

De l'usage de Nao (robot humanoïde) dans l'apprentissage de l'informatique

David Janiszek¹, Laetitia Boulc'h², Damien Pellier¹, Julie Mauclair¹,
Georges-Louis Baron²

{david.janiszek, laetitia.boulc-h, damien.pellier, julie.mauclair, georges-louis.baron}@parisdescartes.fr

¹ LIPADE, ² EDA, Université Paris Descartes, 45 Rue des Saints Pères, 75006 Paris, France

Résumé. Cet article présente une analyse d'une situation d'utilisation de robots (et en particulier d'un robot humanoïde) dans un dispositif pédagogique basé sur la pédagogie par projets. Nos observations portent sur des étudiants de 3e année de licence d'Informatique tout au long du déroulement d'une unité d'enseignement basée sur une pédagogie par projets. Elles visent à mieux comprendre les possibilités éducatives de tels robots qui possèdent une forme humaine crédible et qui présentent une grande complexité technique, autorisant des comportements très sophistiqués et des retours d'informations très précis en réponse aux actions des apprenants.

Mots-clés: robotique humanoïde, pédagogie par projets, apprentissage, informatique

Introduction

La diffusion de robots effectuant tout ou partie des tâches ordinairement dévolues aux humains est sans aucun doute un des phénomènes les plus significatifs des cinquante dernières années. Il est frappant d'ailleurs de constater la variété de formes et de fonctions prises par ces dispositifs techniques, allant des machines-outils aux créatures animales artificielles en passant par les robots humanoïdes.

Depuis une dizaine d'années, les évolutions considérables des possibilités techniques ont fait entrer les robots humanoïdes dans la sphère médiatique, des réalisations de laboratoire étant présentées et discutées. Bien plus, au-delà des laboratoires, un certain nombre de produits ont commencé à être commercialisés, tels Nao, de l'entreprise Aldebaran Robotics, rendant la perspective de leur banalisation plus proche. Ces robots pourraient bien devenir des assistants dans différentes activités quotidiennes, mais à la condition que des systèmes logiciels adéquats, correspondant aux besoins spécifiques d'un large spectre d'utilisateurs, soient développés et intégrés dans des interfaces ergonomiques.

Cet article s'attache donc à présenter notre expérience d'utilisation de tels robots au travers d'une pédagogie par projets au niveau de la licence d'Informatique de l'Université Paris Descartes. Nos observations ont porté sur des étudiants de 3e année tout au long d'un semestre et visent à mieux comprendre les possibilités

éducatives de tels robots qui possèdent une forme humaine crédible et qui présentent une grande complexité technique, autorisant des comportements très sophistiqués et des retours d'informations très précis en réponse aux actions des apprenants.

Contexte

L'intérêt de la robotique pédagogique dans l'enseignement l'informatique est établi depuis plusieurs années (Baron & Denis, 1993). Des matériels comme ceux diffusés par la firme Fisher-Technik ont fait l'objet de recherches (Martial Vivet, Leroux, & Delannoy, 1997) visant à étudier comment il était possible d'enseigner les rudiments de la programmation à des collégiens ou des adultes en formation professionnelle. L'impact de la robotique pédagogique dans la formation de base en science et technologie a également été testé (Nonnon, 2002).

Des dispositifs utilisant des briques LEGO se sont diffusés dans les établissements d'enseignement depuis le milieu des années 2000. Le robot LEGO Mindstorms, en particulier, utilise des boîtes de construction LEGO comme base et y adjoint l'électronique. Plusieurs recherches ont porté sur l'utilisation de ces robots, notamment dans le cadre de l'apprentissage de l'intelligence artificielle, auprès d'étudiants de l'enseignement supérieur (Parsons & Sklar, 2004).

Le robot Nao commercialisé par la société Aldebaran Robotics depuis 2008 revêt une apparence humaine et possède un regard expressif qui peut à l'aide de diodes, exprimer des émotions. Du côté de la formation universitaire, il augmente le champ des possibles pour l'apprenant : il dispose en effet de 25 degrés de liberté, d'un système multimédia évolué (4 microphones, 2 haut-parleurs, 2 caméras CMOS) pour la reconnaissance de la parole et la synthèse vocale, la localisation de sons dans l'espace ou encore la reconnaissance de visage ou d'objet. Il renferme aussi des capteurs d'interactions tels des zones tactiles sur le dessus de la tête et sur le dessus des mains, des capteurs à ultrasons...

