HAL
open science

Quelle place pour les robots humanoïdes dans nos maisons ? Une perspective épistémologique et sociale.

Bertrand Tondu

To cite this version:

Bertrand Tondu. Quelle place pour les robots humanoïdes dans nos maisons ? Une perspective épistémologique et sociale.. 2017. hal-01481029

HAL Id: hal-01481029

https://hal.science/hal-01481029

Preprint submitted on 2 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quelle place pour les robots humanoïdes dans nos maisons ?
Une perspective épistémologique et sociale

Bertrand Tondu

Institut National de Sciences Appliquées, Universitéde Toulouse, 31077 Toulouse et
LAAS/CNRS, 7 avenue du colonel Roche, 31400 Toulouse
bertrand.tondu@insa-toulouse.fr

Introduction

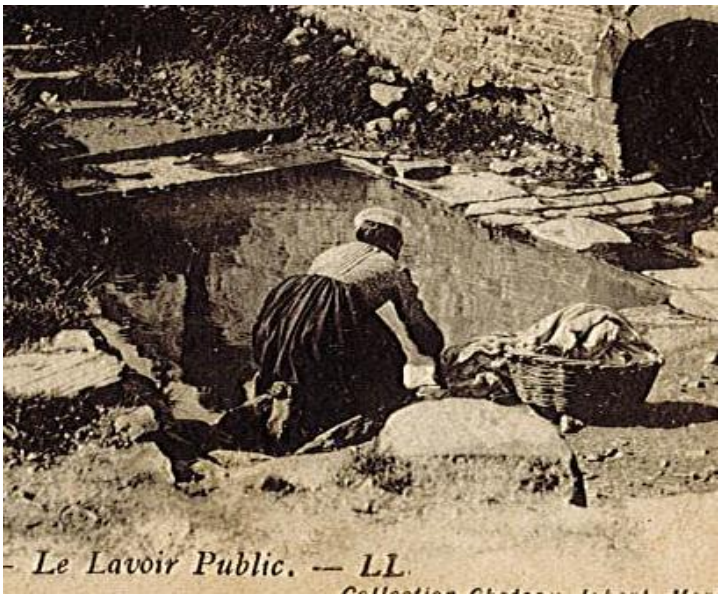
La robotique industrielle s'est implantée, peut-on le penser, de manière définitive dans l'industrie automobile. Forts de cette réussite, certains prédisent l'introduction prochaine des robots humanoïdes dans nos maisons où, à l'image du robot industriel se substituant à l'ouvrier, ils seraient capables de réaliser un certain nombre de tâches domestiques à notre place ou à la place de notre personnel de service. Comment penser cette transformation technique alors, qu'à notre connaissance, aucune expérience d'intégration d'un robot humanoïde dans la maison n'a pu encore être menée sur une durée assez longue pour prouver sa pertinence ? Nous proposons d'aborder cette question dans une perspective plus épistémologique et sociale que purement technique avec, pour objectif, de mieux comprendre les conditions de cette intégration dans l'univers déjà technique de nos foyers. Dans une première partie, nous rappellerons comment certaines tâches domestiques ont pu être remplacées par la machine rotative puis nous chercherons à montrer comment le bras-robot a pu constituer un dépassement de ce type de mécanisation. Nous introduirons alors, sur le modèle de la distinction entre intelligence artificielle faible et intelligence artificielle forte une distinction originale entre ce qui pourrait être une robotique faible et une robotique forte. Nous aborderons ensuite ce qui, selon nous, constitue le vrai défi pour la robotique domestique du futur : donner des mains au robot humanoïde. Et, dans une dernière partie, nous tenterons d'imaginer les conditions d'intégration du robot humanoïde à la vie domestique.

1. Meunières et lavandières : du mouvement humain alternatif à la machine rotative

Préparer sa nourriture et laver son linge : deux tâches domestiques fondamentales qui sont aujourd'hui largement automatisées par l'achat, d'une part, de produits alimentaires finis et le recours, d'autre part, à l'électroménager. Dans la haute antiquité – comme d'ailleurs à la fin de la préhistoire – la préparation de la nourriture était d'abord un problème de meunerie : moudre le grain pour en tirer la farine nécessaire à la fabrication du pain. Or broyer du grain comme le blé nécessite une dépense d'énergie importante du fait notamment, comme le soulignent les physiciens, du très faible rendement énergétique du processus de broyage [1]. Avant l'apparition du moulin rotatif que l'on peut définir comme la rotation d'une meule par rapport à une autre, le broyage du grain se fait par frottement d'une pierre mobile contre une

autre, fixe et dont la forme s'apparente souvent à une selle de cheval (d'où le qualificatif de «saddle-kern » pour désigner ces pierres dans la littérature anglo-saxonne relative à l'histoire de la meunerie [2]). Ce broyage se faisait les deux genoux au sol tandis que les mains poussaient la pierre de broyage sous laquelle étaient placés les grains, comme l'illustre les relativement nombreuses statues de meuniers/meunières conservées dans les musées d'antiquités égyptienne (voir Fig. 1.a). Bennett et Elton, dans leur traité classique sur la mouture des grains, rapportent le témoignage suivant d'un voyageur au Soudan dans les années 1840: 'This grindingisavery trouble-someprocess, and the arms of the poorcreaturescondemned to itacquire an unusualform. A slave can only make meal sufficient for one day's consumption for eight persons, if she works from morning to evening" ([2], page 84). Toute la technologie des moulins a consisté, dès l'antiquité, à obtenir un meilleur rendement horaire d'autant plus essentiel que cuire du pain est un besoin quotidien et, comme le souligne bien M.-C. Amouretti, cette quête de la performance s'est faite par un passage du mouvement alternatif humain au mouvement de rotation [3] et, il faudrait ajouter, par l'abandon du recours à la puissance animale pour la puissance naturelle de l'eau ou du vent avant d'aboutir à la puissance « invisible » que constitue l'énergie électrique. Un raisonnement similaire peut être fait pour le lavage du linge. Il est étonnant de constater les profondes similitudes gestuelles entre le geste de va-et-vient du meunier/meunière de l'antiquité et celui de certaines lavandières jusqu'au début du XXème siècle, comme l'illustre la carte postale de la Fig. 1.b. Et si moins d'efforts ont été faits avant d'aboutir, dans les années 50, à la machine à laver électrique à tambour rotatif c'est tout simplement, peut-être, que frotter le linge même alourdi par le poids de l'eau nécessite – bien que la comparaison en termes de physique soit discutable – moins d'énergie que broyer du grain et, qu'en outre, cette tâche n'est pas quotidienne.

(a)



(b)

Figure 1. Similitude gestuelle entre la meunière de l'antiquité égyptienne broyant du grain contre une « saddle-kern » (photographie prise par l'auteur au musée archéologique de Florence) (a) et une lavandière au lavoir public de Locquenole au début du XXème siècle (carte postale personnelle).

