doute de l'ordre de une ou deux décennies…sauf si des passerelles inattendues avec les objets nomades, par exemple sous forme de jouets, viennent bouleverser la partie.

5 | Robots et collectivité

Ce chapitre est une tentative de caractérisation des raisons pour lesquelles une collectivité territoriale, telle que le Grand Lyon, peut être amenée à s'intéresser à la « robolution », soit pour s'y impliquer directement, soit pour la faciliter. Trois axes sont distingués :



5.1 Utilisation des robots

La collectivité est une utilisatrice potentielle de robots pour la réalisation de ses missions :

- ✓ Dans le domaine des services techniques urbains :
  - Robots explorateurs de canalisation pour l'assainissement (en fait des engins téléguidés),
  - Robots trieurs dans les centres de tri,
  - Robots nettoyeurs (en fait des laveuses autonomes),
  - Robots d'assistance à la collecte des ordures ménagères,
  - ….
- ✓ Ou dans d'autres secteurs :
  - Robots d'accueil dans les lieux publics,
  - Robots préparateurs de commande dans des centres de documentation ou des bibliothèques,
  - …..

Comme tout acteur responsable d'un budget, son choix d'aller ou non vers une solution robotisée va dépendre de multiples facteurs : faisabilité, coût d'accès, enjeux sociaux, poids dans la décision. Pour illustrer comment ces facteurs interagissent, on peut prendre le cas des centres de tri :

- ✓ Les opérateurs de centre de tri ont un métier difficile, à la fois directement exposé aux déchets et au bruit des machines environnantes.
- ✓ Un certain nombre d'opérations seraient robotisables, par exemple avec des robots rapides de type « delta », dotés de systèmes de vision.
- ✓ Mais les centres de tri sont souvent des employeurs qui assurent des emplois dits d'insertion. La mécanisation n'irait pas nécessairement dans le sens de la préservation de ce potentiel d'emploi.
- ✓ Enfin, les centres de tri sont rarement gérés « en régie ». Le choix des investissements revient donc le plus souvent aux entreprises qui les exploitent.

Dans le domaine de l'utilisation directe des robots par la collectivité, on peut émettre l'hypothèse qu'elle sera plutôt concernée par les métiers de main d'œuvre s'il s'agit de déploiement à grande échelle, à conduire sur des bases de calcul de retour sur investissement rigoureuses.

Mais une collectivité peut aussi faite le choix d'une robotique de démonstration ou de promotion. Il s'agit alors pour la collectivité de créer, avec un petit nombre de robots, un effet d'exemplarité en témoignant de son propre engagement sur la robotisation, ou bien de susciter un intérêt nouveau sur un sujet important. Par exemple, c'est l'objectif qui pourrait être mené avec des robots collecteurs de déchets, comme envisagé dans le projet « Dustbot » (robot collecteur de déchets qui va au devant des citoyens) :

5.2 Régulation de l'équité

Imaginons un avènement rapide de la robolution domestique. Cela pourra se faire, par exemple, sur l'axe du jeu et des loisirs, sur la réduction de certaines corvées ménagères, ou bien encore sur l'assistance aux personnes âgées et dépendantes. On voit mal une collectivité intervenir sur les deux premiers axes, mais il y aura probablement à se soucier d'une certaine équité sur le troisième axe qui renvoie à des enjeux essentiels de santé et bien-être :

- ✓ Par les coûts d'acquisition, y aura-t-il un clivage très fort en fonction du niveau de revenu ?
- ✓ Le clivage ne va-t-il pas s'opérer aussi sur des bases de maîtrise minimales de programmation, de compréhension des fonctionnements du robot ?
- ✓ Peut-on craindre des effets inverses, selon lesquels les formes d'assistance humaine seraient réservées aux plus hauts revenus, et les formes robotisées ou mécanisées orientées vers les moins fortunés ?

Ces problématiques de régulation se sont déjà posées au niveau national avec le développement de l'informatique personnelle et d'internet. L'éducation nationale, ainsi que les régions et départements, ont dû agir en matière de formation, de mise à disposition de matériel, pour réduire le risque d'une ségrégation entre ceux qui savaient utiliser un PC et les autres.

Il est vraiment difficile de dire ici quel échelon de collectivité peut être concerné :

- ✓ l'Etat sur les questions touchant à la santé publique et à la fiscalité du robot ?
- ✓ les régions et départements ainsi que les organismes de protection sociale, sur ce qui peut être aides, conseil et financement en direction des personnes âgées ou dépendantes ?
- ✓ les villes et communautés urbaines, pour l'expérimentation et la promotion de dispositifs, et pour la mise en œuvre de la mutualisation (mise en place de robots partagés entre plusieurs foyers, ou à l'échelle d'un quartier) ?

La seule quasi-certitude est que la robolution se fera avec des robots dont le coût se situera quelque part entre celui d'un PC et d'une voiture, conduisant par là à se soucier d'équité d'accès pour les citoyens les moins favorisés.

5.3 Aménagement de la ville

Pour qu'un robot circule dans un appartement, il vaut mieux que celui-ci soit équipé de portes coulissantes plutôt que de portes pivotantes. Il faut également prévoir des stations de rechargement accessibles.

