

Intelligences

L'émergence de la communication chez les... robots

Comment l'évolution a-t-elle abouti aux structures et aux comportements incroyablement perfectionnés du monde vivant, tels ceux qui président aux nombreux modes de communication animale ?

Outre la théorie de l'évolution néodarwinienne, selon laquelle certaines mutations aléatoires sont sélectionnées en fonction des avantages qu'elles procurent, un second type d'explication paraît nécessaire : il vise à comprendre comment, à partir d'éléments simples, peuvent émerger, par « auto-organisation », des systèmes complexes. À ce jeu, les explorations de la robotique se révèlent de plus en plus des alliées de poids de la biologie.

Si vous prenez le temps d'observer des oiseaux chanteurs, les comportements hiérarchiques des macaques d'un zoo ou les mouvements incessants des ouvrières d'une fourmilière, vous serez vite frappé par le caractère élaboré de leur communication. Le cas sans doute le plus célèbre de cette « communication complexe » – évitons d'employer le terme équivoque de langage – est la danse des abeilles. Ce type de communication peut être défini simplement comme l'échange entre un émetteur et un récepteur de signaux ayant la même signification pour l'un et l'autre. Ces signaux peuvent être des gestes, des sons ou des mots.

La question que l'on peut se poser quand on observe deux animaux qui communiquent de cette façon est de savoir comment ils ont acquis cette faculté précieuse. Éliminons les réponses immédiates : la réponse culturelle (la communication est un produit culturel), ou la réponse génétique (elle est un produit biologique). Ces réponses supposent le problème déjà résolu. Il faut poser notre question bien en amont : comment, à l'origine, est apparue la communication au sein de groupes qui l'ignoraient ?

Mutations ou contraintes ?

Les tenants du darwinisme répondront : à l'occasion d'une mutation qui aura été sélectionnée par l'évolution compte tenu des avantages apportés par cette faculté. Oui, mais comment l'évolution peut-elle « connaître à l'avance » les avantages apportés par la communication, avant que celle-ci se soit établie ?

La question n'est pas originale. Elle se pose à l'occasion de nombreuses adaptations où le lien entre la sélection d'un caractère et les avantages qu'il apportera ultérieurement n'est pas immédiat. Ainsi, on ne peut prétendre que les



L'abeille domestique (*Apis mellifera*) est un exemple type d'une espèce à communication complexe.

© H. Schneider, Botanical Image Database, Université de Bâle
<http://www.unibas.ch/botimage/>

premières mutations ayant abouti à des amorces d'ailes résultaient de l'avantage sélectif qu'apporterait ultérieurement la possession d'ailes. Ces premières mutations ont eu d'autres causes.

De plus, comme l'apparition de la communication semble s'être répandue très vite (à l'échelle de l'évolution) chez de nombreuses espèces différentes, il paraît difficile de faire appel, pour expliquer cette vitesse, au seul processus de mutation-sélection, qui opère lentement dans l'approche darwinienne classique, puisqu'il s'effectue au niveau des individus. N'existerait-il pas alors des lois sous-jacentes, d'ordre très général, qui, en se conjuguant avec les processus darwiniens, auraient rendu quasiment obligatoire l'apparition de la communication chez des espèces et entre des individus ayant acquis un certain niveau de complexité ?

La robotique peut-elle apporter une réponse à cette question ? Beaucoup de biologistes répondront d'emblée par la négative, au prétexte que la robotique, comme l'intelligence artificielle, est une discipline réductionniste, bien incapable de rendre compte des multiples complexités du vivant et du social. Mais à cela, les roboticiens rétorquent qu'ils ne prétendent pas expliquer ce qui s'est passé vraiment dans l'histoire de l'univers. Cela supposerait de leur part des connaissances en physique et en biologie qu'ils n'ont pas. Ils se bornent à proposer un modèle artificiel vraisemblable qui, dûment transposé, pourrait permettre aux spécialistes du vivant d'émettre quelques hypothèses sur le processus réel dont ils cherchent à éclairer l'origine.

