
Quels progrès en trente siècles d'humanoïdes ?



Jean-Arcady MEYER

Agnès GUILLOT

Quoique rares, les représentations humaines ont été exploitées dès le Paléolithique, près de trente mille ans avant J.-C. En revanche, les hypothèses sur la signification de ces représentations – et de l'art paléolithique en général – sont nombreuses, même si aucune n'entraîne l'adhésion de tous les spécialistes. On ne sait pas davantage où, ni quand, ni pourquoi, est née l'idée de donner du mouvement à ces représentations, dont on peut imaginer qu'elles ont été d'abord agitées à bout de bras, avant d'être mues grâce à l'intervention de dispositifs supplémentaires. Certains de ces dispositifs pourraient remonter jusqu'au début du premier millénaire avant J.-C. Ensuite, des mécanismes plus complexes ont été mis en œuvre et des générations d'automates humanoïdes se sont succédées jusqu'au début du XX^e siècle de notre ère. Si les premiers robots sont apparus à cette époque, ils n'ont pris forme humaine que plusieurs dizaines d'années plus tard. De nos jours, en revanche, ils connaissent un engouement extraordinaire et prolifèrent aux États-Unis, au Japon et en Europe.

Il est particulièrement difficile de savoir à quelles motivations obéissaient les concepteurs de chacun de ces artefacts. Néanmoins, il nous paraît clair, à observer le tableau d'ensemble de leur évolution, que ces automates et robots tendent vers des degrés d'autonomie et d'adaptation sans cesse croissants, que cela ait été voulu ou non. Nous argumenterons sur ce point en décrivant le développement historique de ce tableau d'ensemble, avant de nous interroger naturellement sur l'état actuel et les suites possibles de ce processus évolutif.

I. Perspective historique

Les dispositifs les plus simples et les plus anciens ayant servi à animer des représentations humaines ont été constitués de fils, de cordes ou de bâtons tels que ceux qui équipaient les figures articulées et marionnettes dont on a retrouvé des exemplaires dans de nombreuses régions du monde, en Égypte, au Cameroun, en Asie mineure, en Indonésie et au Mexique (Chapuis et Gélis, 1928).

En revanche, les premiers automates véritables, mus par des mécanismes autonomes, semblent avoir été développés par les ingénieurs grecs vers le milieu du III^e siècle avant J.-C., qu'ils aient exploité des générateurs de mouvement développés pour des clepsydres, ou qu'ils aient conçu des automatismes dédiés. Ainsi, Ctésibios (vers 250 avant J.-C.) aurait fabriqué à Alexandrie une statue à figure humaine animée par des cames, qui fut exhibée lors de la procession triomphale que Ptolémée Philadelphie avait organisée pour fêter son accession à la royauté (Lefebvre de Villebrune, 1789). Divers manuscrits arabes attribuent, de même, à Archimède (287-212 avant J.-C.) la fabrication à la même époque d'une clepsydre enjolivée d'une tête de Méduse dont les yeux changeaient de couleur à chaque heure (Hill, 1976). On trouve également dans *Les Pneumatiques* de Philon de Byzance (vers 250 avant J.-C.) (Carra de Vaux, 1902) la description d'un berger automate interagissant avec un dragon (Fig. 1).

Toutefois, c'est Héron d'Alexandrie (I^{er} siècle après J.-C.) qui, au début de l'ère chrétienne, produisit les automates humanoïdes les plus nombreux et les plus élaborés de son époque. En particulier, son traité *Automata* décrit comment mettre en action, par des moyens uniquement mécaniques, de véritables pièces de théâtre, avec bruitages, entractes, changements de décors, changements de scènes et même changements de vue. Il décrit en particulier le drame en cinq actes de *La Légende de Nauplius*.

Le déroulement automatique de cette pièce durait plus de dix minutes et décrivait la double vengeance de Nauplius et Athéna envers les Grecs, après la chute de Troie¹ (Fig. 2) (Chapuis et Droz, 1949).

¹ La vengeance de Nauplius, roi d'Eubée, concerne la mort de Palamède l'un des trois fils qu'il eut de Clymène. Faussement accusé de trahison par Ulysse, qui n'avait pas pardonné à Palamède d'avoir déjoué sa tentative de passer pour fou afin d'éviter de participer à l'expédition contre Troie, Palamède avait été lapidé par les Grecs. Son père Nauplius le vengea en attirant la flotte grecque, de retour de Troie, sur le promontoire rocheux de Capharée, où elle fit naufrage. Quant à Athéna, elle voulait punir les excès impies commis par les vainqueurs après la prise de la ville, notamment le viol de Cassandre par Ajax, perpétré au sein même de son temple et alors que la jeune fille étreignait sa statue.

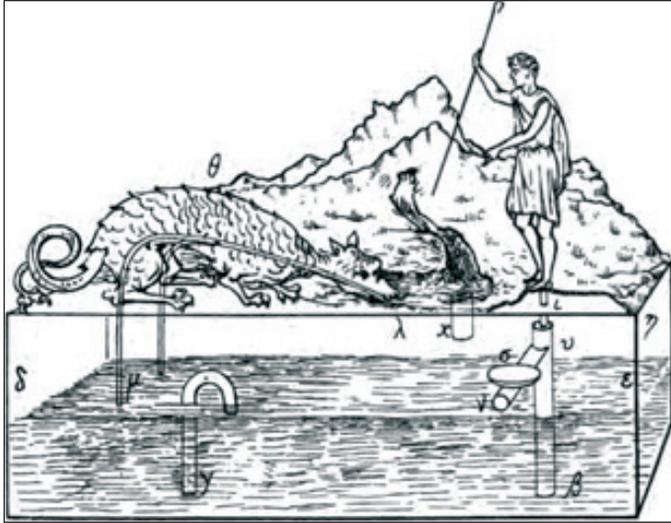


Fig. 1. Le dragon est placé près d'une source d'eau naturelle. Lorsque le berger est tourné à l'opposé du dragon, celui-ci se met à boire. En revanche, si on tourne le berger vers le dragon, celui-ci s'arrête de boire, comme si ce personnage l'en empêchait. (Carra de Vaux, 1902)



Fig. 2. Deux scènes d'une reconstitution de La Légende de Nauplius diffusé dans la série documentaire "Ancient Discoveries : Heron of Alexandria" sur History Channel le 21/12/2003, saison 1, épisode 03.

A gauche : les Grecs fabriquent les navires qui leur permettront de rentrer au pays.