Si on se place dans une perspective à long terme de la robolution, il n'y a aucune raison que les robots soient confinés à l'intérieur des maisons ou des appartements. On peut imaginer, dans la rue, des robots accompagnants des personnes âgées, ou bien des personnes rendues mobiles ou soutenues par des « exo-squelettes[2] », ou encore des « robots de mobilité »

L'idéal serait bien sûr que rien qui soit possible aux personnes pleinement valides ne soit impossible aux utilisateurs de ces robots. Mais des questions de largeur de passage, de rechargement en énergie, de prise en charge des personnes en cas de panne d'appareil se poseront.

La ville est aussi concernée par l'accueil qu'elle fait aux expérimentations, aux essais. Par exemple, pour vérifier que les nouveaux compteurs d'eau ou d'électricité « communicants » apportent bien des avantages aux usagers et contribuent à réduire les consommations, il faut trouver des sites pilotes (une ZAC par exemple). Des situations similaires peuvent être imaginées pour accompagner la robolution dans ces premiers déploiements, dès lors qu'elle aura une connexion avec la voie publique (aménagement des trottoirs, des espaces verts…) ou avec des services publics (santé, services sociaux, services de secours…).

5.4 Soutien à la filière

Une dernière manière pour la collectivité d'intervenir dans la robolution est bien sûr de soutenir directement ou indirectement la filière, ses laboratoires, ses entreprises et ses projets. Les formes d'actions possibles, qui relèvent du développement économique, ne sont pas spécifiques à la robotique : le choix a donc été fait de ne pas développer ce point ici. Mais, dans le contexte du Grand Lyon, il faut mentionner les liens possibles avec deux axes majeurs de la stratégie de l'(Agglomération :

- ✓ la santé, pour les applications médicales et de bien-être,
- ✓ les industries du numérique, par exemple sur de sujets comme l'appréhension de l'espace, les interfaces homme x machine et les processus d'apprentissage.

[2] Un exo-squelette est une forme particulière de robot qui, plaqué aux membres de son utilisateur, va lui permettre de retrouver ou d'augmenter des capacités physiques défaillantes (cf. photo de gauche).

6 | Avec qui enrichir la vision sur la robolution ?

6.1 Les industriels de l'équipement domestique

Les fabricants d'appareils électroménagers

Dans leur combat pour la « réduction des corvées domestiques », les départements Innovation et prospective de groupes comme Philips, Seb-Calor-Tefal, Electrolux, Dyson ont sans doute examiné l'hypothèse « robot ». A ce jour, seuls les robots-aspirateurs (qui se ressemblent tous beaucoup) ont vu le jour. Mais la robotisation, même réduite au champ de machines monofonctionnelles, n'a donné lieu à aucune autre réalisation, ou même à aucun projet sur lequel ces groupes communiquent.

L'innovation en électroménager semble se concentrer dans des perfectionnements de procédé, d'interface mais sans remise en cause forte de la répartition des tâches entre l'homme et la machine, ni même de la structure générale des appareils. Pourquoi ?

Pour des raisons de proximité évidente, on ne peut que recommander d'interroger d'abord les responsables en charge de l'innovation du groupe SEB ; mais les autres grands groupes seraient bien sûr intéressants. On peut faire une place particulière au groupe Samsung qui a la réputation de faire des produits assez « geek » et qui a, par sa culture asiatique, peut-être plus d'affinité pour des solutions techniques complexes.

Les spécialistes de la domotique

La domotique est intéressante ici à deux titres :

- D'une part, les équipements domotiques sont, comme on l'a vu précédemment, des concurrents sur le fond des robots « autonomes ».
- D'autre part, la domotique fait partie de ces sujets qui, annoncés comme une révolution technologue imminente depuis 20 ans, ne se diffusent que lentement dans le monde réel.

Sur le 1° point, il semble instructif de demander aux spécialistes de la domotique comment ils se positionnent par rapport à ce thème de la robolution :

- ✓ Voient-ils effectivement le robot autonome, polyvalent comme un concurrent de leurs produits usuels (ouvre-portes, programmateur, systèmes de surveillance…) ?
- ✓ Ou bien, voient-ils la domotique et la robotique, comme cousines rattachées à la même famille de l'automatisation domestique, avec une assimilation possible d'une maison « domotisée » à un robot de forme particulière ?

Le 2° point (parallèle avec la montée en régime de la domotique) relève plus de la perspective dans le temps, du décalage qu'il peut y avoir entre annonce initiale et éclosion sur le marché. En effet, annoncée dès 1990 comme une nouvelle ère de la relation entre l'habitant et sa maison, fondée sur une interaction facile entre les équipements, les habitants et les facteurs environnementaux (température, vent…), la domotique n'a pas, dans les fait, encore réussi son pari fédérateur, par exemple dans l'unification et la standardisation des systèmes de commande. Ce n'est pas ici un point de vue critique, mais plutôt la base d'une réflexion sur le temps qui peut séparer la vision, et la réalisation de cette vision.

Sur ces deux aspects, une société comme SOMFY semble incontournable dans les rencontres à mener : elle a un technocentre à Cluses (donc pas très loin de Lyon) et c'est une société défricheuse qui a cru à l'automatisation domestique et milite pour le développement de la domotique.

