



HAL
open science

Engrenages. À propos de l'imitation robotique de la nature

Joffrey Becker

► **To cite this version:**

Joffrey Becker. Engrenages. À propos de l'imitation robotique de la nature. Modélisation, construction et imitation des processus vitaux. Approche pluridisciplinaire du biomimétisme, Jun 2014, Paris, France. hal-03698508

HAL Id: hal-03698508

<https://hal.science/hal-03698508>

Submitted on 18 Jun 2022

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

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

Engrenages

À propos de l'imitation robotique de la nature

*

Modélisation, construction et imitation des processus vitaux. Approche pluridisciplinaire du biomimétisme

Laboratoire d'Anthropologie Sociale – Collège de France

10 et 11 juin 2014

*

Joffrey Becker

joffrey.becker@free.fr

Introduction

Au mois de septembre 2013, des journaux comme Le Monde, Science et Vie, le Daily Mail, le Temps, Scientific American ou Popular Mechanics ont relayé une découverte faite par les chercheurs du département de zoologie de l'université de Cambridge Malcolm Burrows et Gregory Sutton (2013). Ces chercheurs ont remarqué que la nymphe de la cigale bossue (*Issus Coleoptratus*) possédait à la base de ses pattes arrières une paire d'engrenages biologiques lui permettant de sauter. Ce mécanisme naturel dote la nymphe d'une capacité de réaction plus rapide que celle que lui offre son système nerveux. Ces engrenages assurent un couplage entre les pattes qui permet également à la nymphe de réduire son effort. Ils disparaissent lors de sa mue vers l'âge adulte et constituent par conséquent un atout temporaire (et fragile) qui permet à cet insecte de survivre. Alors je me suis demandé pourquoi cette découverte a-t-elle connu un tel retentissement ?

Le couplage de moteurs est déjà utilisé en robotique, notamment en robotique humanoïde (il est notamment utilisé sur le robot humanoïde *Nao* fabriqué ici, à Paris). Cette technique permet d'économiser de l'énergie et de garantir une certaine stabilité de mouvement, comme c'est le cas pour la nymphe de la cigale bossue. Elle n'est pas nouvelle. Les journaux indiquent que cette découverte préfigure des recherches qui devront permettre de construire des engrenages de très petite taille, implantables sur de très petites machines. Mais au delà de cet intérêt pour la miniaturisation, on peut se demander ce qui intéresse les journaux qui ont relayé cette information. Est-ce le lien étrange que cet insecte permet de reformer entre machine et organisme ? Est-ce la curiosité provoquée par un insecte ayant l'apparence d'une machine ?

Le mécanomorphisme, la machine-modèle, participe depuis très longtemps des représentations que nous nous faisons des phénomènes naturels. Alfred Espinas souligne par exemple que pour Platon, Aristote ou Archytas, la mécanique consiste en une façon de produire et d'expliquer l'une des fonctions de la vie et qu'en conséquence, on peut la considérer comme une biologie rudimentaire (Espinas, 1903:707). Mais cette prémisse mécaniste et la confusion qu'elle provoque guide-t-elle les multiples manières dont nous observons et imitons aujourd'hui la nature ? Qu'est-ce que nous imitons lorsque nous

cherchons des mécanismes naturels ? Qu'est-ce que nous fabriquons lorsque, comme Giovanni de Dondi au ^{xiv}^e siècle (et pour reprendre les mots de Roy Wagner), nous concevons une machine fonctionnant comme fonctionnerait la nature si elle était une machine ?

L'enjeu est ici d'essayer de comprendre comment les robots mettent en jeu des connaissances sur les organismes dont ils empruntent partiellement les formes et les fonctions. J'essaierai autant que possible de détailler les conditions de ce « jeu » et tenterai de voir dans quelle mesure il renouvelle le cadre de nos relations envers la nature. Je le ferai à travers deux questions. Comment la robotique constitue-t-elle ses savoirs ? Quels sont les effets de ses imitations ? Ce qui m'intéresse ici, ce sont les continuités que la robotique cherche à constituer entre les organismes vivants et les machines, et comment l'imitation forme un espace particulier où peut se penser cette continuité.

