



HAL
open science

Un robot humanoïde pour enseigner la programmation: une recherche exploratoire auprès d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage

Thierry Karsenti, Julien Bugmann

► To cite this version:

Thierry Karsenti, Julien Bugmann. Un robot humanoïde pour enseigner la programmation: une recherche exploratoire auprès d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage. Didapro 7 – DidaSTIC. De 0 à 1 ou l'heure de l'informatique à l'école, Feb 2018, Lausanne, Suisse. hal-01753116

HAL Id: hal-01753116

<https://hal.science/hal-01753116v1>

Submitted on 29 Mar 2018

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.

THIERRY KARSENTI & JULIEN BUGMANN

Université de Montréal

thierry.karsenti@umontreal.ca, julien.bugmann@umontreal.ca

Un robot humanoïde pour enseigner la programmation : une recherche exploratoire auprès d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage

Résumé

Les robots sont de plus en plus présents dans notre société. Il se dit même qu'ils vont devenir « indispensables » à notre quotidien. Au cours des dernières années, on les voit même de plus en plus dans des salles de classe, notamment à des fins d'apprentissage de la programmation. En effet, et même si la présence de robots à l'école remonte à plusieurs dizaines d'années, cette tendance tendrait à s'accroître avec l'émergence de robots dits « éducatifs ». Notre recherche vise à mieux comprendre le rôle d'un robot humanoïde dans l'apprentissage de la programmation pour des élèves ayant des difficultés d'apprentissage, de même que cet usage pour la motivation des élèves dans l'apprentissage de la programmation. Pour atteindre ces objectifs, nous avons mis en place un protocole particulier où un robot humanoïde a été intégré aux cours de programmation d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage. Les données recueillies révèlent qu'un robot humanoïde peut participer à l'enseignement-apprentissage de la programmation, même pour des élèves ayant des difficultés d'apprentissage importantes à l'école. Nos données illustrent également les différents impacts sur les élèves du protocole de recherche mis en place.

Mots clés : robotique, robots humanoïdes, programmation, codage, école, apprentissages

1 Introduction

Même si l'apprentissage du code ou de la programmation existe depuis de nombreuses années dans les écoles (voir Papert, 1981), cette pratique a récemment connu un essor important avec des initiatives comme « Hour

of Code » (*une heure de code*) à laquelle plus de 450 millions d'apprenants ont déjà participé¹. Par ailleurs, et pour être en accord avec les compétences du XXI^e siècle que tous les élèves devraient se préparer à maîtriser (van Laar, van Deursen, van Dijk et de Haan, 2017), plusieurs pays offrent un enseignement obligatoire du code. C'est le cas notamment pour l'Angleterre, certaines provinces du Canada, certains États des États-Unis, la France, la Grèce, la Norvège et la Suède. Pourquoi de telles initiatives dans ces pays ? Parce qu'il est important que les élèves apprennent à coder afin qu'ils comprennent davantage le monde qui les entoure et afin qu'ils soient mieux préparés au monde technologique dans lequel ils évolueront demain (Karsenti et Bugmann, 2017a). Autrement dit, pour éviter de « subir le code », il semble important que les élèves puissent le maîtriser (voir OCDE, 2015). Pour ce faire, de nombreux logiciels existent désormais afin de participer à cet apprentissage, tant dans la salle de classe qu'en dehors de l'école². En plus des logiciels, plusieurs robots participent également à l'apprentissage de la programmation en permettant notamment une concrétisation physique des programmes générés par les élèves, à l'inverse des logiciels « classiques » tels que *Scratch* ou *Swift Playgrounds* qui génèrent un scénario visuel sur écran (voir Karsenti et Bugmann, 2017b). Alors que le phénomène des « robots » en éducation n'est pas nouveau³, on constate, depuis quelques années, une forte multiplication de ces technologies en classe, au point que l'on retrouve aujourd'hui, dans le commerce, plus d'une vingtaine de robots destinés à la salle de classe (voir Karsenti et Bugmann, 2017a). Et lorsque l'on sait l'importance de l'apprentissage du code et les nouvelles compétences à maîtriser dans les années à venir par les élèves (Fonction publique de l'Ontario, 2016 ; van Laar *et al.*, 2017), il n'est pas étonnant de voir se multiplier ce type d'outils dans les établissements scolaires. L'usage des robots revêt un intérêt particulier pour l'apprentissage du code, notamment parce qu'il participe de façon très particulière à la motivation des élèves (voir section 3).