6.2 Les constructeurs de robots industriels

La meilleure façon de connaître le futur de la voiture n'est peut-être pas d'aller interroger les constructeurs de poids-lourds ! Cela étant, les constructeurs de robots industriels semblent incontournables pour plusieurs raisons :

- Ces constructeurs sont aussi aux prises avec des problématiques telles que simplification des programmations, gestion de la cohabitation « homme x machine », fiabilité.
- La robotique domestique est un des axes de développement de leur activité.
- Des robots industriels ont déjà pénétré la sphère « civile ». On peut citer le cas du « Robocoster » de Kuka où un robot est transformé en manège à sensation.
- Enfin, les fabricants de robot sont une mine d'idées sur les utilisations des robots, du fait des applications pour lesquelles ils ont été consultés sans nécessairement voir le jour, très souvent pour des raisons de coût.

Dans ce domaine, la recommandation serait de prendre contact avec STAUBLI, qui est basé à Faverges près d'Annecy et qui a une équipe de développement sur place. Un autre constructeur incontournable est l'allemand Kuka mais, sauf erreur, il n'existe en France qu'une filiale commerciale.

6.3 Les porteurs d'expérience sur les robots hospitaliers

Les robots hospitaliers apparaissent comme formant un champ d'étude assez complet, tant dans les situations rencontrées que dans les techniques mises en œuvre :

- Robots antropomorphes pour l'accueil du public,
- Robots pour les soins courants aux malades, ou leur réconfort,
- Robots pour la réalisation d'actes chirurgicaux ou de traitement,
- Robots (ou plutôt chariots guidés) pour délivrer les médicaments ou les repas,
- Robots de type « exo-squelettes » pour remplacer ou soutenir des membres défaillants ou manquants.

Dans ce domaine, on trouvera sur Internet pléthore de références et d'articles, marqués assez souvent par l'absence d'indications permettant d'établir s'il s'agit d'un projet porté par un organisme de recherche et/ou un industriel, ou bien d'un produit de série. Une fois encore, la recommandation est d'être pragmatique en se tournant d'abord vers des sources lyonnaises ou régionales.

On peut citer :

- ✓ INSERM de Bron, équipe de Peter Ford Dominey sur l'intégration d'un robot anthropomorphe pour interagir avec de jeunes malades

- ✓ Robot opératoire Da Vinci à Lyon-Sud (Centre de chirurgie robotique)
- ✓ Département de génie industriel des soins hospitaliers de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, associée au projet européen IWARD sur les robots de surveillance et de support logistique.

6.4 Les laboratoires de recherche sur l'auto-apprentissage

L'autonomie et la polyvalence des robots, mais aussi la maîtrise de leurs coûts associés en termes de programmation spécifique, passe par le développement de leur capacité d'auto-apprentissage, c'est-à-dire de leur intelligence. Dans ce domaine, la recommandation est d'entrer en contact avec l'INRIA, et plus précisément deux équipes :

- ✓ Equipe TAO de Marc Schoenauer, spécialisée dans les modes d'apprentissage,
- ✓ Equipe de l'INRIA Bordeaux de Pierre-Yves Oudeyer, qui est un ancien des Sony Labs et peut être considéré comme un des spécialistes français du sujet.

Nota : en gravitant autour de ces deux noms sur Internet, on pourra collecter beaucoup d'informations sur ce sujet-clé.

6.5 Les spécialistes de la prospective

On peut suggérer deux axes prospectifs à examiner, celui relatif à la consommation, et celui relatif aux technologies.

Sur le premier point, pour documenter un peu plus l'obstacle que pourrait constituer le coût d'acquisition d'un robot domestique (cf. point 4.2 de ce document), on pourra se tourner vers des études prospectives de comportement des ménages. Nous citons ici, d'après un récent article des Echos, celle du cabinet McKinsey « Meeting the 2030 French consumers ; How European wide trends will shape the consumer landscape », qui situe 4080 € en 2030 la dépense annuelle des ménages pour les produits et services hi-tech (équipement de communication et électronique), contre 130 € en 1980 ! Dans cette perspective, la cible d'un coût d'accès à 2000 € ne paraît pas absurde.

Mais, il faut aussi s'intéresser à l'axe technologique. Or, l'étude « Technologies-clés 2010 » (publiée tous les 5 ans par le Ministère de l'Economie et des Finances) ne fait aucune place aux termes « robot, ou robotique » à l'exception d'une mention dans la fiche consacrée aux transports intelligents. Cette place était déjà faible dans l'édition 2005 où la robotique n'était pas un champ-clé en tant que tel, et n'était pas non plus fréquemment cité comme domaine d'applications.

Notre suggestion est de prendre appui sur cette étude « Technologies-clés 2010 » (librement téléchargeable sur Internet) pour comprendre les motifs de cette quasi-absence. On trouvera notamment en fin de document la liste des différents participants à cette étude, qui incluent des industriels, des chercheurs, des représentants de la revue « Futuribles », et qui peuvent être des contacts potentiels.

Note FM : cette étude est à nos yeux un bon outil de travail, et la lecture rétrospective de l'édition 2005 montre sa pertinence dans plusieurs domaines. L'absence de la robotique dans l'étude nous interpelle donc, mais ne peut être conclusive ; on peut noter en effet qu'aucun des participants n'apparaît en lien avec les laboratoires et industriels du monde de la robotique.

6.6 Autres sources

Dans le cadre de l'exposition « Science-fiction, aventures croisées » qui aura lieu à la Villette fin 2010, une journée spéciale « Des robots et des hommes » aura lieu à Paris le 6 novembre 2010, avec P.Y Oudeyer. Cela sera sûrement un bon lieu d'échange.

