
JOUETS PROGRAMMABLES À L'ÉCOLE MATERNELLE : PRATIQUES PÉDAGOGIQUES DE PROFESSEURS STAGIAIRES

Catherine BARRUÉ

Laboratoire STEF - ENS de Cachan - Université Paris-Saclay
ESPE de Bretagne

Introduction

La robotique (1920)¹ a fait son entrée dans le monde de l'éducation dans les années 1960, notamment avec la « tortue de sol ». Elle était commandée par une interface en langage Logo, mise au point par Papert et Minsky au M.I.T (Massachusetts Institute of Technology) dans le but d'aider les élèves à progresser dans la résolution de problèmes. Ces travaux s'inscrivent dans un mouvement pédagogique reconnu en recherche sous la dénomination de « *robotique pédagogique* ». La robotique pédagogique, ancrée dans une approche constructiviste, peut se définir comme une méthode d'enseignement qui consiste à utiliser des robots pour créer un environnement d'apprentissage. Cette approche a trouvé sa source dans les années 1980 pour remédier aux limites pédagogiques de l'utilisation de la tortue Logo. De nombreux travaux de recherche ont alors été menés depuis en France. Bien que des apports sur le plan du développement cognitif des élèves et en particulier dans la résolution de problèmes aient été mis en évidence (Clements & Nastasi, 1999), il semblerait que cet enseignement à l'école primaire en France n'ait pas été prescrit, mais seulement encouragé jusqu'à la rentrée 2015. À l'heure où les « fab-labs » se développent dans la sphère publique et où la robotique est bien présente dans les programmes du secondaire depuis 2010, l'introduction de la robotique à l'école primaire est restée à l'initiative de quelques enseignants et formateurs qui sont des « convaincus ». Ils ont développé alors des projets innovants en marge des programmes officiels. L'argument du coût des jouets programmables de sol utilisés avec de jeunes élèves (« Bee-Bot » et « Pro-Bot »), qui était parfois avancé, n'a pas pu être le seul frein à leur utilisation. Les difficultés de certains enseignants à s'inscrire dans une vision de gestion d'un environnement non familier et dans un rôle de co-investigateur dans la résolution de problème avec leurs élèves peuvent être considérés comme les freins principaux à l'utilisation de ces outils. Ces outils ne sont pas usités au même titre que d'autres, car considérés par beaucoup d'enseignants comme relevant d'une discipline spécifique, l'informatique. Il est aussi possible que le manque de formation permettant de découvrir la richesse de ces outils ait contribué à entretenir une forme de frilosité des professeurs des écoles quant à leur intégration dans leur enseignement.

C'est pourquoi nous rendons compte dans cet article d'une expérimentation menée lors d'un

¹ Le terme « robot » est apparu en 1920 dans *Rossums Universals Robot*, pièce de théâtre de science-fiction écrite par l'écrivain tchécoslovaque Karel Čapek.

module de formation à destination de professeurs des écoles stagiaires (PES) en Master 2 Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation (MEEF). Ces PES ont construit des scénarios pédagogiques adossés aux recherches de Komis et Misirli (2011, 2015) mettant en œuvre des jouets de sol programmables Bee-Bot. C'est pourquoi nous nous référons fréquemment à ces recherches dans notre article. L'objectif de ces scénarios a été d'engager des élèves de maternelle (4-5 ans) dans la résolution de problèmes par le biais de l'outil Bee-Bot et de l'élaboration de déplacements.

Un débat demeure dans la littérature de recherche (Baron & Bruillard, 2001) : la programmation doit-elle être considérée comme une discipline à part entière ou comme une discipline au service des autres ? Ici, le jouet programmable a été introduit pour la résolution de problèmes par la programmation. Des connaissances à propos des formes géométriques, reconnues comme des savoirs mathématiques, ont été mobilisées à cette occasion. Cependant, elles n'étaient pas l'enjeu de l'apprentissage.

Nous nous intéressons dans cet article au rôle de l'enseignant dans la mise en œuvre d'activités en classe, en terme d'appropriation des jouets programmables, ainsi qu'à leurs retombées possibles en classe à l'issue du module de formation.

Quelle place pour l'informatique au milieu des disciplines ?

