

---

# Anthropomorphisme de Projection et Anthropomorphisme de Réalisation en Robotique

*Projection Anthropomorphism and Realization Anthropomorphism in Robotics*

**Bertrand Tondou**

---



**Édition électronique**

URL : <https://journals.openedition.org/ephaistos/10925>

DOI : [10.4000/ephaistos.10925](https://doi.org/10.4000/ephaistos.10925)

ISSN : 2552-0741

**Éditeur**

IHMC - Institut d'histoire moderne et contemporaine (UMR 8066)

**Référence électronique**

Bertrand Tondou, « Anthropomorphisme de Projection et Anthropomorphisme de Réalisation en Robotique », *e-Phaïstos* [En ligne], XI-1 | 2023, mis en ligne le 25 avril 2023, consulté le 28 avril 2023.

URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/10925> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ephaistos.10925>

---

Ce document a été généré automatiquement le 28 avril 2023.

Tous droits réservés

---

# Anthropomorphisme de Projection et Anthropomorphisme de Réalisation en Robotique

*Projection Anthropomorphism and Realization Anthropomorphism in Robotics*

Bertrand Tondou

---

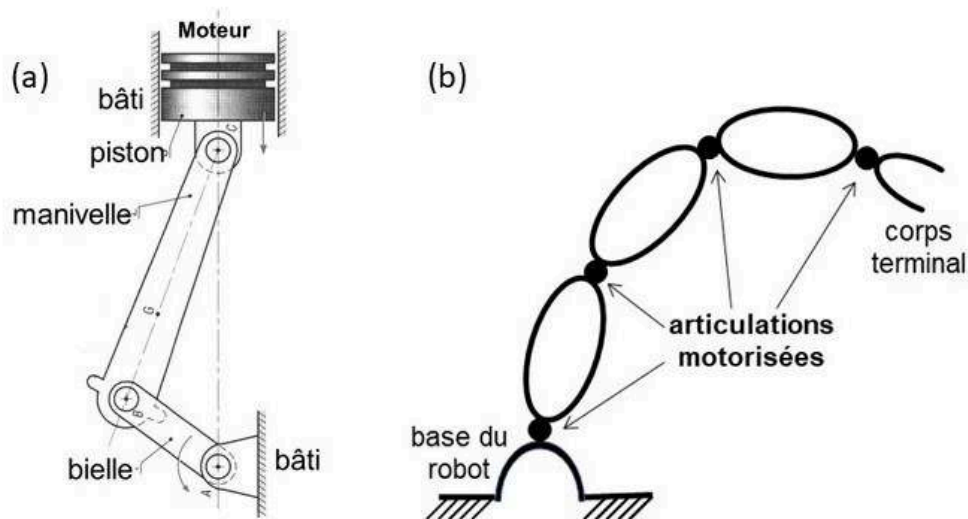
- 1 Le terme d'anthropomorphisme est un terme ambigu : si l'on se réfère au dictionnaire *Le Grand Robert*, l'anthropomorphisme est « l'attribution de la forme humaine à Dieu, aux divinités ». De façon plus précise, John Andrew Fisher (1991) précise que : « L'anthropomorphisme était à l'origine un terme utilisé dans le contexte théologique pour désigner des visions de Dieu qui le caractérisent en termes littéralement humains. En particulier, le fait de considérer Dieu comme une sorte de personne dotée de pouvoirs et de caractéristiques humaines indéfiniment amplifiés (amour, justice, connaissance) peut être qualifié d'anthropomorphisme<sup>1</sup> ». Cependant, toujours selon *Le Grand Robert*, l'adjectif anthropomorphe possède un autre sens : il désigne ce « qui a la forme, l'apparence d'un homme ». Par ailleurs, depuis l'expérience menée par Fritz Heider et Marianne Simmel (1944) sur l'intention que nous pouvons conférer à des figures géométriques se déplaçant aléatoirement sur un écran, on sait que l'anthropomorphisme, au sens de prêter un comportement humain à des objets non humains, est une tendance naturelle chez l'être humain. Il ne s'agit pas, dans le cadre de cet article, de discuter en profondeur des raisons de notre tendance naturelle à « anthropomorphiser » ("to anthropomorphise" pour les auteurs anglo-saxons). Nous chercherons plutôt à comprendre en quoi l'analyse du développement de la robotique peut tirer parti de la distinction entre deux approches de l'anthropomorphisme : une première approche que nous appellerons « anthropomorphisme de projection », qui correspond à la définition classique du terme anthropomorphisme, et une seconde approche, que nous appellerons « anthropomorphisme de réalisation », qui découle plutôt de l'adjectif anthropomorphe, et que l'on peut rapprocher de la quête de ce que certains designers ont dénommé, par une expression quelque peu redondante, la

« forme anthropomorphique » (anthropomorphic form) – voir, par exemple, DiSalvo et Gemperle (2003) et DiSalvo, Gemperle et Forlizzi (2005)<sup>2</sup>.

## Anthropomorphisme de projection et anthropomorphisme de réalisation

- 2 Si nous laissons de côté les drones, les robots sous-marins et les voitures autonomes, pour limiter notre propos aux robots dits à chaîne articulée, qui sont à l'origine même de la robotique, il est un point essentiel peu mis en valeur, selon nous, de la technologie robotique : le fait qu'elle est fondée sur le passage de la chaîne cinématique fermée à la chaîne cinématique ouverte. La cinématique, en tant que science fondamentale de la structure des machines inventée par Frantz Reuleaux (1875) conduit, à l'époque de la révolution industrielle, à définir une 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 » (page 37). L'obligation dont parle Reuleaux est assurée par une chaîne cinématique fermée qui, comme dans le cas du système bielle-manivelle illustré par la figure 1.a, force l'ensemble des corps de la chaîne à se mouvoir sous l'effet d'une force imposée à un corps dit entrant – la pression agissant sur le piston dans le cas du système bielle-manivelle. De manière complètement nouvelle, à la suite du développement des premiers télémanipulateurs pour l'industrie nucléaire, le robot industriel ouvre la chaîne cinématique fermée de la machine traditionnelle grâce à une motorisation de chacune de ses articulations (fig. 1.b).

Fig. 1. Les chaînes cinématiques : machine vs robot



Mise en opposition entre le caractère de chaîne cinématique fermée de la machine traditionnelle dont l'archétype est sans doute le système bielle-manivelle (a) et le caractère de chaîne cinématique ouverte propre au robot industriel (b).

Fig. 1a : schéma repris et modifié du site <http://ajtco.free.fr> ; fig.1b : schéma B. Tondu

- 3 La robotique industrielle, avant même la robotique humanoïde, serait ainsi fondée sur cet anthropomorphisme de réalisation qui consiste à définir la machine comme une séquence de corps articulés dont la combinaison des mouvements permet à un organe

terminal de se déplacer dans l'espace à la manière d'une main ou d'un pied porté par la chaîne cinématique ouverte de son membre locomoteur. Cette liberté de l'organe terminal confère au robot une véritable « versatilité », synonyme de possibilité de reprogrammation de la tâche du robot, mais également porteuse de projection d'intention. Il est, en effet, étonnant de noter les processus de personnalisation de la machine-robot qui sont à l'œuvre dès le début de la robotique industrielle. Dans une analyse sur la perception des premiers robots industriels à l'usine, Caporael (1987) relate plusieurs faits marquants de cette époque : « Par exemple, dit-il, Newsweek rapporte l'anecdote d'un robot industriel, nommé 'Clyde' par les employés, qui fonctionnait mal et était successivement décrit dans le journal interne de la compagnie comme 'malade' puis 'guéri' et, après avoir été réinstallé dans l'usine, fut célébré par une fête de retour (Nicholson 1979). [...] Un article sur 'les robots qui pensent' dans *Popular Science* mentionne un robot PUMA Unimation, au fonctionnement défaillant, avec deux figures humaines peintes sur son bras. Il avait blessé plusieurs travailleurs qui s'étaient trop rapprochés de lui, et était appelé 'Tueur' (Schefter 1980)<sup>3</sup> ».