A droite : Athéna contemple du rivage le naufrage des navires grecs qu'elle a provoqué

Plusieurs siècles plus tard, lorsqu'en 721, en vue de procéder à un sacrifice important, l'empereur Xuanzong attendit en vain pendant toute une journée une éclipse de soleil annoncée par le calendrier de l'époque, il entra dans une vive colère et chargea Yi Xing (683-727) de produire un calendrier plus fiable et précis. Dans ce but, Yi Xing fabriqua une sphère armillaire complexe animée par une clepsydre – qu'il appela *Shuiyun Hunyi* (*Le Modèle Hydraulique de la Sphère Céleste*) – et l'installa dans son observatoire au sein du palais de Chang'an. Cette sphère, qui renfermait le premier mécanisme à échappement de l'histoire, était agrémentée de deux personnages en bois qui frappaient sur une cloche et un tambour pour marquer le passage du temps (Needham, 1965).

Au début du IX^e siècle au Japon, le fils de l'empereur Kanmu, le prince Kaya (794-871), construisit une poupée répandant de l'eau. *Le Konjaku Monogatari-shu*² raconte que, par une année de grande sécheresse, le prince fabriqua cette poupée tenant une cruche et la plaça dans sa plantation de riz. Lorsque la cruche se remplissait d'eau, la poupée la soulevait et la renversait sur son visage. Les habitants de Kyoto étaient tellement fascinés qu'ils ne cessaient de mettre de l'eau dans la cruche pour voir la poupée agir. De cette manière, la plantation de riz était constamment arrosée (Ury, 1979).

Bhoja (1000-1060) régna sur le royaume de Malwa, en Inde centrale, de 1018 à 1060 environ, période pendant laquelle Dhar, sa capitale, devint l'un des centres intellectuels du pays. De ses divers ouvrages parvenus jusqu'à nous, le plus important du point de vue de l'histoire des automates est le *Samarangana-sutradhara*³ (*Architecte Céleste*), qui s'attache à la construction des *yantras* – c'est-à-dire des machines – et décrit des automates humanoïdes en ces termes : « *Se regarder dans un miroir, jouer du luth et tendre la main pour toucher un objet, passer une casserole, répandre de l'eau et saluer sont autant d'actes que ces personnages peuvent accomplir* » (Raghavan, 1956). Il est également question d'automates féminins préposés à l'entretien des lampes, qui dansaient en rythme autour de ces objets et les remplissaient d'huile lorsque nécessaire. On trouve également mention dans la littérature indienne d'automates mâles et femelles pouvant jouer de divers instruments de musique – flûte, luth cymbales et tambours – et offrir des feuilles de bétel aux invités. D'autres automates en-

² Ce texte existe dans des traductions françaises : l'une de 1959, *Konjaku*, S. Tsukakoshi et A. Guerne (trad.), Paris, Delpire, « La Fable du monde » ; l'autre de 1968, *Histoires qui sont maintenant du passé : Konjaku monogatari shu*, Paris, Gallimard.

³ Voir sa traduction anglaise récente, de 2008, *Samarangana-sutradhara of Bhojadeva*, S.K. Sharma (trad.), Delhi, Parimal Publications.

core pouvaient exécuter diverses danses, notamment l'énergique et masculine *tandava* ou la délicate et féminine *lasya*, qu'il s'agisse de danses pratiquées à la cour des rois ou de danses folkloriques (Varadpande, 1987).

En 1092, le chinois Su-Sung (1020-1101) publia le *Hsin I Hsiang Fa Yao (Nouvelle Description d'une Sphère Armillaire)* l'un des traités d'horlogerie les plus accomplis du Moyen Âge, dans lequel l'horloge astronomique qu'il construisit pour répondre à la commande de son empereur est décrite en grands détails. Cette horloge, appelée l'*Engin Cosmique*, était installée dans le palais impérial de Khaifeng et se présentait comme une tour de plus de 12 m de haut, en forme de pagode chinoise fantaisiste à cinq étages. Elle était animée par une roue à eau verticale de plus de trois mètres de diamètre qui tournait de manière intermittente mais à vitesse moyenne constante. Ce mouvement dépendait de trente-six godets attachés par des pivots aux rayons de la roue, godets qui étaient remplis d'eau les uns après les autres au moyen d'une clepsydre. Toutes les vingt-quatre secondes, quand le poids d'un godet dépassait un certain seuil, celui-ci basculait et agissait sur un levier qui libérait la rotation de la roue, jusqu'à ce que le godet suivant vienne prendre la position du précédent et puisse à son tour se remplir d'eau. Pendant ce temps, un dispositif adéquat bloquait à nouveau la rotation de la roue. Ainsi, l'écoulement régulier de la clepsydre était-il transformé en mouvements de rotation saccadés de la roue principale et transmis par une série d'axes et de roues dentées à toutes les parties en mouvement de l'horloge. En particulier, divers jacquemarts et poupées portant des vêtements à trois couleurs – écarlate, violet et vert – étaient disposés sur huit roues horizontales superposées et apparaissaient derrière huit fenêtres s'ouvrant sur la face avant de la tour. Les jacquemarts marquaient les heures et les « quartiers »⁴ en tapant avec leur bras animé sur des cloches de petite et grande tailles, sur des gongs et sur des tambours. Les poupées affichaient des pancartes indiquant, en particulier, les périodes de quarts nocturnes (Needham, 1965).

On ne sait pratiquement rien sur la vie d'al-Jazari (1136-1206), le plus grand ingénieur mécanicien de son époque. Il vécut à Diyarbakir en Turquie – la capitale des émirs artoukides – au service de trois princes vassaux de Saladin et voisins des Saljoukides de Roum qui gouvernèrent le nord de l'Irak et l'est de l'Anatolie aux XII^e et XIII^e siècles. Sur les instances de son dernier maître, Nasir al-Din, il rédigea un traité de mécanique théorique

⁴ La journée chinoise étant divisée en 100 quartiers (*kho*), chacun correspondait à une durée de quatorze minutes et vingt-quatre secondes.

et pratique centré sur la description de ses propres réalisations. Cet ouvrage, intitulé *Al-jami' bayn al-'ilm wa'l 'amal al-nafi' fi sina'at al-hiyal* (*Le recueil utile de la théorie et de la pratique dans les machines ingénieuses*), fut publié en 1206, quelques mois avant sa mort. Il décrit l'automate le plus célèbre d'al-Jazari : l'*Horloge à éléphant* (Fig. 3). Parce qu'elle mettait en œuvre des principes hydrauliques empruntés aux Grecs et parce qu'elle activait tout à la fois un éléphant indien, des figurines orientales, un phénix égyptien et des dragons chinois, cette horloge de sept mètres de haut célébrait la diversité du



