

Programmer un robot : quelles compétences mathématiques sont nécessaires?

Annie Savard

Université McGill, annie.savard@mcgill.ca

Viktor Freiman

Université de Moncton, viktorfreiman@umoncton.ca

Résumé

L'utilisation de la robotique en classe du primaire et du secondaire à l'aide du matériel développé par Lego © est un phénomène en pleine émergence. Notre projet RoboMaTic réalisé dans une école primaire a permis aux élèves de 12-13 ans de mieux percevoir l'utilité de mathématiques pour programmer leurs robots (Banville et al., 2009; Freiman, Blanchard, & Lirette-Pitre, 2009). Si la tâche de programmation motive les élèves et les incite à utiliser des savoirs mathématiques (Blanchard, Freiman, & Lirette-Pitre, 2010), le défi de l'évaluation de ces apprentissages se pose. Afin de mettre en lumière des pistes d'évaluation, nous nous proposons de situer l'activité de l'élève en classe selon un modèle ethnomathématique (Savard, 2011) qui prend en compte les différents contextes dans la classe, soit les contextes mathématique, socioculturel et citoyen. L'identification du contexte nous permettra d'évaluer l'activité cognitive en contexte, en relation avec le développement d'une pensée critique, de stratégies de résolution de problèmes et de compétences mathématiques. En lien avec le premier axe du colloque, cette communication présentera des résultats qui donnent à penser que la stratégie essai-erreur employée par les élèves permet la réussite de la programmation du robot, mais ne mène pas automatiquement à une compréhension conceptuelle chez l'élève.

Mots clés

Robotique, technologie, mathématiques, compétences, raisonnement

1. Introduction

L'utilisation des technologies amène une demande grandissante de carrières scientifiques et technologiques. Selon le Congressional Research Service (2009), la demande pour des travailleurs dans les domaines des sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (STEM) croît très vite, alors que le nombre d'étudiants états-uniens poursuivant leurs études dans ces filières est insuffisant pour combler ces besoins. Il devient donc pertinent et même urgent d'intéresser les jeunes envers ces domaines d'études. À cet effet, l'utilisation de la robotique en classe du primaire et du secondaire à l'aide du matériel développé par Lego © est un phénomène en pleine émergence, autant au primaire qu'au secondaire. Ce matériel propose de construire un robot à l'aide de différentes pièces, de capteurs et de blocs-moteurs et d'utiliser un logiciel afin de programmer des tâches comme des déplacements.

Notre projet RoboMaTic réalisé dans une école primaire a permis aux élèves de 12-13 ans de mieux percevoir l'utilité de mathématiques pour programmer leurs robots (Banville et al., 2009; Freiman et al., 2009). Si la tâche de programmation motive les élèves et les incite à utiliser des savoirs mathématiques (Blanchard et al., 2010), le défi de l'évaluation de ces apprentissages se pose.

2. Cadre théorique

Afin de mettre en lumière des pistes d'évaluation, il devient nécessaire de situer les apprentissages réalisés ou bien en cours de réalisation. L'identification des contextes présents dans la classe situe l'activité de l'élève en classe selon qu'il soit mathématique, socioculturel ou citoyen. La réalisation d'une tâche de programmation d'un robot est le lieu privilégié de la modélisation mathématique en contexte mathématique, celui-ci étant ancré dans un contexte socioculturel donné (Savard, 2008). L'étude d'un phénomène provenant du contexte socioculturel amène à l'étudier sous un angle mathématique. Le tout est intégré dans un contexte citoyen (Savard, 2008). Utiliser la robotique en classe est un bon exemple d'utilisation de ce modèle ethnomathématique (Savard, 2008, 2011). Ainsi, le robot provient d'un contexte socioculturel puisqu'il est un artéfact provenant du milieu socioculturel dont sont issus les élèves. La programmation du robot amène à utiliser des concepts et des processus mathématiques, ce qui situe l'activité en contexte mathématique. Un espace chevauchant les contextes socioculturel et mathématique représente en fait un espace technopédagogique dans lequel l'artéfact technologique est un outil et un objet d'apprentissage.