Toutes les machines rotatives de nos appartements ou nos maisonspeuvent être considérées comme le résultat d'un anti-anthropomorphisme machinal : le geste humain y est remplacé par le mouvement rotatif d'un outil dont le cycle a pour objet de donner un résultat similaire à la tâche humaine à laquelle il se substitue. Une conséquence de ce principe est la spécialisation de chaque machine domestique : on ne peut pas laver son linge dans un lave-vaisselle et placer de la vaisselle dans un lave-linge conduirait très certainement à l'abimer. Le rôle de l'usager de la machine se limite alors à la remplir, la mettre en marche, vérifier son arrêt, la vider et lui fournir les produits nécessaires à son fonctionnement. Ce sont clairement des machines automatiques puisque, dès l'instant où elles sont mises en marche, elles réalisent leur programme de manière autonome mais, curieusement, on ne les qualifie pas de robots bien qu'elles remplacent l'homme dans une tâche donnée. Nous appellerons, par la suite, «machines domestiques autonomes » cette classe de machines qui réalisent une tâche domestique à la place de l'homme essentiellement grâce à un système d'entrainement rotatif. Les tous récents robots-aspirateurs, que nous analyserons plus loin, font également partie, selon nous, de cette grande classe de machines rotatives présentes dans notre univers quotidien. Pour mieux comprendre comment la robotique humanoïde peut trouver sa place dans nos maisons, nous pensons devoir garder à l'esprit cette classe de machines mais également préciser le lien entre robotique humanoïde et robotique industrielle.

2. Du mouvement humain alternatif au mouvement alternatif du robot industriel

Dans son traité de cinématique qui fonde la science des machines telle qu'on l'entend aujourd'hui, Reuleaux définit la machine comme 'un assemblage de corps résistants, disposés de manière à obliger les forces mécaniques naturelles à agir en donnant lieu à des mouvements déterminés' ([4], page 523). Et, selon Reuleaux, cet assemblage machinal ne peut fonctionner qu'à la condition qu'il forme ce que l'on appelle une chaîne cinématique fermée, comme il l'écrit explicitement un peu plus loin en parlant des machines mues par la force animale : 'les machines mues par l'homme ou les animaux peuvent également être considérées comme des machines complètes, du moment où elles satisfont à la condition de former, par elles-mêmes, des chaînes cinématiques fermées (idem, page 529). La meunière faisant aller et venir sa pierre mobile contre la « saddle-kern », comme la lavandière frottant son linge contre la pierre du lavoir, sont toutes deux des machines au sens de Reuleaux, dont la chaîne cinématique a pour origine le sol, se développe ensuite selon la structure articulée du buste, des bras et des mains tenant fermement leur outil et se referme sur le support de la tâche solidaire du sol. Et, d'une certaine manière, l'analyse de Reuleaux nous fait mieux comprendre l'automatisation de ces deux tâches fondamentales dans l'histoire humaine par des machines qui ne garde de leur spécificité que leur caractère de chaîne cinématique fermée. On a cherché à représenter, par exemple, Fig. 2.a, de manière très grossière la chaîne cinématique d'une machine à laver en distinguant trois éléments, le moteur rotatif, la courroie de transmission et le tambour : la chaîne est alors fermée par les supports des deux axes de rotation liés à la base de la machine.

Par comparaison avec l'essor des machines automatiques non-anthropomorphes, on conçoit mieux la révolution technique qu'a constituée l'introduction des premiers télémanipulateurs développés, notamment, à la fin des années 40 par R.Goertz au National

Laboratory d'Argonne pour mettre l'homme à distance du danger que représente le maniement de substances nucléaires. Le mouvement alternatif humain de saisie-dépose est réalisé par le bras-manipulateur esclave à l'identique du geste téléopéré depuis le bras-maître guidé par son opérateur humain. Grâce à leurs chaînes cinématiques ouvertes, les deux bras permettent à la main de l'opérateur humain manipulant le bras-maître et à la pince du bras-esclave de se déplacer librement dans l'espace physique. Le robot industriel et sa chaîne cinématique ouverte illustrée Fig. 2.b sont directement issus de ces travaux sur la téléopération et c'est alors à l'ordinateur, ou à tout système d'apprentissage adapté, de programmer la tâche de l'organe terminal du bras-robot dans son espace de travail. Le robot industriel joue parfois encore un rôle dans la préservation du danger pour l'opérateur humain comme lors de la réalisation robotisée de la peinture au pistolet mais il défend essentiellement sa présence à l'usine en se substituant à l'ouvrier dont la tâche n'est pas assimilable au mouvement de rotation d'une machine en chaîne cinématique fermée et qu'il dépasse en rendement horaire, précision et absence de fatigue.

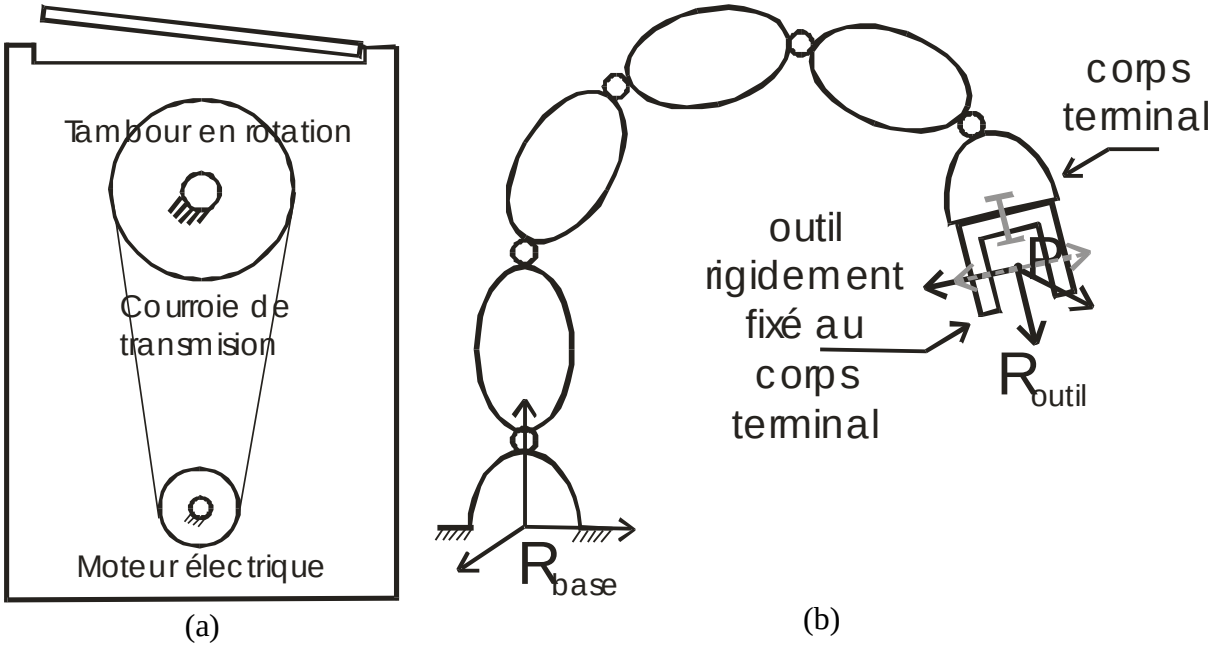


Figure 2. Caractérisation du robot industriel comme une chaîne cinématique ouverte dont l'organe terminal peut se déplacer dans notre espace physique pour réaliser une tâche donnée (a) par opposition aux machines autonomes domestiques dont l'archétype est le lave-linge fonctionnant selon un principe de chaîne cinématique fermée (b).