Note FM : Je me permets ici de souligner qu'une expérience personnelle, intime du robot peut apporter un plus. Cette expérience peut s'acquérir en se faisant prêter un robot-aspirateur, ou en jouant avec un Lego « Mindstorms ». Ill est instructif de vivre à petite échelle le quotidien des spécialistes des robots :

- ✓ entre l'émerveillement que « çà marche », qu'on arrive sans trop de peine à un résultat,
- ✓ et la frustration d'une interaction très vite limitée, ainsi que l'irritation devant la persistance de quelques servitudes (devoir nettoyer le robot aspirateur par exemple).

7 | Quelques mots personnels

Ce n'est pas forcément déterminant…mais il est parfois intéressant de savoir quels sont les rapports plus personnels que l'auteur entretient avec le sujet traité. Voici donc quelques mots pour expliquer comment j'ai croisé la route des robots au cours de ma carrière.

Tout d'abord, je suis ingénieur mécanicien de formation et j'ai débuté ma carrière dans la construction de machines spéciales : en usine, dans le monde agricole et à nouveau en usine.

- En 1983, premier contact avec un projet de chariots filoguidés : ces chariots se déplacent seuls dans l'usine en se repérant avec des boucles magnétiques noyées dans le sol. Projet fascinant avec un côté magique (à l'époque…)…mais qui ne sera pas concrétisé du fait des coûts d'infrastructure (implantation des boucles). D'ailleurs, la technique a rapidement évolué vers des guidages par lecture optique de bandes peintes au sol, beaucoup plus faciles à réaliser et à déplacer.

En 1985, un des axes de recherche de mon employeur, constructeur de machines agricoles, était les nouvelles techniques de cueillette. D'où une série de rendez-vous avec le Cemagref (centre de recherche des techniques agricoles) qui travaillait sur les robots de cueillette, avec déjà en ligne de mire la mise en œuvre d'outils de vision, de préhenseurs doux, et de calculateurs en temps réel puissants. Faisons court : sujet de laboratoire en 1985, le robot de cueillette l'est encore aujourd'hui. Environnement mouvant (feuilles bougeant dans le vent…), hostile (vent, pluie, poussière…), problématique de modélisation, en font un thème de travail extrêmement difficile. Mais, il est très stimulant et très riche : quand on saura cueillir une pomme sans la confondre avec les feuilles environnantes, sans casser de branches, sans l'abimer en la détachant, on aura fait un grand pas vers beaucoup d'autres applications.

- En 1986, chargé de la modernisation et de l'automatisation d'un grand site de conditionnement de parfums français, je m'intéresse à toutes les formes de mécanisation :
  - Machines standard dédiées à une opération (remplisseuse, boucheuse, étiqueteuse, encartonneuse….)
  - Machine spéciale pour une application particulière (ex : pose de capots décoratifs…)
  - Manipulateurs simples (combinaison de mouvements linéaires assurés par des vérins…utilisables par exemple pour poser des flacons dans des coffrets).
  - Et enfin robots…

Placé dans un contexte favorable aux investissements, aidé par une logique de communication dans laquelle une usine de marques prestigieuses se devait d'avoir son robot, j'ai piloté un projet de mise en place d'un robot pour décharger des savons et alimenter des machines d'emballage. Projet accepté sur la base d'un robot ASEA 5 axes (je n'ai malheureusement pas de document d'époque, mais voici une photo d'un modèle assez proche), et j'ai donc pu goûter aux joies données par une très belle mécanique, très fiable (le robot a été utilisé pendant 18 ans), très probante en termes de réduction de la pénibilité ; mais j'ai tâté aussi d'une programmation fastidieuse, de la difficulté de mise au point des préhenseurs (les « mains » du robot) et des contraintes de sécurité nouvelles posées par ces nouvelles machines, à l'époque très mal connues par l'Inspection du Travail.

- Passé au monde du conseil en 1988, les robots ont quitté mon périmètre de travail direct, mais j'ai continué à en croiser, dans les visites de sites client, ou même dans des thèmes de mission :
  - Robots de peinture et de soudage dans l'industrie automobile,
  - Robots de palettisation dans l'agro-alimentaire,
  - Robots préparateurs de commande dans la distribution,
  - Robots de montage de châssis de grands ordinateurs,
  - Robots manipulateurs de « wafers » (ce sont les galettes de silicium à partir desquels on réalise les circuits intégrés – ces wafers sont à manipuler dans des atmosphères absolument propres, avec des interventions humaines très exceptionnelles). Le recours au robot est alors quasi incontournable et Staubli (entreprise basée à Faverges 74) en est un des principaux fournisseurs.

  - Robots videurs de bacs de collecte (la Lyonnaise des Eaux a mené des expérimentations dans les années 90, et je m'y étais intéressé dans le cadre du Plan de Propreté du Grand Lyon).

  J'ai aussi continué de croiser leurs cousins :
  - Manipulateurs de déchargement de pièces en sortie de presse à injecter,
  - Télémanipulateurs dans l'industrie nucléaire….

Avec les années, quelques observations personnelles :

- Toujours très présents dans les activités en milieu hostile (peinture, soudage, nucléaire) ou protégé (salle blanche), les robots me semblent souvent avoir cédé le pas à des machines spécialisées moins chères dans les tâches en milieu normal.

