


# Manuel d'éducation des jeunes Robots

## à l'usage de leurs maîtres.

*La robotique développementale s'inspire des études de biologie et de psychologie du développement humain pour jeter les bases de nos futurs robots. Domestiques, assistants, ils devront être capables de percevoir et d'interpréter une immense variété d'objets et de situations. Au cours de leur existence, ils apprendront au contact de leur maître des tâches nouvelles et de plus en plus complexes. Il paraît ainsi difficile de les doter de toutes les connaissances nécessaires dès leur sortie d'usine. La solution idéale ne serait-elle donc pas de les doter de capacités d'apprentissage et de les éduquer ?*

 Le robot comme alter-ego de l'humain est un des piliers de la science fiction. De nombreux auteurs, dont Isaac Asimov reste le chef de file, ont imaginé des sociétés robotisées où les robots possèdent des aspects variés, mais des capacités intellectuelles assez proches de l'homme. Ils peuvent remplir à sa place des tâches pénibles ou simplement peu intéressantes. Toutefois, en dehors du cadre de l'usine, nous sommes encore loin de la réalisation de robots aptes à remplir les tâches ordinaires de notre quotidien. Mais, à l'instar des robots aspirateurs commercialisés à des millions d'exemplaires, la robotique prend progressivement place dans notre vie.

### **Des robots compagnons**

Ainsi, après les robots utilitaires spécialisés, des robots ludiques tels que Nao d'Aldebaran Robotics arrivent sur le marché. Ces modèles que l'on peut qualifier de « compagnons » ont un rôle social, un intérêt essentiellement dans le cadre des interactions qu'ils peuvent engager avec leurs utilisateurs. L'un des challenges importants pour ces robots est alors de fournir des interactions riches et renouvelées afin d'intéresser leur propriétaire.

A moyen terme, des versions plus évoluées de ces robots devraient pouvoir améliorer la qualité de vie de personnes âgées ou dépendantes. Ils permettront à ces personnes de rester autonomes quelques années supplémentaires en assurant une forme de surveillance et d'assistance pour des gestes simples du quotidien. Plus généralement, on peut espérer voir se réaliser le fantasme du robot domestique capable de débarrasser la table, passer l'aspirateur ou raconter des histoires aux enfants en mimant les personnages et les scènes.

### **L'enjeu des interactions sociales en robotique**

Pour ces robots domestiques, l'aspect social, la capacité d'interaction avec les humains, est donc primordial. Ceci se traduit d'un point de vue mécanique par une autonomie de déplacement, la capacité de saisir, de manipuler des objets tout en garantissant la sécurité des utilisateurs. Mais à mon sens, les plus grands défis restent du point de vue du logiciel (ou de l'« intelligence »). Ainsi ces robots doivent intégrer des capacités de perception et d'interprétation des situations largement supérieures à ce qui est possible aujourd'hui. Ils doivent par exemple pouvoir détecter des objets, des visages, interpréter

les expressions et les gestes de l'humain. D'une manière générale, ils se trouvent contraint de « comprendre » les situations complexes caractéristiques de l'environnement quotidien des humains. De plus ces capacités doivent être évolutives : apprendre à reconnaître de nouveaux objets, de nouvelles personnes, apprendre à jouer à un nouveaux jeux, raconter de nouvelles histoires. Tout cela doit de plus se faire de manière simple et intuitive pour le maître du robot.

Pour obtenir cette richesse d'interaction, trois approches sont possibles. La première est une approche d'ingénierie classique dans laquelle nous dotons notre robot de toutes les capacités nécessaires avant sa commercialisation. Il est ainsi équipé d'un système de reconnaissance de personnes, et d'objets, de la capacité à interpréter un certain nombre de situations et d'une base de jeux et d'histoires, à la manière de la majorité des jouets actuels. Et comme avec ces jouets, l'utilisateur risque de se lasser rapidement des possibilités limitées, et de l'abandonner dans un coin.

La seconde solution, probablement la plus crédible en l'état de la technologie, est de faire appel à une connexion réseau, afin de pouvoir télécharger de nouveaux contenus. Ces contenus peuvent être des histoires, des informations ou des comportements et provenir de professionnels ou d'autres utilisateurs, à la manière des réseaux sociaux.