Fig. 3. « Die Elefantenuhr », « L'horloge à éléphant » d'al-Jazari, de Syrischer Maler (1315), Buch der Einsicht in die Konstruktion mechanischer Apparate des al-Jazari, New York, Metropolitan Museum of Art in (2002) *The York Project: 10.000 Meisterwerke der Malerei*, DVD-ROM, ISBN 3936122202, distributed by DIRECTMEDIA Publishing GmbH

monde et la nature universelle de l'islam. L'ensemble des automatismes implémentés dans la machine reposait sur la présence, dans le ventre de l'éléphant, d'un réservoir d'eau à la surface de laquelle un flotteur percé d'une ouverture soigneusement calibrée se remplissait régulièrement, jusqu'à couler au fond du réservoir au bout d'un temps fixe d'une demi-heure. Ce mouvement en enclenchait toute une série d'autres, provoquant l'animation des divers automates de l'horloge et la chute finale d'une bille sur une cymbale. Chacun de ces automates reprenait ensuite sa position d'origine, l'eau contenue dans le flotteur était reversée dans le réservoir, le flotteur reprenait sa position initiale et recommençait à se remplir d'eau, de sorte que l'ensemble des animations reprenait une demi-heure plus tard, et ainsi de suite.

Parmi les autres « machines ingénieuses » décrites par al-Jazari, il en est une qui mettait peut-être en œuvre un automatisme programmable. Cette machine se présentait sous la forme d'un bateau transportant un orchestre de quatre musiciennes – des esclaves, précise al-Jazari – qui jouaient du tambour pour deux d'entre elles, de la harpe et de la flûte pour les deux autres. Ce bateau sillonnait un lac dans le but de distraire des invités de marque. De l'eau s'écoulant de deux réservoirs en cascade faisait tourner une roue à godets ainsi qu'un cylindre supportant un jeu de cames. Ces cames actionnaient des leviers qui, à leur tour, provoquaient les mouvements des musiciennes et la production des sons émis par cet orchestre flottant.

Léonard de Vinci (1452-1519) a conçu divers automates, notamment des lions qui servirent généralement à honorer l'un ou l'autre des rois de France qui se succédèrent à son époque. En ce qui concerne les automates à forme humaine, s'il produisit aussi un théâtre animé intitulé *La Fête du Paradis* et un jacquemart (Rosheim, 2006), la réalisation la plus spectaculaire de Léonard est, sans doute, l'humanoïde dont il aurait dessiné les plans vers 1495, avant de commencer à peindre *La Cène*. Il s'agit d'un chevalier vêtu d'une armure de type germano-italien conforme au style en vogue à la fin du XV^e siècle. Cet automate pouvait s'asseoir et se redresser, bouger ses bras, mouvoir sa tête, ouvrir et fermer une mâchoire correctement conçue du point de vue anatomique. Certains dessins du *Codex I* de Madrid se rapportent peut-être à cette pièce, auquel cas on peut supposer qu'elle était mue par une roue à eau et qu'elle chantait tout en jouant du tambour. On ne sait si Léonard a pu réellement la construire, ni à quel usage elle était réellement destinée. Certains imaginent qu'elle avait été commandée par les Sforza, soit pour un spectacle de cour, soit pour participer

au genre d'animations qui se donnèrent plus tard dans les grottes – telles qu'en concevra Salomon de Caus, par exemple. Une reconstitution simplifiée de cet automate – il ne bouge que les bras et la mâchoire – a été réalisée par Rosheim. Elle est exposée au Musée de l'Homme de San Diego.

Pendant leur séjour à Yuste, dans le but de distraire Charles Quint, Gianello Torriano (1505-1585) aurait construit diverses poupées animées. Strada écrivait sur Torriano: « *Souvent, après qu'on a débarrassé la nappe du dîner, il exhibait sur la table de petits cavaliers en armes, certains tapant sur des tambours, d'autres soufflant dans des trompettes, et d'autres encore participant à des tournois à la lance* » (Strada, 1649). Par ailleurs, il y a une rue très ancienne dans le quartier juif de Tolède qui, dès le XVII^e siècle, fut appelée la *Rue de l'Homme en Bois*. Ce nom faisait allusion à un automate grandeur nature que Torriano était censé avoir utilisé dans cette ville pour qu'il aille chercher du pain et de la viande à l'archevêché voisin, tout en ne manquant pas de remercier cérémonieusement le donateur (Stirling, 1853).

Au-delà de ces légendes, il reste que deux automates à ressorts pourraient avoir été construits par Torriano et avoir été conservés jusqu'à nos jours. Le premier est conservé au *Art Museum* de Vienne. Il s'agit d'une jolie femme de 44 cm de haut, avec des cheveux clairs et des joues très colorées, qui se déplace à petits pas tout en jouant du luth qu'elle tient de sa main gauche. Le deuxième est un frère franciscain de 19 cm de haut à l'air peu engageant, fait de bois et de fer, conservé au *Smithsonian National Museum of American History* de Washington. Il se déplace le long d'une trajectoire carrée, se battant la poitrine de son bras droit, levant et abaissant une croix et un rosaire qu'il tient de la main gauche. Il tourne la tête de bas en haut et de gauche à droite, roule des yeux et marmonne des prières silencieuses. De temps en temps, il porte la croix à ses lèvres et l'embrasse. Il pourrait représenter San Diego de Alcalá, un franciscain qui mourut en 1463 et pourrait avoir été fabriqué pour rappeler à Philippe II la guérison miraculeuse de son fils⁵.

⁵ En 1562, alors qu'il avait 17 ans, Don Carlos, le fils de Philippe II, chuta d'un escalier et se fracassa la tête. Malgré les soins diligents des médecins de la cour, son état s'aggrava très vite. La fièvre s'installa, il souffrit d'une attaque d'érysipèle, sa tête gonfla, il perdit la vue et sombra dans le délire. Bien qu'on l'ait trépané, son état ne s'améliora pas. En désespoir de cause, on allongea près de lui la momie de Diego de Alcalá, mort cent ans plus tôt, ce qui fit tomber la fièvre et soulagea instantanément ses souffrances. Un mois après, il semblait totalement guéri. En fait, il manifesta tant de troubles de comportement ultérieurs, qu'on peut émettre des doutes sur le caractère miraculeux et total de sa guérison. Quoi qu'il en soit, à la demande de Philippe II, Diego de Alcalá fut canonisé en 1568.