La pensée critique, qui est en fait une compétence citoyenne permettant de participer activement à la démocratie (ten Dam & Volman, 2004) situe l'activité cognitive des élèves en contexte citoyen. La pensée critique permet d'émettre des jugements en utilisant des critères, de tenir compte du contexte et de s'autocorriger (Lipman, 2003). La construction d'un point de vue débute par l'identification des éléments d'une situation afin de les analyser. Un point de vue ou un jugement est justifié par des arguments valides, soit leur force et leur pertinence (Duval, 1991, 1992-1993).

3. Méthodologie

Le projet de la robotique déjà analysé dans les travaux précédents (Banville et al., 2009; Blanchard et al., 2010; Freiman et al., 2009) s'est déroulé sur deux années scolaires. Lors de la première année (vers la fin de l'année scolaire), les élèves de deux classes du primaire (45 élèves, 5^e et 6^e années du primaire) ont participé aux activités de robotique, sur les scénarios pédagogiques conçus et implantés par les enseignantes titulaires accompagnées d'un mentor en TIC. Ainsi, le premier scénario introduisait les pièces de la trousse de robots lors d'une activité de classification. Le deuxième a permis aux élèves de monter leur robot. Le troisième scénario a demandé aux élèves la programmation du robot qui se déplace d'un mètre en ligne droite. Après les vacances estivales, le projet se poursuivait dans le groupe de 5^e année (qui est devenu 6^e année). Certains élèves de 6^e année rendus en 7^e pouvaient poursuivre leurs expériences avec les robots lors des activités au choix (programme spécial sport – arts – études), une fois par semaine et lors de périodes libres (heures de diner). Ainsi, le groupe de 6^e a réalisé un nouveau scénario de programmation d'un déplacement du robot lui permettant d'atteindre les trois cibles placées aux sommets d'un triangle équilatéral. Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un enseignement régulier en classe. Les élèves de 7^e année pouvaient faire de tâches de leur choix (différentes d'une équipe à l'autre) avec peu de supervision d'enseignant.

Une équipe de chercheurs universitaires a effectué une étude évaluative de l'expérience conduisant les questionnaires, les observations et les entretiens avec les enseignants et les élèves. Les scénarios et certains résultats de recherche ont été partagés via un cybercarnet de l'école (blogue) et lors d'un forum des pratiques gagnantes. Les données des entretiens qui mettent en évidence la perception d'utilité des mathématiques par les élèves ont été présentées par Freiman et al. (2009). Le déroulement du projet et son impact ont été décrits par Banville et al. (2009). Afin d'évaluer les apprentissages des élèves à la fin du projet, l'équipe de chercheurs a conçu une tâche spéciale « *Alerte au métro* » qui intégrait différents aspects de tâches faites lors du projet. Deux équipes cibles de 4 élèves chaque ont été choisies pour cette tâche évaluative (une de 6^e et une de 7^e). Leur travail a été vidéo-enregistré et analysé par les chercheurs. Les données préliminaires traitant de l'émergence de la pensée critique chez les élèves ont été analysées par Blanchard et al. (2010). Nous avons appris, entre autres, que les élèves de 6^e année reproduisaient les éléments de programmation explicitement présentés lors de l'enseignement en classe; donc peu d'aspects liés à la pensée critique pouvaient être identifiés. Les élèves de l'équipe de 7^e année, qui ont été moins exposés à un enseignement direct, ont utilisé plutôt la stratégie essai-erreur, qui semblait être plus prometteuse pour faire émerger la pensée critique. Toutefois, la tâche comme telle n'a pas été réussie par les élèves à la perfection. Cette observation nous a amenés à en faire une analyse plus profonde liée l'émergence d'un raisonnement potentiellement mathématique chez ces élèves. Nous explicitons cette analyse interprétative (Savoie-Zajc, 2000) dans la section qui suit.