### **Les clés de l'apprentissage**

Enfin, une troisième solution est d'implanter dans le robot une capacité d'apprentissage suffisamment souple et performante. L'utilisateur peut ainsi lui apprendre directement à réaliser de nouvelles tâches, à reconnaître de nouvelles situations, ou à raconter de nouvelles histoires.

C'est cette troisième voie que se propose d'étudier la robotique développementale. Son principal objectif est de concevoir des robots qui sont capables d'apprendre, pendant toute leur existence, de nouveaux savoirs et de nouvelles compétences en interaction avec des utilisateurs qui ne seront pas des spécialistes en robotique. Cette dernière distinction est importante car il ne s'agit pas de permettre à des personnes de programmer de nouveaux comportements ou de nouvelles histoires, mais bien de leur permettre d'enseigner des choses au robot comme on le fait pour un enfant.

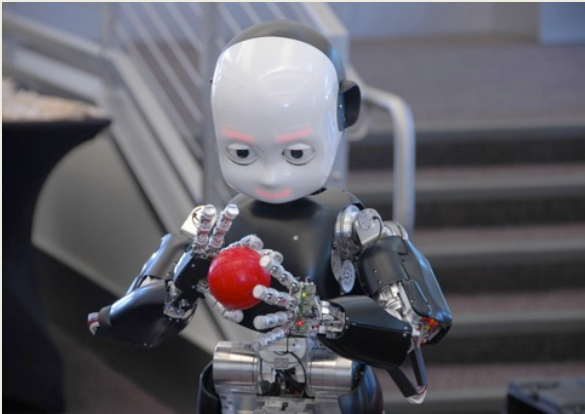
### **S'inspirer de l'enfant**

La robotique développementale propose de s'inspirer pour cela du meilleur apprenant possible : l'enfant. Il existe une immense variété de travaux, que ce soit en biologie ou en psychologie, portant sur le développement et l'apprentissage chez l'homme, remontant à des précurseurs comme Jean Piaget [1]. De nombreuses études montrent en particulier que le processus de développement et de maturation physique est crucial pour permettre à l'enfant d'apprendre de manière contrôlée des comportements de plus en plus complexes partant de l'apprentissage de tâches simple. La robotique développementale s'inspire des diverses approches, des études du comportement de l'enfant jusqu'à l'analyse des structures du cerveau impliquées dans l'apprentissage.



Cette inspiration n'est pas à sens unique car la robotique développementale a également pour objectif de permettre de valider des théories de l'apprentissage et du développement. En effet, appliquer une théorie de psychologie développementale à un robot demande en général une réflexion approfondie pour rendre opérationnelle une théorie qui est souvent peu formalisée. Sa mise en œuvre permet ainsi d'approfondir son étude sur des aspects originaux pour les sciences humaines.

### Un robot pour la robotique développementale



©RoboCub

Le projet européen RobotCub [9] développe le robot humanoïde iCub spécifiquement adapté à la robotique développementale. Ce robot a la taille d'un enfant de trois ans et demi, il est doté de 53 degrés de liberté et l'ensemble de sa conception matérielle et logicielle est Open Source. Il est utilisé pour des recherches en robotique développementale dans le cadre du projet RobotCub lui-même et par de nombreux autres projets et laboratoires européens tels que l'ISIR à l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI) [10].

### Robotique, apprentissage et intelligence artificielle

L'idée de concevoir des robots capables d'apprendre n'est pas nouvelle. Ainsi Turing, dès 1950 [2], proposait de tenter de concevoir des robots capables d'apprendre comme des enfants, avec l'espoir qu'il serait plus simple de concevoir ces mécanismes d'apprentissage que de reproduire directement l'intelligence de l'humain adulte. De nombreux travaux d'intelligence artificielle se sont ensuite appliqués à la robotique. Des chercheurs, comme Rodney Brooks dans les années 90 [3], ont insisté sur l'importance de l'incarnation, de l'interaction avec l'environnement et de l'apprentissage pour développer des robots efficaces.