L'artificiel au secours du naturel

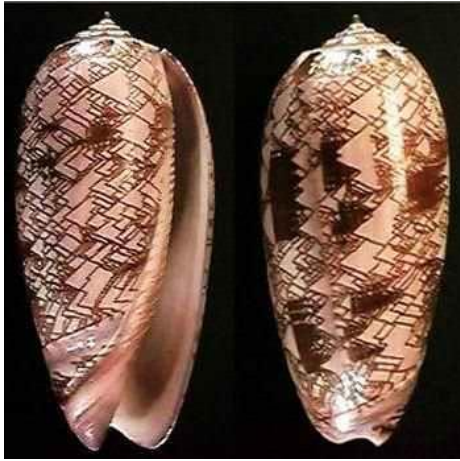
Observons que c'est souvent ainsi que la connaissance en matière d'anatomie et de physiologie s'est approfondie. Des « mécaniciens » ou des « automaticiens » avaient réalisé des modèles dont on s'est aperçu qu'ils pouvaient parfaitement éclairer un processus que, jusque-là, les biologistes n'avaient pas compris ou, même, n'avaient pas observé. Citons l'invention de la pompe qui, très vraisemblablement, a permis de comprendre la circulation sanguine et celle du sonar dont l'invention, en 1915 par Paul Langevin, a précédé (sauf erreur) l'étude des mécanismes d'écho-localisation chez la chauve-souris ou le dauphin.

Revenons au langage ou plutôt, pour rester fidèle à la prudence sémantique adoptée ici, à la communication complexe. On peut facilement programmer des robots pour qu'ils échangent des signaux qui auront la même signification pour l'émetteur et le récepteur. La mécanique n'a d'ailleurs pas attendu la robotique pour ce faire. Mais la question n'est pas là. Elle est celle, une fois de plus, des origines ou, pour parler le langage évolutionniste, de l'« émergence ». Comment une propriété complexe peut-elle à un certain moment, émerger à partir de propriétés simples ?

Transposée à notre cas, nous dirons : comment une machine que rien ne prédispose à communiquer peut-elle spontanément et sans intervention humaine apprendre à le faire ? Cette machine est dotée de dispositifs d'entrées-sorties qui lui servent, dans le cadre des activités pour lesquelles elle a été conçue, à survivre dans son environnement : par exemple, ne pas tomber d'une table ou se connecter à une prise électrique pour recharger ses batteries. Mais, même mise en présence de machines analogues dans un espace clos, elle ignore tout de la communication. Elle ne ressent ni le besoin ni l'envie de communiquer avec les autres.



Deux robots « en essaim » (*swarm-bots*) en train de franchir un fossé. Ces robots font partie du projet européen *Swarm-bots*, qui s'appuie sur l'observation des sociétés d'insectes et de leur « intelligence en essaim » (*swarm intelligence*) afin de développer des objets dotés d'une capacité d'auto-organisation et d'auto-assemblage. © Projet *Swarm-bots*
<http://www.swarm-bots.org/>,
 avec l'aimable autorisation de Marco Dorigo.



L'auto-organisation, qui permet l'émergence de nouvelles formes sur la base d'interactions entre éléments, est mise en jeu par exemple dans l'arrangement des motifs colorés de nombreuses espèces vivantes, telle cette olive porphyre (*Oliva porphyria*). © Eddie Hardy, Gastropods.com, <http://www.gastropods.com/>

L'autoorganisation en action

Dans la thèse, intitulée « L'auto-organisation de la parole », qu'il vient de soutenir au Laboratoire d'informatique de Paris 6 (Lip6), Pierre-Yves Oudeyer, chercheur à Sony-CSL (Paris), montre que des robots (ou systèmes multi-agents), placés dans un environnement leur imposant des contraintes communes, apprennent à utiliser leurs capteurs et « actuateurs » [1] pour échanger des messages. Ils chargent progressivement ceux-ci d'un sens leur permettant de coopérer d'une façon utile à leur survie !