L'introduction de l'informatique à l'école apparaît selon trois axes de discussion (Baron & Bruillard, 2001). Elle peut être considérée comme un outil d'enseignement, comme un ensemble d'outils disciplinaires et transversaux, ou comme un nouveau domaine d'enseignement. Ces trois pôles sont d'ailleurs clairement présents dans l'enseignement, en France, au lycée et au collège. L'algorithme y est enseigné pour l'algorithme en mathématiques et en technologie. La robotique est bien présente en technologie en collège et dans un des enseignements d'exploration qui peut être choisi en seconde, qualifié de « Sciences de l'Ingénieur » ; l'acquisition de connaissances y est bien moins importante que les activités de création. Ces trois approches légitimes sont également présentes dans les diverses activités de classe à l'école primaire, bien qu'elles n'aient pas été explicitement inscrites jusqu'à septembre 2015 dans les programmes officiels de l'école élémentaire. Cela a peut être constitué également un frein à la formation des enseignants, dans la mesure où l'innovation n'y trouve pas toujours sa place.

Depuis les années 2000, des jouets programmables tels que les Bee-Bot et Pro-Bot ont fait leur apparition dans les catalogues de matériel pédagogique. Le Bee-Bot est un jouet de sol qui a la forme d'une abeille (figure 1) et comporte sur le dos une interface de commande qui permet de le programmer directement pour qu'il effectue des déplacements sur un quadrillage. Les déplacements sont saisis et enregistrés par l'intermédiaire des boutons de commande : avancer, reculer, tourner à gauche et tourner à droite. Ainsi, le Bee-Bot peut suivre un « chemin » programmé pour atteindre une case précise du quadrillage.



Figure 1 : Le Bee-Bot et son plateau quadrillé de déplacement.

Les activités² proposées en classe mettent en avant une utilisation ludique de ces jouets programmables pour apprendre des contenus associés à des matières (géométrie, numération, phonème). L'accent n'est pas mis sur le développement des compétences algorithmiques et de façon plus large sur le développement de la pensée informatique. La pensée informatique ne se réduit pas à l'algorithmique mais fait aussi référence à une manière d'aborder les problèmes qui va conduire à écrire un algorithme en langage ordinaire également (Tchounikine, 2016). Cependant, certaines activités peuvent être envisagées comme une phase d'appropriation pour aller vers l'apprentissage de l'algorithme. L'organisation, l'anticipation et la planification d'opérations complexes, à réaliser dans un environnement réel, sont des étapes importantes pour une entrée ultérieure dans la programmation sur un ordinateur. D'autre part, les élèves corrigent plus facilement leurs erreurs de programmation par le recours aux jouets programmables. Ils voient le robot exécuter la liste d'actions demandées pour son déplacement, à la différence d'un algorithme programmé dans un ordinateur. Les erreurs de programmation permettent un retour sur l'analyse du chemin codé, sur la recherche de l'erreur et de sa compréhension.

La robotique pédagogique

La robotique pédagogique est une approche didactique basée sur l'apprentissage par l'utilisation de dispositifs programmables. Il faut alors se poser la question de ce que les élèves apprennent. La robotique peut être considérée comme un passage nécessaire à l'apprentissage de la programmation (Duchâteau, 1993). Par contre, si la robotique pédagogique est définie comme une activité de conception d'objets techniques dans un but pédagogique, il faut se placer dans une visée d'analyse du fonctionnement³ ou de construction d'un robot dans les liens qu'elle entretient avec la technologie. Ce sont alors des projets de classe qui naissent en lien avec les programmes de technologie de l'école primaire. Par une approche de pédagogie de projet, ce sont les différents aspects scientifiques et techniques de construction de l'objet qui sont considérés en même temps qu'une initiation à des langages de programmation qui commandent le robot construit par les élèves. C'est le cas du projet d'école mené dans un CM2 par deux PES de Master 2 MEEF accompagnés par un formateur de sciences et technologie de l'École Supérieure du Professorat et de l'Éducation de Bretagne (ESPE) (Poullain, Girre & Arrieta,

² <http://www.edunet.ch/act11-12/bee-bot.html>

³ Le site de l'Éducation Nationale, Eduscol, propose des séquences pour le cycle 3 (CM1-CM2-6^e) visant à l'analyse de la structure du robot Thymio, consultable à l'adresse :

http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Mettre_en_oeuvre_son_enseignement_dans_la_classe/68/5/RA16_C3_ST_vous_robot_N.D_586685.pdf