D'une certaine manière, le robot industriel a mis en lumière la possibilité de faire réaliser une tâche humaine par mimétisme du geste au lieu de lui substituer la rotation d'un ensemble de pièces mécaniques. Parce que le robot industriel remplace le bras-humain de l'ouvrier, on le qualifie aussi de bras-robot (« robot arm » en anglais) mais il est important de souligner que l'outil du robot n'est pas tenu par une main-robot mais est fixé rigidement au corps du terminal du robot et tout changement d'outil nécessite une intervention humaine. La valeur économique du robot industriel n'est donc pas liée à ce que l'on imagine être son universalité d'usage mais plutôt à sa capacité à être rapide et précis dans un domaine d'usage précis,

caractérisé par un choix d'outil, voire dans un domaine spécialisé comme celui des robots de peinture.

Si, d'un point de vue purement cinématique, un robot humanoïde peut se définir comme une arborescence de membres-robots sur le modèle du bras-robot industriel, leur usage entraîne des contraintes très différentes. Le robot industriel opère dans un atelier qui peut lui être adapté – comme, d'une certaine manière, la salle d'opération de l'hôpital ou de la clinique peut être adaptée au robot chirurgical 'da Vinci' dont nous parlerons plus loin. A l'inverse, c'est le robot humanoïde domestique qui doit s'adapter a priori à son environnement et cet environnement est à la fois humain et technique. Nous pensons que cette double intégration du robot humanoïde domestique à l'environnement familial, d'une part, et d'autre part à l'environnement machinal domestique, sous la forme de tous les objets de la maison et des machines autonomes dont nous avons déjà parlées, n'a pas été suffisamment prise en considération. C'est pour en discuter que nous proposons d'introduire une distinction originale entre une robotique faible et une robotique forte.

3. Robotique forte, robotique faible

Certains spécialistes de l'intelligence artificielle (I.A.) distinguent une I.A. faible, qui serait, par exemple, celle des moteurs de recherche actuels, d'une I.A. forte qui est à venir et représenterait le mimétisme du raisonnement humain que Searle définit comme l'affirmation selon laquelle : 'the implemented program, by itself, is constitutive of having a mind. The implemented program, by itself, guarantees mental life' [5]. Sans rentrer dans les polémiquesautour du sens à donner à une telle définition a un sens – Searle est d'ailleurs de ceux qui ont le plus critiqué cette conception de l'I.A. forte – nous proposons, par analogie, de qualifier la robotique industrielle de robotique faible non parce qu'elle n'a pas recours aux formes de l'I.A., soient-elles faibles, mais parce que sa capacité de manipulation est faible en comparaison à celle de la main humaine. Que serait alors une robotique forte ? Elle pourrait être, selon nous, une robotique humanoïde capable de mimer la gestuelle d'un individu adulte en bonne santé. On pourrait même imaginer l'équivalent d'un test de Turing pour déterminer si, par l'observation des seuls gestes, et sans prendre en compte l'apparence physique, tel système articulé est un être vivant ou un robot. Il est important de noter que cette gestuelle de référence pour spécifier la robotique forte est une gestuelle quotidienne et non une gestuelle sportive ou artistique[1]. Or, de même que le développement d'une I.A. forte se heurte à notre connaissance limitée du fonctionnement du cerveau, la robotique humanoïde se heurte à notre difficulté à comprendre comment se développe et se maintient une habileté gestuelle. Le problème, en robotique, pourrait, cependant, apparaître plus simple puisqu'en place de

[1]Une version romantique de la robotique forte, que nous écartons volontairement ici, serait de la définir comme la grâce gestuelle au sens où Kleist l'introduit dans son 'Essai sur le théâtre des marionnettes' sous l'apparence, notamment, du geste de l'adolescent tireur d'épine avant que celui-ci ne soit perverti par la société ou, mieux encore, de l'ours qui, préservé de tout dressage, va naturellement produire les gestes qui lui permettront de repousser l'escrimeur le plus aguerri [6].

reproduire le cerveau humain, il suffirait de mimer précisément la musculature et les articulations humaines et de commander l'ensemble par des modèles physico-mathématiques adaptés. Mais, comme pour les modèles logiques censés traduire la pensée humaine, les modèles mathématiques s'avèrent actuellement insuffisants pour reproduire le geste humain. Un exemple frappant en est l'incapacité actuelle de faire marcher un robot humanoïde en reproduisant le déroulement du pied humain c'est-à-dire en incluant dans le modèle de marche une phase de pas débutant par la pause du talon au sol et finissant par le passage sur la pointe du pied. En fait, la stabilité de la marche d'un robot humanoïde est moins assurée qu'on ne l'imagine et est fortement dépendante de la taille de ses pieds plats. Un robot humanoïde peut bien courir comme le montrent clairement les vidéos d'ASIMO mais en pliant exagérément les genoux afin de pouvoir toujours présenter l'intégralité de sa plante de pied en appui. D'une certaine manière, le pied non articulé d'une jambe de robot humanoïde s'apparente à l'outil d'un robot industriel et, de cette comparaison, il ressortirait que les robots humanoïdes actuels, sans même prendre en considération leur absence de colonne vertébrale à l'image de notre anatomie et leurs mains plus expressives généralement qu'habiles, ressortiraient clairement d'une robotique faible. On peut d'ailleurs envisager d'appliquer séparément ce concept de robotique faible et forte aux membres locomoteurs inférieurs et aux membres locomoteurs supérieurs. Les matchs de robots-footballeurs pourraient ainsi être compris comme une tentative de progresser vers une robotique forte limitée aux seuls membres inférieurs : le football, que tout un chacun valide peut pratiquersans entrainement particulier, peut effectivement être considéré comme une activité particulièrement apte à tester le biomimétisme gestuel des membres inférieurs puisqu'il combine marche, course, équilibre sur une jambe, large mouvement des jambes.

Dans le cas d'une robotique humanoïde domestique, l'habileté des membres inférieurs est secondaire. Seul importe la stabilité posturale et la capacité du robot à passer les portes et, quitte à supposer qu'aucun escalier ne gêne la progression du robot, le recours à une base mobile à roues est même envisageable. Par contre, la robotique domestique est obligatoirement une robotique de manipulation bien plus complexe que la robotique industrielle , du seul fait que notre environnement domestique exige une habileté (on pourrait aussi dire une versatilité) manuelle bien supérieure à ce que l'on peut attendre du préhenseur d'un robot industriel. Le problème est alors : comment donner des mains au robot humanoïde ?

4. Donner des mains au robot humanoïde

Parce que l'environnement domestique est plein d'une multitude d'objets dont la manipulation, ou la mise en œuvre, requiert notre habileté motrice, le mimétisme de la main humaine semble s'imposer naturellement au robot comme solution à la saisie et manipulation des objets de notre quotidien selon un principe, à priori, simple : ce que la main humaine peut faire dans la maison, une main robotisée, conçue sur le modèle de notre anatomie, devrait pouvoir le faire. Or, la physiologie articulaire, d'une part, l'analyse des modes de préhension, d'autre part, nous montrent que cette approche, que l'on peut qualifier de bionique, n'est pas si évidente que ça.