- 4 Plus généralement, on peut considérer que l'anthropomorphisme de réalisation devient inhérent à la robotique dès que celle-ci fonde l'autonomie de la machine sur un mimétisme des membres locomoteurs animaux : un bras-robot, par exemple, appelle un organe terminal qui s'apparente à une main et, s'il a besoin d'être contrôlé visuellement, une caméra embarquée joue le rôle d'un œil. Deux bras deviennent nécessaires pour une tâche de manipulation à deux mains, entraînant éventuellement l'embarquement d'une « tête » supportant la vision embarquée. Tout le problème pour le roboticien est alors de comprendre et de maîtriser les conséquences de cet anthropomorphisme de réalisation dans la sphère de l'anthropomorphisme de projection. L'hypothèse controversée de Mori dont la « vallée de l'étrange » (MacDorman 2019) prédirait un rejet du robot à l'anthropomorphisme de réalisation trop poussé par un phénomène de projection négatif faisant du robot un être morbide, nous montre combien ce problème reste ouvert. Si on laisse de côté la réflexion des éthologues qui distinguent anthropomorphisme et mécanomorphisme, en tant qu'habitude à attribuer des propriétés mécaniques à des êtres non mécaniques (Caporael 1986), (Karlsson 2012), l'une des théories de l'anthropomorphisme de projection les plus remarquées ces dernières années, y compris parmi les roboticiens, est certainement celle d'Epley, Wayrz & Cacioppo (2007). Cette théorie psychologique distingue trois facteurs d'explication de notre tendance à humaniser des agents non humains :

- un désir naturel de connaissance (*elicited agent knowledge*) qui, à l'image de notre tendance à interpréter tout comportement d'un être humain, nous conduit à appliquer une grille similaire au mouvement des choses ;
- un désir de sociabilité (*sociality motivation*) qui, par manque de relations à autrui suffisantes, conduit certains d'entre nous à accroître cette tendance naturelle à humaniser les choses ;
- un désir « d'effectance » (*effectance motivation*) au sens où R.W. White (1959) a défini ce terme dans son article de référence sur la motivation ; selon cet auteur, notre comportement social se caractérise par un « désir d'interaction efficace avec l'environnement » (*desire for effective interaction with the environment*) qui correspond à une quête naturelle d'accroissement de nos compétences au sein de notre environnement. L'originalité de White consiste à faire de cette quête de compétences un besoin : « La motivation d'effectance n'a pas besoin d'être conçue de manière aussi impérieuse que la sexualité, la faim ou la peur quand elles sont violemment

excitées. Elle est modérée mais persistante et, en cela aussi, nous pouvons y discerner un trait qui est favorable à l'adaptation<sup>4</sup> ».

- 5 Plusieurs études en robotique sociale ont récemment cherché à tirer parti de cette théorie en considérant qu'elle pourrait influencer un anthropomorphisme de projection bénéfique pour les utilisateurs du robot. Selon Jakub Zlotowski et al. (2015), « l'anthropomorphisme pourrait être utilisé pour accroître notre propension à prendre soin des robots » (page 351). Que ce soit en tant que robot d'accueil dans un magasin, d'accompagnement dans un musée, voire d'éducation, un robot, à l'anthropomorphisme de réalisation limité, susciterait ainsi une meilleure acceptation et attention qu'une machine d'apparence neutre. Cependant, à la différence de nos téléphones portables, dont l'usage s'est très rapidement généralisé, il est difficile, faute d'expériences à grande échelle, de prédire l'apport positif de l'anthropomorphisme de projection à la robotique sociale.
- 6 Par ailleurs, comme le notent encore Zlotowsky et ses collègues, certains résultats contredisent l'hypothèse d'un anthropomorphisme de projection positif pour la robotique : pour Cindy Bethel, Kristen Salomon et Robin Murphy (2009), selon le titre même de leur étude, « les êtres humains trouvent les robots émotionnels non-anthropomorphes plus apaisants ». Tout se passerait finalement comme si notre acceptation ou rejet de la « forme anthropomorphique » dépendait de notre environnement social. En d'autres termes, le creux de la courbe de Mori s'accroîtrait ou se résorberait selon la situation personnelle du sujet confronté à la présence du robot (Tondu et Bardou 2011). Il nous semble, à ce propos, intéressant de noter que le robot thérapeutique le plus vendu au monde est une sorte de jouet robotisé ayant l'apparence d'un phoque : inventé à la fin des années 90 par le chercheur Japonais Takanori Shibata, le robot-phoque Paro est utilisé dans un grand nombre d'établissements pour personnes âgées de par le monde dans le but d'apporter un réconfort à des résidents souvent isolés. D'une grande ressemblance avec l'animal, y compris par sa taille, il est tellement efficace auprès de certaines personnes âgées que Sherry Turkle a pu dire à son sujet, avec une dose de résignation : « Des personnes âgées trouvent l'amour dans un appareil ménager » (*Elders finding love in a household machine*) – rapporté sur la page wikipedia de Paro.
- 7 Si les effets de l'anthropomorphisme de projection en robotique restent encore incertains et pourraient, finalement, ne guère être différents de ceux produits par d'autres machines, avec de larges variations selon la personnalité de chacun, nous souhaiterions, à présent, montrer l'intérêt à mieux cerner l'anthropomorphisme de réalisation en robotique.

## Anthropomorphisme de réalisation global et local

- 8 Comme le rappelle Ludwig von Bertalanffy (1972), l'un des fondateurs de la théorie des systèmes : « L'affirmation d'Aristote selon laquelle “Le tout est plus que la somme de ses parties” est une définition du problème fondamental des systèmes qui est toujours valide<sup>5</sup> ». Définir un système n'est pas une chose simple : comme le dit Jean-Louis Le Moigne (1977), avec un certain sens de la formule : « Un système est un système, pas un ensemble ! » (p. 18). Citant von Bertalanffy, il affirme encore : « Le système est un modèle de nature générale » (ibid. p. 60)<sup>6</sup> et, toujours en accord avec von Bertalanffy, il considère que la théorie des systèmes est une « théorie de la modélisation des objets »

(ibid. p. 60). Les choses sont, cependant, plus complexes qu'elles n'y paraissent. En effet, quelques lignes après avoir défini le système dans sa généralité, von Bertalanffy (1972) précise : « Un système peut être défini comme un ensemble d'éléments en relation entre eux et avec l'environnement<sup>7</sup> ».