2015). Les élèves construisent des véhicules filoguidés dont le moteur est commandé et piloté à distance. Le dispositif intègre un Raspberry Pi, programmé en langage Scratch. Ce type d'approche, complexe d'un point de vue cognitif et moteur, n'est pas adapté aux jeunes élèves de l'école maternelle. Si l'on s'inscrit dans une visée d'approche de la programmation à l'aide d'un langage intermédiaire entre l'élève et le jouet programmable Bee-Bot (Komis et *al.*, 2011), il est tout à fait possible d'implanter des scénarios pédagogiques qui mettent l'accent sur la résolution de problèmes. Différentes recherches menées avec des jouets programmables (Pekarova, 2008 ; Beraza, Pina & Demo, 2010) ont montré que l'utilisation du jouet programmable doit être accompagné de problèmes adéquats et d'outils appropriés au-delà de l'aspect ludique du jouet lui-même. L'introduction d'un langage intermédiaire entre l'élève et le jouet programmable (Komis et *al.*, 2011) pourrait éviter la réduction du robot programmable à un simple jouet « presse bouton ». Ce langage intermédiaire est construit à l'aide de cartes reprenant les commandes de direction du robot (figure 2). Il permet de construire une séquence de codage. Cette tâche essentielle dans l'anticipation de la tâche à « faire faire » au robot a pour objectif de permettre à l'élève programmeur de formaliser de manière précise des informations à transmettre au robot de sol.

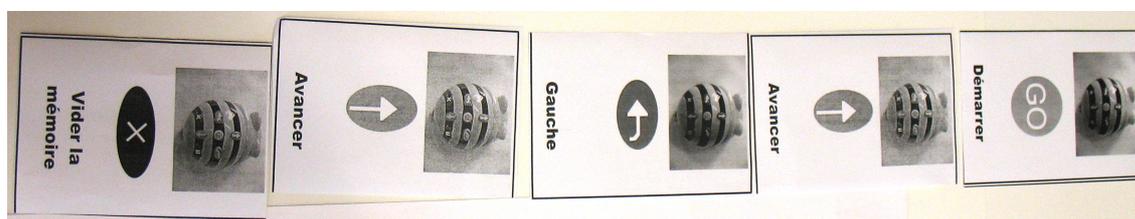


Figure 2 : Séquence de codage : ensemble de cartes d'actions reprenant les icônes des commandes du Bee-Bot

La compréhension de ce langage intermédiaire et la construction des séquences de codage nécessaire à la résolution d'un problème nécessitent alors de construire une progressivité dans les apprentissages de l'élève. Ceux-ci devront être pris en compte dans la construction d'une séquence pédagogique par l'enseignant. L'apport de la modélisation de scénarisation en robotique pédagogique prend alors tout son sens. D'autres recherches, centrées sur l'apprentissage du raisonnement dans la résolution de problèmes (De Michele, Demo & Siega, 2008 ; Highfiled, Mulligan & Hedberg, 2008) ont mis en évidence des bénéfices de l'usage des Bee-Bot. Komis et *al.* (2015) pointent également des gains d'apprentissage dans différents domaines chez de jeunes élèves : le repérage spatial, la décentration et la représentation d'un « chemin » pour déplacer le Bee-Bot par le codage et le recodage à l'aide du langage intermédiaire.

Quelle position adopter quant à l'introduction de cette pédagogie à l'école ?

Si certains programmes de maternelle — en Grande Bretagne, Australie et Grèce — promeuvent l'introduction de ces jouets programmables à l'école depuis quelques années, cela n'a été le cas en France que très récemment. Jusqu'à septembre 2015, la seule référence trouvée dans les programmes français de maternelle était « identifier le principe d'un algorithme et poursuivre son application » (B.O. n° 3 du 3 juin 2008). Il s'agissait de compléter des suites en fonction de critères. Il a fallu donc « faire » en quelque sorte en marge des Instructions Officielles (IO). Cette mince référence aux algorithmes est tout de même cohérente avec l'enseignement et la formation à la programmation. C'est pourquoi, nous avons assumé le choix de l'utilisation du Bee-Bot en

classe, avant même leur arrivée officielle dans les programmes en vigueur de la rentrée 2016 (B.O. n° 11 du 26 novembre 2015). Nous n'envisageons donc pas la programmation pour la programmation dans une visée d'apprentissage de l'informatique. Nous ne considérons pas pour autant la programmation comme aux services des mathématiques. En effet, les efforts sont portés ici sur la résolution de problème. Les connaissances en géométrie sont convoquées pour donner du sens au problème à résoudre. Cette expérimentation se place alors dans une perspective constructiviste qui considère le Bee-Bot comme un outil de développement de compétences cognitives diverses au même titre qu'un autre.

Cette tension entre apprendre à programmer et programmer pour apprendre génère des difficultés dans le choix de l'approche pédagogique et consécutivement dans la construction de modules de formation d'enseignants. Le module présenté dans cette expérimentation est un module de formation élaboré pour des PES en Master 2 MEEF avec deux intentions affirmées :

- la première est d'inciter ces enseignants novices à développer une première pensée informatique chez leurs futurs élèves ;
- la seconde est de les engager à considérer les jouets programmables, dans une diversité d'outils mis à leur disposition, pour résoudre des problèmes divers.