- Mon sentiment est aussi que le robot isolé, curiosité dans l'usine (« LE » robot, auquel on donnait un petit nom affectueux) a fait place à des colonies qui retiennent moins l'attention : quand une usine fait le choix de la robotique, c'est souvent pour aller vers des parcs de plusieurs robots (exemple typique : la peinture dans l'automobile).

- Enfin, je note un décalage marqué entre :
  - D'une part, une réalité industrielle dans laquelle les robots ont une forme assez stable et mature depuis une vingtaine d'années,
  - Et, d'autre part, le futur décrit comme toujours très proche dans les articles de la presse technique spécialisée, qui communiquent essentiellement sur les robots anthropomorphes de type HRP2, ASIMO mais qui sont en fait absents de la réalité industrielle.

Mais, au final, mon regard d'ingénieur reste toujours émerveillé de voir ces « machines » faire quelque chose d'imprévu (changer d'outil quand le premier est usé, essuyer une buse de peinture pour éviter les gouttes…).

GRAND LYON

DPDP

Robolution et Grand Lyon, Structuration du questionnement

Mémoire technique 295 NOV
NOVA 7

ANNEXE

Où vont les robots ?

Texte de Pierre-Yves Oudeyer

112 Avenue Charles de Gaulle
69160 TASSIN La Demi Lune
☏ 04 37 41 50 30
🖷 04 37 41 50 28
SARL au capital de 20 000 Euros
RCS LYON B 411 246 028
www.quamconseil.com

Mouvement Universel de la Responsabilité Scientifique

Science & Devenir de l'Homme

Vous pouvez télécharger cette lettre sur le site du MURS, à cette adresse: www.murs-france.asso.fr

OÙ VONT LES ROBOTS ?

par Pierre-Yves OUDEYER
Sony Computer Sciences Laboratory - Paris

Les robots sont partout : dans les usines et dans les champs, au fond des mers et dans l'espace, dans les jardins et les salons. Ils ont une importance économique grandissante, et d'aucuns prédisent qu'ils seront au XXIe siècle ce que la voiture fut au XXe siècle. En outre, ils n'ont pas seulement pénétré le monde industriel, ils ont aussi pénétré notre culture et certains d'entre eux participent au renouvellement de la vision que nous avons de nous-même.

Dans l'imaginaire collectif, le robot est une machine aux formes anthropoïdes dont le comportement présente des similitudes avec celui des êtres humains. Cela fait longtemps que l'idée d'une telle machine existe, comme en témoigne le *Pneumatica* de Héron d'Alexandrie (-125 av. J.-C.), les poupées mécaniques de l'ère Edo au Japon (XVIIe siècle), ou les automates de Jacques de Vaucanson et de Pierre et Henri-Louis Jaquet-Droz (XVIIIe siècle).

Pourtant, le terme robot n'est apparu qu'en 1920 sous la plume du romancier tchèque Karel Kapek, qui s'inspira du terme « Robota » qui signifie, dans sa langue : travail, corvée. Dans son roman, *RUR*, les hommes construisent des robots pour les remplacer dans les travaux manuels difficiles, mais leurs créatures se rebellent contre les mauvais traitements et les détruisent. Cette vision pessimiste du robot reflète sa position négative dans l'imaginaire occidental au XXe siècle : il polarise les peurs engendrées par les progrès scientifiques. Cependant, le robot est considéré d'une tout autre manière dans la culture orientale : c'est un ami, il a des sentiments et il porte l'espoir de délivrer les peuples de leurs problèmes.

*Les robots de compagnie, comme l'*AIBO*, sont à l'avant garde d'un marché en plein essor. AIBO : Artificial Intelligence roBOt et également « ami » en japonais (© Sony).*

Qu'est-ce qu'un robot ?

D'un point de vue technique, un robot est une machine dotée de capteurs qui lui permettent de percevoir son environnement, de moteurs l'autorisant à bouger et à agir sur cet environnement, et d'un système électronique ou informatique qui contrôle, au moins en partie, ce qu'effectue le robot en fonction de ce qu'il perçoit.

En pratique, cette définition recouvre une très vaste diversité de machines. Par exemple, les bras articulés et programmables dans les usines automobiles, les aspirateurs qui font le ménage tout seul, les robots ludiques et électroniques des magasins de jouets, ou les robots bio-mimétiques à la forme de singes ou de poissons que l'on rencontre parfois dans les laboratoires universitaires de recherche.

Cette diversité n'est pas seulement une diversité de formes, c'est aussi une diversité de fond. Les mécanismes de fonctionnement interne diffèrent beaucoup d'un robot à l'autre et on peut les distinguer selon quatre axes :

l'autonomie : il existe des robots qui agissent sans besoin qu'un humain ne les guide et d'autres dont le comportement est, soit influencé par un humain soit, presque totalement contrôlé par un humain. Par exemple, dans une usine, les robots qui travaillent à la chaîne et répètent toujours le même geste le font souvent de manière autonome. En revanche, les robots utilisés dans les centrales nucléaires pour opérer dans les zones à forte radiation, sont typiquement téléguidés par un humain qui leur dit où aller et quoi faire ;

l'adaptabilité : certains robots adoptent un comportement différent selon ce qu'ils perçoivent, c'est-à-dire qu'ils s'adaptent aux changements dans leur environnement, alors que d'autres se comportent toujours de la même manière. Par exemple, les robots soudeurs dans une usine font toujours le même mouvement et, si

par erreur, des pièces de métal de forme différente à l'habitude leur sont présentées, ils ne sauront pas les souder. Au contraire, les robots explorateurs sur la planète Mars adaptent en permanence leurs trajectoires aux obstacles imprévus qu'ils rencontrent sur leur route.