1 <<https://hourofcode.com/fr>>

2 Pour une liste des principaux logiciels utilisés, voir : <<http://karsenti.ca/11coder.pdf>>

3 Par exemple, Seymour Papert, dans les années 1980 avait lui aussi lancé la mode de la programmation à l'école en développant sa tortue LOGO (voir Papert, 1981).

2 Contexte théorique

Plusieurs études ont montré qu'apprendre la programmation comporte de multiples avantages, par exemple l'apprentissage des mathématiques (Temperman *et al.*, 2014), les habiletés en résolution de problèmes (voir Keane, Chalmers, Williams et Boden, 2016) et la créativité (Falloon, 2016 ; Moreno-León, Robles et Román-González, 2016 ; OECD, 2015 ; Romero, Lille et Patiño, 2017 ; Smith, Sutcliffe et Sandvik, 2014). Pour accroître la motivation des élèves dans l'apprentissage de la programmation, plusieurs chercheurs se sont penchés sur l'usage des robots (voir Alimisis, 2012 ; Gaudiello et Zibetti, 2013 ; Keane *et al.*, 2016 ; Komis et Misirli, 2016) et ont démontré leur potentiel motivationnel auprès des apprenants (Greff et Melgarejo, 2017 ; Janiszek, Boulc'H, Pellier, Mauclair et Baron, 2011 ; Kaloti-Hallak, Armoni et Ben-Ari, 2015). Dans un contexte où l'usage de robots pour l'apprentissage du code est susceptible de participer à la motivation des élèves, certains chercheurs se sont plus particulièrement intéressés aux robots humanoïdes dont le potentiel pour l'apprentissage du code et la motivation à apprendre à coder semble encore plus important (voir Keane *et al.*, 2016). Pourquoi un robot humanoïde ? Tout simplement parce que ce robot peut accroître, encore plus, la motivation des élèves, par rapport à l'usage d'un autre type de robot. Ce type de robot est, par ailleurs, rarement utilisé pour l'apprentissage du code. En effet, il est plus fréquemment utilisé auprès d'enfants atteints de troubles du spectre de l'autisme (Caudrelier et Foerster, 2015 ; Centelles, Assaiante, Etchegoyhen, Bouvard et Schmitz, 2012).

3 Objectif de recherche

Cette étude vise à mieux comprendre le rôle d'un robot humanoïde dans (a) l'apprentissage de la programmation et (b) la motivation pour l'apprentissage de la programmation pour des élèves ayant des difficultés d'apprentissage. Pour atteindre cet objectif, nous avons mis en place un protocole de recherche particulier (voir section 4.2) où un robot

humanoïde a été intégré aux cours de programmation d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage. L'originalité de notre recherche est multiple. Elle se situe (1) d'abord dans l'usage des robots pour l'apprentissage du code, voire (2) dans l'usage d'un type particulier de robot pour l'apprentissage du code (un robot humanoïde), mais aussi (3) dans le contexte particulier de cet usage (les élèves identifiés comme ayant des difficultés particulières d'apprentissage).

4 Méthodologie

4.1 *Participants*

Ce sont en tout 83 élèves (48 filles et 35 garçons), âgés de 11 à 17 ans, qui ont participé à cette recherche. L'âge moyen des participants était de 12,5 ans ; 64 élèves étaient du niveau primaire et 19 du secondaire. Ces élèves avaient tous été identifiés comme ayant des difficultés particulières d'apprentissage. Dans le contexte scolaire canadien, ils sont qualifiés d'élèves en « adaptation scolaire »⁴.

4.2 *Contexte et dispositif de la recherche*

Dans le cadre de cette recherche, nous avons choisi d'utiliser le robot humanoïde NAO⁵ dans deux contextes d'enseignement au Québec (Canada) où l'on retrouvait des élèves identifiés comme ayant des difficultés particulières d'apprentissage. Nous avons donc proposé aux élèves un programme d'apprentissage de la programmation à l'aide du robot humanoïde NAO. Ce programme, que nous avons nommé « Maître NAO » (voir Figure 1), comportait dix niveaux progressifs à réaliser, composés chacun de trois étapes intermédiaires (donc, 30 étapes en tout). Pour programmer

4 Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2006). *Programme de formation de l'école québécoise*. Gouvernement du Québec.