Entre 1530 et 1730, divers personnages animés ont décoré les réalisations de Conrad Dasypodius (1531-1601) (la deuxième *horloge astronomique* de Strasbourg), de Hans Schlottheim (1545-1625) (la *Nef de Charles Quint*, par exemple), de Salomon de Caus (1576-1626) (les grottes de *Neptune* et des *Trois fontaines*, notamment) et de Maillard⁶ (vers 1733) (la *Gondole*). Durant cette période, deux œuvres sont à signaler : celle de François-Joseph de Camus (1672-1732) – en raison de sa qualité exceptionnelle – et celle de Takeda Omi (1630-1674) – pour son rôle dans le développement des automates au Japon.

En 1722, Camus publia son principal ouvrage, le *Traité des forces mouvantes pour la pratique des arts et métiers, avec une explication de vingt machines nouvelles et utiles*, ouvrage signé par « Monsieur de Camus, gentil-homme lorrain » (Camus, 1732). Il y décrit ainsi le célèbre *Petit Carrosse*, un jouet en ébène et argent qu'il conçut pour l'amusement du Dauphin – le futur Louis XV – et qu'il fit évoluer devant Louis XIV sur la table même du Conseil :

« Le chemin où la mesure donnée était la table du Conseil du Roi à Versailles, longue de sept pieds quatre pouces, & large de trois et demis, les ressorts étant montés, & le carrosse placé sur le milieu de la table au bout opposé au fauteuil de Roi, s'avance jusqu'au coin de la table, les chevaux allant en courbette, pliant les jambes, & posant les pieds à terre d'une manière si naturelle, que les enfants croient qu'ils sont en vie. Étant au bord de la table, le cocher qui tient les rênes, les tire pour faire tourner les chevaux, & les fait redresser pour aller en ligne droite à l'autre extrémité de la table à deux pouces du bord. Étant parvenu au coin, il fait tourner une seconde fois les chevaux, pour passer justement entre l'écritoire du Roi & le papier ; où étant, il s'arrête de lui-même directement devant le Roi, sans que l'on y touche. Un laquais qui est derrière le carrosse saute à bas, un page habillé en hussard couché sur la soupente de devant, se lève, descend, court à la portière, l'ouvre & la dame qui est assise dans le carrosse, tenait en main un placet, se lève, descend du carrosse, s'avance vers le Roi, lui fait une profonde révérence, & présente un placet d'une manière naturelle et gracieuse : elle attend un peu, comme pour avoir la réponse, pendant que le hussard ouvre à demi, & ferme plusieurs fois la portière en badinant, puis l'ouvre entièrement

⁶ On ne sait rien de la vie de Maillard, même pas son prénom.

quand la dame revient. Après avoir fait une seconde révérence, elle remonte en carrosse, se tournant un peu de côté pour ne pas perdre le roi de vue, elle s'assoit sur le coussin. Le hussard lui referme aussitôt la portière, s'en retourne, monte & se couche sur la soupente comme auparavant. Le cocher donne un coup de fouet, les chevaux reprennent leur train, & le laquais court après le carrosse, & saute derrière d'une manière fort agile. Les chevaux se détournent une troisième fois au coin de la table, se redressent, & vont en ligne droite à l'autre bout, où ils se détournent une quatrième fois, le cocher fouettant de temps en temps alternativement. Enfin le carrosse s'arrête de lui-même au même endroit d'où il est parti, comme s'il rentrait dans la cour, ou dans la remise après avoir fait sa course. En le montant d'une autre manière il fait d'autres mouvements, comme de parcourir deux fois les quatre coins de la table, & faire deux tours sans s'arrêter de la même manière que s'il se promenait dans des allées d'arbres, ou de faire cinq ou six tours autour de l'écritoire du Roi, comme s'il tournait autour d'un rond, ou d'un Château. »

Quant à Takeda Omi, il avait ouvert en 1662 près d'Osaka le *Takeda-za*, un petit théâtre dans lequel on produisait des *Karakuri-ningyo*⁷ – c'est-à-dire des poupées mécaniques dont les mouvements subtils et abstraits étaient conçus pour déclencher les émotions des spectateurs, dans l'esprit du théâtre Noh. Fabriqués essentiellement en bois, certains de ces automates humanoïdes étaient mus par des ressorts faits de fanons de baleine, d'autres étaient animés par l'eau de la rivière toute proche ou par l'écoulement de sable ; d'autres encore l'étaient par des humains actionnant des tapis d'entraînement ; d'autres enfin étaient téléopérés au moyen de systèmes de leviers et poulies. Dans un ouvrage en trois volumes publié en 1730, *Karakuri Kimmo Kagamigusa (Instructions pour Karakuri)*, on trouve des illustrations et des commentaires décrivant le genre de spectacle ainsi produit. Il s'agissait à l'évidence d'un curieux mélange de magie, de prestidigitation, de trucage et d'expertise mécanique.

⁷ Les *Karakuri-ningyo* relevaient de deux catégories : les *zashiki karakuri*, qui étaient destinées aux particuliers, et les *dashi karakuri*, à usage public et qui étaient exhibées au cours des festivals et fêtes. Les poupées *chahakobi*, *serveuses de thé*, dont les Japonais s'avérèrent si friands, appartenaient à la première catégorie et constituaient des objets de luxe destinés aux seigneurs féodaux ou aux riches marchands de la période Edo. Les *dashi karakuri* sont toujours en usage dans les Préfectures d'Aichi et Gifu et sont, en particulier, exhibées chaque année au festival nautique de Nagoya.

Après ceux de Jacques Vaucanson (1709-1782), plusieurs automates du XVIII^e siècle relèvent de la catégorie des « *anatomies mouvantes* », leurs concepteurs ayant autant cherché à comprendre le vivant qu'à le simuler – conformément au principe cartésien selon lequel « *comprendre, c'est faire* ». Il est, par exemple, symptomatique que Vaucanson ait tenté de fabriquer un « *homme artificiel* » et un « *parleur* », respectivement destinés à illustrer certaines théories sur la circulation du sang et sur le mécanisme de production du son articulé par la voix humaine. Dans les deux cas, il échoua, faute de disposer de caoutchouc en quantité et qualité suffisantes. Tout aussi significatif est le succès qu'Henri-Louis Jaquet Droz (1752-1791) et Jean-Frédéric Leschet (1746-1824) connurent en matière de production de membres artificiels (Perregaux et Perrot, 1916).