l'apprentissage : il y a des robots dont le comportement, même s'il est adaptatif, est figé au départ et une fois pour toute par le programmeur, alors que d'autres robots sont capables d'acquérir de nouveaux comportements et de nouvelles connaissances par leurs expériences. Ainsi, certains robots sont capables d'apprendre à marcher tout seuls en expérimentant eux-mêmes différentes stratégies.

la créativité : certains robots, enfin, sont capables d'inventer des solutions et des comportements non prédits par leur concepteur, et même de s'inventer des objectifs qui ne sont pas pré-programmés (mais cela ne veut pas dire qu'ils soient capables de tout inventer ou de tout faire, loin de là). C'est le cas par exemple des robots équipés de mécanismes dits de « curiosité » qui les poussent à s'intéresser aux choses nouvelles de leur point de vue, comme ceux construits par les chercheurs en robotique développementale.

Au delà des différences techniques entre robots, on trouve également des différences de finalité : il existe en effet une grande variété de raisons, et donc de fonctions, pour lesquelles les robots sont construits et utilisés. Etudions trois types de fonctions : *travailler et explorer, Jouer et accompagner, Aider à penser la vie et la complexité*.

Travailler et explorer

Parmi les robots qui sont en service dans le monde, la plupart sont industriels (350 000 robots de ce type au Japon en 2003, 233 000 en Europe et 104 000 aux Etats-Unis). Très tôt, les entreprises se sont intéressées à ces machines pour plusieurs raisons :

- D'abord, les robots peuvent être utilisés pour remplacer les travailleurs humains dans les tâches répétitives, pénibles et nécessitant de faibles compétences, comme les montages, la peinture ou les soudures de pièces ;
- En outre, ces machines sont typiquement capables de réaliser des travaux à la chaîne bien plus rapidement et efficacement que les humains. Le premier robot de ce type est apparu en 1961. Il s'appelait *Unimate* et était installé dans une usine automobile de General Motors. C'était un bras articulé destiné à manipuler et à déplacer de lourdes pièces de fonderie. Dans les années 1970, l'usage des robots dans l'industrie a pris son envol, en particulier sous l'impulsion des entreprises japonaises.

Aujourd'hui, les robots ont pénétré toutes les branches de l'industrie et ne sont plus restreints au seul secteur de l'automobile. Par exemple, dans l'agriculture et l'agro-alimentaire, les robots vont dans les champs cueillir fruits et légumes, certains coupent, pressent et mettent en bouteille ; d'autres trient et mettent en cartons ; d'autres encore groupent en palettes. Dans les aéroports, des flottes de robots s'occupent de transporter les bagages et de les charger dans les soutes. Parfois même, les robots industriels se retrouvent à des endroits inattendus, comme le petit *Robuglass*, qui lave les surfaces vitrées de la pyramide du Louvre.

Les robots ne sont pas seulement utiles dans l'industrie pour les tâches simples et répétitives, ils sont aussi utilisés pour travailler dans des environnements dangereux pour l'homme. L'industrie nucléaire est un exemple typique. Qu'ils soient autonomes ou partiellement téléguidés, les robots des centrales nucléaires peuvent déambuler dans les enceintes confinées et radioactives, ils peuvent manipuler les substances dangereuses et s'occuper de la maintenance des autres machines. Un autre exemple est l'industrie pétrolière : les robots sous-marins sont par exemple utilisés pour contrôler l'état de la coque des navires afin de détecter les risques d'accidents et d'alerter sur les risques de navires poubelles.

Les robots sont enfin cruciaux pour l'exploration des endroits où l'homme ne peut pas aller, au premier rang desquels on trouve l'espace et les planètes du Système solaire. C'est en 1966 que le premier robot mobile arrive sur la Lune, embarqué dans la sonde *Surveyor.* Suivront le robot soviétique *Lunokhod,* puis toute la série des robots *Mariner* (américains). En 1997, un robot atterrit sur la planète Mars : *Sojourner* est propulsé par l'énergie qu'il capte grâce à ses panneaux solaires ; il envoie à la Terre des milliers de clichés et provoque un engouement du grand public. *Sojourner* navigue en partie de manière autonome car, étant donné la distance avec la Terre, il est très difficile de le téléguider. En 2004, une nouvelle mission robotisée concentre l'attention du monde entier : *Spirit* et *Opportunity*, équipés de spectromètres et d'un bras qui leur permet de creuser sous la surface, font la preuve que des fleuves d'eau ont coulé sur Mars.

Dans les usines, les robots sont capables d'effectuer des tâches répétitives comme les soudures (photo du haut) ou la peinture sur les chaînes de montage des automobiles. (© Renault).