4.1.La main comme chaîne cinématique arborescente

Du point de vue de sa physiologie, la main humaine est un complexe articulaire qui s'apparente à une structure arborescente dont les branches sont les cinq doigts et la base serait ce que l'on appelle le massif carpien. Mais ce massif carpien n'est pas privé de mobilité : il est formé d'un ensemble de 7 os que le grand physiologiste articulaire Kapandji désigne comme 'un sac d'os' [7] pour souligner la difficulté à préciser comment les os bougent les uns par rapport aux autres. Personne, à notre connaissance, ne s'est encore risqué – faute peut-être aussi de sens à donner à cette démarche – à déterminer un degré de mobilité de ce massif carpien et, par conséquent, il est bien difficile de préciser le nombre de degrés de liberté, au sens mécanique du terme, de la main humaine. Les tentatives de main robotisées, y compris les plus avancées, ont jusqu'à présent toujours laissé de côté la mobilité des os du carpe avec, pour conséquence, de priver la main robot du creusement de la paume (voir Fig. 3.a) et ainsi de la capacité de saisir un objet avec la paume et les doigts. L'hypothèse simplificatrice d'un massif carpien rigide permet de considérer la main comme une structure arborescente dont la base est ce que les anglo-saxons appellent « the hand immobile unit ». De plus comme chaque articulation du corps humain – dite synoviale – peut être interprétée dans la cadre de la théorie classique des mécanismes, un modèle cinématique simplifié de la main peut en être déduit (voir Fig. 3.b) qui constitue la première étape vers la réalisation d'une main robotisée. Une première surprise attend alors le roboticien : alors qu'une structure de bras-robot – ou de jambe-robot – compte généralement de 6 à 9 degrés de liberté, la main-robot à 5 doigts dépasse généralement les 20 degrés de liberté – typiquement 23 degrés de libertés si nous suivons le modèle cinématique de la Fig. 3.b. Par rapport à un robot-industriel à 6 degrés de liberté, un bras de robot humanoïde muni d'une main va alors facilement dépasser les 20 degrés de liberté – il faudrait plutôt dire de mobilité compte-tenu des éventuelles synergies mises en jeu dans la main robot. Cet accroissement de complexité cinématique entraîne une complexité technique pour motoriser – synergies mises encore à part – tous ces degrés de liberté et les munir de capteurs sans compter, du fait de la nouvelle présence des doigts, le recours à des capteurs de toucher, et éventuellement de force au niveau du poignet. Il est, cependant, important de noter que les technologies de motorisation et de captages requises par la robotisation de mains à l'échelle des nôtres existent et, sans considération de coût ou de maintenance, ce n'est pas cela, selon nous, qui limite le passage de la robotique faible du robot industriel à la robotique forte d'une manipulation quasi-humaine, comme le prouve la main robotisée de *Shadow Robotics* [8] qui se permet même le luxe d'introduire un degré de liberté artificiel pour réaliser la mise en opposition pouce/petit doigt et pallier ainsi l'absence de creusement de la paume.

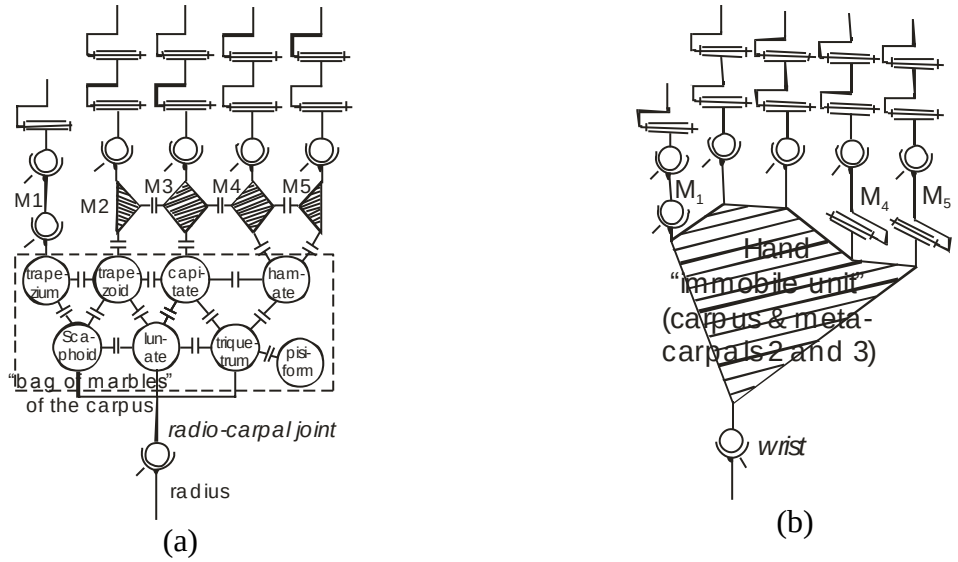


Figure 3. Modélisation cinématique de la main humaine, (a) Modèle incluant une tentative de représentation du massif carpien responsable du creusement de la paume, (b) Modèle-type avec un structure non-articulée entre le poignet et les doigts servant utilisée pour définir une main robotisée (tiré de [9]).

4.2. La difficulté de modéliser les modes de préhension

Mimer la physiologie articulaire de la main humaine se heurte, cependant, à un problème plus grave : comment utiliser ce mimétisme. La physiologie animale souligne l'homologie entre les membres locomoteurs supérieur et inférieur. Cette homologie concerne aussi les mains et les pieds. Or, dans le cas du corps humain, les doigts de pied ont une fonctionnalité bien moindre que les doigts de la main, ce qui justifie que les pieds des robots puissent être non articulés y compris en renonçant à l'articulation de la pointe du pied. Cela signifie que l'on peut faire marcher un robot bipède « à pieds plats » avec pour seule contrainte cinématique, s'il n'attaque pas le pas par le talon, de le faire évoluer genoux pliés pour lui éviter ce que les roboticiens appellent la « singularité du coude » – il faudrait plutôt dire ici du genou. De manière analogue, une main à 5 doigts n'est pas indispensable pour saisir un certain nombre d'objets du quotidien et l'on connait des mains-robots à 3 ou 4 doigts. Mais, quel que soit le nombre de doigts utilisés, toute la difficulté réside dans la programmation des prises et maintiens de l'objet. Un certain nombre de tentatives ont été faites pour classifier la multitude des prises d'objets par la main humaine (voir Kapandji [7], par exemple, pour se limiter dans le cadre de cet article à cet auteur de référence) et pour théoriser la préhension à travers le concept de synergie articulaire – deux ou plusieurs articulations se déplacent ensemble selon une loi prédéfinie [10]. La mise en application de ces outils théoriques à la programmation des mains robotisées est, cependant, limitée par le rôle fondamental que joue le système nerveux central et nos sens tactile et visuel dans l'apprentissage de nos mouvements manuels et l'adaptation de ces mêmes mouvements aux variations environnementales. Personne, à notre connaissance, ne sait actuellement laisser le robot seul, répliquer l'apprentissage de l'habileté manuelle et, à la différence de la chaîne cinématique du robot industriel et de son outil, rigidement fixé à son organe terminal, la main-robot, qui saisit un objet, peut avoir bien du mal à savoir où exactement se situe cet objet dans son repère de

référence, comme on l'illustre Fig. 4.a. Le robot à mains en est alors réduit à des tâches très simples comme fermer ses doigts sur un objet de forme cylindrique et aller le jeter dans une poubelle assez large pour le recevoir sans faute ou, comme nous le verrons plus loin, à répéter exactement un geste qui est ensuite entièrement mémorisé dans son contrôleur.