Il nous a semblé intéressant d'étudier dans quelle mesure l'usage de ce nouveau type de dispositifs très sophistiqués, proches de l'apparence humaine, permet d'atteindre des objectifs d'apprentissage dans le domaine de l'informatique notamment.

Mise en œuvre des projets informatiques en licence d'informatique

À l'Université Paris Descartes, au cours de leur licence d'informatique, les étudiants ont un projet informatique à réaliser en deuxième année (L2) ainsi qu'en troisième année (L3). À chaque fois, le processus est le même : les projets sont réalisés par groupe de quatre étudiants au cours des 12 semaines du second semestre. Chaque groupe est encadré par un membre de l'équipe pédagogique pendant toute la durée du projet. L'un des objectifs recherchés est de permettre aux étudiants de développer des compétences opérationnelles, rarement mises en œuvre

lors de simples travaux pratiques, comme par exemple : le travail en équipe, le développement d'une application de taille relativement importante. Tout au long du semestre, les étudiants abordent successivement les différentes phases de la réalisation d'un projet : de la spécification des besoins à la recette en utilisant une approche méthodologique souvent utilisée dans leur futur environnement professionnel.

Parmi les projets proposés lors de l'année universitaire 2010/2011, plusieurs avaient pour support la robotique. En L2, quatre groupes ont travaillé sur des robots LEGO Mindstorms, tandis qu'en L3, deux groupes ont travaillé sur des LEGO et trois groupes ont travaillé sur le robot Nao. Avec des projets comme faire lire, écrire et dessiner le robot, le faire jouer au puissance 4, lui faire surveiller une pièce.

Nous avons mené une observation attentive de la marche de ces projets, selon une démarche d'observation participante. Les conclusions auxquelles nous parvenons n'ont évidemment pas la prétention d'avoir une portée générale. Elles nous semblent cependant de nature à donner des éléments de réflexion jusqu'ici non remarqués et à suggérer des pistes de recherche future.

Analyse des spécificités du robot testé

Dans la perspective d'une utilisation pédagogique, le robot humanoïde Nao est un outil qui présente de nombreux atouts mais également de nombreux inconvénients.

La partie matérielle

Dans le registre positif, on constate que Nao suscite des réactions affectives positives de la part des êtres humains auxquels il est confronté, et les étudiants ne dérogent pas à cette observation. D'ailleurs, la société qui le commercialise a explicitement recherché ce type de réaction puisqu'elle a particulièrement travaillé la question de l'acceptabilité du robot. En effet, l'apparence humaine des robots peut poser problème et certaines études ont montré qu'un degré trop élevé de ressemblance avec l'homme rendait un robot relativement effrayant, produisant ainsi l'effet inverse de celui attendu (Mori, 1970). Ainsi, sa taille, la forme de son visage et les proportions de ses membres donnent à Nao une apparence proche de celle d'un enfant tout en restant suffisamment éloignée pour ne pas effrayer son utilisateur.

Son apparence influence la façon dont les étudiants l'abordent et le manipulent. En effet, ils le personnifient et il leur arrive même de lui parler lorsque, selon leurs termes, il ne fait pas ce qu'il devrait faire (en réalité : lorsque le programme conçu par les étudiants ne fonctionne pas correctement et qu'il ne produit pas les résultats attendus). En outre, cette disposition se traduit également dans les directions prises par les différents projets. À chaque étape, les étudiants ont systématiquement privilégié les solutions qui tendaient à faire ressembler le comportement du robot à un comportement humain.