1/ Bio-inspirations

Cela fait déjà quelques dizaines d'années que la robotique ne fabrique plus seulement des ouvriers artificiels. La robotique bio-inspirée cherche partout ses modèles. En suivant ainsi les processus d'évolution des espèces, les roboticiens conçoivent l'imitation comme un moyen de résoudre les problèmes qui touchent à l'autonomie de leurs machines. Ils comptent par exemple sur la digestion artificielle pour permettre à une machine de chercher elle-même sa nourriture et fonctionner sans risquer l'arrêt (Ieropoulos *et al.*, 2010). Ils développent également des réseaux de neurones artificiels, et tentent de reproduire des comportements sociaux pour permettre à leurs machines d'optimiser l'exécution d'une tâche donnée, ou d'anticiper sur les comportements d'autres robots dans le cas où l'exécution de la tâche serait collective (Butz *et al.*, 2007). Certains essaient de comprendre et de reproduire les principes naturels de la locomotion chez les mammifères (Raibert, 1990), les poissons (Colgate et Lynch, 2004) ou encore les insectes (Beer *et al.*, 1992), ainsi que la capacité de ces derniers à agir sur leur environnement ou sur l'activité de leurs congénères (Deneubourg *et al.*, 1991 ; Halloy *et al.*, 2007). D'autres envisagent de reproduire artificiellement le langage naturel ou les émotions humaines (Breazeal et Brooks, 2005), la culture (Winfield et Griffiths, 2010), et dans certains cas, d'imiter l'organisation même de la matière organique (Kernbach *et al.*, 2010). La bionique forme désormais un important domaine d'étude, qui allie l'imitation de la nature et l'hybridation entre la biologie et l'électronique. Elle consiste également en une forme d'emprunt, par les humains, des « équipements » développés par les organismes naturels (Guillot et Meyer, 2008:11). Ces « équipements », ce sont surtout des capacités sensori-motrices.

La robotique s'inspire ainsi de la nature en opérant un glissement vers le domaine de la sensibilité¹. Elle cherche à construire de la continuité entre les formes d'expériences humaines et non-humaines, en posant notamment que la relation du corps à l'environnement crée un espace où s'organisent les comportements et d'où peut émerger l'intelligence. La robotique bio-inspirée s'inscrit dans un projet plus vaste visant à bousculer les frontières distinguant les humains des animaux, et des machines, en leur reconnaissant une capacité commune à être stimulés par les événements de l'environnement. On peut donc considérer, dans un premier temps, que la robotique bio-inspirée est un projet ontologique qui participe d'une redéfinition de nos rapports avec les formes d'existence non-humaines. Cette recherche

¹ La robotique, considérant le rôle du système sensoriel dans les relations des êtres vivants à leur environnement, se rattache en cela au projet d'une écologie scientifique, tel que l'a notamment amorcé Ernst Haeckel.

de continuité dans l'expérience perceptive trouve en robotique ses premières inspirations dès les années 1910² à partir des travaux de Jacques Loeb sur le phototropisme (Oudeyer, 2010) et à des fins militaires. Elle se poursuit tout au long du xx^e siècle, notamment avec les travaux d'Albert Ducrocq dans les années 1950. Je vous propose de l'écouter.

Je vais rapidement reprendre un des exemples présentés dans un article que j'ai récemment consacré à l'écologie roboticienne (Becker, 2012). Cet exemple va me permettre d'envisager comment un dispositif mécanique (c'est-à-dire une représentation) parvient non pas à formuler directement une théorie générale du vivant, mais à en questionner certains aspects et certaines hypothèses.