4. Les résultats

La situation d'apprentissage « *Alerte au métro* » a été présentée aux élèves. La tâche consistait à programmer un robot pour effectuer un trajet : *Un colis suspect a été trouvé dans une salle de commande d'un métro. Nous avons besoin de votre aide! Il faut programmer un robot pour se rendre au colis afin de le vérifier. Le robot doit entrer à l'intérieur de l'édifice et se rendre à la salle de commande. Le robot devait effectuer le trajet en moins de 45 secondes.*

La tâche de programmation donnée aux élèves nécessitait l'utilisation de concepts mathématiques et scientifiques afin que le robot puisse se déplacer en ligne droite et effectuer des rotations pour se rendre du point 1 au point 2, en passant par des segments. La figure 1 présente ce trajet, alors que la figure 2 présente le trajet qui a été recréé sur le plancher de la classe afin que les élèves puissent tester leur programme à l'aide du robot.

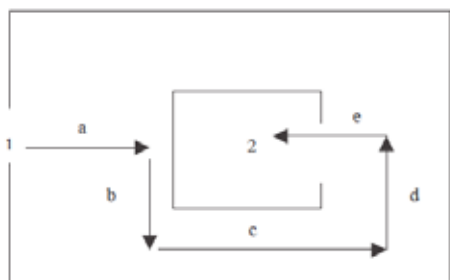


Figure 1. Trajet « Alerte au métro ».

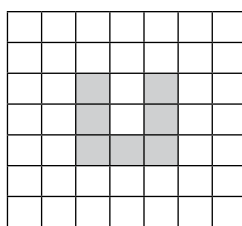


Figure 2. Trajet représenté sur le plancher de la classe.

Au départ, les élèves ont été placés dans un contexte socioculturel en les invitant à agir dans une situation de vie réelle dans laquelle le robot aurait été employé (*Alerte au métro*). Rapidement, les élèves ont délaissé les éléments de ce contexte pour s'engager dans la tâche de programmation en modifiant les paramètres du robot, en contrôlant ainsi la réalisation de deux mouvements principaux : un avancement d'une distance quelconque en ligne droite et une rotation de 90° . Une prise de décision (suite d'un calcul ou d'une estimation) les amenait, par la suite, vers les contextes technopédagogique et mathématique.

Les élèves ont d'abord discuté du bloc de programmation à utiliser pour faire avancer le robot sur le premier segment (contexte technopédagogique). Le modèle mathématique discuté portait alors sur la circonférence des roues et la rotation pour ensuite enchaîner avec le temps (contexte mathématique). Afin de valider les paramètres, les élèves ont procédé par essais et erreurs. Ils ont coopéré en adoptant différents rôles à différents moments, leur permettant ainsi de travailler efficacement. Ils ont d'abord estimé le temps nécessaire pour ensuite le valider sur le terrain avec le robot et se réajuster par la suite. À partir de leurs expérimentations, ils sont parvenus à la conclusion que le robot avance d'une tuile de plancher par seconde : « Une seconde, c'est à peu près une tuile » (Pierre). À partir de cette information, ils ont été en mesure d'établir le temps requis en fonction de la distance à parcourir. Afin de faire pivoter le robot, ils ont convenu qu'il fallait programmer une rotation de 90 degrés. Pour ce faire, ils ont choisi le bloc de programmation leur permettant de pivoter (voir figure 3, dans le coin droit).



Figure 3. Bloc de programmation « Déplacer ».

Continuant le tâtonnement entre différentes valeurs et expérimentations à l'aide du robot, ils concluent qu'une rotation de 90 degrés s'effectue en 0,8 seconde. En utilisant les informations dégagées par eux sur le temps, la distance et la rotation, les élèves parviennent à faire avancer le robot en fonction du trajet : « Tu vas faire ton 90 degrés, puis là, après ça, un, deux, deux et... [l'élève compte la distance entre le robot et le point d'arrivée en comptant les tuiles de plancher] » (Henri). Ainsi, les élèves ont utilisé les connaissances construites lors de leur modélisation en contexte mathématique pour poursuivre la tâche. Par contre, les élèves ont fait face à un problème important : le robot déviait de la trajectoire voulue. Préoccupés par l'impact social probable de cette imprécision (le but non atteint), les élèves ont alors émis l'hypothèse que les roues ou le robot pouvaient être défectueux, en revenant ainsi au contexte socioculturel.