Ces deux visées affirmées ne sont pas antagonistes, mais complémentaires dans le cadre d'une formation. Ces enseignants novices doivent être outillés afin de développer un regard critique sur des pratiques construites autour de la programmation à l'école élémentaire. Nous pouvons ainsi espérer qu'ils seront à même de comprendre l'intérêt de mettre ses pratiques en œuvre dès l'école maternelle. En effet, l'utilisation des jouets programmables constitue un des premiers contacts des jeunes enfants avec la programmation et de « *penser volontairement comme un ordinateur* » (Papert, 1981). Cette expérimentation prend le parti de mettre des PES, sans compétences particulières dans le domaine de la programmation, en situation d'enseignement avec des Bee-Bot. Cela implique la construction d'un scénario pédagogique basé sur les travaux de Komis et *al.* (2015). Celui-ci a ensuite été testé avec des élèves de moyenne section-grande section (MS-GS) de maternelle.

Nous avons exploré les stratégies d'enseignement adoptées par des PES pour aider des élèves à résoudre des problèmes, en fonction des difficultés, des erreurs observées dans l'utilisation des Bee-Bot et du langage intermédiaire. Nous cherchons ainsi à évaluer s'ils perçoivent l'intérêt pédagogique des différentes étapes du modèle de scénarisation de Komis et *al.* (2015). Nous avons examiné notamment si ces PES identifient les enjeux liés au langage intermédiaire dans la résolution de problème. Comment ces novices amènent-ils des élèves à comprendre le processus de construction d'une séquence de codage utilisant le langage intermédiaire pour la programmation du robot ? Perçoivent-ils le scénario pédagogique comme une succession d'étapes qui conduit les élèves à « trouver un chemin » sur le plateau de déplacement du Bee-Bot ? Comprennent-ils l'intérêt didactique du pseudo-langage entre l'élève et le robot pour l'apprentissage et l'élaboration d'un codage ?

L'expérimentation

L'objectif de cette expérimentation est d'améliorer la construction d'un module de formation à destination des PES, et à plus long terme à destination de PE, lors de la formation continue. Il porte sur l'utilisation des Bee-Bot comme outils cognitifs, pour développer des stratégies de résolution de problème et pour l'apprentissage de la programmation.

C'est le modèle de scénarisation (Komis et *al.*, 2015) appliqué à un environnement d'usage du jouet programmable Bee-Bot qui a guidé la construction du module de formation. Ce modèle

constitue un cadre pédagogique pour construire des séquences à l'école maternelle. Il est construit en sept étapes :

1. détermination de l'objet didactique du scénario,
2. description des connaissances préliminaires, des représentations des enfants et des difficultés de leur pensée,
3. élaboration des objectifs didactiques du scénario,
4. construction du matériel didactique du scénario,
5. définition des activités de réalisation des séances d'enseignements en classe,
6. conception de l'évaluation des apprenants et du scénario,
7. consignes spécifiques pour les enseignants.

Les participants et le contexte

Quatorze enseignants novices en programmation ont pris en charge des élèves dans le cadre de ce module de formation en sciences et technologie en Master 2 MEEF. Seuls deux d'entre eux avaient eu l'occasion, une seule fois, de programmer en langage informatique scratch. Ces novices sont des PES qui ont en charge une classe deux jours par semaine et sont étudiants le reste du temps.

Une partie du module a été menée lors d'une « journée sciences ». Elle se déroule tous les ans, en fin d'année universitaire et scolaire, à l'initiative de la chercheuse, dans le cadre de la Culture Scientifique et Technique à l'ESPE de Bretagne. Des classes volontaires des écoles environnantes se déplacent dans les locaux de l'ESPE. Ces élèves sont pris en charge par des PES. Ils participent, au cours de la journée, à différents ateliers scientifiques et techniques, conçus pour cette occasion. Le contexte a donc été différent d'une pratique de classe ordinaire, dans la mesure où ces quatorze PES ont pu interagir étroitement entre eux et avec les élèves. Les élèves qui ont participé à l'« atelier robotique » sont les vingt et un élèves d'une même classe de MS-GS n'ayant aucune particularité. Ils n'ont jamais eu l'occasion de voir, de manipuler des Bee-Bot ni d'utiliser des tablettes numériques dans le cadre scolaire.