Cette machine, appelée ScratchBot, est née d'une collaboration entre le Laboratoire de robotique de Bristol et le Groupe de recherche sur les comportements adaptatifs de Sheffield en 2006. Le robot Scratch est une plateforme de recherche conçue à partir de l'observation des rats. Le projet s'est formé autour de l'idée de reproduire artificiellement leurs capacités sensori-motrices afin de concevoir un nouveau genre de détecteur. Les moustaches jouent un rôle clé dans la relation qu'entretiennent les rats avec leur environnement. L'imitation de cette capacité peut permettre à un robot de s'orienter plus aisément dans des environnements généralement trop difficiles d'accès pour des robots simplement dotés de senseurs visuels. Pour le moment, les détecteurs de proximité, ou le traitement d'images vidéo, n'offrent que des possibilités limitées en matière d'autonomie des machines. Ainsi, lorsque l'environnement à explorer est difficilement accessible, ces détecteurs sont tout simplement inopérants. Si par exemple, un robot autonome est sollicité pour intervenir dans l'obscurité des ruines d'un bâtiment, il lui sera difficile de s'orienter dans les décombres en utilisant les outils disponibles (la vidéo, les détecteurs à ultra-son, etc.). L'intérêt de cette recherche ne repose pas seulement sur le développement de nouveaux senseurs. Le développement d'une telle technologie consiste également en une forme de rétro-ingénierie³ des fonctions neuronales du rat qui sont mobilisées à travers les sensations que lui procure son environnement (Mitchinson *et al.*, 2007). Adossé à deux programmes de recherches européens⁴, le projet s'articule ainsi autour de plusieurs disciplines comme la psychologie, les neurosciences et l'ingénierie. Et il permet d'aborder des questions fondamentales, touchant notamment au rôle des mécanismes émotionnels autonomes dans la structuration des processus de pensée au sein des systèmes cognitifs vivants (Sanz *et al.*, 2006).

Le robot comporte plusieurs parties. Il est d'abord doté d'un corps qui transporte l'ensemble du matériel informatique, l'alimentation électrique et les moteurs permettant à l'ensemble de se déplacer. Il est également doté d'un cou permettant d'orienter une tête triangulaire, elle-même parsemée de moustaches. Ces appendices consistent en des tiges remuant d'avant en arrière, qui sont regroupées trois par trois, de chaque côté de la tête. Leur mouvement reprend un comportement d'exploration caractéristique du rat (Mitchinson *et al.*, 2007). À l'extrémité de la tête, le museau est formé par un senseur tactile comprenant un groupe de neuf vibrisses plus petites qui, elles, ne sont pas articulées. Le comportement

2 John Hammond et Benjamin Miessner conçoivent leur chien électrique en 1912. Ils s'inspirent du phototropisme pour tenter de concevoir une torpille autonome.

3 Ce terme désigne généralement un processus visant à comprendre et à reproduire le fonctionnement d'un objet technique en le désassemblant.

4 D'abord intégré entre 2006 et 2009 au sein du projet ICEA (Integrating Cognition, Emotion, Autonomy) portant sur le développement et l'intégration des fonctions cognitives à partir de l'architecture et de la physiologie du cerveau mammalien, cette collaboration a ensuite intégré, entre 2009 et 2011, le programme Biotact, qui vise à comprendre et à développer un système vibrissal artificiel.

visible de la machine prend en réalité la forme d'une séquence d'actions, où chaque perception déclenche une réaction particulière. Cette séquence permet de faire la démonstration de l'autonomie⁵ que le senseur offre à la machine.

Une telle machine est constituée d'un ensemble restreint d'éléments. Loin de formuler une imitation fidèle du rat, elle forme une architecture permettant néanmoins de détecter automatiquement des obstacles. Ce faisant, elle constitue une base certaine pour l'innovation. Ainsi, sous l'aspect rudimentaire d'un rat, se détache une volonté de répondre à des problèmes existants en matière de perception artificielle. Il est en effet attendu des moustaches de ce robot qu'elles offrent de nouveaux moyens de résoudre les problèmes liés à l'orientation, la localisation et la cartographie, ou la représentation et la classification des formes et des textures des objets rencontrés. Mais cette machine est capable de plus. Elle offre un modèle permettant de tester l'hypothèse selon laquelle le colliculus supérieur est l'organe déterminant la relation entre le stimulus et le comportement du rat (Prescott *et al.*, 2010). Les roboticiens ont ainsi eu l'idée de se servir de leur machine pour tenter de décrire quels circuits étaient mis en route lors de la détection de la nouveauté chez les rats, en notant au passage l'importance du cervelet⁶ (Anderson *et al.*, 2012). Cette expérimentation autour de l'imitation des comportements d'exploration du rat montre que, comme d'autres objets produits par les sciences, les robots servent à la fois d'outils et de modèles (Franklin, 2013: 23). Ils mettent en jeu des liaisons complexes qui s'agencent autour de principes mécaniques touchant à l'intelligence ou à divers niveaux d'auto-organisation, mais dont la finalité dépasse celle dont elle prend en charge l'imitation.