Ainsi, plutôt que de chercher à valider leur raisonnement mathématique, les élèves se sont placés en contexte socioculturel pour identifier la source de leurs problèmes. Après avoir changé de robot, les élèves sont revenus en contexte mathématique pour réaliser que leurs estimations étaient imprécises et qu'il fallait prendre

en compte le point de départ exact du trajet comme paramètre de leurs expérimentations afin d'être plus précis lors des déplacements. Le déploiement d'une pensée critique envers l'explication possible de la déviance de la trajectoire a permis aux élèves de revenir en contexte mathématique.

Toutefois, le point de départ n'a jamais été rigoureusement identifié par les élèves puisque ceux-ci positionnaient leur robot de façon approximative. Les élèves ont alors délaissé le raisonnement mathématique rigoureux pour se fier à la façon approximative de placer le robot sur la ligne de départ. Ils ont entré par la suite des données approximatives pour vérifier la trajectoire du robot. Ils ont alors procédé par essai et erreur sur la trajectoire du robot plutôt que sur la modélisation mathématique. En fait, les élèves n'ont pas utilisé adéquatement le concept de mesure, puisqu'ils ont utilisé indifféremment la surface des tuiles plutôt que d'identifier un périmètre puisque la longueur du trajet est différente selon la surface utilisée. Puisque les paramètres de la programmation dépendent du point de départ, le problème a été partiellement résolu par les élèves, car ceux-ci sont arrivés à un résultat par tâtonnement et n'ont pas été en mesure d'effectuer toute la tâche.

5. Discussion et conclusion

Une micro-analyse détaillée de la réalisation d'une tâche de programmation du robot par un groupe d'élèves de 7^e année participant au projet de la robotique a mis en évidence la complexité de la tâche pour l'élève et pour l'enseignant, ce qui ressort également dans les constats d'autres auteurs qui relient les tâches de robotique au développement de la pensée critique et de capacités de résoudre de problèmes « in situ », en se basant sur la construction du sens (Ricca, Lulis, & Bade, 2006). Comment évaluer le travail des élèves? Comment les guider dans le processus de construction de connaissances? Examinons d'abord les savoirs et les processus utilisés en contexte.

Contexte mathématique	Les élèves ont été en mesure d'estimer le temps et d'y associer une distance (une tuile) ou bien une rotation de 90 degrés. Ils n'ont toutefois pas été en mesure d'utiliser le concept d'aire et de périmètre pour expérimenter de façon rigoureuse.
Contexte technopédagogique	Les élèves ont été en mesure de construire le robot, d'utiliser le programme afin d'entrer des paramètres et d'effectuer une tâche qui a été partiellement réussie.
Contexte socioculturel et citoyen	Ils ont déployé une pensée critique et ont été en mesure de collaborer efficacement.

Comme prolongation de nos analyses précédentes citées ci-dessus, notons que mis à part du phénomène de joie et d'utilité de ce type de tâches, toujours appréciées par les élèves (Freiman et al., 2009; Moundridou & Kalinoglou, 2008), l'effet de programmation de robots sur le développement cognitif des élèves reste encore difficile à mesurer (Matson, Paoly, & DeLoach, 2003). Qu'est-ce qui amène les élèves à porter plus d'attention aux aspects socioculturels, et non à ceux de caractère mathématique? Quelles structures cognitives guident les élèves dans leur choix? Quel est l'effet de négociation au sein du groupe sur la prise de décisions (quels paramètres changer?) sur « le champ »?