De très nombreuses recherches ont également été menées sur différentes méthodes d'apprentissage appliquées à la robotique. Cependant, dans la plupart des cas, l'apprentissage demande la création de bases de données d'exemples, ou la préparation de conditions très particulières ; faire apprendre une tâche à un robot demande souvent autant, voir plus de travail au concepteur que la programmation directe. Les méthodes permettant à un robot d'apprendre plusieurs tâches différentes sans une reconfiguration profonde du système, ou en interaction directe, sont rares.

### Une problématique système

Ainsi, les défis de la robotique développementale demandent de développer de nouveaux algorithmes d'apprentissage qui soient par exemple incrémentaux et stables dans le temps, mais se placent aussi au niveau système. Elle s'intéresse, par exemple, au développement des représentations efficaces et évolutives qui permettent d'apprendre de nouvelles tâches sans reprogrammation. Elle développe aussi des méthodes automatiques pour l'acquisition des informations nécessaires à l'apprentissage. Dans cette optique, la robotique développementale conçoit des méthodes d'interaction avec l'humain qui permettent au robot d'apprendre mieux et plus rapidement.

## Des robots curieux

Concrètement, décrivons un exemple de résultat de robotique développementale. Il s'agit de travaux réalisés par Pierre-Yves Oudeyer et Frédéric Kaplan [4] au Computer Science Laboratory de Sony sur les motivations intrinsèques et la curiosité. L'observation de départ est que la plupart des robots apprenants sont conçus pour apprendre une seule tâche dans une situation donnée, au contraire des enfants qui vont apprendre une foule de choses de manière autonome. Notamment, lorsqu'ils sont laissés libre de leurs actions, ils vont choisir des



©P.Y. Oudeyer

activités, non pas au hasard, mais en fonction de leurs capacités et selon des critères que l'on appelle des motivations intrinsèques. Ils ne choisiront pas des activités trop simples qui les ennuient, ni des activités trop complexes qu'ils n'arriveront pas à réaliser. Or ce choix est essentiel pour leur permettre d'apprendre des tâches de plus en plus complexes.

Dans leurs travaux, Oudeyer et Kaplan ont créé un modèle de motivations intrinsèques qui simule ce comportement et l'ont appliqué à un robot Aibo placé sur un tapis d'éveil [5]. Durant l'expérience, le robot apprend à prédire les conséquences de ses actions et choisit ses actions en privilégiant celles pour lesquelles il pourra le mieux progresser dans son apprentissage. Le comportement obtenu sur le robot est interprétable comme une véritable trajectoire développementale : le robot réalise certaines actions de manière répétées avant de passer à d'autres actions, en privilégiant d'abord les actions les plus simples avant des passer aux actions les plus complexes lorsque il est capable de prédire correctement les conséquences des actions simples. Ces travaux, qui font par ailleurs appel à des méthodes d'apprentissage classiques, se concentrent ainsi sur la manière dont le robot peut explorer son environnement pour permettre un apprentissage efficace. Au passage, cela a permis à leurs auteurs de pointer des limitations de certains modèles psychologiques des motivations intrinsèques et de proposer de nouvelles pistes de recherche.

## Interpréter progressivement un environnement

La capacité à interpréter son environnement et à le segmenter en objets individuels est un second exemple, sur lequel nous travaillons dans notre équipe à l'ENSTA ParisTech [6]. Il existe aujourd'hui de très nombreux algorithmes de traitement d'image, utilisant de plus en plus souvent l'apprentissage, qui permettent de reconnaître des objets (y compris dans des contextes très difficiles), des visages, ou des lieux dans une ville. Cependant, ces algorithmes sont tous développés spécifiquement pour leur tâche et lorsque qu'ils utilisent l'apprentissage, ils requièrent des bases de données adaptées. A l'inverse, l'homme semble disposer d'une capacité générique pour reconnaître sans efforts tous ces éléments de son environnement.