5 <<https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/nao>>

le robot NAO, les élèves avaient à utiliser le logiciel *Choregraphe*, un logiciel de programmation qui, à l'aide de boîtes de commandes à *glisser-déplacer*, leur permettait de contrôler le robot. Ce logiciel, qui peut toutefois s'avérer particulièrement complexe, offre la possibilité aux utilisateurs de voir le programme réalisé sur un robot virtuel et, donc, de travailler sur les tâches de programmation même lorsque le robot NAO n'était pas avec eux. Les élèves utilisant le logiciel *Choregraphe* peuvent donc s'initier à la programmation par la manipulation et l'organisation de boîtes de commandes, comme celles présentes, notamment, lors de l'utilisation de logiciels tels que *Scratch*. À titre d'exemple, avec *Choregraphe*, l'utilisateur crée un programme en liant des boîtes de commandes entre elles et en leur attribuant un certain nombre de caractéristiques. Par exemple, si un élève souhaite programmer NAO pour qu'il s'assoie, qu'il parle, puis qu'il se relève, la séquence illustrée à la Figure 2 serait à réaliser. Le logiciel *Choregraphe* permet aussi de visualiser rapidement les différentes commandes qui peuvent être appliquées au robot. Tout d'abord, le fait qu'il doive s'asseoir par l'application de la boîte « *Sit down* », puis le fait qu'il parle avec la boîte « *Say* » et enfin qu'il se lève avec la boîte « *Stand Up* ». Aussi, en rentrant dans les paramètres dans la boîte de programmation « *Say* », l'utilisateur va pouvoir préciser ce qu'il souhaite que le robot dise (Figure 3). Par l'articulation cohérente de plusieurs boîtes de commandes à ordonner et à paramétrer, les élèves peuvent donc programmer le robot NAO et rendre plus concrète leur création. Enfin, il semble important de noter que peu d'études ont porté sur la programmation du robot NAO par des élèves du secondaire, voire encore moins pour des élèves du primaire. En effet, la plupart des études sur la programmation du robot NAO ont été réalisées par des étudiants universitaires (voir Nijimbere, 2014).

Devenez le maître NAO



Niveaux	Défis	Aide	Niveaux	Défis
01 Jaune	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez doucement caresser le dessus de la tête de NAO pour qu'il s'agresse. Vous devez dire « Bonjour » ou « Salut » à NAO jusqu'à ce qu'il vous comprenne et vous réponde. Vous devez demander à NAO : « Comment vas-tu ? » ou « Comment tu l'appelles » jusqu'à ce qu'il vous comprenne et vous réponde. 	Interne au robot	06 Rouge	<p style="text-align: center;"><small>UTILISER LE MOUCI ARMATURE POUR CE NIVEAU</small></p> <ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire lever le bras gauche de NAO. Vous devez faire lever les deux bras de NAO. Vous devez donner une nouvelle position à NAO sans qu'il ne tombe.
02 Orange	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire dire « Bonjour » à Nao en le programmant. Vous devez faire faire un « Bonjour » animé (salut de la main) à NAO en le programmant. Vous devez faire s'assoier NAO en le programmant. 	Guide p.15	07 Bronze	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire en sorte que NAO reconnaisse une balle rouge. Vous devez faire en sorte que NAO reconnaisse une balle rouge, se dirige vers elle et s'arrête à 0,3 m. Vous devez faire en sorte que NAO reconnaisse une balle rouge se dirige vers elle, s'arrête et dise la phrase : « Ma balle est ici, je la cherchais justement ».
03 Vert	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez lui faire tourner la tête à gauche. Vous devez lui faire lever le bras droit. Vous devez lui faire bouger les deux bras en même temps. 	Guide p.37	08 Argent	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire apprendre 2 visages (ou plus) à NAO. Vous devez faire en sorte que NAO reconnaisse votre visage et vous appelle par votre prénom. Vous devez faire en sorte que NAO reconnaisse votre visage et vous dise un message personnalisé (différent pour chaque personne).
04 Bleu	<p style="text-align: center;"><small>UTILISER LA BOITE MOVE TO POUR CE NIVEAU</small></p> <ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire avancer NAO d'un mètre. Vous devez faire reculer NAO d'un mètre. Vous devez faire avancer NAO de 0,5 mètre, lui faire dire bonjour en effectuant un salut de la main et lui faire dire « Content de vous rencontrer ». 	Guide p.11	09 Or	<p style="text-align: center;"><small>UTILISER LA BOITE DE TYPE PYTHON SCRIPT POUR CE NIVEAU</small></p> <ul style="list-style-type: none"> Vous devez créer une boîte de type Python Script et à disposition dans l'onglet de travail. Vous devez ensuite remplir les informations de la boîte avec : description (image) : - Le nom de la boîte devient « Bonjour quand ». - Le contenu de la boîte devient « Bonjour quand ». Vous devez créer une boîte de type « Image ». - L'image devient une image PNG dans le dossier d'images de Choregraphe. Vous devez faire dire à NAO : « Bonjour quand l'image », qui consiste en deux voir après tout le temps passé dans une boîte « en attendant » la boîte de type Python que vous avez créée à la première étape.
05 Violet	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire poser la question suivante à NAO : « Aimes-tu les desserts ? » Vous devez faire poser la question suivante à NAO : « Quelle est la capitale du Canada ? ». Vous devez proposer 3 choix de réponse et vous devez faire en sorte que NAO reconnaisse et sélectionne la bonne réponse et demande de réessayer en cas de mauvaise réponse. Vous devez faire poser la question suivante à NAO : « Quelle est la capitale des Etats-Unis ? ». Proposez 3 choix de réponse et NAO devaler le bras droit en cas de bonne réponse et lever le bras gauche en cas de mauvaise réponse. 	Guide p.65	10 Platinum	<ul style="list-style-type: none"> Vous devez faire jouer une musique de votre choix à NAO (fichier mp3 seulement). Vous devez lui faire jouer cette musique et lui faire faire une chorégraphie avec les bras (Mode Timeline). Vous devez lui faire jouer une musique et lui faire faire une chorégraphie avec les bras et les jambes. (Mode Timeline).