Friedrich Von Knaus (1724-1789), Honoré Mical (1727-1789), Wolfgang von Kempelen (1734-1804) et Joseph Faber (1800-1860) cherchèrent, eux aussi, à produire des automates ou des machines à parler en essayant de reconstituer la façon dont la voix humaine est produite. Malheureusement, l'approche concurrente – visant à transformer les ondes sonores en signaux électriques – s'avéra rapidement plus rentable, tant au plan médiatique qu'au plan appliqué. Aussi, les travaux éminemment respectables de ces chercheurs furent-ils éclipsés par l'invention du téléphone et du phonographe, surtout lorsqu'on réalisa qu'« *un grand machin aussi volumineux qu'un orgue de salon* » pouvait être remplacé par « *un petit machin fait de quelques pièces métalliques* » (Lindsay, 1997).

Le talent et la technicité des facteurs d'automates du XVIII^e siècle se traduisirent également par une floraison d'automates musiciens, dessinateurs ou écrivains. Ainsi, le *Flûteur* et le *Tambourinaire* de Vaucanson, le *Joueur de flageolet* de von Knaus, la *Musicienne* des Jaquet-Droz et de Leschet, le *Trompettiste* de Johann Nepomuk Maelzel (1772-1838), la *Joueuse de tympanon* de David Roentgen (1743-1807) et Peter Kinzing (1745-1816), la *Musicienne* de Maillardet (1745-1830), sont des réalisations tellement connues que nous n'en dirons rien de plus ici. Il en va de même pour l'*Écrivain* de von Knaus, l'*Écrivain* et le *Dessinateur* des Jaquet-Droz et de Leschet, le *Dessinateur - Écrivain* de Henri Maillardet, le *Calligraphe* de Hisashige Tanaka (1799-1881).

Une autre variété de machines fut très en vogue entre le XVIII^e et le XIX^e siècles : celle qui mettait simultanément en scène un grand nombre d'automates. Ainsi, le *Théâtre mécanique* que Lorenz Rosenegger (vers 1750) construisit en 1752 dans le Parc d'Hellbrunn en Autriche nous est bien connu puisqu'il est

toujours fonctionnel de nos jours (Woods, 1999). Ce théâtre met en scène plus d'une centaine d'automates et représente, dans les moindres détails, la vie d'un village au XVIII^e siècle au sein duquel chaque artisan exerce son métier. On peut ainsi voir des bohémiens montreurs d'ours, des bouchers sacrifiant un veau, un paysan faisant traverser la rue à une vieille femme dans une brouette... On peut même connaître le rang social des personnages, les mouvements des nobles étant plus lents que ceux des ouvriers. De même, le théâtre d'automates agrémentant la pendule du *Couronnement de Marie-Thérèse* de Ludwig et Friedrich von Knauss, pendule toujours visible au Musée de la Hofburg de Vienne, donne lieu à la description suivante par Chapuis et Gélis (1984) :

« Au premier plan, on voit des trophées de guerre, tandis que l'arrière-scène montre une colonnade circulaire sur un fond de peintures rappelant des batailles ; devant elle, se dresse un autel avec des flammes portant l'inscription Ewigkeit (éternité). Au moyen d'un cordon, on déclenche toute l'action, dont le thème est un hommage des nations allemande, tchèque et hongroise au couple impérial.

À gauche paraît tout d'abord l'empereur François Étienne de Lorraine tenant le bâton de maréchal, puis vient de droite Marie-Thérèse en robe de cour, la tête coiffée d'un diadème. Elle va se placer au centre, à côté de son époux qui de la main fait signe que la cérémonie doit commencer.

Alors arrive de gauche sur l'avant-scène, une figure allégorique portant sur un coussin la couronne impériale allemande. A droite viennent une autre figure de femme tenant la couronne de Bohême, et un chevalier hongrois portant la couronne de Saint-Étienne. Un peu en arrière, paraît encore tout un groupe de personnages symboliques représentant la Guerre, la Paix, la Justice, le Bien-être, le Commerce et les Arts.

Les deux majestés saluent de la main, pendant que les porteurs de couronnes fléchissent le genou. Ensuite survient plus haut, à gauche, l'Esprit de la haine et de la discorde avec ses cheveux de serpents retombant enroulés sur ses bras, qui paraît vouloir se précipiter sur le couple impérial ; mais l'archange Michel, brandissant son glaive enflammé, apparaît pour chasser le mauvais génie.

En manière d'apothéose, dans le ciel, à droite ; vient une femme qui tient une plume de sa dextre élevée et écrit dans les nues en caractères d'or : Vivant Franciscus et Theresa. Des deux côtés arrivent alors des anges les ailes étendues, les cloches se mettent à sonner, un choral retentit et deux guirlandes descendent du ciel pour couronner le couple impérial.

Soudain, les lettres d'or disparaissent et les Majestés font signe que la cérémonie est terminée, les personnages à genoux se relèvent lentement, font demi-tour, et tous les acteurs se retirent derrière la draperie. »

Appartiennent également à cette catégorie le tableau animé de la *Conflagration de Moscou* réalisé par Maelzel, la série d'automates décorant la Troisième horloge astronomique de Strasbourg rénovée par Jean-Baptiste Schwilgué (1776-1856), ainsi que la composition du *Jugement dernier* de Johann-Bartholomé Rechsteiner (1810-1893). Cette dernière œuvre coûta à Rechsteiner trois années d'un travail particulièrement ardu. Construite en fer et en laiton, elle pesait environ trois quintaux et comportait 260 figures mobiles. On y voyait le Ciel, l'Enfer, la Vallée de Josaphat. Les montagnes s'effondraient sous l'action de l'eau et du feu ; les morts ressuscitaient de partout, rassemblaient leurs ossements épars et se groupaient pour le Jugement, tandis que le Christ et les apôtres descendaient sur Terre pour séparer les brebis des loups.