Le dispositif de formation

Le module de formation, qui a également impliqué une Maître Formatrice, a été décliné initialement en cinq phases. Celui-ci a été construit de manière à prendre en compte les sept étapes du modèle de scénarisation de Komis et *al.* (2011, 2015). La première phase consiste en une séance de deux heures de formation. Il s'agit d'introduire historiquement l'entrée de l'informatique et de la robotique à l'école. Un temps long est consacré à l'analyse de la recherche menée par Komis et *al.* (2011, 2015) et à la compréhension du modèle de scénarisation pédagogique. L'accent est mis sur l'importance du langage intermédiaire entre l'élève et le robot. Les difficultés des élèves et les stratégies qu'ils développent dans la construction d'un « chemin » pour le robot, afin de résoudre le problème posé, sont aussi examinées en détail.

- L'étape de « *la description des connaissances préliminaires, des représentations des enfants et des difficultés de leur pensée* » a été menée par une analyse des résultats de Komis et *al.* (2015). L'« *élaboration des objectifs didactiques du scénario* » (Komis et *al.*, 2015) a été induite par l'intitulé même du module de formation, soit « *Robotique pédagogique en maternelle* ». L'objectif principal de développement d'un premier niveau de la pensée informatique chez de jeunes élèves a été annoncé. Les PES ont identifié les objectifs de la scénarisation par l'analyse de l'article de Komis et *al.* (2015) : amener les élèves à maîtriser les commandes de direction d'un jouet Bee-Bot, à le programmer, à construire des séquences de commandes à l'aide d'un langage intermédiaire et réaliser un « chemin » pour résoudre un problème.

• La deuxième phase est une séance de deux heures. Elle a été consacrée à « *la construction du matériel didactique* » et à « *l'élaboration des activités pour la séance d'enseignement* ». Le choix de la situation problème a alors été discuté puisque celle-ci a un impact direct sur la construction du matériel. C'est la reconnaissance des formes géométriques qui a été choisie. Considérée comme un prérequis, c'est la programmation qui devait être au cœur des réflexions des élèves. Les plateaux, les cartes de construction du langage intermédiaire, les jeux de cartes représentant des formes colorées ont été fabriqués lors de cette séance. Le matériel est présenté sur la figure 2 (p. 72) et sur la figure 3 ci-après.

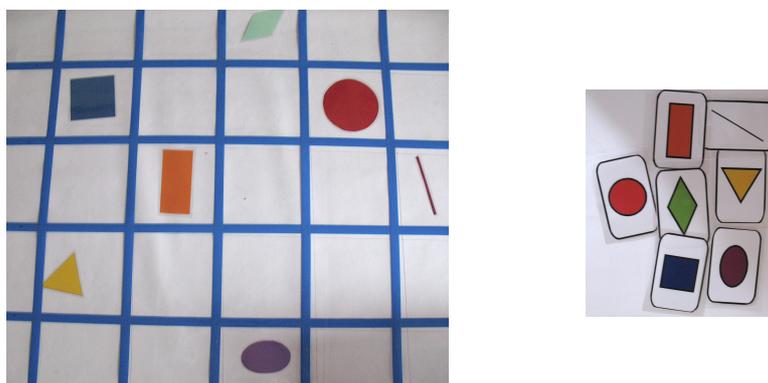


Figure 3 : Le plateau de déplacement du jouet programmable Bee-Bot ; le jeu de cartes des formes et des couleurs.

Les activités de classe ont été construites par les PES pour permettre aux élèves de développer des stratégies de résolution de problèmes et pour apprendre à programmer. Elles ont été élaborées à partir des étapes du scénario proposé par Komis et *al.* (2015) autour de quatre temps de manipulation :

- la découverte des commandes du Bee-Bot,
- la création d'une séquence de codage pour construire le langage intermédiaire,
- la résolution d'un problème,
- une évaluation à l'aide d'une simulation au moyen d'une tablette (figure 4).

« *Des consignes spécifiques pour l'enseignant* » (Komis et *al.*, 2015) ont été données pour chaque temps. Une mise en commun et une discussion entre les PES ont conduit à l'élaboration du seul scénario pédagogique que tous ont dû mettre en œuvre. Les détails du scénario sont présentés dans le tableau 1. Ce tableau, produit par les PES, constitue leur fiche de préparation de cours.