Figure 1 : Illustration du programme « Maître NAO » mis en place auprès des participants à l'étude.

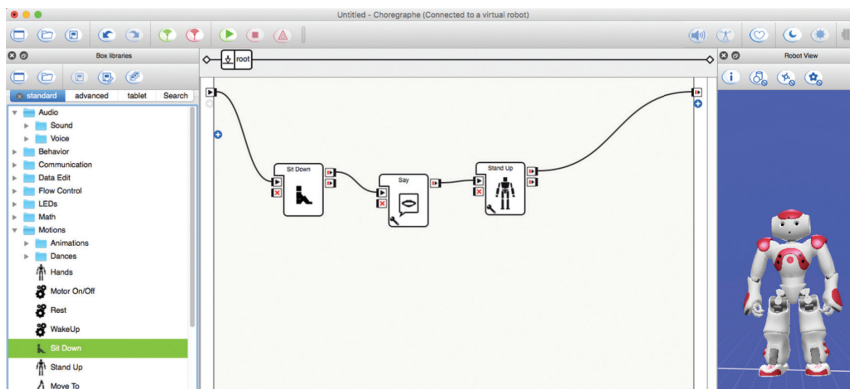


Figure 2 : Utilisation du logiciel de programmation *Choregraphe* pour programmer le robot NAO.

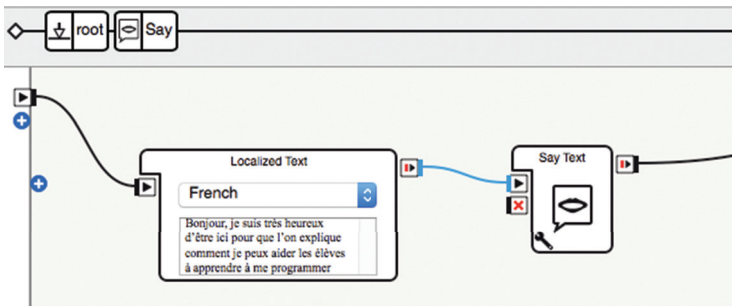


Figure 3 : Contenu de la boîte « Say » et texte que devra dire le robot.