Aux mêmes époques, au Japon, Hanzo Yorinao Hosokawa (1741-1796) publie en 1796 son *Karakuri Zui (Livre Illustré des Mécanismes)* qui détaille la façon de fabriquer des poupées automates et, notamment, des poupées serveuse de thé⁸ (*chahakobi ningyo*). Lorsque l'hôte, assis en face de son invité, place une tasse de thé sur le plateau qu'une telle poupée tient dans ses mains, celle-ci se retourne et apporte la tasse à l'invité en dodelinant de la tête. Elle s'arrête quand celui-ci prend la tasse et boit le thé qu'elle contient. Quand l'invité repose la tasse sur le plateau, la poupée se retourne à nouveau et revient avec la tasse vide auprès de l'hôte. Les mécanismes décrits dans le *Karakuri Zui* utilisent la gravité, le magnétisme et l'élasticité des matériaux de façon particulièrement ingénieuse (Hornyak, 2006). Tanaka, de même, est l'auteur du célèbre *Yumi-iki Doji*. Il s'agit d'un jeune homme assis à une table et qui se sert d'un arc pour tirer successivement quatre flèches en direction d'une cible disposée sur un portoir situé à quelque distance.

⁸ Voir la note 6.

Nous ne dirons rien sur d'autres automates qui ont proliféré au XIX^e siècle, comme au début du XX^e, parce qu'ils ont été largement décrits ailleurs (Prasteau, 1968 ; Hillier, 1976 ; Bailly, 1991) et parce que, s'ils présentent souvent de réelles qualités artistiques et font le bonheur des collectionneurs, ils n'apportent rien sur le plan des idées ou des techniques.

C'est à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e qu'apparurent les automates mus par des mécanismes pneumatiques et électriques. Aux États-Unis, Zadock Dederick (1846-1922) breveta son *Homme à vapeur* (Fig. 4) qui pouvait tirer un attelage avec un conducteur humain contrôlant sa trajectoire et son allure. L'ensemble devait servir de taxi et est ainsi décrit dans le *Newark Daily Advertiser* du 9 Janvier 1868 :

« L'homme a 2,4 m de haut et les autres dimensions de son corps sont correctement proportionnées, faisant de lui un deuxième Daniel Lambert⁹, le surnom que lui ont facétieusement donné les ouvriers. Il pèse 230 kg. La vapeur est produite dans son corps ou tronc par ce qui n'est qu'une machine d'une puissance de trois chevaux, comme celles qu'on utilise dans nos locomotives à vapeur. Les jambes qui le supportent sont compliquées et étonnantes. Les pas sont accomplis très naturellement et relativement facilement. Tandis que le corps avance sous l'effet du pied qui l'a

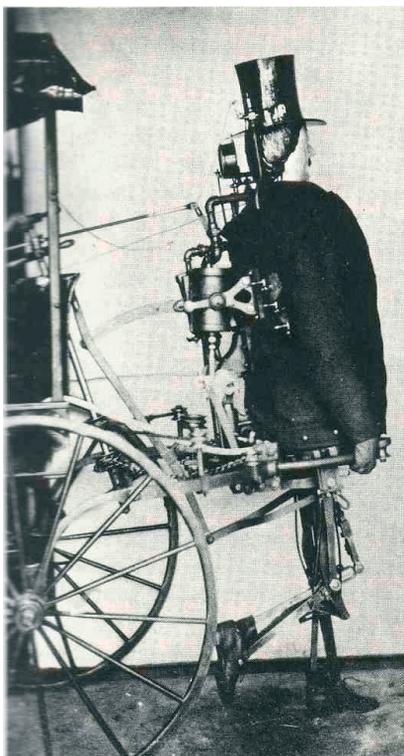


Fig. 4. Un proto-robot humanoïde : L'Homme vapeur (Rainone, 2009), avec l'aimable autorisation de l'auteur

⁹ Daniel Lambert, un anglais de Leicester, était devenu un personnage très connu à cause de son obésité.

propulsé, l'autre pied est soulevé par un ressort et envoyé en avant par la vapeur.

Chaque pas fait avancer le corps de 60 cm et chaque tour du moteur engendre quatre pas. Comme le moteur peut faire plus de mille tours à la minute, on peut atteindre une vitesse supérieure à 100 km/h. Le bonhomme est attaché à une banale charrette Rockaway, dont les bras servent à le maintenir en position verticale. » (Rainone, 2009)

Soixante ans plus tard, en 1928, pour célébrer l'accession au trône de l'empereur Hirohito, le botaniste Nishimura (1883-1956) fabriqua l'automate télé-opéré *Gakutensoku* (*Apprendre à partir des lois de la Nature*). Une fleur de cosmos sur sa poitrine et des gravures d'oiseaux, de plantes et de serpents sur son socle soulignaient cet engagement. Fait de bois et d'acier, haut de trois mètres vingt, et mù par de l'air comprimé gonflant des tubes en caoutchouc, il pouvait tourner sa tête, bouger ses yeux, sourire et gonfler ses joues et sa poitrine. Il pouvait aussi dessiner des *kanjis* au moyen d'une flèche tenue de la main droite et soulever sa main gauche tenant une masse. À une époque où la pièce de Karel Čapek *R.U.R. : Rossum's Universal Robots* avait suscité un extraordinaire intérêt pour les robots, Nishimura avait souhaité que *Gakutensoku* ait l'air vivant et qu'il « évite aux robots esthétiques de devenir des esclaves pour l'industrie ». D'ailleurs, il avait lui-même dessiné le visage de sa créature, y incorporant diverses caractéristiques raciales afin de symboliser la solidarité universelle (Hornyak, 2006).

À partir de 1927, de même, la société *Westinghouse Electric and Manufacturing* lança une série d'automates humanoïdes (*Televox; Elektro*) télé-opérés grâce à l'électricité (Schaut, 2006). Un opérateur humain leur transmettait des ordres oralement au moyen de relais téléphoniques. Ces automates pouvaient répondre en mettant en marche ou arrêtant divers dispositifs électriques tels que lampes ou ventilateurs; certains pouvaient aussi émettre des messages préenregistrés; d'autres pouvaient donner l'illusion de marcher en se déplaçant grâce à des roulettes placées sous leurs pieds. L'automate anglais *Eric*, conçu à la même époque, affichait ostensiblement les lettres R.U.R sur sa poitrine. Il pouvait se lever étant assis et émettait des étincelles par la bouche lorsqu'il « répondait » à un interlocuteur humain.