Étapes du scénario	Éléments à prendre en compte lors du déroulement des activités
Objectifs du scénario	Prendre en main les commandes du jouet programmable à l'aide des cartes de commandes (figure 2) : manipulation libre pour s'approprier les touches de commandes en prévision de la construction des séquences de codage : <ul style="list-style-type: none"> • de direction et d'orientation (avancer, reculer, droite, gauche), • démarrer et vider la mémoire. Utiliser les commandes de direction et d'orientation de manière séquentielle et automatisée.
Compétences générales travaillées	Réaliser un trajet, un parcours à partir d'une représentation, en construisant un raisonnement. Se déplacer jusqu'à une forme définie (exemple : un carré vert) en se repérant sur les

	<p>cases d'un quadrillage.</p> <p>Utiliser les verbes d'action en français pour définir les positions.</p>
<p>Compétences travaillées spécifiquement lors de la programmation</p>	<p>Les marqueurs spatiaux : devant, derrière, à droite et à gauche.</p> <p>La manipulation du jouet programmable à l'aide des boutons de commande.</p> <p>L'apprentissage du langage intermédiaire permettant la programmation du robot : construction d'une séquence depuis « vider la mémoire » jusqu'à « démarrer ».</p>
<p>Connaissances pré-requises</p>	<p>Savoir numéroter des objets de 1 à 10.</p> <p>Reconnaître les formes géométriques simples : carré, rectangle, cercle, losange.</p> <p>Reconnaître les couleurs.</p>
<p>Premier temps de manipulation : découverte des commandes de déplacement du Bee-Bot (« pas » de 1 case et rotation de 90°) et de la mémoire.</p>	<p>Un temps de manipulation libre sur le plateau vierge est donné.</p> <p>Consigne : préciser aux enfants de bien se mettre derrière le Bee-Bot.</p> <p>Une mise en commun orale des différentes découvertes est prévue pour vérifier que les objectifs de cette étape sont atteints, spécifiquement la commande « vider la mémoire ».</p> <p>Remarque : Il faudra provoquer si nécessaire le conflit cognitif à l'aide d'une demande de mouvement. Le robot n'exécutant pas la commande, cela conduira à la découverte de la mémorisation de l'action précédente par le robot et de la commande « vider la mémoire ».</p>
<p>Deuxième temps de manipulation : création d'une séquence de codages à l'aide des cartes du langage intermédiaire</p>	<p>L'enseignant montre les cartes de codage des actions du Bee-Bot.</p> <p>Les élèves verbalisent l'ensemble des actions et programment le Bee-Bot. Progressivement, les élèves découvrent qu'une série d'actions doit commencer par la commande « vider la mémoire » et se terminer par la commande « GO ».</p> <p>Ensuite, l'enseignant propose une situation-problème : conduire le robot sur la case repérée par une croix. Les élèves construisent, en équipe, la séquence de codage. Un élève de l'équipe programme sous les yeux des autres. Si un problème survient, l'erreur est cherchée collectivement. Ce temps de remédiation est proposé aux élèves.</p>
<p>Troisième temps de manipulation : Résolution de la situation-problème</p>	<p>L'enseignant présente un jeu de cartes sur lesquelles sont représentées des formes géométriques de couleurs. Un élève tire une carte. Les élèves de l'équipe verbalisent la forme géométrique reconnue et la couleur. Les élèves repèrent cette forme colorée sur le plateau.</p> <p>Un élève de l'équipe construit la séquence de codage, programme le Bee-Bot ; Les autres aident éventuellement au débogage en cas de non réussite (atteindre la case).</p> <p>Un autre élève tire une autre carte dans le jeu de l'enseignant et ainsi de suite.</p>
<p>Quatrième temps de manipulation : évaluation par utilisation de l'application Bee-Bot conçue pour tablette numérique.</p>	<p>Objectif d'évaluation : les élèves doivent conduire le Bee-Bot vers la case d'arrivée.</p> <p>Remarque : il ne s'agit plus de construire un chemin puisque ceux-ci sont prédéfinis dans l'application dans la tablette. Il n'y a plus de langage intermédiaire.</p>

Tableau 1 : Scénario construit par les PES.

La « *conception de l'évaluation des apprenants* » (Komis et al., 2015) est ici conçue par une mise en situation des élèves grâce à une application numérique Bee-Bot, installée sur des tablettes. Un exemple de « chemin » est présenté ci-après.