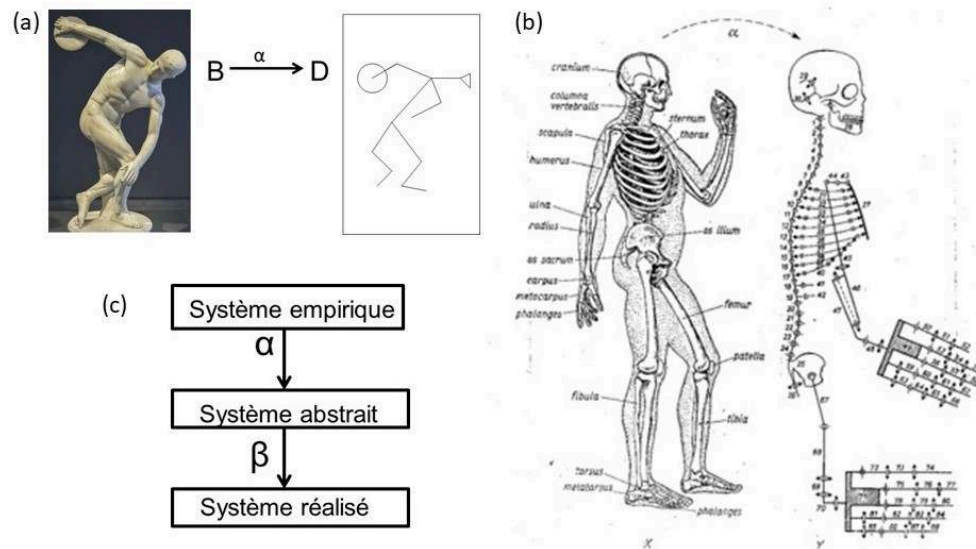
- 9 La théorie de l'anthropomorphisme de Julius Ekiel (1976), que nous voudrions ici mettre en valeur, mêle justement théorie de la modélisation et théorie ensembliste dans son approche systémique. Selon ce dernier, l'anthropomorphisme peut être vu comme une application d'un système empirique vers un système abstrait : une telle application est clairement une modélisation, appliquée à une réalité observable, générant un ensemble d'éléments abstraits en relation entre eux. Lorsque cette modélisation est appliquée à l'être humain dans son ensemble, Ekiel parle d'anthropomorphisme global qu'il illustre par le schéma de la Fig. 2a et qu'il définit ainsi : « L'opération  $\alpha$  transformant l'ensemble des observables B (être humain comme un tout) en un ensemble d'observés D (modèle) est appelé anthropomorphisme global<sup>8</sup> ». Ekiel ne le dit pas, mais cet anthropomorphisme global est une illusion : à la différence d'une machine, que l'on peut entièrement démonter et remonter, l'être vivant ne peut être considéré comme un ensemble de pièces unies par des relations mécaniques ou des flux d'information. La théorie de l'anthropomorphisme de Julius Ekiel trouve en fait sa justification dans le concept d'anthropomorphisme local qu'il définit ainsi :

« L'anthropomorphisme local est déterminé par le système de modélisation anthropomorphe et par le sous-ensemble B0 sur lequel il est défini. Le sous-ensemble B0 de l'ensemble B détermine le type de modèle, mécanique, électrique ou autre<sup>9</sup> ».

- 10 L'approche systémique d'Ekiel est, en fait, en accord avec l'enseignement contemporain de la médecine qui appréhende la physiologie humaine à travers la définition de 11 systèmes : squelettique, musculaire, nerveux, circulatoire, gastro-intestinale, respiratoire, urinaire, immunitaire, endocrinien, tégumentaire, et reproductif. L'anthropomorphisme local de Ekiel peut ainsi être compris comme une modélisation limitée à l'un de ces systèmes, voire à un sous-système. Parmi les systèmes physiologiques du corps humain, l'un d'eux est essentiel à la biomécanique, comme à la robotique, à savoir le système squelettique. La Fig. 2.b illustre la tentative faite par Ekiel pour en proposer un modèle : chaque os est représenté par un segment et chaque articulation est représentée par une liaison mécanique (voir Tondu, 2007 pour une discussion sur la modélisation des articulations du squelette). Cette opération d'abstraction faite, il ne reste plus qu'à en déduire une réalisation, c'est-à-dire un système d'éléments techniques assemblés selon le plan du système abstrait (Fig. 2.c).
- 11 Cependant, la démarche ensembliste d'Ekiel se heurte à la complexité de la physiologie humaine qui s'exprime, notamment, par l'interdépendance des différents systèmes physiologiques. Si l'abstraction du seul système squelettique proposée par Ekiel apparaît convaincante et sa réalisation possible, lui adjoindre les muscles du squelette semble bien plus difficile. D'une part, la modélisation du muscle squelettique est d'une grande complexité du fait de la hiérarchisation de sa structure fonctionnelle qui décompose le muscle en faisceaux pour descendre jusqu'au niveau microscopique du sarcomère. D'autre part, la redondance musculaire, c'est-à-dire la participation de plusieurs muscles à un même mouvement articulaire, induit, au seul niveau

macroscopique, une complexité du mode d'actionnement du membre locomoteur bien difficile à répliquer avec des pseudo-muscles artificiels (Tondu 2012).

Fig. 2. L'anthropomorphisme de réalisation selon Ekiel



En (a) : Modélisation du corps humain B considéré comme un système empirique (*empirical system*) transformé par l'application  $\alpha$  en un modèle abstrait (*abstract model*) D ; (b) Exemple du squelette humain X transformé en un diagramme structurel (*structural diagram*) Y ; (c) Réalisation d'un système technique considéré comme une application  $\beta$  du système abstrait, issue de l'application  $\alpha$ , vers le système réalisé.

Fig.2 a : Inspiré de Ekiel 1985 :229 ; fig.2b : Ekiel 1985 :230

- 12 Face à une telle complexité, à la fois de modélisation et de développement technique, l'anthropomorphisme de réalisation est, généralement, conduit à limiter ses ambitions : qu'il s'agisse des automates du XVIII<sup>e</sup> siècle comme des robots industriels et humanoïdes les plus récents, c'est essentiellement l'organisation cinématique des membres locomoteurs qui est répliquée, la motorisation étant, de son côté, non inspirée par le modèle musculaire. Cependant, cette question de l'anthropomorphisme de réalisation resurgit à travers un autre concept, celui de biomimétisme dont on peut se demander s'il est profitable ou non au développement de la robotique.

## Mimer le geste humain est-il la meilleure solution pour une machine ?

- 13 La bionique se donnait comme objectif, dans les années 60, de développer des systèmes techniques innovants inspirés de la nature (Guillot et Meyer 2008). Le concept de biomimétisme (*biomimicry* en anglais), proposé par Janine Benyus en 1997, en est une version renouvelée que l'on associe, parfois, aux préoccupations récentes de développement durable (Ricard, 2015). Bionique et biomimétisme se confondent, cependant, dans l'espoir de tirer parti des longs procédés d'évolution en œuvre au sein de la nature, dans une perspective darwinienne clairement assumée pour y lire des innovations techniques originales ou inspirer la résolution de problèmes techniques.
- 14 L'invention du *velcro* par l'ingénieur suisse Georges de Mestral, qui eut l'idée de reproduire en nylon les crochets flexibles multidirectionnels des fleurs de Bardane,