Quel que soit le niveau de sophistication des engins qui viennent d'être évoqués, il est clair que les actions qu'ils sont capables d'accomplir sont toujours les mêmes – dès l'instant où un mécanisme hydraulique, pneumatique,

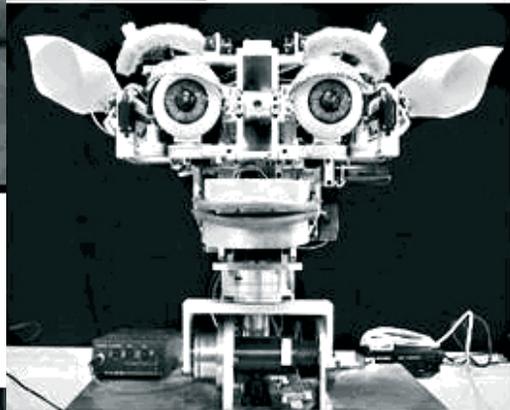
électrique, acoustique déterminé a été mis en œuvre. Il s'agit donc toujours d'automates. Le premier robot véritable, c'est-à-dire une machine capable d'utiliser les informations que ses senseurs lui fournissent sur son état interne ou sur l'environnement externe pour décider de la prochaine action à accomplir, est apparu en 1912 – c'est-à-dire bien avant que le mot *robot* ait été popularisé par la pièce de Čapek. Ce robot n'avait pas forme humaine puisqu'il s'agissait d'un *Chien électrique*, souvent appelé *Seleno*, que les ingénieurs américains John Hayes Hammond (1888-1965) et Benjamin Franklin Miessner (1890-1976) avaient conçu. Il s'agissait d'une boîte rectangulaire, d'environ un mètre de long, quinze centimètres de large et trente centimètres de haut, équipée de deux capteurs de lumière qui lui servaient d'yeux, de deux roues à l'avant et d'une roue à l'arrière. Le mécanisme de contrôle correspondant était très simple: les roues avant tournaient d'autant plus vite que les capteurs étaient plus largement stimulés, la roue arrière était couplée à un électro-aimant qui l'orientait de façon à ce que le robot se dirige vers le capteur le plus excité. Ainsi le robot était-il capable de poursuivre une source lumineuse qu'un opérateur déplaçait dans une pièce, de s'arrêter si cette source était éteinte et de repartir quand elle était allumée à nouveau. Clairement, ses actions dépendaient du contexte sensoriel du moment.

Alors que de nombreux robots animaux succédèrent rapidement à *Seleno* – on en trouvera la description dans Cordeschi (2002) – les premiers robots humanoïdes n'apparurent que dans les années 1970. Ainsi, Ichiro Kato (1908-1994) a-t-il développé en 1973 *WABOT-1*, le premier robot bipède de taille humaine capable de marcher et *WABOT-2*, le premier humanoïde capable de lire une partition de musique normale et de la jouer à l'orgue électronique. Depuis, plusieurs générations de robots capables de pratiquer le sumo (*HOAP-2*) ou de jouer au football (*Nao*, Fig. 5a) sont apparues, de même que des robots flûtistes, des robots capables de développement sensori-moteur ou de développement intellectuel allant jusqu'à l'apprentissage de la parole (*Icub*, Fig. 5c), ou encore des robots capables d'exprimer des émotions (*Kismet*, Fig. 5b). Les travaux correspondants ont une vocation à la fois fondamentale – visant à mieux connaître l'homme – et appliquée – postulant que, pour réaliser des tâches proprement humaines, il vaut mieux ressembler le plus possible à un humain (Brooks, 2002).

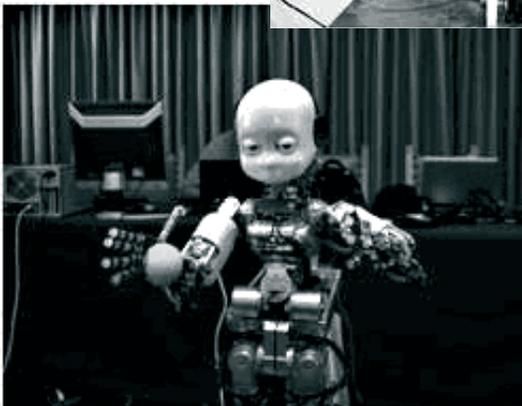
On trouvera trace de ces réalisations récentes dans Menzel et D'Aluisio (2000), Legay (2005), Hornyak (2006) ou Meyer et Guillot (2008).



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Divers robots humanoïdes.
Nao (a); Kismet (b) ; Icub (c).

Avec l'aimable autorisation de
Bruno Maisonnier, Rodney Brooks
et de l'ISIR (UPMC)

II. Discussion

Au sortir de cette revue du développement historique des automates et robots humanoïdes, une tendance générale se dégage clairement (Guillot et Meyer, 2008). Jusqu'à l'orée du XX^e siècle, les réalisations correspondantes n'étaient que des machines dont les concepteurs, faute de penser à les équiper de senseurs et de contrôleurs, se focalisaient sur leurs actionneurs de sorte à leur permettre d'exhiber des comportements automatiques de plus en plus complexes. Avec les premiers robots, les architectures de contrôle correspondantes ont d'abord inclus de simples réflexes, puis des systèmes motivationnels et émotionnels (Guillot et Meyer, 2003), et les artefacts correspondants ont pu adapter leur comportement à leur état interne courant ou à celui de leur environnement. Avec l'incorporation de processus de mémorisation et d'anticipation, les robots ont même pu choisir leurs actions, non plus seulement en fonction de la situation présente, mais aussi en tenant compte de leurs expériences passées ou en prévoyant les conséquences futures de leur comportement. Enfin, l'autonomie et les capacités adaptatives des robots se sont considérablement accrues lorsque des processus d'apprentissage, de développement et d'évolution leur ont été ajoutés.

Pour autant, les robots humanoïdes sont encore tellement différents de leurs modèles vivants qu'on peut aussi bien se demander s'ils accéderont jamais aux capacités d'adaptation et d'autonomie de ces modèles qu'envisager qu'ils les supplanteront un jour. Les raisons en sont multiples. Elles tiennent en premier lieu au fait que l'équipement sensori-moteur et le cerveau de l'homme surpassent encore largement les senseurs, les actuateurs et les architectures de contrôle des robots actuels, à cause des limitations conjointes de nos techniques et de nos connaissances biologiques courantes. De ce fait, chaque concepteur de robot tend à se concentrer sur un domaine d'expertise particulier et les machines qu'il produit sont essentiellement *monotâches*. C'est ainsi qu'il lui arrive de concevoir un robot capable d'explorer une planète lointaine, ou un robot capable de jouer de la flûte, mais pas un robot capable de faire les deux. Or, si les êtres vivants ont survécu à plus de 3 milliards et demi d'années d'évolution, c'est précisément parce qu'ils sont *multitâches* et telles ou telles de leurs capacités peuvent difficilement se comprendre si on néglige la façon dont ces capacités ont co-évolué et se sont co-adaptées pour produire des organismes intégrés et cohérents.