Jouer et accompagner

Si le XXe siècle a vu l'avènement des robots travailleurs et explorateurs, à l'aube du XXIe siècle, une autre grande famille de robots prend son essor : les robots domestiques. Après avoir pénétré les usines, le fond des mers et les planètes lointaines, ils arrivent maintenant dans nos maisons. Ils représentent le début d'une industrie que beaucoup prévoient comme équivalente en taille, dans les décennies à venir, à celle de l'automobile durant les cent dernières années. Une partie d'entre eux correspond à cette image cliché du robot qui nous remplacerait pour les tâches

Les robots ont un rôle de premier plan dans l'exploration spatiale : on voit ici le robot Spirit, *qui a permis de faire des mesures pour prouver que l'eau a coulé sur Mars. (© Nasa)*

ménagères : s'ils ne font pas encore la vaisselle, les robots-aspirateurs d'une part, et les robots-tondeuses d'autre part, ont maintenant un statut économique non négligeable. En effet, dans la période 2003-2005, il s'en est vendu environ 400 000. Le développement de ces robots est dû à une avancée technologique : ils sont capables de faire un plan des lieux et de se déplacer dans un environnement nouveau et inconnu en utilisant des capteurs miniaturisés et peu coûteux à produire. Cependant, la révolution annoncée par les analystes n'est pas celle des robots travailleurs au foyer mais celle des robots ludiques, des robots de compagnie. Le plus emblématique de ces robots est l'*AIBO* de Sony (p.1), quadrupède aux formes canines, dont la principale qualité, selon son concepteur Toshibata Doi, est « d'être inutile, un peu comme une œuvre d'art, de n'être là que pour notre plaisir, pour nous accompagner dans la vie quotidienne ». Produit de longues années de recherche en intelligence artificielle, et doté d'un corps aux moteurs et aux capteurs variés et perfectionnés, l'*AIBO* est un robot autonome dont le comportement se développe progressivement en fonction des interactions sociales qu'il a avec les humains. Il peut apprendre des numéros acrobatiques ou encore reconnaître de nouveaux objets ; il est doté d'un système de « motivations internes », qui le poussent par exemple à développer des stratégies pour trouver sa station de recharge quand ses batteries sont presque vides, ou d'attirer l'attention des humains quand il est en manque de « relations sociales ».

La première version de l'*AIBO* a été mise en vente en 1999 et, depuis, il s'en est vendu plus de 100 000. Ce succès se retrouve dans toute une gamme de robots plus ou moins complexes, comme le *Furby*, écoulés à plusieurs dizaines de millions d'exemplaires dans les dix dernières années. La plupart des grandes entreprises mondiales ont maintenant leurs propres projets de robots de compagnie : Honda, Mitsubishi, Phillips, NEC, Fujitsu, Microsoft, Electronic Arts, etc.

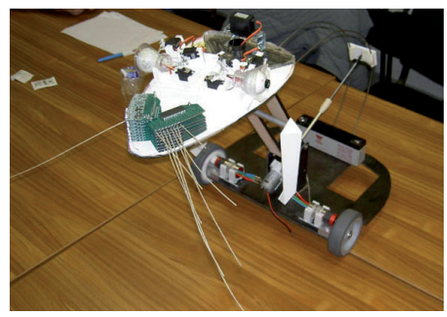
Penser la vie, penser la complexité

Les robots sont aussi utilisés par les chercheurs comme outils à penser. En particulier, ils sont de plus en plus présents dans les laboratoires universitaires qui essaient de comprendre comment les êtres vivants s'adaptent et se comportent si efficacement dans leur environnement naturel. En effet, ce comportement est le résultat de la dynamique complexe des interactions entre un cerveau, un corps physique et un environnement. Et cette dynamique se redéfinit en permanence car le cerveau est modifié à chaque nouvelle interaction.

Or, nous disposons de très peu d'outils scientifiques pour comprendre les dynamiques des systèmes complexes, dans lesquelles de nombreux composants s'influencent les uns les autres. Les systèmes complexes ne se retrouvent d'ailleurs pas seulement dans le fonctionnement des êtres vivants, ils sont partout dans la nature : météorologie, systèmes planétaires, formation des cristaux, apparition des dunes dans les déserts…

De même que les ordinateurs sont au centre de l'étude et de la simulation des systèmes météorologiques, les robots sont ainsi devenus essentiels pour développer notre compréhension des phénomènes cognitifs. En effet, ils permettent d'implémenter des modèles qui prennent en compte véritablement la complexité de l'interaction cerveau-corps-environnement, et il est possible de les mettre à profit pour faire des expérimentations à volonté, comme par exemple « éteindre » une partie de leur cerveau artificiel pour voir ce que cela modifie en terme de comportement. Ainsi, au laboratoire de robotique de l'université de Nagoya au Japon, le robot *Brachiator III*, dont la morphologie se calque sur celle du singe, sert à étudier les mécanismes de contrôle moteur et de perception visuelle qui permettent à ces animaux de se balancer de branches en branches.

A l'AnimatLab, laboratoire de l'université Paris VI, un robot nommé *Psikharpax* a été développé en collaboration avec le laboratoire de physiologie et de perception de l'action du Collège de France pour étudier le fonctionnement cognitif du rat. Cette plate-forme a permis d'implémenter et de tester des théories concernant le fonctionnement de son cerveau : en particulier, ces équipes ont pu expliciter grâce au robot comment certaines structures cérébrales peuvent permettre à un organisme de se repérer dans son environnement.