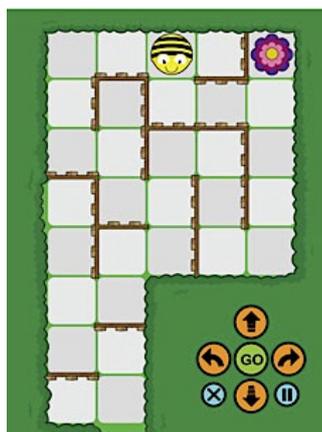


Figure 4 : Exemple de « chemin » prédéfini dans l'application Bee-Bot pour tablette numérique

L'utilisation de cette application numérique gratuite est une demande faite aux PES par la chercheuse. Elle tente d'apporter des éléments de réponse à la question posée par Komis et *al.* (2011) : « *Existe-t-il des différences aux résultats obtenus si le scénario est appliqué en simulant le Bee-Bot sur un logiciel ?* ». En effet, ces chercheurs s'interrogent sur la pertinence de remplacer les jouets de sol par des simulations sur tablette numérique. Les gains cognitifs sont-ils les mêmes ? La tablette n'implique-t-elle pas des obstacles différents ?

La totalité des manipulations ont été expérimentées par les PES eux mêmes pour s'assurer de la cohérence de l'ensemble. Ils se sont approprié également, de manière individuelle, l'application Bee-Bot dans la tablette numérique.

- La troisième phase s'est déroulée lors de la « Journée sciences » du 28 mai 2015. Les quatorze PES ont pris en charge les vingt et un élèves de la classe de MS-GS lors de l'atelier robotique. Ils n'ont eu aucune contrainte de temps. Deux PES ont encadré une équipe de trois élèves. Les sept équipes ont disposé d'un Bee-Bot, des cartes pour construire le langage intermédiaire (*cf.* figure 2, p. 72), d'un plateau de déplacement et d'un jeu de cartes représentant les formes et des couleurs (*cf.* figure 3, p. 75).

- Des modifications du scénario ont été apportées après une première analyse de la séance menée avec les élèves. Deux PES (repérés dans le texte par S1 et S2) ont eu l'opportunité de renouveler l'expérimentation dans un contexte de classe ordinaire avec vingt-quatre élèves de CP-CE1 (première et deuxième années d'école élémentaire). Cette classe est celle d'une Maître-Formatrice. Cette expérimentation, dans une autre classe et un autre contexte, est considérée comme la quatrième phase du module de formation et de recherche.

- En cinquième phase, un retour réflexif était prévu quelques jours après la « Journée Sciences ». Son objectif était de diffuser les résultats de cette recherche auprès des quatorze PES pour qu'ils puissent améliorer leur compréhension des enjeux didactiques de cette scénarisation, depuis la conception jusqu'à la mise en œuvre. Nous précisons que cette phase n'a pas pu être menée, l'année universitaire s'achevant.

Les données analysées

La séance menée par les PES dans l'encadrement des élèves de maternelle lors de la « Journée Sciences » et l'intervention des deux PES (S1 et S2) dans la classe de CP-CE1 (phases 3 et 4 du dispositif de formation) ont été filmées à l'aide d'une caméra mobile. Pendant le déroulement de ces phases, les PES ont été interrogés en fonction de ce que les chercheuses observent. Ils ont

explicité les actions et les choix faits en fonction des stratégies observées chez les élèves et des erreurs éventuelles repérées. Nous avons transcrit les interactions verbales et non verbales entre les élèves et les PES. Les actions des élèves comme celles des PES sont croisées avec les explicitations des PES. Des notes complémentaires ont également été prises par la chercheuse et la Maître-Formatrice, lors des différentes phases, pour renseigner au mieux les actions des PES comme celles des élèves. Les procédures, les difficultés et les réussites des élèves ont aussi été observées au fil de l'analyse des stratégies pédagogiques des PES car elles se conditionnent mutuellement.

Une analyse qualitative des stratégies adoptées par les PES dans la mise en place du scénario pédagogique a été faite. Les écarts entre le scénario prévu et le scénario réalisé ont été observés. Cela nous a conduit à identifier trois grandes catégories de stratégies adoptées par les différents groupes de PES :

1. le non-respect du scénario initial,
2. le respect de celui-ci,
3. l'adaptation du scénario en fonction des élèves tout en respectant les étapes définies lors de sa construction.

L'origine des modifications, l'analyse des actions et des verbalisations des élèves ont permis de caractériser chaque stratégie. Ainsi nous pouvons émettre des hypothèses interprétatives sur ce qui relève de la prise en compte des difficultés et erreurs de l'élève, des difficultés personnelles des PES et/ou d'une compréhension erronée des différentes étapes de la scénarisation.

Les stratégies des PES lors de la séance de robotique pédagogique menée pendant la « Journée Sciences »

1. Utilisation du robot de sol

1.1. Non-respect du scénario initial

Le premier résultat notable est que le non-respect du scénario a généralement mis les élèves en difficulté. Cependant, différentes raisons peuvent être avancées au regard des analyses. Elles peuvent être liées à des oublis dans la mise en place du scénario avec les élèves, des difficultés personnelles des PES dans la manipulation des jouets programmables et/ou à des convictions concernant l'intérêt pédagogique de certains éléments.