Ainsi, après trente siècles d'humanoïdes, il est temps de chercher à concevoir les robots du futur en s'inspirant du processus évolutionniste qui, depuis les origines de la vie, a fini par produire *Homo sapiens sapiens*. On peut espérer générer ainsi des artefacts *autonomes, adaptatifs, intégrés et situés* qu'on appelle souvent des *animats* (Meyer et Wilson, 2009). Ils seront autonomes, parce qu'ils auront des besoins et des motivations à satisfaire pour survivre et qu'ils ne recevront aucune aide humaine pour ce faire. Ils seront adaptatifs, parce que, avant de chercher à concevoir des systèmes artificiels aussi intelligents que l'Homme, on s'intéressera d'abord aux racines de cette intelligence, c'est-à-dire aux capacités qui ont permis aux animaux de survivre et que des processus appropriés d'apprentissage, de développement et d'évolution ont progressivement mises en place. Ils seront intégrés, d'une part, parce que la simulation de ces processus concernera à la fois leur architecture de contrôle et leur corps – non seulement ses senseurs et actionneurs, mais aussi son économie énergétique et ses mécanismes régulateurs émotionnels – et, d'autre part, parce que l'objectif d'assurer leur survie ne permettra de négliger aucun mécanisme essentiel à cette dernière. Enfin, ils seront situés, parce que leurs facultés d'adaptation s'enracineront dans les boucles sensori-motrices induites par leurs interactions permanentes avec un environnement plus ou moins changeant, imprévisible et menaçant.

Pour revenir au postulat de Brooks évoqué plus haut, il n'est pas certain que les niches écologiques qu'ils sauront se réserver les cantonneront à des tâches purement humaines. Il est encore moins certain que leur apparence, leur physiologie et leurs émotions rappelleront en quoi que ce soit celles des humanoïdes actuels.

Malgré l'engouement qu'ils suscitent, les robots humanoïdes actuels n'ont qu'une très lointaine ressemblance avec leurs modèles humains. Bien que ces artefacts soient le résultat d'un long processus évolutif qui a été décrit dans cet article, il apparaît que les principes de conception auxquels ils obéissent sont trop différents de ceux que la sélection naturelle a imposés aux êtres vivants pour que le mythe de l'homme artificiel prenne corps dans un avenir rapproché.



Bibliographie

BAILLY C. (1991), *L'Âge d'or des automates [1848-1914]*, Paris, Ars Mundi.

BROOKS R. (2002), *Flesh and Machines. How Robots Will Change Us*, New York, Pantheon Books.

CAMUS F.J. (de) (1732), *Traité des forces mouvantes pour la pratique des arts et métiers, avec une explication de vingt machines nouvelles et utiles*, Paris, Claude Jombert.

CARRA DE VAUX B. (1902), *Le Livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques par Philon de Byzance*, Paris, Imprimerie Nationale.

CHAPUIS A. et DROZ E. (1949), *Les Automates, Figures artificielles d'hommes et d'animaux*, Neuchâtel, Éditions du Griffon.

CHAPUIS A. et GELIS E. (1984), *Le Monde Des Automates: Étude Historique et Technique [1928]*, Genève, Slatkine.

CORDESCHI R. (2002), *The Discovery of the Artificial: Behavior, Mind and Machines Before and Beyond Cybernetics*, Dordrecht, Kluwer Academic.

GUILLOT A. et MEYER J.A.

(2003), « La Contribution de l'approche animat aux sciences cognitives », *In Cognito*, 1(1), pp. 1-26.

(2008), *La Bionique. Quand la science imite la Nature*, Paris, Dunod.

HILL D.

(1974), *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices by Ibn al-Razzaz al-Jazari, Translated by Donald Hill with Annotations*, Dordrecht, Reidel Publishing Company.

(1976), *On the Construction of Water-Clocks*, London, Turner & Devereux.

HILLIER M. (1976), *Automata and Mechanical Toys, an Illustrated History*, London, Bloomsbury Books.

HORNYAK T. (2006), *Loving the Machine*, Tokyo, Kodansha International.

LEFEBVRE DE VILLEBRUNE J.-B. (1789), *Banquet des savants par Athénée*, Paris, Lamy.

LEGAY C. (2005), *Les Robots. Une histoire de la robotique*, Paris, IMHO.

LINDSAY D. (1997), « Talking Head », *Invention and Technology*, 13 (1), pp. 57-63.

MENZEL P. et D'ALUISIO F. (2000), *Robo Sapiens: Evolution of a new species*, The MIT Press.

- MEYER J.-A. et GUILLOT A. (2008), « *Biologically Inspired Robots* », in Khatib O., Siciliano B. (eds), *The Springer Handbook of Robotics*, Berlin, pp. 1395-1422.
- MEYER J.A. et WILSON, S.W., (2009), Article « *Animat* », *Scholarpedia*, 4(5), 1533.
- NEEDHAM J. (1965), *Science and Civilization in China*, Cambridge, Cambridge University Press.
- PERREGAUX C. et PERROT F.L. (1916), *Les Jaquet-Droz et Leschot*, Neuchâtel, Attinger.
- PRASTEAU J. (1968), *Les Automates*, Paris, Gründ.
- RAGHAVAN V. (1956), « Yantras or Mechanical Contrivances in Ancient India », *Transaction*, n° 10, Bangalore, The Indian Institute of Culture.
- RAINONE J. (2009), *Art and History of American Popular Fiction Series*, Vol.1, Baldwin, Almond Press.
- ROSHEIM M.-E. (2006), *Leonardo's Lost Robots*, Berlin, Springer.
- SCHAUT S. (2006), *Robots of Westinghouse, 1924-today*, Mansfield, Mansfield Memorial Museum.
- STIRLING W. (1853), *The Cloister Life of the Emperor Charles the Fifth*, London, John Parker and Son.
- STRADA F. (1649), *De Bello belgico*, Trad du Ryer, Paris, Augustin Courbé.
- URY M. (1979), *Tales of Times Now Past, Sixty-Two Stories from a Medieval Japanese Collection*, Berkeley and Los Angeles, University of California Press.
- VARADPANDE M.-L. (1987), *History of Indian Theatre*, New Delhi, Abhinav Publications.
- WOODS M. (1999), « Italian Water Jokes and Automata at Hellbrunn Palace », *The International Magazine for Follies, Grottoes and Garden Buildings*, 10 (4), pp. 1-54.