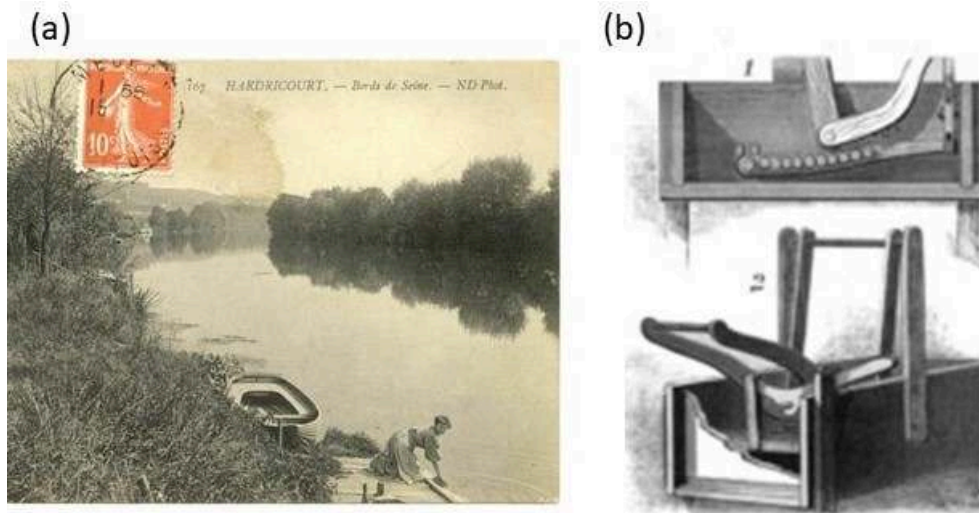
pour en faire un procédé de fermeture rapide pour vêtement (Mathieu et Lebel 2015 : 31-32), est un exemple remarquable de cette lecture technologique de la nature. La modification de l'avant du train à grande vitesse japonais s'inspirant de l'habileté du Martin-pêcheur pour passer rapidement de l'air à l'eau pour capturer sa proie en est un autre (*ibidem* :127-128). Mais, si frappants soient-ils, ces exemples sont cependant plus superficiels qu'ils n'y paraissent : on ne copie des pièces florales de la fleur de Bardane comme du bec du Martin-pêcheur qu'une forme externe proposée par la nature et non la physiologie des organes. Le *wingsuit* illustre encore cette superficialité propre au biomimétisme : cette combinaison de vol mime la peau du polatouche, petit écureuil volant d'Amérique du Nord capable de voler d'un arbre à l'autre en tendant de larges pans de la peau qui relie ses pattes. Une telle réalisation donne l'impression que son inventeur a su copier la nature propre à la locomotion du polatouche mais il ne s'agit là que d'un mode passif de locomotion. En fait, malgré les progrès de la robotique, de la miniaturisation informatique et du contrôle neuro-mimétique, il n'existe toujours pas d'écureuil artificiel capable de se mouvoir avec l'agilité des écureuils roux de nos jardins publics. Outre la question du coût des moyens techniques à mettre en œuvre, une raison plus profonde pourrait être la nécessité de quitter le niveau superficiel de la forme pour des niveaux internes, hiérarchisés et liés systématiquement.

- 15 Pour reprendre la définition de l'anthropomorphisme local introduite au paragraphe précédent, on pourrait dire que les réussites du biomimétisme sont généralement associées au choix d'un anthropomorphisme local auquel on a pu associer une fonction limitée : l'accrochage par crochets dans le cas du velcro, une pénétration fluide dans le cas du TGV japonais, le vol plané dans le cas du wingsuit. La limitation de la fonction, dans une visée biomimétique, est généralement associée à un non-biomimétisme du comportement moteur qui, dans sa généralité, implique un mimétisme de pratiquement tous les systèmes physiologiques si on y inclut le contrôle et la question de l'autonomie énergétique. En fait, le biomimétisme du comportement moteur humain ou animal est, à la fonction génétique prêt, un presque anthropomorphisme global.
- 16 De manière plus précise, nous voudrions souligner combien le biomimétisme appliqué au geste humain demeure problématique, en prenant l'exemple de la machine à laver. Comme le rappelle Marie-Noël Denis (1987), « la lessive a toujours été la plus pénible des tâches domestiques » : en effet, le geste traditionnel de la lavandière, s'il est pratiqué à 4 pattes (Fig. 3.a), met en jeu tout le corps dans un mouvement de va-et-vient particulièrement pénible pour le dos et les jambes. Comme le précise encore Marie-Noël Denis, « les premiers essais [de machine à laver] reprendront le mouvement de frottement du linge des laveuses sur la planche de bois ». L'invention d'un certain Dixon (*Scientific American*, 1886) – Fig. 3.b – illustre une telle démarche : « les habits à laver sont placés entre les rouleaux de caoutchouc, le niveau supérieur allant et venant tout en pressant les vêtements, le niveau inférieur pouvant être adapté à la quantité de vêtements à laver<sup>10</sup> ».
- 17 L'histoire de la machine à laver peut ainsi être lue comme un long cheminement vers le renoncement à toute référence au geste initial : la machine à tambour constituée, d'une certaine manière, un contre-exemple aux réalisations biomimétiques. En recherchant à la fois l'efficacité et le coût le plus faible, et donc le recours à un minimum de pièces mécaniques en mouvement, la machine à laver actuelle, comme les autres machines domestiques, s'est spécialisée dans sa tâche, devenant un « outil-machine » où la main



de l'opérateur n'est plus sollicitée que pour mettre, enlever le linge et choisir un cycle de marche.

Fig. 3. Lavandière au travail (a) vs planche à laver de Dixon (b)



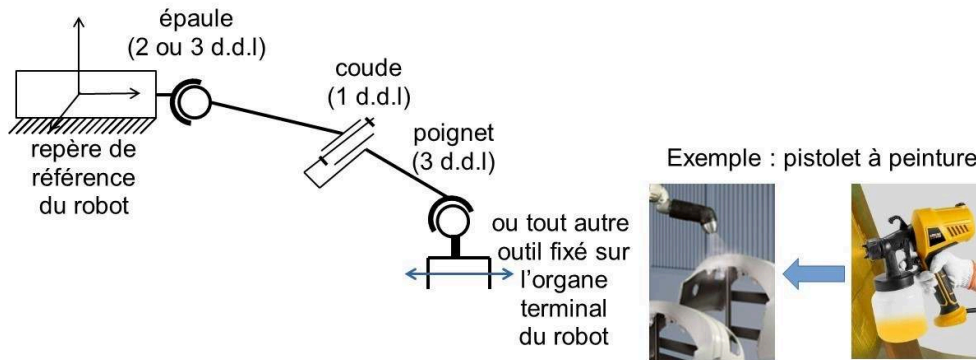
Présentée dans le *Scientific American* en 1886, l'invention de Dixon, cherchait à copier le geste de va-et-vient des bras de la lavandière sur sa planche à laver.

Carte postale du début du XX<sup>e</sup> siècle, collection de l'auteur (a) et *Scientific American* 1886 (b)

- 18 Dans ce contexte de machines domestiques et industrielles spécialisées, le robot industriel peut sembler anachronique puisque destiné, à l'origine tout au moins, à être une sorte « d'ouvrier universel ». En fait, le robot industriel peut, selon nous, être compris comme un dispositif technique qui combine une partie biomimétique, destinée à tirer parti du caractère « optimal » de la structure cinématique du bras humain, et une partie non-biomimétique, destinée à lui donner l'efficacité d'un outil spécialisé.
- 19 La structure cinématique généralement retenue pour un robot industriel est celle inspirée par la combinaison articulaire 'épaule-coude-poignet'. Comme Kapandji (1975) l'a bien montré dans son traité de physiologie articulaire, l'articulation de type pivot, dont l'archétype est la flexion-extension du coude – c'est-à-dire la rotation du bras par rapport à l'avant-bras autour d'un axe perpendiculaire au plan bras/avant-bras – est supérieure à une articulation de type glissière qui, pour le coude, ferait se translater l'avant-bras le long du bras, dans le sens où la première génère, pour un même encombrement, un plus grand débattement articulaire. Par ailleurs, en donnant six degrés de liberté (abrégé par d.d.l) à cette structure (2 pour l'épaule, 1 pour le coude et 3 pour le poignet), on permet à l'extrémité distale de cette chaîne cinématique de se positionner et de s'orienter dans l'espace de travail du robot à la manière de la main humaine.
- 20 Une telle structure cinématique résulte donc clairement d'un anthropomorphisme local du système squelettique ; il exclut, cependant, ce qu'on appelle le complexe de l'épaule – les robots industriels n'ont pas de clavicule – mais surtout il exclut la main. Cette dernière pose, en effet, un double problème au roboticien qui veut la mimer. D'une part, et cela pourrait être vu comme une image du vivant se dérochant aux efforts des modélisateurs, il est difficile d'estimer le nombre de degrés de liberté de la main humaine qui, en tous cas, est bien supérieur aux 6 ou 7 degrés de liberté conférés

généralement au robot industriel. D'autre part, la main humaine au travail est destinée à tenir un outil dont le mouvement est surveillé par l'œil humain, mais notre cerveau réalise tout cela sans avoir besoin d'un repérage mathématique. La robotique si ! Et tout le problème est là : tant que l'intelligence artificielle et ses méthodes d'apprentissage n'auront pas prouvé qu'un robot peut apprendre tout seul ses mouvements, ces derniers resteront tributaires d'une modélisation mathématique du repérage de l'outil dans un repère de référence.