4.3 Instruments de collecte de données

Dans le cadre de cette recherche exploratoire et afin d'atteindre notre objectif de recherche, nous avons eu recours à plusieurs outils de collecte des données. Il semble toutefois important de rappeler la particularité de nos participants qui avaient tous des difficultés particulières d'apprentissage. Cela limitait, en soi, l'usage de certains outils comme des questionnaires. Par exemple, plusieurs études ont montré qu'il est particulièrement difficile d'exploiter des échelles psychométriques auprès de tels élèves (voir Avramidis, Strogilos, Aroni et Kantaraki, 2017). Nous avons donc principalement utilisé quatre instruments de collecte de données : (a) des observations vidéographiées des séances d'apprentissage de la programmation avec le robot humanoïde NAO (11 séances de 75 minutes) ; (b) des entretiens de groupe avec les élèves ($n = 14$) ; (c) de brefs entretiens individuels avec les élèves ($n = 43$) ; (d) des captures vidéos du travail de programmation réalisé par les élèves sur le logiciel *Choregraphe* avec lequel le robot humanoïde NAO fonctionne ; (e) le suivi des niveaux réalisés par les élèves (Maître NAO).

4.4 Stratégies d'analyse des données recueillies

Les observations des séances de programmation, les entretiens de groupe et les entretiens individuels ont permis de générer des données qualitatives (verbatim des élèves). L'analyse de ces verbatim a été effectuée à l'aide du

logiciel QDA Miner 5⁶. Elle a consisté en une analyse de contenu (voir L'Écuyer, 1990 ; Miles et Huberman, 2003) dont le codage semi-ouvert a été construit à partir des réponses des participants en lien avec les principaux objets de recherche (apprentissage de la programmation ; motivation pour l'apprentissage de la programmation).

5 Résultats

Les données recueillies dans le cadre de cette recherche exploratoire ont d'abord permis de constater que les 83 élèves ayant des difficultés d'apprentissage qui ont participé à cette recherche ont tous été capables de programmer le robot humanoïde NAO. En effet, l'analyse des niveaux atteints par les élèves révèle qu'après seulement 75 minutes (une séance), les élèves du secondaire avaient, en moyenne, atteint le niveau 4 (Figure 4), tandis que les élèves du primaire avaient atteint en moyenne le niveau 5 (Figure 5). Ils étaient ainsi capables d'interagir verbalement et physiquement avec le robot (Niveau 1), de trouver et d'activer une commande dans le logiciel de programmation *Choregraphe* (Niveau 2), de comprendre le fonctionnement du logiciel et de manipuler le robot virtuel (Niveau 3), d'effectuer de la programmation procédurale en créant une séquence de commandes (Niveau 4), mais aussi d'apprendre à effectuer une programmation séquentielle en créant une séquence de commandes intégrant des événements tels que la réponse d'un utilisateur à une question (Niveau 5). Par ailleurs, les élèves ont effectué, tout au long du dispositif, du « debugging » (Komis et Misirli, 2013) pour comprendre ce en quoi le programme effectué ne fonctionnait pas adéquatement.

Au primaire, on constate que certains élèves ont même été capables d'atteindre le niveau 8 dès la séance 1 (voir Figure 5). Cette différence entre les deux groupes s'explique notamment par l'expérience en programmation des élèves du primaire. En effet, tous avaient déjà réalisé plus de 5 séances d'une heure de programmation à l'aide du logiciel *Scratch*⁷, l'un des plus populaires dans les écoles primaires en Amérique du Nord.

6 <<http://provalisresearch.com/fr/produits/logiciel-d-analyse-qualitative/>>

7 <<https://scratch.mit.edu/>>

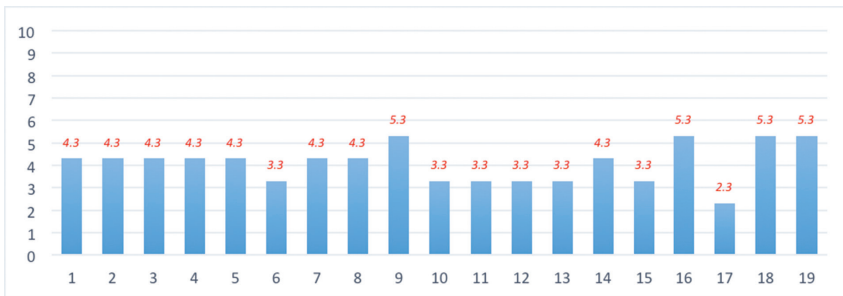


Figure 4 : Niveaux atteints (sur 10.3, soit 10 niveaux et 3 étapes) par les élèves du secondaire à l’issue de la première séance avec le robot NAO.