Cette approche engendre quelques difficultés car, d'un point de vue informatique, ces solutions sont souvent difficiles à mettre en œuvre puisqu'elles nécessitent des connaissances en informatique et plus particulièrement des techniques d'Intelligence Artificielle qu'ils ne maîtrisent pas forcément. Toutefois, notre expérience indique que l'affect engendré par Nao permet de masquer une part de la complexité des notions introduites puisqu'elles sont abordées plutôt comme des outils pour obtenir un comportement plutôt que comme des connaissances académiques. Nous avons également pu observer que les étudiants sont plus patients face aux difficultés qu'ils rencontrent par rapport à des projets informatiques plus classiques. D'ailleurs le champ lexical utilisé pour décrire les solutions envisagées aux difficultés rencontrées se rapporte très souvent à l'apprentissage plutôt qu'à celui de la programmation ; nous avons souvent entendu des phrases du genre : « Nous allons lui apprendre à faire ceci ou cela... » Vraisemblablement de manière analogue à ce qu'ils feraient avec un enfant.

Bien que les avantages présentés soient intéressants pour le pédagogue, les inconvénients ne sont pas négligeables. Tout d'abord, le prix public actuel est trop élevé pour envisager une utilisation à grande échelle dans un contexte pédagogique. On observe également que les séances pédagogiques mettent à rude épreuve le matériel (ainsi la station debout sollicite fortement les moteurs). Une journée d'utilisation continue de Nao est difficilement envisageable à cause de surchauffes survenant sur les articulations les plus sollicitées et parfois sur le processeur. Cela oblige alors à une interruption d'une dizaine de minutes, le temps que les composants en question refroidissent. D'ailleurs en cas de surchauffe importante, le robot peu s'arrêter de lui-même.

Il apparaît également indispensable de prévoir une batterie de rechange pour des séances longues. En effet, la première version du chargeur ne permettait pas une recharge plus rapide que la décharge du robot en fonctionnement. Cet effet s'aggravait lorsqu'il se mouvait de manière plus importante. Aldebaran Robotics, ayant pris conscience du problème, propose désormais une version dont l'ampérage est plus élevé qui semble résoudre le problème. Cependant, l'autonomie du robot est légèrement inférieure à une heure pour une activité modérée.

Ensuite, les mouvements du robot ne sont pas totalement déterministes : une même série de commandes aux moteurs ne donnera pas exactement deux fois le même mouvement. Ceci est dû en grande partie à la variabilité des moteurs. De même, une grande variabilité des mouvements peut être constatée entre deux robots. La difficulté posée par ce type d'imprécision rend indispensable la conception d'algorithmes basés sur une boucle de rétroaction. Autrement dit, il est nécessaire d'utiliser des algorithmes qui traitent les informations issues de l'environnement du robot et qui ajustent en temps réel ses mouvements pour corriger les imprécisions du matériel sous peine ne pas pouvoir reproduire un comportement. D'une part, ce type d'algorithme est difficile à mettre en œuvre pour des étudiants de niveau

licence et d'autre part, cela pose le problème de la capacité de traitement du processeur central.

En effet, le processeur AMD Geode 500 ainsi que la capacité de la mémoire embarquée de 2 Go sont insuffisants pour traiter des problèmes complexes qui correspondent au niveau des étudiants de Master. Même s'il est de bonne conception, lorsqu'on le compare à la concurrence, on peut regretter qu'à ce jour Nao ne dispose pas d'une plus grande puissance de calcul. Toutefois, il semblerait qu'Aldebaran Robotics en ait conscience puisque la prochaine révision du robot devrait abriter un processeur plus puissant ; a priori il devrait s'agir d'un Atom d'Intel.