Fig. 4. Caractère hybride, du point de vue de l'anthropomorphisme, de la plupart des robots industriels



La structure 'épaule-coude-poignet' relève clairement d'un anthropomorphisme local du squelette articulé du bras humain tandis que l'outil non porté par une main robotisée évite clairement le mimétisme de la main humaine (voir texte).

B. Tondu

- 21 Faire tenir à la main du robot un outil ne sert à rien si le contrôleur du robot n'est pas capable d'estimer très précisément la position et l'orientation de l'outil par rapport à cette main et, en remontant la chaîne cinématique, par rapport au repère de référence du robot. Pour ces raisons, la robotique industrielle, telle qu'elle apparaît dans les catalogues de fabricants, a renoncé au biomimétisme de la main humaine pour préférer l'efficacité d'un outil spécialisé, fixé à l'extrémité de la chaîne du « bras » : un préhenseur dont la taille et la technologie peuvent dépendre de l'objet à saisir, un outil de peinture, ou de soudure, par exemple (Fig. 4). C'est peut-être parce que la robotique de systèmes articulés a buté sur le problème de l'intégration de mains efficaces sur ses bras qu'elle a décidé, au tournant du XXI<sup>e</sup> siècle, de renverser la table pour s'attaquer au problème de la bipédie et au développement de robots humanoïdes. Comment appréhender celui-ci dans une perspective anthropomorphique ?

## Le pari anthropomorphe de la robotique humanoïde

- 22 La légende veut que, lorsque *Honda* décide de se lancer en 1986 dans le développement d'un robot humanoïde, les pièces de son centre de recherche consacrées à ces travaux étaient dépourvues de fenêtres pour mieux garder le secret des découvertes espérées. On sait aussi maintenant que l'aventure, non pas industrielle – les robots humanoïdes *Honda* n'ont jamais été commercialisés – mais plutôt de recherche et développement du robot *ASIMO* (pour *Advanced Step in Innovative Mobility* mais dont le sigle peut être également lu comme une référence à l'écrivain Isaac Asimov) après avoir démontré ses capacités à marcher, courir, serrer des mains lors de mises en scènes plus ou moins

spectaculaires, s'est définitivement arrêtée le 31 mars 2022 lors d'une cérémonie officielle organisée par son constructeur. La robotique humanoïde, dont l'avènement doit beaucoup aux travaux précurseurs de *Honda*, se poursuit, à présent, en laboratoire (le congrès scientifique *IEEE-Humanoids* existe depuis 2000 avec des éditions successives qui le font tourner entre États-Unis, Europe et Asie) ou au sein d'entreprises privées comme *Boston Dynamics* dont le slogan affirme : « *Changing your idea of what robot can do* ». À l'époque, dans leur article de référence sur le développement du robot humanoïde qui allait par la suite devenir *ASIMO*, les ingénieurs de *Honda* justifiaient ainsi leurs efforts (Hirai et al. 1998) :

« Nous croyons qu'un robot à l'intérieur d'un environnement domestique est le type de robot que les consommateurs peuvent trouver utile. Nous l'avons appelé Robot Domestique. Un tel robot doit être capable de se mouvoir dans une maison où existent de nombreux obstacles comme la porte d'entrée, un escalier, des portes intérieures et des meubles. Afin de se déplacer dans un tel environnement, fait pour les êtres humains, *Honda* est persuadé qu'un robot avec des jambes et des bras, et qui peut marcher comme un humain, est la configuration la plus pratique et la plus adaptée<sup>11</sup> ».

- 23 Malgré cet argument de bon sens, aucun industriel, à notre connaissance, avant *Honda*, n'avait osé choisir la bipédie comme mode de locomotion privilégié en robotique et ce pour une double raison. À la différence d'un engin à quatre roues ou à chenilles, un robot à pattes ne peut avancer qu'en modifiant constamment sa base de sustentation mais, à la différence des robots quadrupèdes ou hexapodes, un robot bipède est encore plus contraint que les autres robots à pattes : chaque levé de pied ne peut se faire qu'en déplaçant la ligne de gravité du robot vers l'autre pied ; sinon, le robot tombe. En choisissant des pieds assez larges, d'une seule pièce, c'est-à-dire sans possibilité de lever le talon, et en les munissant de capteurs de pression, les ingénieurs de *Honda* ont imaginé pouvoir faire avancer leur (lourde) machine à une allure humaine tout en prévenant ses chutes.
- 24 Lors de la catastrophe de Fukushima, les robots japonais n'ont pas pu intervenir du fait de l'environnement radioactif de la centrale nucléaire endommagée : « Un robot classique ne résiste pas aux forts rayonnements car ses composants électroniques, ses capteurs, tout comme ses caméras qui s'obscurcissent, ne peuvent travailler dans un tel environnement », précisait Rodolphe Gelin lors d'une interview sur *France Culture* en 2011 (Alberganti 2011). Mais à quoi sert alors un robot s'il ne peut pas se substituer à l'homme dans les tâches dangereuses ? Ne pouvait-on pas lui fournir une combinaison protectrice ? L'impossibilité pour le Japon d'envoyer ses robots humanoïdes sur la zone de catastrophe était d'autant plus décevante que l'on pouvait avoir en tête l'image de ces jeunes hommes se relayant rapidement sur le toit de la centrale de Tchernobyl, 25 ans auparavant, pour évacuer les débris radioactifs avant de redescendre rapidement en espérant, à tort, que la dose de radiation reçue n'était pas nocive pour leur organisme.
- 25 En réalité, au-delà du fait que l'électronique des robots n'était pas « durcie » comme disent les spécialistes, il semble bien, plus prosaïquement, que les robots *Honda*, comme d'autres prototypes de robots humanoïdes, n'étaient pas capables de se lancer dans les couloirs de la centrale, de monter et descendre des escaliers qu'ils n'avaient pas appris à prendre, d'ouvrir des portes après en avoir saisi la poignée. À l'époque, il semblait bien difficile pour le robot *ASIMO* de passer de son statut de robot d'exhibition, faisant essentiellement la publicité pour la marque automobile *Honda*, au statut de robot

d'intervention en milieu non sécurisé. Son fonctionnement imposait, en effet, des règles d'utilisation strictes : un sol uni, des trajectoires de pied et de main entièrement enregistrées, sans moyens pour faire face à une chute.

- 26 Dans une rare vidéo disponible, on peut voir le robot *ASIMO* montant les premières marches d'un escalier de démonstration avant d'en rater une : il chute alors lourdement comme un objet qui tombe, ne faisant aucun geste pour se retenir ou amortir sa chute tout simplement parce que cela n'a pas été prévu dans son programme ("*Honda ASIMO fall - Stairs are hard*", <https://www.youtube.com>, 18 Nov. 2011). Plus grave encore, faute de colonne vertébrale, il n'est pas capable de se redresser seul. Cette courte vidéo de la chute du robot *ASIMO* illustre bien selon nous le lien étroit entre anthropomorphisme de réalisation et anthropomorphisme de projection : parce qu'un robot humanoïde peut marcher et même courir, on s'attend à ce qu'il puisse réagir s'il trébuche et faire l'effort de se relever s'il tombe. En un mot, on exagère les capacités physiques du robot humanoïde comme le fait, par exemple, Paul Dumouchel (2015) en affirmant que (c'est moi qui souligne) :

« Les robots présentent une forme de vie artificielle. Certains d'entre eux en particulier, comme *Robovie*, qui sont destinés à interagir avec nous dans des circonstances sociales habituelles, peuvent servir de compagnons à des enfants ou aider des personnes âgées à faire leurs courses ».