2/ Jeux de liaisons mécaniques

On peut en effet noter qu'il y a un écart entre l'entreprise ontologique de la robotique et les applications que ses technologies permettent d'envisager. Ces applications résistent en quelque sorte au décentrement porté par la robotique bio-inspirée. Elles s'inscrivent ainsi dans une perspective plus ordinaire concernant la nature et l'exploitation de ses ressources. Je passe sur l'impact écologique évident lié à la production de ces machines (quoi qu'il me semble essentiel d'en souligner l'importance) et évoquerait plutôt les usages qui naissent de ces recherches sur les organismes naturels. Une application possible des moustaches artificielles consiste par exemple en la conception d'un capteur capable d'évaluer la surface d'un matériau sur une chaîne de production. D'autres exemples, que je ne présenterai pas ici, vont également dans le sens d'une augmentation, à divers degrés, des capacités de production et de la performance. L'imitation de la nature, en robotique et en intelligence artificielle, génère en fait des applications qui contrastent avec les systèmes naturels qu'ils imitent. Je pense notamment à la remarquable économie d'énergie dont ces systèmes font généralement preuve. De ce point de vue, la robotique bio-mimétique s'inscrit dans une continuité de pratiques. Mais ce n'est pas tout. En cherchant à comprendre comment émergent des comportements complexes à partir de structures simples, les chercheurs s'inscrivent également dans un projet visant à maîtriser les effets des échanges d'informations dans les systèmes naturels. La robotique biomimétique renoue dès lors avec un souci d'exploiter et de domestiquer les phénomènes naturels. On peut en fait se demander dans quelle mesure

5 Le terme désigne, ici, la capacité de la machine à s'orienter d'elle-même, à partir de la manière dont elle traite les informations disponibles dans l'environnement.

6 Notons au passage que le cervelet est l'organe qui résiste le mieux à la comparaison du cerveau à un ordinateur.

l'ambition ontologique de la robotique biomimétique permet de véritablement renouveler le cadre de nos relations avec la nature.

Le zoomorphisme robotique met en réalité d'autres connaissances en jeu, qui contrastent également avec la volonté d'unification du vivant affichée par nombre de roboticiens. Intéressons-nous un instant à la perception que l'on a des dispositifs robotiques. Il est difficile évidemment d'évaluer en quoi consistent ces rapports si on les considère du point de vue des animaux non-humains. Quelques expériences ont été conduites, sur les blattes et sur les poissons, mais de l'avis même des chercheurs qui les ont menées, il est extrêmement difficile de déterminer comment les animaux non-humains considèrent les machines avec lesquelles on les fait interagir. Les blattes et les poissons sont peut-être pris par l'effet de familiarité que produisent les robots biomimétiques. J'aimerais vous présenter rapidement une expérience à laquelle j'ai eu l'occasion de participer, et qui s'intéresse aux relations de coopération entre des humains et un robot humanoïde. Ici, l'anthropomorphisme auquel nous confronte ce robot peut nous montrer que ces derniers médiatisent des savoirs touchant directement à ce que Philippe Descola a appelé l'ontologie naturaliste (Descola, 2005).