4.2.Le robot 'da Vinci' ou la tentation du « couteau suisse »

Le robot 'da Vinci' est, certainement, l'une des grandes réussites de la robotisation médicale actuelle: l'entreprise américaine *Intuitive Surgical*, qui le mit sur le marché en 2001, en revendiquait, au 31 mars 2016, 2431 exemplaires en service dans le monde dont 616 en Europe [11]. D'un point de vue strictement technique, le robot 'da Vinci' n'est pas réellement un robot puisqu'il ne fonctionne pas de manière autonome : il s'agit, plutôt, d'un télémanipulateur qui, par raisons de sécurité, ne peut être actif que si la tête du chirurgien est constamment en contact avec l'appareillage de vision déporté. On note rarement ce que le « robot » 'da Vinci' doit à la robotique de bras-manipulateurs : outre son principe de téléopération isolant l'opérateur de la scène chirurgicale, sa profonde originalité réside dans le recours à 3, voire 4, bras indépendants, conçus sur le modèle de bras-robots industriels portant chacun un outil dédié à une tâche donnée et, à la manière de l'usage d'un robot industriel, l'utilisateur du 'da Vinci' a la possibilité de choisir les outils à fixer au bout des bras parmi un catalogue proposé par *Intuitive Surgical* dans le but de couvrir une large gamme d'opérations. Bien que, comme nous le verrons plus loin, parfois violemment contesté, l'avantage du système 'da Vinci' sur une chirurgie classique résiderait dans l'amplification du geste du chirurgien combinée à une vision améliorée grâce à la caméra endoscopique portée par le robot.

Si l'approche multi-bras propre au 'da Vinvi' semble difficilement adaptable à l'univers domestique pour une simple raison d'encombrement – la société *Intuitive Surgical* propose, d'ailleurs, parmi tous ses services d'adapter la salle d'opération à son énorme système – on peut tout-à-fait imaginer un changement d'outil à l'extrémité du bras d'un robot domestique à la manière du robot 'da Vinci' ou, mieux encore, imaginer que l'organe terminal du bras robot domestique soit capable de porter plusieurs outils à la fois, à la manière en quelque sorte d'un « couteau-suisse ». Des gestes aussi compliqués que prendre un couteau sur la surface plane d'une table seraient ainsi évités et le bras-robot avec son outil, rigidement fixé à son organe terminal, pourrait agir avec toute la précision et la répétabilité d'un robot industriel (voir Fig. 4.b). Mais, à la différence de l'acte chirurgical, dont les outils sont malgré tout en nombre assez restreint – le catalogue d'outils proposé par *Intuitive Surgical*semble limité à 12 – l'ensemble des tâches domestiques mettent en œuvre un grand nombre d'outils très différents selon qu'il s'agit de cuisiner, nettoyer, laver, repasser et, surtout, nécessitent la manipulation d'objets aux formes d'autant moins standardisées qu'elles doivent séduire le consommateur par leurs diversités. L'approche « couteau-suisse » pourrait, cependant, trouver toute son utilité pour des tâches spécifiques comme nourrir une personne dépendante dont le plat a été préparé au préalable ; seuls trois outils pourraient alors être nécessaires : une cuillère, une fourchette et un verre d'eau pré-rempli. Une approche alternative existe, malgré tout, pour la programmation de gestes domestiques complexes et, là encore, en partie inspirée de la robotique industrielle : l'apprentissage « hors-ligne » du geste.

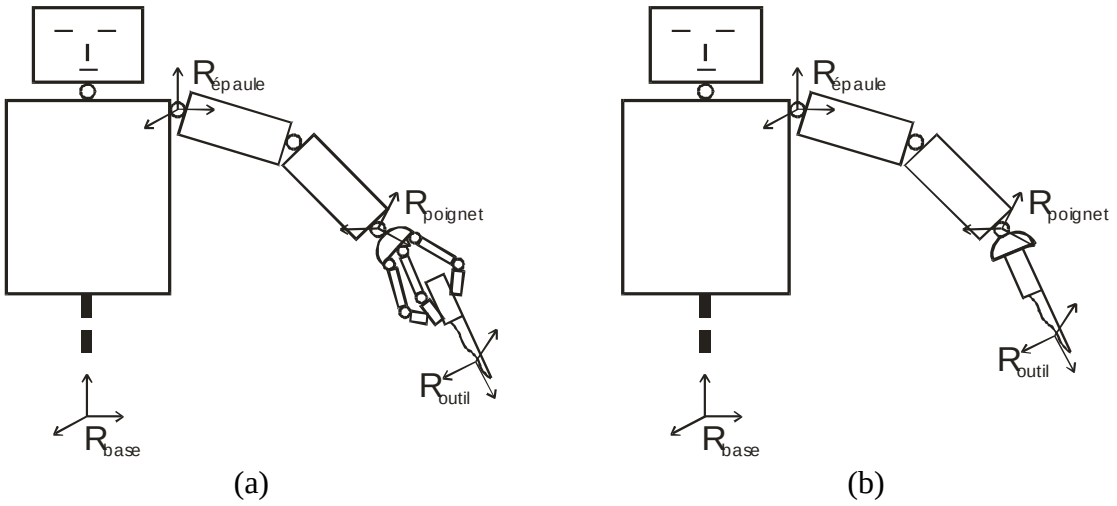


Figure 4. Opposition entre une approche biomimétique de la prise d'objet par une main-robot qui nécessite la connaissance des points de contact entre les doigts et l'objet (a) et (b) une approche de type robot-industriel où l'outil/ustensile est rigidement fixé au poignet du robot.

4.3.Faire apprendre à l'avance les gestes du quotidien au robot domestique

L'entreprise britannique MoleyRobotics a défrayé la chronique du high-tech en 2015 en dévoilant son robot-cuisinier que Kevin Maney a quelques difficultés à introduire dans son article de Newsweek : « Comment décrire la chose ? C'est comme si quelqu'un avait coupé les bras de Robocop et les avait collés sur un meuble de cuisine » (traduction française du *Courrier international* [12]). En fait, le robot se présente comme une véritable cuisine automatisée (d'où son nom : « AutomatedKitchen ») le long du plafond delaquelle se déplacent deux bras-robots, de type industriel, munis chacun d'une main-robot. L'originalité du projet réside ici dans le recours aux mains de *Shadow Robotics* dont nous avons déjà souligné la sophistication et à une programmation « hors-ligne » – c'est-à-dire faite en dehors du site d'installation – de l'ensemble « bras+mains » sur laquelle nous manquons d'informations – un 'Cyberglove' en a certainement facilité la réalisation – mais toujours est-il que le résultat est particulièrement impressionnant [13]. Grâce à ce mode de programmation par apprentissage anticipé, l'entreprise, relayée par la presse mondiale, affirme que son robot est capable de préparer 2000 recettes ce qui est tout-à-fait crédible compte-tenu du caractère restreint du plan de travail et, surtout, de la possibilité, lors de la phase d'apprentissage, d'imposer formes et emplacements initiaux à l'ensemble des ustensiles et ingrédients nécessaires à l'élaboration de la recette. D'une certaine manière, le plan de travail de la cuisine automatisée doit être, lors de la répétition de la tâche, aussi bien organisé qu'une chaîne de montage automobile robotisée. Que se passerait-il alors si tel ingrédient n'est pas exactement à sa place, si un ustensile manque, si ce n'est pas la bonne taille de casserole qui est utilisée, si la poignée de pattes alimentaires que le robot, sur le film publicitaire, est capable de saisir d'une main s'est légèrement ouverte dans son bocal ? Le robot doit être commercialisé en 2017 et c'est seulement après son installation chez le client que l'on pourra répondre à cette question. Au-delà du cas particulier du plan de travail où opèrent les bras et

mains robotisées de la cuisine automatique de *MoleyRobotics*, se pose la question plus large de la standardisation de notre univers domestique pour en faciliter l'accès au robot.