- 27 Alors que *Robovie*, dans l'un des articles de référence le concernant, est présenté comme un robot mobile à roues conçu pour saluer et discuter avec les personnes âgées de l'équivalent de nos EPHAD (Sabelli, Kanda & Hagita, 2011), l'affirmation de Paul Dumouchel semble empruntée au titre d'une courte vidéo sur *YouTube* montrant effectivement *Robovie* roulant dans un supermarché de Kyoto, un panier plus ou moins bien coincé sur son avant-bras, qu'une femme alerte, qui lui a donné rendez-vous à distance, remplit de quelques fruits (Glas 2010). À la vision de ce film, un non-spécialiste peut tout-à-fait se convaincre que *Robovie* serait capable de remplir seul son panier, d'en payer le contenu et de le ramener chez la personne qui a demandé son service. À l'opposé, un roboticien voit tout de suite les limites de *Robovie* : ses mains ne peuvent pas prendre et sa base mobile est inadaptée à sortir d'une surface parfaitement plane. En réalité, à moins d'une invention cachée, prête à être dévoilée, aucun robot n'est capable d'aider efficacement les personnes âgées dans leurs tâches du quotidien. Il est d'ailleurs intéressant de noter que *Robovie* existe toujours, sous une forme plus stylisée que sa version de 2010. Sa fonction la plus récente consiste, dans des magasins identiques à celui montré dans la vidéo de 2010, à se déplacer pour rappeler aux clients de porter leur masque anti-Covid (McCurry 2020).

- 28 Il est encore trop tôt pour dire si la robotique humanoïde finira par conduire à de véritables machines domestiques ou de service dans des environnements privés comme publics. Il est également trop tôt pour savoir quel degré d'anthropomorphisme de réalisation est nécessaire à une robotique humanoïde efficace, en particulier pour résoudre le problème de la bipédie. Pour bien comprendre toute l'étendue du pari anthropomorphe associé à la robotique bipède, on peut opposer aux difficultés actuelles de cette robotique mobile l'étonnante réussite commerciale des engins à deux-roues de marque *Segway* : ceux-ci, dont l'encombrement au sol est similaire à celui d'un robot bipède, sont naturellement instables et, pourtant, ils peuvent emporter un être humain qui les conduira avec une grande aisance sans pratiquement aucun apprentissage. Pourquoi, alors que les algorithmes de contrôle de stabilité du mouvement réussissent parfaitement dans le cas du *Segway*, des algorithmes similaires

ont tant de mal à assurer la stabilité d'un robot bipède ? Faut-il une supervision humaine comme la réalise le conducteur du *Segway* ? La solution a une bipédie artificielle passera-t-elle par le recours à une musculature artificielle engageant alors l'anthropomorphisme local du robot à s'étendre de plus en plus jusqu'à imaginer un futur où toutes les pièces d'un robot mimeront non plus une fonction mais nos organes ?

## Conclusion

- 29 Tout robot, sous forme de chaîne cinématique simple, dans le cas d'un robot industriel, ou de chaîne cinématique arborescente, dans le cas d'un robot humanoïde, suit un principe anthropomorphe du fait même de ses chaînes, et sous-chaînes, cinématiques ouvertes à l'image de celles des membres locomoteurs de l'être humain. Ce principe n'est, cependant, pas un gage de réussite technologique comme le montre le récent abandon du robot *ASIMO*, sans successeur connu, par la société japonaise Honda. D'un point de vue systémique, on sait que le corps humain – comme la structure de tout être vivant – doit être vu comme un tout qui, selon une expression plus imagée que rigoureusement scientifique, serait plus que l'ensemble de ses parties.
- 30 Or, un anthropomorphisme de réalisation global, comme a cherché à le définir Juliusz Ekiel, semble inaccessible à la technologie. Tout anthropomorphisme de réalisation est, par conséquent, un anthropomorphisme local avec, pour conséquence, une perte de performances par comparaison à celles du système physiologique correspondant, qu'il n'est pas toujours facile d'évaluer. La robotique serait donc dans une quête permanente des meilleurs compromis entre anthropomorphisme de réalisation local et recours à des techniques non biomimétiques. Le robot industriel, avec sa structure « épaule-coude-poignet » et un organe terminal sur lequel est fixé un outil spécialisé, illustre, selon nous, la réussite de cette approche hybride. La robotique humanoïde, à l'opposé, serait encore dans cette quête d'efficacité entre choix biomimétiques et choix non-biomimétiques. Doit-elle introduire des pieds articulés pour rendre sa marche plus naturelle avec la difficulté d'assurer la stabilité du robot lorsque celui-ci ne repose plus que sur la pointe d'un seul pied ? Une musculature artificielle, avec une redondance inspirée du système musculaire animal, sera-t-elle nécessaire pour une marche sur des terrains de nature variable ?
- 31 Toujours est-il que, quel que soit le niveau d'anthropomorphisme de réalisation adopté, l'utilisateur du robot – comme son simple spectateur – peuvent avoir tendance à exagérer les performances physiques, cognitives, intentionnelles du robot : le robot industriel devient tueur, le pseudo-robot compagnon *Paro* devient être aimant et aimé, le robot bipède devient acteur social. L'ampleur de telles projections anthropomorphes reste, cependant, un sujet de débat entre ceux qui les jugent inévitables et néfastes, tout spécialement auprès des enfants, dont la robotique exploiterait les tendances animistes (Sharkey et Sharkey 2010), et ceux qui doutent de l'existence du lien que l'on peut établir entre anthropomorphisme de projection et robotique, comme Luisa Damiano et Paul Dumouchel (2018) qui ont récemment affirmé : « Nous ne savons pas si les robots amplifient ou non l'“anthropomorphisme naturel” »<sup>12</sup>.
- 32 Pour ceux qui ne doutent pas du lien entre robotique et projections anthropomorphes, peut alors se poser la question de ce que Brian Duffy (2002) a appelé « anthropomorphisme optimal » : « Il y a-t-il une notion d'anthropomorphisme

optimal ? Quel est l'ensemble idéal des caractères humains qui pourraient compléter et augmenter la fonctionnalité d'un robot social ? Quand l'anthropomorphisme va-t-il trop loin ?<sup>13</sup> », interroge-t-il. Cet anthropomorphisme optimal qui serait, selon les termes introduits dans cet article, non plus un équilibre au sein des choix faits d'anthropomorphisme de réalisation mais un équilibre entre anthropomorphisme de réalisation et projections anthropomorphes induites, reste à établir.

- 33 Le choix, par exemple, d'un visage inspiré des héros de mangas pour le robot Japonais HRP-2, conçu en 2003 par l'institut japonais AIST (pour *The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*), relève-t-il de cet anthropomorphisme optimal ? Au-delà des difficultés à saisir ce lien entre anthropomorphisme de réalisation et anthropomorphisme de projection, il est clair, cependant, que les avancées du premier entraînent les dérives du second et les tendances naturelles du second poussent aux améliorations du premier. À la frontière de la robotique humanoïde actuelle, le concept encore flou de robot sexuel – voir, par exemple, Tondu (2021) – illustre ce double mouvement, aux conséquences incertaines. Comme ose l'affirmer la célèbre spécialiste de robotique sociale, Kerstin Dautenhahn :

« Ce que nous appelons “robot” aujourd'hui sera très différent de ce que nous appellerons robot dans une centaine d'années. Le concept de robot est une cible mouvante ; nous réinventons constamment ce que nous considérons être un “robot”<sup>14</sup> ».