Très souvent, ces machines nous posent des problèmes de perception et de catégorisation. Ces objets s'offrent en effet aux sens à travers une sorte de mise en scène de leur étrangeté. Et ils établissent une véritable technologie de la curiosité qui nous impose de jouer avec eux à un jeu de ressemblance et de dissemblance. Ces jeux sont observables en bien des situations, lors d'expérimentations sur les relations entre humains et machines, de démonstration publiques ou lors de grandes compétitions de robotique. Dans ces situations, les spectateurs se laissent parfois convaincre par l'imitation d'un geste (Becker, 2011) ou ils se laissent aller à des formes d'empathie (Becker, 2012a), par exemple lorsqu'une machine se casse. Ces machines nous attirent par leur étrangeté. Et la curiosité qu'elles nous font éprouver nous engage à chercher dans leur comportement les indices d'une ressemblance. Les robots nous entraînent alors dans des formes d'échanges analogues à celles qui prévalent dans la communication entre animaux humains et non-humains. Ils nous engagent à chercher avec eux les conditions qui rendent possible une relation (Bateson, 1980).

L'expérience que je vais maintenant vous présenter consiste en une tâche d'apprentissage fictive⁷. Elle implique une dizaine de participants qui sont, pour la plupart, eux-mêmes roboticiens. Cette expérience cherche à enregistrer les comportements oculaires humains en s'appuyant sur la désignation d'objets divers. Le but de cet enregistrement systématique est de doter le robot d'actes de regards naturels qui devront plus tard lui permettre de coopérer avec des humains. Le robot demande à une personne de nommer un objet situé en face d'elle et enregistre sa réponse. L'expérimentateur, pour être sûr que leur comportement oculaire sera aussi naturel que possible, dit aux participants que le robot doit apprendre à associer la forme de chaque objet présent sur la table et le terme qui sera employé pour le désigner. Des entretiens conduits après chaque interaction ont permis de montrer que, d'une part, la confusion de la machine avec ce qu'elle représente n'est pas directement l'enjeu de l'interaction de face à face, mais le résultat de l'échange préalable entre l'expérimentateur et le participant. Cet échange vise à faire passer un instrument de mesure pour un agent capable d'apprendre. D'autre part, et du fait du déplacement qu'induit cette fiction, l'enjeu va reposer sur la méthode employée par les participants pour faciliter l'apprentissage de la machine, et par conséquent remplir leur rôle. Ici, l'habitus

7 Pour une description plus complète de cette expérience, on se référera à Becker (2014).

communicationnel des participants est déterminant. C'est, en effet, en s'appuyant sur les ressources qu'ils mobilisent quotidiennement avec d'autres humains, que les participants vont pouvoir s'engager dans cette relation très singulière, et ajuster leur propre comportement en fonction des réactions du robot. Cette adaptation les aide non seulement à se faire une idée des capacités de la machine en matière de communication, mais elle forme également un moyen d'optimiser son apprentissage fictif. Le robot indiquant parfois aux participants leurs erreurs en matière de communication, ces derniers vont alors s'engager avec lui dans un jeu visant à en déterminer les règles mêmes, en ralentissant le rythme de leur parole, en parlant plus fort ou en mécanisant leur élocution.

Un tel objet, malgré son apparence humaine ou sa capacité à parler, reste ainsi étranger aux participants. Il ne les trompe jamais sur son caractère artificiel⁸. Toutefois, cette machine engage chacun dans des inférences contradictoires concernant sa nature et ses actes. Les volontaires vont par exemple regarder le robot dans les yeux lorsqu'il s'adresse à eux, même si au fond, ils sont à peu près sûrs qu'il est incapable de les voir. En pareil cas, l'intentionnalité qui est attribuée à cette machine se fonde sur l'idée que, si un robot se comporte suffisamment comme ils le font, les participants peuvent supposer qu'il éprouve des états intérieurs comparables aux leurs, et qu'il doit donc disposer d'un mécanisme interne capable de les simuler (Searle, 1980: 365). L'anthropomorphisme dont ils font preuve en pareil cas renvoie à leur capacité à gérer ces incertitudes, et à s'y adapter en mobilisant ce dont ils se souviennent de leurs apprentissages (Airenti, 2012: 48). Aussi, le jeu qui se joue avec une telle machine vise à établir en quoi consiste le mécanisme interne du robot et, au delà de l'ambiguïté qu'il donne alors à voir, à le qualifier en en reconnaissant le caractère artificiel et mécanique. Ce qui cherche à se constituer autour d'elle, ce sont des règles constitutives d'une sociabilité minimale.