A partir de ces quelques éléments de réflexion, tentons à présent de penser, de façon plus large, l'intégration des robots humanoïdes dans la maison ?

5. Intégrer le robot humanoïde à la vie domestique

5.1. Le pari de l'anthropomorphisme

Dans l'article de référence présentant le robot humanoïde Honda-P2 [14], les auteurs identifient clairement la maison comme futur domaine d'application du robot humanoïde. Le robot Honda-P2 est, eneffet, définicomme un robot domestique (« Domestic robot ») et safinalitéestpréciséeainsi : 'For such a robot, it is necessary to be able to move around the house, where many obstacles such as the entrance, a straircase, doors and furniture exist. In order to move in such anenvironment, which is made for humans, Honda believes that a robot with legs and arms, and which can walk like a human, is the most practical and suitable configuration' (page 1321). Avec son robot P2, Honda a ouvert la voie à ce que l'on pourrait appeler le pari d'un anthropomorphisme intégral en robotique. Ce pari consiste, essentiellement, à dire que la meilleure machine pour aider l'homme, dans la diversité de ses tâches quotidiennes, doit avoir forme humaine avec tête, jambes et bras. Plus que le travailleur forcé de Karel Kapeck dans sa pièce*Rossum* [15], il serait, en quelque sorte, la réplique machinale de l'esclave de la Rome antique s'adaptant aux besoins et fantaisies de son maître – on trouve ainsi chez Plutarque la mention faite d'un esclave dont le rôle était de jouer d'un instrument de musique apaisant lorsque son maître commençait à s'emporter en réunion [16]. Et ce pari, nous le pensons risqué, au regard, d'une part, de ce que nous avons dit de succès de l'automatisation par réduction du geste humain à la rotation d'une machine et, d'autre part, du fait de notre tendance naturelle à conférer des caractères humains aux objets qui peuvent nous ressembler, par leur forme ou leur fonction et, par là-même, à exagérer notre attente d'une forme anthropomorphe. Il est ainsi amusant d'opposer le design des robots-aspirateurs d'aujourd'hui à certaines représentations futuristes des années 60 comme celle présentée Fig. 5 : au-delà de la vision binoculaire qui est déjà celle de certains robots humanoïdes et du mode locomotion assez fantaisiste, il faut noter la tentation de lui adjoindre un bras articulé à la pince des plus incertaine pour la prise et le vidage d'un cendrier. La réalité des robots-aspirateurs d'aujourd'hui est bien plus triviale avec leur forme cylindrique qui intègre organes de mobilité et d'aspiration et qui offre aussi peu de prise à l'animisme anthropomorphique. Nous ne chercherons pas, dans le cadre de cet article, à discuter plus avant cette question de la perception de la forme humaine du robot. Nous allons plutôt chercher à comprendre comment la machine humanoïde peut trouver sa place dans la maison.

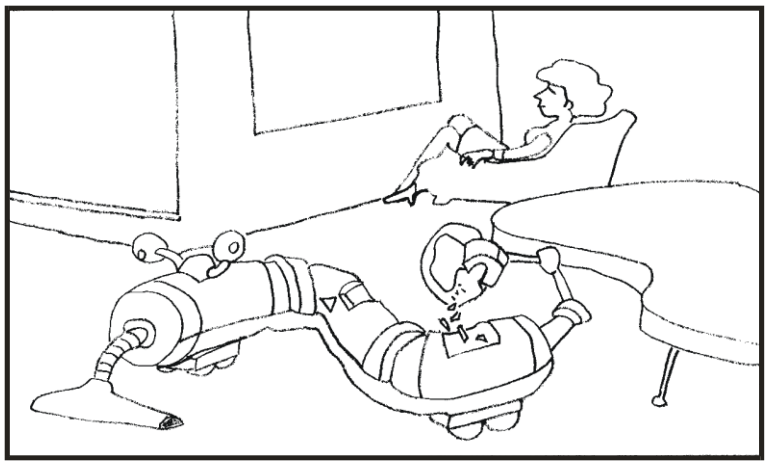


Figure 5. Vision du robot aspirateur tel qu'il pouvait apparaître dans certains dessins animés des années 60 – scène partiellement redessiné par l'auteur (voir texte).

5.2. Sécurité et fiabilité du robot bipède

Il est clair, qu'au-delà de son efficacité, le robot-aspirateur tel que nous le propose le marché se doit d'être particulièrement sûr pour tous les objets et êtres vivants, pourrait-on oser dire, dignes d'intérêt de la maison ou, de manière plus rigoureuse, juridiquement reconnus. Sa stabilité naturelle, sa taille réduite, sa forme ronde, sa puissance relative, complétés par l'usage de matériaux amortissant les chocs doivent le rendre parfaitement inoffensif pour les êtres les plus fragiles de la maison que sont les bébés marchant à quatre pattes ou les personnes âgées à l'équilibre fragile. On conçoit, par opposition, les difficultés auxquelles se heurtent la robotique humanoïde pour rendre parfaitement sûre la présence, dans un environnement changeant et encombré, d'un robot bipède dont la marche nécessite une variation constante de sa base de sustentation. Une première solution envisagée par la plupart des concepteurs de robots humanoïdes consiste à réduire sa taille réduisant, par la même, son poids et l'inertie de ses membres : le robot ASIMO mesure environ 1m20 de haut alors que son ascendant P2 mesurait 1m80 ! Il est bien évident qu'un robot humanoïde domestique ne peut, cependant, pas devenir un jouet et la réduction de sa taille a certaines limites si l'on souhaite tout simplement qu'il puisse accéder à certaines hauteurs de travail imposées par le mobilier et l'électro-ménager. Dans cette quête de la sécurité du robot bipède, il y a, cependant, un point positif en lien avec l'univers domestique : à la différence de la plupart des robots industriels, le robot humanoïde domestique n'est pas une machine de puissance dans le sens où l'on n'attend pas de ses services une démonstration de force ou de vitesse. On peut d'ailleurs considérer, bien que cette loi ne soit pas clairement exprimée par les concepteurs actuels de robotique humanoïde, calquer la puissance de ses membres sur celle d'un adulte en bonne santé. En disant cela, nous laissons, cependant de côté, certaines applications comme le soulèvement et déplacement de personnes dépendantes déjà envisagées par des roboticiens Japonais. Dans notre approche, le robot domestique, sur le modèle de l'adulte en bonne santé, serait plutôt un usager des dispositifs actuels d'aide à la personne qu'un substitut à ces dispositifs. On peut donc admettre que la combinaison d'un poids, d'une puissance limitée avec un dispositif de capteurs de vision, de force, de toucher rendra, à terme, le robot humanoïde domestique parfaitement sûr pour tous les occupants de la maison ; on peut aussi