- 34 En guise de provocation finale, on pourrait même se demander si un anthropomorphisme de réalisation biologique global serait un jour possible, conduisant à une fusion entre humains et robots, voire à la supplantation des premiers par ces derniers<sup>15</sup>.

---

## BIBLIOGRAPHIE

ALBERGANTI, Michel. Fukushima : Pourquoi les Japonais ne font-ils pas appel à des robots d'intervention ? <https://www.radiofrance.fr/franceculture>. 24 Mars 2011.

BETHEL, Cindy L., SALOMON, Kristen, et MURPHY, Robin R. Preliminary results: Humans find emotive non-anthropomorphic robots more calming. In: *Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction*. 2009. p. 291-292; <https://doi.org/10.1145/1514095.1514181>.

DUFFY, Brian R. *Anthropomorphism and Robotics. Symposium on Animating Expressive Characters of Social Interactions*. Imperial College, London, 2002.

DUMOUCHEL, Paul. La vie des robots et la nôtre. *Multitudes*, 2015, vol. 58, no 1, p. 107-113; <https://doi.org/10.3917/mult.058.0107>.

ČAPEK, Karel. *RUR Reson's Universal Robots*. 1997.

CAPORAEL, Linnda R. Anthropomorphism and mechanomorphism: Two faces of the human machine. *Computers in human behavior*, 1986, vol. 2, no 3, p. 215-234; [https://doi.org/10.1016/0747-5632\(86\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0747-5632(86)90004-X).

- DAMIANO, Luisa et DUMOUCHEL, Paul. Anthropomorphism in human-robot co-evolution. *Frontiers in psychology*, 2018, vol. 9, p. 468-477 ; <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00468>.
- DENIS, Marie-Noëlle. Systèmes culturels et technologie : histoire de la machine à laver. *Culture technique*, 1987, no 17, p. 206-212.
- DISALVO, Carl et GEMPERLE, Francine. From seduction to fulfillment: the use of anthropomorphic form in design. In: *Proceedings of the 2003 international conference on Designing pleasurable products and interfaces*. 2003. p. 67-72 ; <https://doi.org/10.1145/782896.782913>.
- DISALVO, Carl, GEMPERLE, Francine, et FORLIZZI, Jodi. *Imitating the human form: Four kinds of anthropomorphic form*. Unpublished manuscript. Accessed April, 2005; <https://www.cs.cmu.edu/>.
- EKIEL Juliusz. Biocybernetic Movement Systems, Chap. 4. In: MORECKI, A., EKIEL, J. et FIDELUS, K. *Bionika Ruchu*, PWN, Warsaw, 1976. Traduction anglaise: *Cybernetic Systems of Limb Movements in Man, Animals and Robots*. Ellis Horwood, 1985.
- EPLEY, Nicholas, WAYTZ, Adam, et CACIOPPO, John T. On seeing human: a three-factor theory of anthropomorphism. *Psychological review*, 2007, vol. 114, n° 4, p. 864-886; <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.864>.
- FISHER, John Andrew. Disambiguating anthropomorphism: An interdisciplinary review. *Perspectives in ethology*, 1991, vol. 9, n° 9, p. 49-85
- GUILLOT, Agnès, MEYER, Jean-Arcady. *La Bionique. Quand la science imite la nature*. Dunod, 2008.
- GLAS, D.F. Robovie II helps elderly customers in a supermarket. *Youtube.com*. 15 avril 2010.
- HEIDER, Fritz et SIMMEL, Marianne. An experimental study of apparent behavior. *The American journal of psychology*, 1944, vol. 57, no 2, p. 243-259; <https://doi.org/10.2307/1416950>.
- HIRAI, Kazuo, HIROSE, Masato, HAIKAWA, Yuji, et al. The development of Honda humanoid robot. In: *Proceedings. 1998 IEEE international conference on robotics and automation* (Cat. No. 98CH36146). IEEE, 1998. p. 1321-1326 ; DOI : 10.1109/ROBOT.1998.677288.
- KAPANDJI, Adalbert I. *Physiologie articulaire – Schémas commentés de mécanique humaine*, Fascicule 1 : *Membre supérieur*. Maloine, 1975.
- KARLSSON, F. Anthropomorphism and mechanomorphism. *Humanimalia*. 3, 2, 2012, p. 107-122 ; DOI : <https://doi.org/10.52537/humanimalia.10051>.
- LE MOIGNE, Jean-Louis. *La théorie du système général-Théorie de la modélisation*. PUF, 1977.
- McCURRY, J. Japan shop deploys robot to check people wearing face masks. *The Guardian*. 16 novembre 2020.
- McDORMAN, Karl F. La vallée de l'étrange de Mori Masahiro. *e-Phaïstos*. VII-2, 2019 ; <https://doi.org/10.4000/ephaistos.5333>.
- MATHIEU, Andrée, LEBEL, Moana. *L'art d'imiter la Nature. Le Biomimétisme*. Éditions MultiMondes, 2015.
- NICHOLSON, T. Blue-collar robots. *Newsweek*. 1979, p. 80-81.
- REULEAUX, Frantz. *Theoretische Kinematik*. Berlin, 1875. Traduction française : *Cinématique : principes fondamentaux d'une théorie des machines*. Librairie F. Savy, 1877.
- RICARD, Patricia. Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement. Les avis du conseil économique social et environnemental. *Les éditions des journaux officiels*, Septembre 2015.



SABELLI, Alessandra M., KANDA, Takayuki et HAGITA, Norihino. A conversational robot in an elderly care center: An ethnographic study. *Proc. of the 6th Human-Robot Interaction Conf., Lausanne, Suisse*, 2011, p. 37-44; <https://doi.org/10.1145/1957656.1957669>.

SCHEFTER, J. New workers on the assembly line: Robots that think. *Popular Science*, June 1980, p. 46-57.

SHARKEY, N., SHARKEY, A. The crying shame of robot nannies. An ethical appraisal. *Interaction Studies*. 11, 2010, p. 161-190; <https://doi.org/10.1075/is.11.2.01sha>.

SCIENTIFIC AMERICAN, 54, 13, 1886, p. 194.

TONDU, Bertrand. Estimating shoulder-complex mobility. *Applied Bionics and Biomechanics*. 4, 1, 2007, p. 19-29; DOI: 10.1080/11762320701403922.

TONDU, Bertrand, BARDOU, Nicole. A new interpretation of Mori's uncanny valley for future humanoid robots. *Int. J. of Robotics and Automation*. 26, 3, 2011, p. 337-348; DOI: 10.2316/Journal.206.2011.3.206-3348.

TONDU, Bertrand. Anthropomorphism and humanoid robots for service: The ambiguous relationship. *Industrial Robotics: An international Journal*. 39, 6, 2012, p. 609-618; <https://doi.org/10.1108/01439911211268840>.

TONDU, Bertrand. Sex robots: Auto-erotic devices, fetishes or new form of transitional object for adults?. *Proc. of the 13th Int. Conf. on Social Robotics (ICSR)*. Singapour, Nov. 2021, p. 130-141; DOI: 10.1007/978-3-030-90525-5\_12.

VON BERTALANFFY, Ludwig. The history and status of general systems theory. In: *Trends in General Systems Theory*, George J. Klir, Wiley-Interscience, 1972; <https://doi.org/10.5465/255139>.