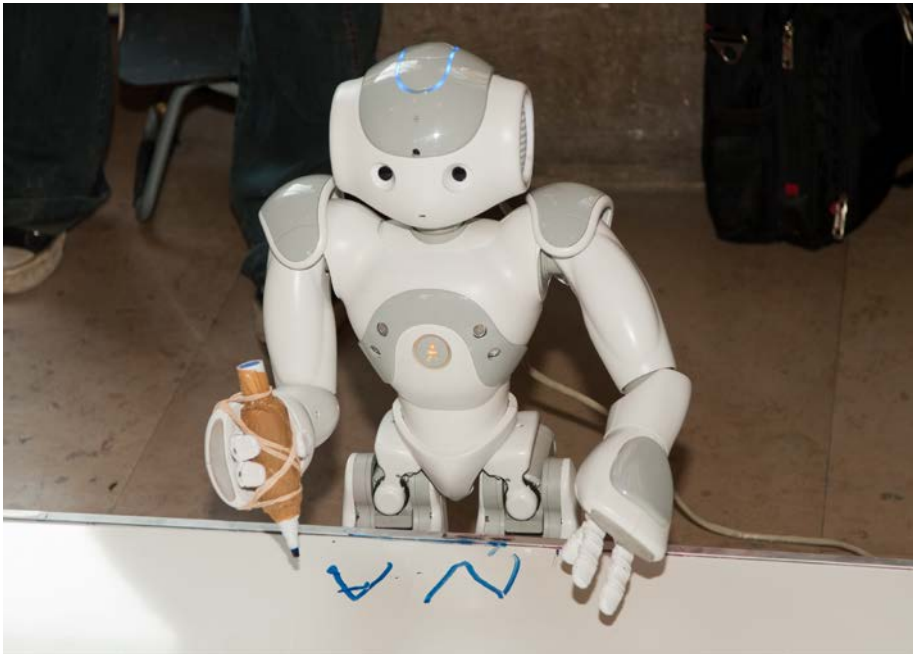


Figure 1. Nao en train d'écrire son nom

La partie logicielle

Les logiciels accompagnant le matériel constituent un élément important dans la mise en place d'une activité pédagogique autour de la robotique et de l'informatique. En ce qui concerne Nao, trois logiciels sont fournis :

- NaoSim

Le simulateur NaoSim est vendu par la société Aldebaran Robotics, mais elle ne le développe pas. Sur le papier, ce logiciel présente l'avantage de limiter les difficultés évoquées précédemment comme par exemple le temps d'utilisation du robot. Ainsi, le simulateur permettrait de tester des comportements avant de les implémenter et de les valider sur le robot.

Malheureusement, notre expérience avec ce logiciel montre, qu'en l'état, il n'est pas très utilisable. En effet, il ne permet pas la simulation des capteurs de sons, de toucher, des fonctionnalités de synthèse et de reconnaissance vocale, etc. Il ne permet pas non plus la simulation et l'interaction avec des objets. Par exemple, il n'a pas été possible aux étudiants travaillant sur le projet Nao lit/écrit/dessine d'ajouter un stylo et une table pour simuler l'écriture du robot. Seuls les mouvements peuvent être simulés. C'est une limitation extrêmement forte pour les projets et les sujets que l'on peut proposer aux étudiants, et finalement les cas où il s'avère utile sont rares.

- L'environnement de développement Choregraphe

Contrairement à NaoSim, Choregraphe est développé par la société Aldebaran Robotics. Il s'agit d'un outil de programmation graphique dont le paradigme est simple et analogue à celui qui a fait le succès des LEGO Mindstorms. L'interface présente un espace de travail sur lequel il est possible de glisser-déposer des composants graphiques appelés boîtes. Chacune représente une action, un comportement ou un traitement. Il est possible de composer et d'associer des boîtes afin de créer des composants personnalisés de plus en plus complexes tendant, en général, vers un comportement. L'association des boîtes est représentée par des flèches qui orientent leur enchaînement ; cela permet de décrire aisément le flot d'exécution. Choregraphe est accompagné d'un module logiciel qui s'appelle Télépathe. Ce module permet l'enregistrement de mouvements qui pourront être répétés à l'identique par la suite. Il permet également d'avoir un retour sur l'ensemble des capteurs de Nao. Par exemple, il est capable d'afficher le retour des caméras sur l'écran de l'utilisateur, de mettre au point l'image, de prendre des photos, et d'accéder aux valeurs de capteurs de Nao. Enfin, Choregraphe est compatible avec d'autres simulateurs que NaoSim, à savoir : Microsoft Robotics Studio et Webots de Cyberbotics qui permettent de tester des comportements avec un ou plusieurs Nao dans des environnements personnalisés.

Malheureusement, Choregraphe n'est pas compatible avec toutes les plateformes sur lesquelles il est censé fonctionner ; nous avons rencontré d'importants problèmes avec la version pour MacOS X. Nos observations suggèrent que Choregraphe convient à des étudiants de premier cycle familiarisés avec la programmation mais qu'il nécessite un effort d'appropriation important.