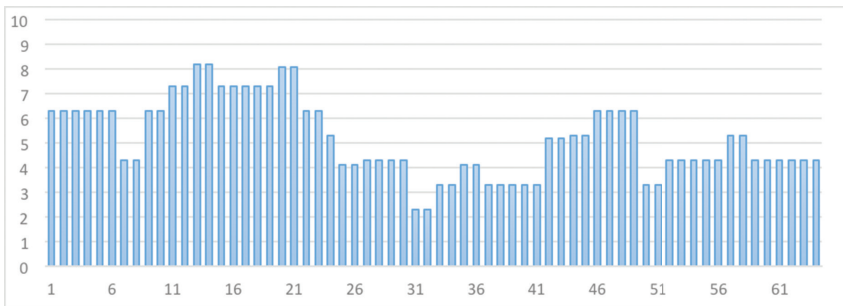


Figure 5 : Niveaux atteints (sur 10.3) par les élèves du primaire à l’issue de la première séance avec le robot NAO.

La Figure 6 révèle, quant à elle, le score atteint par les élèves du secondaire à la fin des séances de programmation du robot humanoïde NAO. Rappelons que nous avons proposé 10 niveaux, composés chacun de 3 tâches, à effectuer. Le score maximal pouvant être atteint était donc de 10.3 (les 3 tâches du niveau 10). Les données obtenues montrent que plus de 50 % des élèves ont complété le niveau 10, et que seulement 5 élèves n’ont pas réussi à atteindre le niveau 9 (élèves 3, 7, 12, 15 et 18).

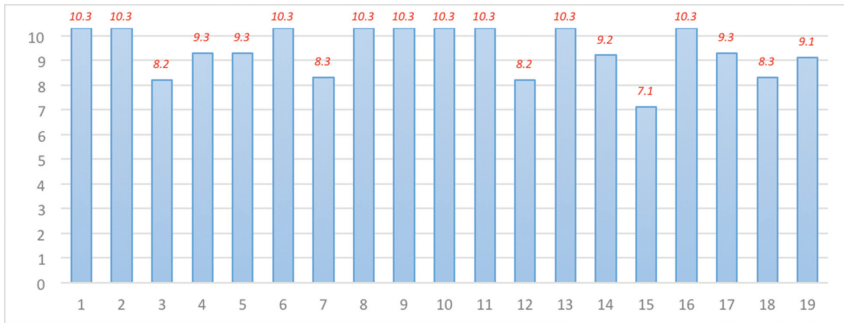


Figure 6 : Niveaux atteints (sur 10.3) par les élèves du secondaire à l'issue de la dernière séance avec le robot NAO.

Les données recueillies lors des observations vidéographiées et des entretiens individuelles et de groupe témoignent également de l'impact de ce dispositif sur l'apprentissage de la programmation par les élèves. Par exemple, plusieurs élèves (74/83) ont affirmé, lors des observations vidéographiées et des entretiens individuelles et de groupe réalisées après deux séances de programmation seulement, être en mesure de programmer le robot humanoïde NAO, voire posséder « beaucoup plus » de « connaissances » permettant de faire se déplacer le robot, de le faire interagir, d'utiliser des conditions, etc. Enfin, les observations vidéographiées et les entretiens individuelles et de groupe réalisées ont également permis de mieux comprendre dans quelle mesure ce dispositif a aussi permis de stimuler le sentiment de compétence chez de nombreux élèves (72/83) qui rencontraient bon nombre de difficultés dans l'apprentissage de matières plus classiques à l'école (le français, les mathématiques), mais qui excellaient dans la programmation du robot NAO. Il est cependant à noter que les élèves ont parfois eu de la difficulté avec la manipulation physique du robot (niveau 10 en mode *Animation*) qui requiert, pour être accomplie, une perception aiguë de l'équilibre du robot, tout en assurant une bonne coordination à l'ensemble des mouvements programmés dans le logiciel *Choregraphe*. Par ailleurs, les données recueillies illustrent également que les élèves ont particulièrement apprécié les séances avec le robot humanoïde NAO et que ce dispositif a permis d'accroître leur motivation pour l'apprentissage du code. C'est ce que soulignent 79 des 83 élèves lors des observations vidéographiées et des entretiens individuelles et de groupe réalisées : « j'ai aimé ça programmer

NAO », « j'ai aimé ça parce que [...] », « j'ai aimé le programmer pour qu'il danse », « [...] est le fun, c'est d'apprendre à le programmer, [...] »...