Il s'agit là d'un cas typique d'une adaptation qui s'est révélée utile en dehors du domaine où elle avait pris naissance ; on parle d'« exaptation », selon le terme de Stephen Jay Gould. C'est aussi un exemple caractéristique d'auto-organisation : les robots inventent spontanément, par émergence, d'une part comment utiliser pour communiquer des dispositifs qui n'étaient pas initialement prévus pour cela, et d'autre part, comment s'accorder sur la façon d'optimiser cette communication en élaborant des codes de contenus communs qui pourront se transmettre d'un individu à l'autre. Ce n'est pas encore du langage, mais cela y ressemble beaucoup.

L'émergence naturelle de la communication

Dans ce processus, la compétition darwinienne joue un rôle puisque c'est sous la pression des contraintes du milieu (lesquelles peuvent avoir été introduites par le roboticien, par exemple la présence d'un prédateur) que ces nouveaux comportements apparaissent chez les robots. Mais ce n'est pas uniquement par un processus darwinien qu'ils inventent cette solution parmi bien d'autres possibles.

On peut soupçonner qu'une règle simple relevant de la morphogenèse opère à ce niveau comme elle le fait dans le domaine biologique. Elle se formulerait à peu près ainsi : l'auto-organisation de la communication complexe, débouchant sur la parole, devient inévitable dès lors qu'apparaissent des organismes sociaux composés d'individus disposant d'une certaine marge d'autonomie mais soumis à des contraintes collectives. Elle découle de lois simples de type physique s'appliquant à toutes les formes de matière, vivante ou non.

Ainsi, elle serait probablement le mode le plus économe en ressources énergétiques permettant à un groupe de maintenir sa cohésion. Certains retrouveront là les hypothèses de la théorie dite constructale d'Adrian Bejan (MIT, Cambridge) [2], laquelle s'inscrit dans la ligne des recherches relatives à la morphogenèse. Sans doute aurons-nous l'occasion d'y revenir...

Jean-Paul Baquiast

Co-éditeur et rédacteur en chef de la revue *Automates Intelligents*, <http://www.automatesintelligents.com>

Pour contacter l'auteur
jp.baquiast@wanadoo.fr

[1] Actuateurs, ou actionneurs : dispositifs qui engendrent la force motrice nécessaire pour permettre au robot de se mouvoir.

[2] Bejan A. (2000) *Shape and Structure, from Engineering to Nature*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Site d'A. Bejan, <http://mems.egr.duke.edu/Faculty/abejan/abejan.htm>

Pour en savoir plus

- I La thèse de Pierre-Yves Oudeyer est consultable sur le site de CSL Sony <http://www.csl.sony.fr/~py/theseFrench.html>
- I Voir aussi une présentation de la thèse (<http://www.automatesintelligents.com/labo/2003/dec/pyo.html>) et un entretien avec l'auteur (<http://www.automatesintelligents.com/interviews/2003/dec/pyoudeyer.html>) sur Automates Intelligents.

- | CSL Sony Language
<http://www.csl.sony.fr/Research/Experiments/OriginsOfSpeech/index.php>
- | Travaux de Frédéric Kaplan, CSL Sony et LIP6, programme « The Talking Heads »
<http://kaplan.captage.com/fr/index.xml?>
- | Luc Steels, Laboratoire d'intelligence artificielle, Université libre de Bruxelles
<http://arti.vub.ac.be/>
- | L. Steels (2003) « Evolving grounded communication for robots », *Trends in Cognitive Sciences* 7(7): 308-312.
Version pdf, <http://pyrrha.csis.ul.ie/bds/Discussion-Group/Incoming/Steels-july2003.pdf>
- | Groupe d'Angelo Cangelosi, « Computational Models of Language Evolution in Multi-agent Systems », Faculty of Technology, Plymouth
<http://www.tech.plym.ac.uk/soc/staff/angelo/epsrc1/index.html>
- | Groupe de Marco Dorigo, Université libre de Bruxelles
<http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/HomePageDorigo>
- | Language Evolution Research Group, University of Illinois at Urbana-Champaign
<http://www.isrl.uiuc.edu/amag/langevgroup/>

© Vivant Editions – <http://www.vivantinfo.com>