On voit ainsi qu'une continuité cherche à se tisser à travers les jeux de liaisons mécaniques qui s'agencent de manière récursive autour et à l'intérieur des robots. Néanmoins cette continuité résiste assez mal à l'épreuve de la relation. Dans ce contexte d'interaction, les différences fondamentales que l'échange rend visibles laissent planer peu de doutes sur les limites du cadre de la communication. Les participants s'engagent en effet avec le robot dans des actions qui contredisent ce qu'ils pensent de lui. Ils jouent ainsi un jeu (Houseman, 2003: 299) permettant de saisir et de maintenir le cadre de l'échange afin de remplir correctement leur tâche. En pareil cas, comme dans d'autres contextes où il intervient dans la socialisation des caractéristiques propre à l'espèce, l'anthropomorphisme permet à la fois une mise en relation et une mise à distance (Servais, 2012: 647). Il sert d'outil de distinction.

3/ Conclusion : Le naturalisme au prisme de la robotique

On peut ainsi proposer, pour conclure, que la robotique biomimétique engage des logiques divergente, voire contradictoires. D'un côté, à travers la déconstruction de processus et de fonctions extraits du vivant, le projet d'une robotique bio-inspirée concourt à une unification des formes d'existence à travers une redistribution de la sensibilité et de la cognition qui confond les animaux, les machines et les humains. Du fait de cette indistinction des intériorité humaines et non-humaines et des agencements matériels spécifiques qu'elle

8 Confirmant dès lors l'idée formulée par John Searle, selon laquelle nous sommes tous d'accord que la simulation d'une tempête n'a jamais mouillé personne (Searle, 1980:423).

implique, cette confusion laisse supposer qu'une transition est à l'œuvre dans les sciences de l'ingénieur et les neurosciences. Mais d'un autre côté, l'anthropomorphisme dont nous faisons preuve face à un robot (c'est à dire les procédures que nous engageons pour saisir la différence qui nous sépare d'eux) semble au contraire nous ancrer toujours un peu plus dans l'idée naturaliste que nous nous faisons du monde qui nous entoure (Descola, 2005).

Penser la nature mécaniquement pour en reconstruire les rouages relève d'un mouvement de récursion caractéristique de l'espace de travail de la robotique. Nous avons vu comment les roboticiens construisent des représentations fragmentaires en imitant les mécaniques à l'œuvre dans le vivant et comment ces dispositifs robotiques cherchent à s'inscrire dans une description de la nature à travers un jeu métaphorique qui prend le mécanisme pour appui. Nous avons également vu combien ces imitations, par l'étrangeté qu'elles sont en mesure de créer et le drôle de jeu auquel elles nous invitent à jouer, ne peuvent être perçus autrement que dans leur dimension mécanique. À travers cet effet de bouclage entre les mécaniques naturelles et les mécaniques artificielles, l'imitation de la nature produit une dynamique récursive, dont l'objet vise initialement à redéfinir la place particulière occupée par l'humain moderne, mais dont le produit semble finalement renforcer la particularité de l'espèce humaine dans l'espace ontologique du naturalisme. Cette dynamique montre qu'une même logique d'assemblage est à l'œuvre selon que l'on se place du point de vue de celui qui imite ou, et c'est surtout le cas des humains, de celui qui est imité.