6 Discussion

L'une des principales forces de la présente étude réside assurément dans la méthodologie de recherche particulière utilisée. En effet, l'usage de différentes méthodes de collecte de données semble être, en soi, un avantage majeur pour enrichir et trianguler les résultats obtenus. Les choix méthodologiques effectués ne sont pourtant pas sans limites. Tout d'abord, le fait de travailler à partir des perceptions peut constituer une limite que nous avons tenté de pallier par plusieurs méthodes de collecte de données, y compris les niveaux atteints par les apprenants. De plus, pour réduire ce biais méthodologique, les analyses effectuées ont systématiquement comparé les réponses des différents types de répondants, mettant en exergue leurs points de divergence lorsque nécessaire. Une autre limite de l'étude est liée à l'échantillon des participants qui n'était pas aléatoire, c'est-à-dire que notre choix des participants n'avait pas pour objectif de représenter un sous-ensemble de la population interrogée. Nous avons plutôt misé sur un échantillon de convenance, soit un échantillon non probabiliste qui n'aspire pas à être représentatif, mais simplement à utiliser les répondants disponibles ou volontaires et aisément interrogeables.

Cette recherche, menée dans deux écoles du Québec, a montré qu'il était possible d'amener des élèves vers de multiples apprentissages et bénéfiques à l'aide d'un robot humanoïde de type NAO. En effet, et alors que les initiatives se multiplient pour enseigner la robotique et la programmation à l'aide de robots tels que *Dash*, *Bee-Bot* ou *Ozobot*, il apparaît que l'utilisation d'un robot d'un nouveau genre, plus proche de l'être humain, mais peut-être aussi plus compliqué à manipuler ou à comprendre, pourrait avoir un impact encore plus fort sur des élèves de primaire et de secondaire ayant des difficultés d'apprentissage. On constate même que les élèves de primaire se sont avérés particulièrement performants dans ce projet, et ce, au bout d'une seule séance seulement de programmation du robot humanoïde NAO. Certes, certains défis subsistent, tels que les difficultés techniques qui peuvent être rencontrées ou encore le nécessaire appui de la

direction scolaire à obtenir, mais comme nous l'avons montré, l'utilisation de ce robot, via notre programme d'initiation appelé « *Devenez un Maître NAO* » a mis en évidence de nombreux bénéfices pour les apprenants. Ils ont ainsi connu, par exemple, une forte augmentation de la motivation à se rendre en classe, des bénéfices en termes de collaboration, d'entraide, et cela a même eu un impact positif sur leur réussite scolaire en général par une forte valorisation sociale de leur quotidien scolaire. En effet, certains élèves n'ont pas hésité à publier fièrement leurs réalisations et l'avancée de leur programmation sur les réseaux sociaux. Enfin, il semble important de faire remarquer que les données recueillies révèlent également que ce dispositif a eu plusieurs autres impacts chez les élèves, qui ne sont toutefois pas présentés dans ce texte, comme le développement de leur capacité à collaborer entre eux dans la réalisation d'une même tâche ou encore leur capacité à s'entraider dans la réalisation de tâches différentes, voire dans le développement de la créativité des élèves, grâce notamment au degré de liberté qui leur était permis dans la réalisation de certaines tâches de programmation (par exemple, au Niveau 6). Cela sera discuté dans de futures publications. Finalement, face au succès rencontré par ce dispositif dans les écoles visitées, nous poursuivons aujourd'hui le projet avec de nouveaux niveaux, plus complexes, et destinés à amener les élèves à devenir des « *NAO PRO* ». Reste aujourd'hui à interroger et définir la place, et la forme, que pourrait prendre un tel dispositif dans les curriculums officiels...

Références

- Alimisis, D. (2012). Integrating robotics in science and technology teacher training curriculum. Dans *Proceedings of 3rd International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics Integrating Robotics in School Curriculum*, Riva del Garda (Trento, Italy) (pp. 170–179). Repéré à <http://www.terecop.eu/TRTWR2012/trtwr2012_submission_28.pdf>.
- Avramidis, E., Strogilos, V., Aroni, K. et Kantaraki, C. T. (2017). Using sociometric techniques to assess the social impacts of inclusion : Some methodological considerations. *Educational Research Review*, 20, 68–80. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.004>>.