Nous ne sommes pas en mesure de porter un jugement sur la conceptualisation de savoirs nécessaires à la programmation et qui sont de caractère scientifique, soit des relations généralisables entre les données entrées dans le programme (temps et distance, temps et rotation) et l'expérimentation sur le trajet, ce qui constitue une limite de ce projet. En conclusion, la stratégie essai-erreur employée par les élèves a permis aux élèves de programmer le robot, mais elle n'a pas conduit ceux-ci à une manifestation explicite de la compréhension conceptuelle des mathématiques. Toutefois, les résultats de notre étude semblent soutenir la richesse de la vision d'apprentissage « avec technologie » (*Learning with Technology*) telle que prônée par Jonassen, Howland, Marra et Crismond (2008), en ce qui concerne le développement de stratégies cognitives, la pensée critique, la communication du sens, les interactions entre l'apprenant et la technologie conceptuellement et intellectuellement engagées où la dernière devient partenaire d'apprentissage. Toutefois, les limites de notre recherche nous amènent vers une poursuite de recherches dans le but d'obtenir des données probantes sur l'impact de ce nouveau type d'apprentissage.

Références

- Banville, L., Blanchard, S., Bouchard, M., Blain, S., Chassé, C., Freiman, V., . . . & Long, B. (2009). L'utilisation de la robotique afin d'améliorer la résolution de problèmes en mathématiques et de développer la pensée critique. *Infobourg*, 7 octobre 2009. Repéré à <http://archives.infobourg.com/sections/editorial/editorial.php?id=14648>
- Blanchard, S., Freiman, V., & Lirette-Pitre, N. (2010). Strategies used by elementary schoolchildren solving robotics-based complex tasks: innovative potential of technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 5686-5692.
- Duval, R. (1991). Structure du raisonnement déductif et apprentissage de la démonstration. *Educational Studies in Mathematics*, 22, 233-261.
- Duval, R. (1992-1993). Argumenter, démontrer, expliquer : continuité ou rupture cognitive? *Petit X*, 31, 37-61.
- Freiman, V., Blanchard, S., & Lirette-Pitre, N. (2009). *Perceptions of middle school children about mathematical connections in a robotic-based learning task*. Proposition de participation à l'étude ICMI 20, accepté pour une publication dans les actes de la conférence. Repéré à <http://eimi.glocos.org>
- Jonassen, D., Howland, J., Marra, R. M., & Crismond, D. (2008). *Meaningful learning with technology*. Upper Saddle River, NJ : Pearson.
- Lipman, M. (2003). *Thinking in education* (2^e éd.). New York, NY : Cambridge University Press.
- Matson, E., Paoly, R., & DeLoach, S. (2003). *Robotic simulators to develop logic and critical thinking skills in under served K-6 school children*. Dans *Proceedings of the 2003 ACEE Midwest Meeting*. Repéré à [http://people.cis.ksu.edu/~sdeloach/publications/Conference/robot simulator.pdf](http://people.cis.ksu.edu/~sdeloach/publications/Conference/robot%20simulator.pdf)
- Moundridou, M., & Kalinoglou, A. (2008). Using LEGO mindstorms as an instructional aid in technical and vocational secondary education: experiences from an empirical case study. Dans P. Dillenbourg & M. Specht (dir.), *Proceedings of the 3rd European conference on Technology Enhanced Learning : Times of Convergence : Technologies Across Learning Contexts (EC-TEL '08)* (p. 312-321). Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag.

- Ricca, B., Lulis, E., & Bade, D. (2006). Lego mindstorms and the growth of critical thinking. Dans *Intelligent Tutoring Systems Workshop on Teaching with Robots, Agents, and NLP*.
- Savard, A. (2008). *Le développement d'une pensée critique envers les jeux de hasard et d'argent par l'enseignement des probabilités à l'école primaire : vers une prise de décision* (Thèse de doctorat inédite). Université Laval, Québec, QC.
- Savard, A. (2011). *Elementary teachers do not teach through mathematics*. Communication présentée au International Symposium Elementary Maths teaching, Prague, République tchèque.
- Savoie-Zajc, L. (2000). La recherche qualitative/interprétative en éducation. Dans T. Karsenti & L. Savoie-Zajc (dir.), *Introduction à la recherche en éducation* (p. 171-198). Sherbrooke, QC : Éditions du CRP.
- ten Dam, G., & Volman, M. (2004). Critical thinking as a citizenship competence : teaching strategies. *Learning and Instruction*, 14(4), 359-379.