WHITE, Robert W. Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*. 66, 5, 1959, p. 297-333; <https://doi.org/10.1037/h0040934>.

ZLOTOVSKI, Jakub, PROUDFOOT, Diane, YOGESWARAN, Kumar et BARTNECK, Christoph. Anthropomorphism: Opportunities and challenges in human-robot interaction. *Int. J. of Soc. Robotics*, 7, 2015, p. 347-360; <https://doi.org/10.1007/s12369-014-0267-6>.

## NOTES

1. Tous les passages en anglais cités dans cet article ont été traduits par l'auteur: "Anthropomorphism was originally a term used in the theological context for views of God that characterizes Him in literal human terms. In particular, to view God as person of sorts, with indefinitely amplified human powers and characteristics (loving, just, knowing) can be labeled anthropomorphic" (page 50).

2. Notons que ces auteurs distinguent quatre aspects de la "forme anthropomorphique" : un aspect structurel (structural anthropomorphic form) qui vise à imiter la matérialité de l'objet, sur le modèle, par exemple, des mannequins d'atelier, un aspect gestuel (*gestural anthropomorphic form*) qui vise à imiter le comportement humain comme, par exemple, un écran d'ordinateur se mettant à vibrer lorsqu'un mauvais mot de passe est rentré, un aspect caractériel (*anthropomorphic form of character*) qui vise à imiter les traits de personnalité propres au caractère humain en distinguant, par exemple, des traits spécifiquement féminins de traits spécifiquement masculins, un aspect cognitif enfin (*aware anthropomorphic form*) qui vise à imiter notre capacité de raisonnement. La robotique actuelle est essentiellement concernée par les deux premiers aspects, tandis qu'une robotique plus fantasmagique peut prétendre à la réalisation de l'ensemble

de ces quatre aspects. Notons, enfin, que l'adjectif « anthropomorphique » est ici utilisé dans le sens restreint de « qui est semblable à un individu humain », selon le *Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales* (<https://www.cnrtl.fr/definition/anthropomorphique>).

3. « For example, *Newsweek* describes an industrial robot, named 'Clyde' by the employees, that malfunctioned and was described successively in the company newsletter as 'sick', then 'cured,' and finally when it was returned to operation, was greeted by employees with a welcome back party (Nicholson 1979). [...] An article on 'robots that think,' in *Popular Science*, reports a malfunctioning Unimation PUMA with two human figures painted on its arm. It has injured some workers that had gotten too close to it, and named 'Killer' (Schefter 1980) » (page 218).

4. « Effectance motivation need not to be conceived as strong in the sense that sex, hunger, and fear are strong when violently aroused. It is moderate but persistent and in this, too, we can discern a feature that is favorable for adaptation » (p. 329-330).

5. « Aristotle's statement 'The whole is more than the sum of its parts' is a definition of the basic system problem which is still valid » (page 21).

6. « It is generally agreed that 'system' is a model of general nature, that is, a conceptual analog of certain rather universal traits of observed entities » (page 31).

7. « A system may be defined as a set of elements standing in interrelation among themselves and with environment » (page 31).

8. « The operation  $\alpha$  transforming the set of observables  $B$  (whole man) into the set of observands  $D$  (model) is called global anthropomorphism » (page 228).

9. « Local anthropomorphism is determined by the anthropomorphic modelling system and by subset  $B_0$  on which it is defined. The subset  $B_0$  of the set  $B$  determines the type of model e.g. mechanical or electrical, and the like » (page 229).

10. « The clothes to be washed are placed between the rubbers, the upper one being rocked to and fro and at the same time pressed upon the clothes. The lower can be adjusted according to the quantity of clothes to be washed » (page 194).

11. « We believe that a robot working within a household is the type of robot that consumers may find useful. It was named the 'Domestic Robot'. For such a robot, it is necessary to be able to move around the house, where many obstacles such as the entrance, a staircase, doors and furniture exist. In order to move in such an environment, 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).

12. « We are not sure if robots amplify 'natural anthropomorphism' or not » (page 5). Il est intéressant de noter que cette mise en doute du lien entre robotique et projections anthropomorphes peut rappeler les interrogations de certains au sujet de l'existence de la vallée de Mori.

13. « Is there a notion of 'optimal anthropomorphism'? What is the ideal of human features that could supplement and augment a social robot functionality? When does anthropomorphism go too far ».

14. « Thus, what we mean by 'robot' today will be very different from what we mean by 'robot' in a hundred of year time. The concept of robot is a moving target, we constantly reinvent what we consider to be 'robot' ».

15. La célèbre pièce de Karel Capek, *R.U.R.* (1920) qui a introduit, et popularisé, le terme de robot peut être lue comme le rêve, ou le cauchemar, de cet anthropomorphisme de réalisation, global parce que biologique : les robots de Capek sont, en effet, des machines biologiques qui, après avoir détruit l'espèce humaine, ouvrent la voie à une nouvelle création, au sens biblique du terme, la pièce s'achevant sur cette ultime réplique que le dernier homme Alquist adresse aux robots Helena et Primus : « Va Adam, va Eve. Le monde est à vous ».

---

## RÉSUMÉS

Le robot industriel, dit encore bras-robot, comme le robot humanoïde, sont des machines anthropomorphes dans le sens où elles empruntent certains traits propres à la structure cinématique du corps humain. Ce sont les caractéristiques de cet anthropomorphisme de réalisation que nous cherchons à mettre en valeur dans cet article, en l'opposant à l'anthropomorphisme de projection en tant que tendance naturelle de notre esprit à conférer des propriétés humaines à des choses non humaines. Cette question de l'anthropomorphisme en robotique est à rattacher, selon nous, à l'intérêt pour le biomimétisme qui favoriserait l'innovation technique et permettrait l'amélioration de certaines technologies actuelles en tirant parti des solutions issues de l'évolution du vivant. Le biomimétisme en robotique se heurte cependant à la difficulté de savoir jusqu'où, et comment, copier la nature pour élaborer des machines au comportement humain. Les difficultés de la robotique humanoïde actuelle illustreraient cette problématique.

The industrial robot, also called arm-robot, as well as the humanoid robot, are anthropomorphic machines in the sense that they borrow certain features from the kinematic structure of the human body. It is the characteristics of this anthropomorphism of realization that we seek to highlight in this article, by opposing it to the anthropomorphism of projection as the natural tendency of our mind to confer human properties to non-human things. This question of anthropomorphism in robotics is to be linked, according to us, to the interest for biomimicry which would favor technical innovation and would allow the improvement of certain current technologies by taking advantage of solutions resulting from the evolution of the living. However, biomimicry in robotics faces the difficulty of knowing how far and how to copy nature in order to develop machines with human behavior. The difficulties of current humanoid robotics illustrate this problem.

## INDEX

**Mots-clés :** histoire des techniques, robotique, anthropomorphisme, biomimétisme

**Keywords :** history of technology, robotics, anthropomorphism, biomimicry

## AUTEUR

### BERTRAND TONDU

Bertrand Tondu est professeur en sciences de l'ingénieur à l'INSA de Toulouse, et rattaché au LAAS-CNRS (Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes) où il fait partie de l'équipe GEPETTO, spécialisée en robotique humanoïde et mouvements des systèmes anthropomorphes. Ses axes de recherche concernent les muscles artificiels, l'anthropomorphisme des machines robotiques et les relations homme-robot d'un point de vue psychologique à travers, notamment, le thème de la « vallée de l'étrange » conçu par Masahiro Mori et, plus récemment, la question controversée des *sex-dolls* et *sex-robots*. L'ensemble de ses travaux est accessible via son profil *Google Scholar*.