Plusieurs équipes de robotique développementale travaillent sur des approches plus génériques de l'apprentissage visuel afin de permettre à un robot d'apprendre tous ces éléments à l'aide d'un système unique et en obtenant les exemples d'apprentissage de

## **La recherche en robotique développementale**

L'approche de la robotique développementale a été proposée par Juyang Weng et ses collègues dans l'article « Autonomous mental development by robots and animals » paru dans Science en 2001 [11]. Des équipes du monde entier se réclament désormais de cette approche, en particulier en Europe où plusieurs projets européens portent sur ce thème. Parmi ceux-ci, le Projet « IM-CLeVeR » [12] portant sur l'apprentissage et les motivations intrinsèques et « ITalk » [13] portant sur le développement du langage. En France, l'équipe INRIA FLOWERS [14] travaille sur les motivations intrinsèques, l'interaction sociale et l'apprentissage sensori-moteur.

manière autonome, ou en interaction avec un humain. Ces approches se fondent en général sur le concept de proto-objets, décrit en psychologie cognitive [7], qui sert d'intermédiaire entre l'information visuelle au niveau de la rétine et les objets reconnus qui sont utilisés par les processus cognitifs plus complexes. Plusieurs modèles de proto-objets utilisant différentes approches de traitement d'images [8] ont été appliqués à des robots pour apprendre à reconnaître les éléments de leur environnement.

## **Des écoles pour les robots ?**

Au delà de ces premiers travaux qui restent loin de l'objectif d'avoir des robots apprenant sur une longue durée, envisageons quelques conséquences à plus long terme. Poussée à son extrême, cette approche nécessite en effet un long entraînement individuel de chaque robot et demande donc de créer des écoles pour les robots ou de fournir à chaque utilisateur un véritable manuel d'éducation en remplacement des modes d'emploi actuels. Une telle approche limiterait fortement la diffusion de ce type de machines. Néanmoins, il reste possible d'implanter dans les robots un ensemble de connaissances et de capacités qui les rendent immédiatement fonctionnels. Le rôle essentiel de l'approche développementale dans ce cadre sera de concevoir ces capacités pour qu'elles soient facilement extensibles pour les utilisateurs et adaptables à des environnements particuliers.

Enfin se pose une question plus fondamentale : est-ce qu'un robot de ce type, doté de capacité d'interaction avec les hommes, d'apprentissage, de curiosité sera intelligent ? Je n'ai pas de réponse à cette question, mais je pense que l'approche développementale est probablement une voie intéressante pour espérer arriver un jour à une « Intelligence Artificielle ».

## **Une approche intégrative**

A plus court terme, la robotique développementale propose ainsi une approche mettant en avant des capacités d'apprentissage et d'adaptation continue pour des environnements complexes : l'environnement quotidien des humains. Loin de tirer un trait sur toutes les avancées obtenues en robotique et en informatique, la robotique développementale propose à mon sens une reformulation de certains objectifs et une approche système et pluridisciplinaire de la robotique.

## Références

- [1] Piaget, J. (1937), La construction du réel chez l'enfant, Paris, Delachaux et Niestlé.
- [2] Turing, A.M. (1950). Computing machinery and intelligence. Mind, 59, 433-460.
- [3] Brooks, R. A., "New Approaches to Robotics", Science (253), September 1991, pp. 1227–1232
- [4] Oudeyer P-Y, Kaplan , F. and Hafner, V. (2007) Intrinsic Motivation Systems for Autonomous Mental Development, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 11(2), pp. 265--286.
- [5] The playground experiment : <http://playground.csl.sony.fr/en/>
- [6] Equipe Robotique Cognitive, ENSTA ParisTech <http://cogrob.ensta.fr>
- [7] Pylyshyn Z., (2001) Visual indexes, preconceptual object, and situated vision, Cognition, 80:127–158.
- [8] F. Orabona, G. Metta, and G. Sandini. A proto-object based visual attention model. In L. Paletta and E. Rome, editors, Attention in Cognitive Systems, volume 4840 of Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 198–215. Springer, 2007
- [9] Projet RobotCub : <http://www.robotcub.org>
- [10] Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique : <http://www.isir.fr>
- [11] J. Weng, J. McClelland, A. Pentland, O. Sporns, I. Stockman, M. Sur and E. Thelen, "Autonomous Mental Development by Robots and Animals," Science, vol. 291, no. 5504, pp. 599 - 600, Jan. 26, 2001.
- [12] Projet IM-CLeVeR <http://im-clever.noze.it/>
- [13] Projet ITalk <http://www.tech.plym.ac.uk/SoCCE/ITALK/>
- [14] Equipe Inria FLOWERS : <http://flowers.inria.fr>