- Caudrelier, T. et Foerster, F. (2015). Contribution des robots sociaux aux thérapies des troubles du spectre autistique : une revue critique. État de l'art : avantages et challenges en robotique sociale. Dans *Actes du TER « Cognition, affects et interaction »* (p. 25–32) Repéré à <<https://hal.archives-ouvertes.fr/ce1-01110281/file/TER2015.pdf>>.
- Centelles, L., Assaiante, C., Etchegoyhen, K., Bouvard, M. et Schmitz, C. (2012). Understanding social interaction in children with autism spectrum disorders : does whole-body motion mean anything to them ?. *L'Encéphale*, 38(3), 232–240. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2011.08.005>>.
- Falloon, G. (2016). An analysis of young students' thinking when completing basic coding tasks using Scratch Jnr. on the iPad. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(6), 576–593. <<http://dx.doi.org/10.1111/jcal.12155>>.
- Fonction publique de l'Ontario. (2016). *Définir les compétences du 21^e siècle pour l'Ontario. Compétences du 21^e siècle. Document de réflexion*. Repéré à <https://pedagogienumeriqueenaction.cforp.ca/wp-content/uploads/2016/02/Ontario-21st-century-competencies-foundation-FINAL-FR_AODA_EDUGAINS_Feb-19_16.pdf>.
- Gaudiello, I. et Zibetti, E. (2013). La robotique éducationnelle : état des lieux et perspectives. *Psychologie française*, 58(1), 17–40. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.psfr.2012.09.006>>.
- Greff, É. et Melgarejo, B. (2017). Les mini-drones : de nouveaux outils pour s'initier à la programmation informatique. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (78), 239–254.
- Janiszek, D., Boulc'H, L., Pellier, D., Mauclair, J. et Baron, G.-L. (2011). De l'usage de Nao (robot humanoïde) dans l'apprentissage de l'informatique. Dans G.-L. Baron, É. Bruillard et V. Komis (dir.), *Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques* (p. 231–239). Athènes : New Technologies Editions.
- Kaloti-Hallak, F., Armoni, M. et Ben-Ari, M. M. (2015). Students' attitudes and motivation during robotics activities. Dans *Proceedings of the Workshop in Primary and Secondary Computing Education* (p. 102–110). ACM. <<http://dx.doi.org/10.1145/2818314.2818317>>.
- Keane, T., Chalmers, C., Williams, M. et Boden, M. (2016). The impact of humanoid robots on students' computational thinking. Dans

- Australian Conference on Computers in Education (ACCE 2016)*, Brisbane, Australia (Vol. 29).
- Karsenti, T. et Bugmann, J. (2017a). Faut-il apprendre à coder à l'école ? *École branchée*, 19(3), 32–35.
- Karsenti, T. et Bugmann, J. (2017b). Les écoles canadiennes à l'heure du code ? *Éducation Canada*, 57(1), 14–19.
- Komis, V., et Misirli, A. (2013). Étude des processus de construction d'algorithmes et de programmes par les petits enfants à l'aide de jouets programmables. In *Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) en milieu éducatif*.
- Komis, V., et Misirli, A. (2016). The environments of educational robotics in Early Childhood Education : towards a didactical analysis. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*.
- L'Écuyer, R. (1990). *Méthodologie de l'analyse développementale de contenu. Méthode GPS et concept de soi*. Sainte-Foy, QC : Presses de l'Université du Québec.
- Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Moreno-León, J., Robles, G. et Román-González, M. (2016). Code to learn : Where does it belong in the K-12 curriculum ? *Journal of Information Technology Education : Research*, 15, 283–303. <<http://dx.doi.org/10.28945/3521>>.
- Nijimbere, C. (2014). Apprendre l'informatique par la programmation des robots : cas de Nao. *Sticef*, 21, 63–109. Repéré à <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/09-nijimbere/sticef_2014_nijimbere_09p.pdf>.
- OECD. (2015a). *Schooling redesigned : Towards innovative learning systems*. <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264245914-en>>
- OECD. (2015b). *Students, computers and learning : Making the connection*. PISA : OECD Publishing. <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>>.
- Papert, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit scientifique : ordinateurs et apprentissage*. Paris : Flammarion.
- Romero, M., Lille, B. et Patiño, A. (2017). *Usages créatifs du numérique pour l'apprentissage au XXI^e siècle*. Presses de l'Université du Québec.

- Smith, N., Sutcliffe, C. et Sandvik, L. (2014). Code club : Bringing programming to UK primary schools through Scratch. Dans *Proceedings of the 45th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (p. 517–522). New York, NY : ACM. <<http://dx.doi.org/10.1145/2538862.2538919>>.
- van Laar, E., van Deursen, A. J. A. M., van Dijk, J. A. G. M. et de Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills : A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, 72, 577–588. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>>.