admettre qu'assez de progrès seront fait pour assurer la stabilité de marche du robot humanoïde, quitte à lui garder des pieds plus larges par rapport aux autres proportions de son corps, voire à adopter, pour certains modèles, une base mobile supportant tronc, bras, mains et tête. Un problème demeure, cependant, dont la voix vers la solution est encore incertaine : la prévention des chutes et, surtout, l'assurance qu'une telle chute ne sera pas dommageable pour les occupants de la maison et, tout spécialement, ses occupants les plus fragiles : jeunes enfants et vieillards. Bien qu'il soit encore difficile de copier la complexité de la colonne vertébrale dont Kapandji a bien montré l'importance de son rôle pour nous relever, les roboticiens savent déjà faire se relever leurs robots, après une chute, avec des structures cinématiques du tronc présentant plusieurs degrés de liberté mais privées de « vertèbres », si l'on peut dire. La question de la sécurité du robot domestique rejoint, curieusement, la question de la sécurité de la voiture sans chauffeur, pour laquelle deux points de vue s'opposent. Le premier, résolument optimiste, considère que l'avenir de la voiture sans chauffeur est déjà tout tracé et qu'il pose, dès-à-présent, le problème de la redéfinition de la gestion du parc automobile : « *La 'Robotmobile' [comme l'auteur la désigne lui-même] peut répondre à de nombreux défis sociétaux : l'amélioration de la sécurité routière, le maintien de la mobilité des seniors, l'offre de transport pour les personnes handicapées, la réduction de perte de temps dans la conduite. Les villes pourront saisir cette opportunité pour se réinventer […]* » affirme, par exemple, F. Cazenave dans un article du journal *Le Monde*, en date du vendredi 26 février 2016 [17]. Le même journal, le mois précédent, rapportait les propos plus polémistes d'un représentant du constructeur américain *Tesla* – certes concurrent :*« Concevoir une machine capable d'avoir raison 99 % du temps est relativement facile, mais parvenir à un taux de 99,9999 % – le niveau qu'il faut atteindre – est beaucoup plus difficile. Faire des erreurs à 110 kilomètres/heure serait hautement problématique »*, comme les doutes d'un représentant de *Consumer Watchdog*, une organisation américaine de défense des consommateurs lorsque la société de *MountainView* assure que ses différents prototypes n'ont jamais été impliqués dans un accident :*« Mais elle n'indique pas combien de fois ses chauffeurs ont dû reprendre le contrôle »*[18]. Le robot domestique, tel que nous l'envisageons dans cet article est, certes, bien moins puissant qu'un véhicule mais sa chute n'est pas sans danger du fait, notamment, de l'usage de matériaux bien moins souples que notre musculature et notre peau entourant notre squelette. De fait, l'argument d'un taux de sécurité qui doit être très voisin de 1 peut tout aussi bien s'appliquer aux futurs robots domestiques : un bébé blessé par la chute d'un robot domestique pourrait gravement compromettre l'essor de cette industrie telle que nous cherchons à la cerner. De même que l'on peut imaginer limiter, dans un premier temps, la circulation des automobiles autonomes à un certain type de circuits, on peut aussi imaginer restreindre la mobilité du robot domestique en fonction de certaines règles. Les bras du robot-cuisinier de *MoleyRobotics* en donnent, involontairement peut-être, un exemple original : puisque l'acte de cuisiner peut-être limité à un espace donné de la maison, la mobilité autre que celle des bras et des mains devient, dans ce cas, inutile, quitte à avoir un second robot domestique mobile dans la maison pour les autres tâches domestiques. Se pose alors, cependant, la question de la viabilité économique d'une telle robotisation que nous aborderons plus loin.

5.3. La robotique domestique pourra t'elle faire l'économie d'une standardisation de son environnement.

Bien qu'à l'état de prototype industriel, le robot à deux bras de *MoleyRobotics* a validé une certaine possibilité de programmation de gestes domestiques sophistiqués au prix, cependant, d'un apprentissage « hors-ligne ». Le robot 'da Vinci', de son côté, ne fonctionne qu'en téléopération. Dans ces deux cas, la présence humaine est requise soit lors de la phase d'apprentissage du robot soit pour le faire fonctionner. Cela signifie t-il que le seul moyen de sortir un robot de l'atelier pour le placer dans un univers non industriel, et qu'il ne soit pas un simple robot de distraction, nécessite une forte présence humaine ? Personne actuellement n'a la réponse à cette question. Mais il est clair que si l'introduction d'un robot, plus ou moins humanoïde, dans l'univers domestique requiert une présence humaine constante à ses côtés, ou une longue phase d'apprentissage avant qu'il ne puisse prendre son service, sa valeur d'usage sera bien difficile à défendre économiquement parlant. Il est important de rappeler que si un robot industriel nécessite une phase de programmation qui immobilise pour un temps l'atelier où il est installé, sa capacité à répéter, avec la même précision, la même tâche de manière bien plus efficace qu'un opérateur humain en fait toute sa valeur économique. La versatilité du robot industriel n'est engagée que lors d'un changement de tâche. Dans le cas d'un robot domestique, on attend plus de versatilité du robot et moins de répétabilité. Et si cette versatilité ne peut être donnée que par des mains-robots particulièrement mimétiques des mains humaines, se pose la question de l'usage de ces mains. Faciliter la recherche d'une solution à ce délicat problème pourrait consister à standardiser tout ou partie de l'environnement du robot domestique. Une telle approche pourrait même tirer parti des modes de consommation imposés par la nourriture industrielle: un certain nombre de tâches de cuisine sont, en fait, quasiment exemptes d'usage d'outil comme se faire à manger à l'aide de plats préparés qui ne nécessitent que de les ouvrir et de les mettre au four. A la différence de la cuisine automatisée de *Moley-Robotics*, le robot-cuisinier s'apparenterait alors à la femme ou l'homme pressé qui souhaite manger chez eux sans cuisiner. Les gestes pour ce faire sont relativement simples. Cette manière de robotiser qui s'appuie sur certaines formes de standardisation développées par les industriels de l'alimentation trouve cependant ses limites dans les avancées et fantaisies du marketing : boutons que l'on tourne, sur lesquels on doit appuyer, qui clignotent avant d'être enclenchés, pour le four, et, dans le cas de la machine à laver le linge, ouverture latérale ou par un couvercle nécessitant des modes de prise différents auxquels s'ajoutent la possibilité d'insérer le produit de lavage sous formes de dosettes à emballage dur ou mou ou d'utiliser un liquide en bouteille. Comment adapter le robot de service à une telle diversité ? On peut, bien sûr, imaginer, par comparaison avec la possibilité de télécharger le « driver » d'un dispositif interfacé à un ordinateur, de télécharger dans le contrôleur du robot l'ensemble des informations nécessaires à l'utilisation de telle ou telle machine. Serait-ce économiquement viable sans une certaine standardisation de la machine et de ces produits ? Ne serait-ce pour éviter au robot de chercher le produit de lavage sans savoir s'il est liquide ou solide et selon quel emballage. On voit combien, malgré les simplifications que nous avons apportées au problème, le débat reste spéculatif, faute de résultats préliminaires en robotique domestique et, surtout, du fait de notre difficulté à modéliser simplement l'usage de nos mains.