Le robot Psikharpax
(© CNRS Phototèque/J-A. Meyer)

Autre exemple : au Sony Computer Science Laboratory de Paris, les chercheurs ont construit des populations de robots pour étudier les mécanismes qui permettent l'émergence de conventions linguistiques comme des lexiques ou des systèmes de voyelles et de consonnes. Ces expérimentations ont permis de comprendre par exemple comment on pouvait avoir dans les langues du monde à la fois une grande diversité de voyelles, et en même temps la présence de régularités statistiques comme la grande fréquence des voyelles (a), (e) ou (u).

Conclusion

Par leur présence matérielle et conceptuelle, les robots participent au renouvellement de l'économie et à l'évolution de la culture. Cependant, il convient de réaliser que l'on est bien loin des visions pessimistes de l'imaginaire occidental ou des visions positives de l'imaginaire oriental. Où vont les robots ? Pour ceux qui travaillent, là où l'homme leur dit d'aller. Quant aux autres, mieux vaut pour eux ne pas sortir du salon, sous peine de tomber dans les escaliers ou d'être renversés par le chien de la maison.

À réfléchir...

Les robots : source de chômage ou source d'emploi ?

Les robots industriels sont très mal accueillis par les populations de travailleurs pour une raison évidente : ils sont là pour remplacer une partie d'entre eux et sont donc considérés comme un facteur d'accroissement du chômage. Les robots industriels posent donc un véritable problème social et humain : les ouvriers à faible qualification qu'ils remplacent dans les usines ont beaucoup de mal à retrouver un emploi. Cependant, la problématique n'est pas si simple : en effet, il faut beaucoup d'ingénieurs qualifiés pour concevoir, maintenir, installer et renouveler les parcs robotiques. L'industrie robotique est donc aussi créatrice d'emplois qualifiés, et de nombreuses études montrent qu'à moyen terme, et dans la plupart des situations dans lesquelles les robots sont arrivés dans les usines, il y a eu plus d'emplois créés que d'emplois supprimés. Mais comment alors résoudre ce dilemme : préserver les emplois peu qualifiés existants ou multiplier les emplois à venir ?

Les robots nous font-ils repenser ce qu'est « le propre de l'homme » ?

En occident, l'homme a toujours essayé de se définir par ce qu'il avait de « plus » ou de « différent » avec les autres animaux, le reste de la nature, et surtout les machines. Cependant, dans les dernières décennies, au même titre que les avancées en éthologie, la construction de robots dotés de capacités qu'on croyait uniques à l'homme, comme l'apprentissage complexe, la méta-connaissance, l'imagination, l'anticipation, voire même la manifestation d'« émotions », a fait reculer cette frontière. On peut interpréter cela de plusieurs manières.

Tout d'abord, on peut considérer que la construction de ces robots permet d'affiner la définition du « propre de l'homme » en montrant précisément ce que l'homme n'est pas. Une autre manière d'interpréter le recul de cette frontière est de le concevoir comme un indice du fait que l'homme est en fait une machine, certes ultra-perfectionnée, mais une machine quand même. Cependant, les robots ne sont pas de vulgaires machines (tel un lave-linge) : elles sont d'un ordre de complexité qu'on n'imaginait pas atteignables il y a à peine un siècle. On peut donc penser que les avancées en robotique participent à un processus de redéfinition de ce qu'est l'homme, mais aussi qu'elles participent à redéfinir ce que peut être une machine et son rapport à l'homme.

En savoir plus...

Bibliographie

Pour un panorama de la robotique industrielle :
Robots, genèse d'un peuple artificiel, Daniel Ichbiah, Minerva, 2005.

Pour un panorama des robots comme outils de recherche :
Les Robots, Une histoire de la robotique, Chantal Legay, éditions IMHO, 2005.

Pour un panorama de la robotique de compagnie et une réflexion sur ses rapports à la société :
Les machines apprivoisées, Frédéric Kaplan, Collection Automates Intelligents, Vuibert, 2005.

Pour un aperçu des recherches en sciences de la cognition qui utilisent des robots :
Approche dynamique de la cognition artificielle, sous la direction de Agnès Guillot et Emmanuel Daucé, Hermès, 2003.

Webographie

Actualités sur la robotique :
http://www.automates-intelligents.com

Pour construire son robot :
http://www.robo-maker.com/

L'expérience des têtes parlantes :
http://talking-heads.csl.sony.fr/

Pour plus de liens vers le monde de la robotique :
http://www.lesrobots.org/lelivre/livre_liens.htm#liens

Remerciements :
Jean -Arcady Meyer, directeur de l'animatLab à Paris VI - Renault - Sony - CNRS photothèque

Contact

adresse
Hôpital Saint-Louis
Quadrilatère Historique
1, Ae Claude Vellefaux
75475 Paris cedex 10

contact
Tél. : 01 47 03 38 21
Fax : 01 47 03 38 22
site internet
www.murs-france.asso.fr

Président d'honneur : Jean DAUSSET
Vice-Président : Laurent DEGOS
Comité d'édition : J.-P. ALIX, D. BLAIZOT, P. CASEAU, M. DEMAZURE, N. FAROUKI, A. KAHN, E. KLEIN, S.MOUCHET
Maquette : J-P.A

ISSN 1021 7711

Cette Lettre est éditée avec le soutien du ministère délégué à la Recherche.