Bibliographie

- AIRENTI Gabriella, 2012, « Aux origines de l'anthropomorphisme, Intersubjectivité et théorie de l'esprit », *Gradhiva*, n° 15, *Robots étrangement humains*, pp. 34-53
- ANDERSON Sean R., PORRILL John, PEARSON Martin J., PIPE Anthony G., PRESCOTT Tony J., DEAN Paul, 2012, « An internal model architecture for novelty detection : Implications for cerebellar and collicular roles in sensory processing », *Plos One*, vol. 7, n° 9, [en ligne], URL : <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0044560> (consulté le 15 mai 2014)
- BATESON Gregory, 1980 [1972], « Problèmes de communication chez les cétacés et autres mammifères », *Vers une écologie de l'esprit*, t. 2, Paris, Seuil, pp. 137-154
- BECKER Joffrey, 2014 (à paraître), « Esthétique réflexive, Quand les humains se regardent dans les yeux d'une machine », *Cultures-Kairos*, n° 3, *Métamorphoses digitales, Expérimentation esthétiques et construction du sensible dans l'interaction humain-machine*
- BECKER Joffrey, 2012a, « Le corps humain et ses doubles, Sur les usages de la fiction dans les arts et la robotique », *Gradhiva*, n°15, *Robots étrangement humains*, pp. 102-119
- BECKER Joffrey, 2012b, « L'écologie prospective de la robotique », *Tracés*, n° 22, *Écologiques, Enquête sur les milieux humains*, pp. 125-137
- BECKER Joffrey, 2011, « Récursions chimériques : De l'anthropomorphisme des robots autonomes à l'ambiguïté des relations envers l'image du corps humain », *Gradhiva*, n°13, *Pièges à voir, Pièges à penser*, 2011, pp. 112-129
- BEER Randall D., CHIEL Hillel J., QUINN Roger D., LARSSON Patrick, 1992, « A distributed neural network architecture for hexapod robot locomotion », *Neural Computation*, vol. 4, n° 3, p. 356-365
- BREAZEL Cynthia, BROOKS Rodney, 2005, « Robot emotion, A functional perspective », in J-M. Fellous et M. A. Arbib (éd.), *Who Needs Emotions, The Brain Meets the Robot*, New-York, Oxford University Press, p. 271-310
- BURROWS Malcom, SUTTON Gregory, 2013, « Interacting gears synchronize propulsive leg movements in a jumping insect », *Science*, vol. 341, n° 6151, pp. 1254-1256
- BUTZ Martin, SIGAUD Olivier, PEZZULO Giovanni, BALDASSARRE Gianluca (éd.), 2007, *Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems: From Brains to Individual and Social Behavior*, Berlin, Springer-Verlag
- CANGUILHEM Georges, 1965 [1952], « Machine et organisme », *La connaissance de la vie*, Paris, Vrin, pp. 101-127
- COLGATE J. Edward, LYNCH Kevin M., 2004, « Mechanics and control of swimming: A Review », *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 29, n° 3, p. 660-673
- DENEUBOURG Jean-Louis et al., 1991, « The dynamics of collective sorting robot-like ants and ant-like robots », in J-A Meyer et S. W. Wilson (éd.), *Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior : From Animals to Animats*, Cambridge, MIT Press, p. 356-363
- DESCOLA Philippe, 2005, *Par delà nature et culture*, Paris, Gallimard
- ESPINAS Alfred, 1903, « L'organisation ou la machine vivante en Grèce au IV^e siècle avant J.-C. », *Revue de métaphysique et de morale*, vol. 11, pp. 702-715