- Le kit de développement et les interfaces de programmation

Le kit de développement fourni avec Nao est l'élément logiciel le plus important dans le cadre de l'apprentissage de l'informatique. En effet, c'est au travers des interfaces de programmation (API) proposés par le kit de développement que les étudiants peuvent créer de nouveaux programmes ; il contraint donc les solutions développées. À ce jour, ce kit comprend un descriptif succinct des méthodes de programmation, quelques exemples ainsi que quelques outils de compilation et de débogage.

Comme Choregraphe, le kit de développement souffre d'un manque de documentation malgré les efforts manifestes qui ont été réalisés. Les outils de débogage et de compilation ne sont pas adaptés aux étudiants de premier cycle : ils sont pour le moment trop complexes. En dépit de ces griefs, ce kit permet de programmer dans de nombreux langage de programmation. Par exemple, Nao est compatible. Net, permettant ainsi d'utiliser n'importe quel langage supporté par ce framework. Net (C#, VBScript etc.). Les API proposées vont de la programmation haut niveau en Python à la programmation en temps réel en C++ avec un accès direct aux données brutes des capteurs et des actionneurs toutes les 10 ms. Le langage Urbi, développé par la start-up française Gostai, est également disponible.

Des impacts indéniables sur la pédagogie

Lien affectif et motivation des étudiants

Notre expérience de l'utilisation du robot humanoïde Nao dans un cadre pédagogique a permis de mettre en exergue certaines difficultés dans l'utilisation et dans la mise en place d'une unité d'enseignement. Cependant, plusieurs points positifs ressortent des projets robotiques menés jusqu'ici. Les étudiants semblent plus motivés d'une part, parce que le travail réalisé est davantage ancré dans la réalité et qu'il permet de rendre tangible les concepts abordés ; ensuite parce que le travail en équipe a permis de développer l'esprit collaboratif ; enfin parce que l'utilisation du robot a suscité des réactions émotionnelles non négligeables. Les étudiants ont tissé une relation affective avec l'objet, ce qui a pu les conduire à s'investir davantage dans les projets.

Les observations réalisées dans le cadre de notre recherche indiquent que les robots peuvent devenir des outils efficaces d'apprentissage grâce au lien affectif qui s'instaure avec les étudiants. Elles confortent les résultats des recherches qui ont montré l'intérêt des robots humanoïdes interactifs dans les apprentissages.

Le rôle des émotions dans les apprentissages n'est donc pas à négliger, de nombreuses recherches ont mis en avant le lien fort qui existe entre émotion et cognition, en soulignant que les émotions permettaient de construire et d'organiser notre système cognitif et d'adapter nos procédures et notre comportement aux besoins de la situation (Izard, 1993). Les capacités d'attention, de mémorisation, de planification, d'apprentissage et d'interaction seraient davantage mobilisées si la tâche à accomplir est plaisante ou si nous nous sentons satisfaits et optimistes. Transposé à notre situation didactique, le plaisir et l'émulation qu'engendrent le travail et la communication avec Nao, peuvent avoir un effet positif sur les capacités cognitives des étudiants et leur implication physique et intellectuelle dans la tâche à accomplir.

L'enseignant : de nouvelles conditions de travail

Tout au long du projet, l'enseignant qui encadre les étudiants assure également le rôle de la maîtrise d'ouvrage. Il doit gérer l'incertitude car il n'a pas la maîtrise de

la démarche adoptée. Pour tenir compte des besoins des apprenants, il agit plutôt comme médiateur. Il peut négocier avec les étudiants les objectifs et les moyens et doit aussi susciter et gérer les pensées divergentes et convergentes. Il intervient également pour suivre l'évolution du projet ; en particulier il doit être attentif à la répartition des tâches au sein de l'équipe. Les étudiants étant notés individuellement, il est essentiel de pouvoir déterminer le rôle et la contribution de chacun. Dans ce contexte, par rapport aux projets informatiques, on constate que les relations entre les étudiants et leurs encadrants-enseignants évoluent en ce qui concerne le déroulement du projet puisque l'objet est personnifié. Et d'une description d'éléments techniques essentiellement algorithmiques, il n'est pas rare que la discussion tende vers une description comportementale.