5.4. Un robot domestique utile ou ostentatoire ?

Nous n'avons pas encore parlé du coût d'un robot humanoïde domestique. Il est, bien entendu difficile d'évaluer ce coût faute d'un véritable marché. La cuisine robotisée de *MoleyRobotics*, par exemple, a un coût minimum imposé par le coût élevé des mains-robots de *Shadow Robotics* (plus de 10.000 euros, chaque) et son prix final, encore mal connu, sera difficilement inférieur à plusieurs dizaines de milliers d'euros. Bien qu'il s'agisse d'un marché très différent, les interrogations récentes qui se sont fait jour sur la rentabilité du robot 'daVinci' peuvent nous aider dans cette réflexion. Du fait de sa complexité et de l'absence de concurrent, le robot 'da Vinci' est particulièrement cher à l'achat (environ 2 millions d'euros) mais les utilisateurs de ce cette machine soulignent aussi son coût de maintenance élevé d'environ 150.000 euros et les surcoûts de consommables de plus de 230.000 euros et, bien que le domaine médical impose plus de contraintes que le domaine industriel, il est bien connu que le coût de maintenance d'un bras-robot est relativement élevé (environ 10.000 euros pour un robot de 150.000 euros) du fait, notamment, de la complexité mécanique de tout système poly-articulé. Or tout l'intérêt de notre gros électroménager tient dans le faible coût d'entretien qu'il impose à ses usagers associé à un faible taux de pannes. A l'inverse, il a été récemment calculé que l'ensemble des frais d'achat, entretien et fonctionnement des 4x4 de luxe était si élevé que leur usage revenait plus cher au kilomètre que l'utilisation quotidien du taxi. En sera-t-il de même des futurs robots domestiques ? Cette remarque ne signifie nullement leur condamnation économique. Récemment, Abdel Azzouzi, chef du service d'urologie du CHU d'Angers, a violemment critiqué, sur la base d'études américaines, l'usage même du 'da Vinci' dont le coût serait exorbitant au regard de la faible, voire nulle, amélioration de soins apportés au patient [19]. On pourrait alors penser que l'achat d'un 'da Vinci' par un hôpital ou une clinique ne serait pas justifié par une qualité de soins accrue mais par une valeur « marketing » qu'il revêtirait auprès des médecins et des futurs patients. De la même manière, la finalité des robots humanoïdes domestiques pourrait moins être utilitaire qu'ostentatoire à l'image de certains véhicules et, mutatis mutandis, dans le même esprit, peut-être, qu'une certaine forme de possession d'esclaves dans la Rome antique.

Conclusion

Nous avons introduit, sur le modèle de l'opposition entre I.A. faible et I.A. forte, une distinction entre robotique faible qui serait celle de la robotique industrielle et une robotique forte qui serait celle d'une robotique humanoïde se confondant avec la capacité gestuelle humaine. La robotique humanoïde domestique à venir pourrait tirer profit de la considération d'une telle opposition pour éviter les écueils rencontrés par l'I.A. qui a voulu dès son apparition se considérer comme « forte ». La robotique industrielle a montré qu'il était possible de s'affranchir des machines traditionnelles à chaîne cinématique fermée dédiée à une seule tâche pour réaliser un bras-robot capable d'une certaine versatilité de tâches. Mais on a rarement souligné, selon nous,le fait que la réussite du bras-robot industriel est fondée sur une « non-main » puisqu'il utilise un outil non articulé fixé à son corps terminal ou bien un préhenseur sans doigts, éventuellement muni de mors à mouvements symétriques d'ouverture/fermeture. Les bras-robots d'un robot humanoïde domestique se doivent d'être

moins « faibles » dans leurs capacités manuelles, tout simplement parce que la maison n'est pas un univers industriel que l'on peut organiser autour du robot et, mis à part tous les problèmes de stabilité posturale – quitte à les contourner par le recours à une base mobile à roues – et de repérage que l'on peut supposer résolvables à court terme, demeure l'épineuse question du bon usage de tous les ustensiles et machines domestiques. Or, comme nous l'avons souligné au début de notre exposé, ces machines ont généralement été conçues pour remplacer le geste répétitif et fatiguant d'une certaine tâche humaine et, de même que l'on imagine mal l'intérêt d'un robot-chauffeur de voiture, l'on imagine mal la réouverture des lavoirs pour robots humanoïdes domestiques en place de nos machines à laver le linge. Le robot domestique devra donc apprendre le maniement de ces machines domestiques qui, à la différence de la tâche qu'elles sont censées mimer, exigent peu de puissance mais une grande diversité gestuelle. Comment penser le devenir de la robotique humanoïde de service face à cette exigence d'habileté manuelle ? Il est bien difficile d'y répondre comme il était, à l'époque, bien difficile de cerner l'évolution de l'I.A. Ce n'est, selon nous, que par tâtonnements successifs que la robotique humanoïde prouvera sa valeur, entre relative spécialisation et relative standardisation de son environnement domestique où elle est censée s'intégrer. Enfin, il est encore difficile de dire si, dans un premier temps au moins, la robotique humanoïde domestique sera plus ostentatoire que réellement utile.

Références

[1] J.-M. Courty, E. Kierlik, 'Une Energie à tout casser', *Pour la Science*, N°361, Novembre 2007.

[2] R. Bennett, J. Elton, *History of Corn Milling*, Vol. 1, *Handstones, Slave & Cattle Mills*, Simpkin, Marshall and Company Ltd., London, 1898.

[3] M.-C. Amouretti, 'La Mouture des Céréales : Du Mouvement Alternatif au Mouvement Rotatif ', *Cahier d'Histoire des Techniques*, 1995, N°3, pp. 33-47.

[4] F. Reuleaux, *Cinématique. Principe Fondamentaux d'une Théorie des Machines*, Traduit de l'Allemand par A. Debize, Librairie Savy, Paris, 1877.

[5] J. Searle, *The Mystery of Consciousness*, Granta Books, London, 1997.

[6] Heinrich von Kleist, *Sur le Théâtre de Marionnettes*, Editions Mille et une Nuits, 1998, traduit de l'allemand par J.Outin.

[7] I.A. Kapandji, *Physiologie Articulaire*, Tome 1, *Membre Supérieur*, 5ème édition, 1980, Maloine S.A. Editeur, Paris.

[8] www.shadowrobot.com

[9] B. Tondu, 'Human Hand Kinematic Modeling Based on Robotic Concepts for Digit Animation with Dynamic Constraints' in *Recent Advances in the 3D Physiological Human*, Springer Verlag London Limited, 2009.

[10] M. Santello, M. Flanders and J.F. Soechting, “Postural Synergies for Tool Use”, *Journal of Neuroscience*, Vol. 18, Décembre 1998, pp. 10105-10115.

[11] www.intuitivesurgical.com

[12] K. Maney ‘Cuisinator: la Surprise du Chef’, *Courrier international*, n°1287 du 2 au 8 juillet 2015, page 45, extraits traduit du *Newsweek* du 21 juin 2015.

[13]www.moley.com

[14] K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, T. Takenaka, ‘The Development of Honda Humanoid Robot’, *Proc. of the 1998 IEEE Int. Conf. on Robotics& Automation*, Leuven, Belgique, 1998, pp. 1321-1326.

[15] K. Capek, *R.U.R.* (*Rosum’s Universal Robots*), 1921, Traduit du Tchèque par Jan Rubes, Editions de l’Aube, La Tour d’Aigues, 1997.

[16] Plutarque, *Les Vies des Hommes Illustres, Tibérius et Caïus Gracchus*, Traduit par Amyot, Tome 2, Bibliothèque de la Pléiade, Gallimard, 1951.

[17] F. Cazenave, ‘La Google Car prend une longueur d’avance sur les constructeurs européens’, *Le Monde Economie*, 26 février 2016.

[18]J. Marin, ‘La route semée d’embuches de la voiture sans conducteur’, *Le Monde Economie*, 6 Janvier 2016.

[19] A.R. Azzouzi, ‘Robots-Chirurgiens : Halte à la Supercherie !’ *Le Monde Science et Techno*, 8 Septembre 2014.