- FRANKLIN Sarah, 2013, « In vitro anthropos : New conception models for a recursive anthropology », *Cambridge Anthropology*, vol. 31, n° 3, pp. 3-32
- GUILLOT Agnès, MEYER Jean-Arcady, 2008, *La bionique, Quand la science imite la nature*, Paris, Dunod
- HALLOY José *et al.*, 2007, « Social integration of robots into groups of cockroaches to control self-organized choices », *Science*, vol. 318, pp. 1155-1158
- HOUSEMAN Michael, 2003, « Vers un modèle anthropologique de la pratique thérapeutique », *Thérapie familiale*, vol. 24, n° 3, pp. 289-312
- IEROPOULOS Ioannis *et al.*, 2010, « EcoBot-III: a robot with guts », *Proceedings of the Twelfth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems, (Artificial Life XII)*, Cambridge, MIT Press, p. 733-740
- KERNBACH Serge *et al.*, 2010, « Multi-robot organisms : State of the art », *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Workshop on Modular Robots: State of the Art*, Anchorage, 3 mai 2010, p. 1-10
- KLEIST Heinrich von, 1993 [1810], *Sur le théâtre de marionnettes, Traduit de l'allemand par Jacques Outin*, Paris, Mille et une nuits
- MITCHINSON Ben, MARTIN, Chris J., GRANT Robyn A. et PRESCOTT Tony J., 2007, « Feedback control in active sensing: rat exploratory whisking is modulated by environmental contact », *Proceedings of the Royal Society, B*, vol. 274, Londres, Royal Society Publishing, p. 1035-1041
- OUDEYER Pierre-Yves, 2010, « On the impact of robotics in behavioral and cognitive sciences : From insect navigation to human cognitive development », *IEEE transactions on autonomous mental development*, vol. 2, n° 1, pp. 2-16
- PRESCOTT Tony *et al.*, 2010, « Towards biomimetic vibrissal tactile sensing for robot exploration, navigation, and object recognition in hazardous environments », *RISE'10, Fourth International Workshop on Robotics for Risky Interventions and Environmental Surveillance-Maintenance*, Sheffield, 19-21 janvier 2010.
- RAIBERT Marc, 1990, « Trotting, pacing and bounding by a quadruped robot », *Journal of Biomechanics*, vol. 23, sup. 1, p. 79-81
- SANZ Ricardo, LÓPEZ Ignacio, BERMEJO Julia et HERNANDO Adolfo, 2006, « Reverse-engineering rat brains », *2nd European Symposium on Nature-Inspired Smart Information Systems, NiSIS*, Puerto de la Cruz, 29 novembre - 1er décembre 2006
- SEARLE John, 1980, « Mind, Brains and programs », *The behavioral and brain sciences*, vol. 3, pp. 417-457
- SERVAIS Véronique, 2012, « La visite au zoo et l'apprentissage de la distinction humaine », *Revue d'anthropologie des connaissances*, vol. 6, n° 3, pp. 625-652
- TURING Alan M., « Computing machinery and intelligence », *Mind*, vol. 59, n° 236, 1950, p. 433-460
- WAGNER Roy, 1986, *Symbols that stand for themselves*, Chicago University Press
- WINFIELD Alan, GRIFFITHS Frances, 2010, « Towards the emergence of artificial culture in collective robot systems », in P. Levi et S. Kernbach (éd.), *Symbiotic Multi-robot Organisms, Reliability, Adaptability, Evolution*, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, p. 431-439

Engrenages : À propos de l'imitation robotique de la nature

Pour les chercheurs en robotique, la nature constitue une source d'inspiration privilégiée. L'imitation est perçue comme un moyen de résoudre certains aspects du vaste ensemble de problèmes qui touchent à l'autonomie de leurs machines. L'intérêt des ingénieurs pour la nature n'est en réalité pas aussi récent qu'on pourrait l'imaginer. Celui-ci apparaît avec la création des premiers automates et prend forme autour de la simulation de fonctions naturelles. En constituant une manifestation en actes de ces fonctions, l'automate nous invite à le confondre avec l'organisme qu'il simule tout en reposant les problèmes liés à l'imitation de la nature. Les automates, comme les robots, véhiculent ainsi une certaine ambiguïté. Et l'on peut se demander comment ces savants assemblages participent d'une histoire naturelle qui nous engage à nous assembler à notre tour autour des problèmes qu'ils soulèvent. À partir d'une enquête menée au plus près de l'activité des roboticiens, croisant observation participante et expérimentation, nous chercherons à comprendre comment les robots mettent en jeu des connaissances sur les organismes dont ils empruntent partiellement les formes et les fonctions. Nous détaillerons les conditions de ce jeu et tenterons de voir en quoi il renouvelle les cadres de nos relations envers la nature.

Joffrey Becker est docteur en anthropologie sociale et ethnologie de l'EHESS, membre de la plateforme de recherche Artmap et du collectif Save As Draft. Ses recherches portent sur la robotique et plus particulièrement sur les représentations de la nature véhiculées par les robots. Conduites à partir d'une enquête portant sur les procédures permettant de construire des robots humanoïdes et sur les processus mentaux que ces derniers mettent en route lors de leurs performances, en situation expérimentale ou de jeu, ces recherches ont donné lieu à la publication de plusieurs articles (notamment dans les revues *Gradhiva* n°13, n°15, et *Tracés* n°22), ainsi qu'à l'écriture d'un ouvrage à paraître aux Presses Universitaires de Paris Ouest (*Humanoïdes, Expérimentations croisées entre arts et sciences*).