Conclusion et perspectives

Précédemment, nous avons montré la faisabilité de projets de robotique au sein de notre établissement (Janiszek, 2010). Avec la robotique humanoïde nous souhaitons poursuivre cette expérience tout en introduisant un outil vraiment complexe, susceptible de susciter l'intérêt voire des vocations.

L'utilisation de Nao, et d'une manière plus générale de la robotique, au sein du dispositif pédagogique que nous décrivons présente un avantage indéniable pour l'apprentissage de l'informatique. Il s'agit de la méthode mise en œuvre par les étudiants pour appréhender et résoudre un problème. C'est souvent la première fois que les étudiants en informatique sont confrontés à une démarche scientifique allant de l'hypothèse (utilisée dans la phase de conception) à l'expérimentation contrairement à d'autres disciplines comme la biologie ou la chimie. Le dispositif matériel les oblige à respecter une démarche leur permettant, pour la première fois, de concevoir des programmes robustes comme il leur sera demandé dans leur contexte professionnel.

À ce stade, il n'est pas possible d'évaluer rigoureusement les résultats des projets portant sur la robotique humanoïde. Étant donné que le paradigme de programmation est différent de ceux utilisés auparavant, il est encore plus difficile de déterminer qui a appris quoi, quand et comment qu'avec les autres projets de robotique et encore plus avec ceux d'informatique. Néanmoins, on peut tout de même constater l'enthousiasme des étudiants qui leur a permis de surmonter la plupart des difficultés rencontrées. On peut également constater que les étudiants ont travaillé sans relâche pendant tout le semestre et étaient contents de le faire. Enfin, tous ont largement employé leur imagination pour contourner les difficultés rencontrées. Ce qui nous a amenés à envisager l'utilisation d'outils d'aide aux remue-méninges.

Notre action a montré qu'il est possible de faire réaliser à des étudiants de deuxième et troisième années de licence des projets leur permettant de modéliser des situations très complexes et de les programmer tout en gardant une motivation élevée. Le caractère humanoïde du robot et l'ensemble étendu de fonctions dont il

dispose y jouent un grand rôle, mais les groupes d'apprenants sont tout à fait portés à anthropomorphiser les robots qu'ils construisent à partir de briques Lego, dont les fonctions n'ont qu'un rapport plus ou moins lointain avec celles de Nao.

Deux pistes de réflexion nous semblent maintenant ouvertes. D'une part, il conviendrait d'essayer d'apprécier dans quelle mesure la programmation de robots (qui inclut une dimension de gestion du temps réel) conduit à la conception par des étudiants de programmes relativement complexes. D'autre part, il serait intéressant de tester, auprès d'étudiants n'ayant pas de culture technique (comme ceux se destinant au professorat des écoles), comment l'utilisation de robots simples permet de les intéresser à des notions fondamentales de programmation.

Bibliographie

- Denis, B., & Baron, G. L., Denis, B. (Eds.). (1993). Regards sur la robotique pédagogique. Actes du 4^e colloque international sur la robotique pédagogique. Paris: INRP, Technologies nouvelles et éducation.
- Izard CE. (1993). Four systems for emotion activation: Cognitive and non-cognitive processes. *Psychological Review*, 100:60–69.
- Janiszek D., Pellier D., Mauclair J., Parchemal Y. & Baron G.L. RoboTICE : La Robotique comme Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement. Dans TICE 2010, Nancy.
- Vivet, M., Leroux, P., & Delannoy, P. (1997). ROBOTEACH: un assistant pédagogique logiciel dédié à l'alphabétisation en technologie (p. 45– 58). Montréal.
- Mori, M. (1970). The Uncanny Valley, dans *Energy*, 7(4), pp. 33-35
- Nonnon, P. (2002). Considérations sur la recherche de développement en éducation : le cas de l'ExAO. Dans Communication présentée au Symposium international sur les technologies informatiques en Éducation : perspectives de recherche problématiques et questions vives. Paris.
- Parsons, S., & Sklar, E. (2004). Teaching AI using LEGO Mindstorms. Dans AAI Spring Symposium.
- Vivet, M., Leroux, P., Delannoy, P. (1997). Utilisation de la méthode ATRIUM en formation professionnelle, Colloque International sur la Robotique Pédagogique, Montréal.