Le plateau de déplacement non vierge

Certains PES ont laissé le plateau avec les repères des formes et couleurs (*cf.* figure 3, p. 75), avant de travailler la découverte des commandes du Bee-Bot. Les difficultés des élèves se sont alors manifestées dès le début, lors de la résolution du problème : se rendre sur la case du « carré vert » sur le quadrillage. Les élèves ont dû à la fois s'appropriier les commandes de direction du Bee-Bot, la fonction « vider la mémoire », repérer et guider le robot jusqu'au « carré vert ». L'observation du stagiaire S1 ayant participé à la quatrième phase du module de formation, dans une classe de CP-CE1, a montré que cette stratégie a, au contraire, été propice à la prise en main des fonctions de déplacement par les élèves. Ils ont appris en manipulant le robot. Nous pouvons avancer l'hypothèse que l'âge des élèves et leur développement cognitif entrent ici en jeu.

Pas de vérification des prérequis

Certains PES ne se sont pas assurés des acquis des élèves à propos de la connaissance des formes géométriques et des couleurs. Ils n'ont alors pas identifié la source d'erreur faite par certains élèves. La forme a été mal identifiée. Une confusion a été faite entre le carré et le rectangle. Ces

élèves ont d'ailleurs bien programmé le parcours. Alors qu'ils sont en réussite sur la programmation, ils ont été considérés comme ayant « échoué » par les deux PES encadrant ce groupe.

Placement du jouet programmable

Une PES a généré des incompréhensions sur la reconnaissance des flèches de déplacement par le placement du Bee-Bot devant elle. Au lieu de l'orienter dans le même sens que les enfants, elle le tenait face à eux. À cause de cet effet miroir, deux élèves ont inversé les cartes « gauche » et « droite » dans la construction du langage intermédiaire. Elle n'a pas compris l'origine des difficultés dues à l'orientation du Bee-Bot. Cette difficulté avait pourtant été anticipée dans le scénario initial. Quand on la questionne, il s'avère qu'elle a elle-même des difficultés à se décentrer par rapport au robot. Elle n'évoque pas l'idée qu'elle aurait pu se positionner à côté des élèves et non en face.

Élimination du langage intermédiaire

Certains PES éliminent l'étape impliquant le langage intermédiaire qui vise à construire la séquence informatique et à programmer le déplacement du Bee-Bot. Leur explication est : « *c'est trop compliqué pour des élèves de cet âge* ». Les élèves programment alors « pas à pas ». Ils ne progressent pas dans l'anticipation du « chemin » pour atteindre la case où se situe le « carré vert » sur le quadrillage. Pour ces deux PES, les élèves sont en réussite puisque leur Bee-Bot rejoint le « carré vert ». Nous constatons que c'est la pratique du stagiaire, liée à ses convictions, qui réduit l'apprentissage à l'utilisation d'une seule commande. Ils se centrent uniquement sur les savoirs mathématiques. Ceux-ci avaient pourtant été considérés comme des prérequis dans le scénario. Ces deux PES ne semblent pas avoir compris l'intérêt de l'utilisation du langage intermédiaire dans l'apprentissage de la programmation. D'ailleurs, très vite, les trois élèves de leur équipe se lassent. Nous pouvons considérer qu'aucun problème ne leur est réellement posé.

Gestion temporelle des manipulations

Un autre groupe de PES n'a pas respecté le scénario dans son découpage temporel. Ils ont consacré beaucoup de temps à la prise en main des commandes de direction du Bee-Bot. Les élèves de leur équipe ont ensuite fait peu d'erreurs dans le choix des cartes pour construire le « chemin », à l'aide du langage intermédiaire. Cependant, peu de place a été laissée à la discussion du choix du « chemin ». Un temps avait été prévu dans le scénario initial. Ces PES se sont focalisés sur la partie technique de la programmation. Ils expliquent qu'ils avaient eux mêmes des difficultés à prendre en main les commandes du robot.

1.2. Respect du scénario initial

Certains groupes de PES ont respecté le scénario comme une succession d'étapes qui conduit les élèves à trouver un « chemin » pour amener le Bee-Bot vers la case choisie. Cela a eu pour conséquence de limiter la progression de certains élèves alors qu'ils étaient en réussite.

Une vision réductrice de la réussite

En effet, lorsque certains élèves faisaient une erreur et n'atteignaient pas la bonne case sur le plateau, ceux-ci voulaient programmer à nouveau une séquence pour atteindre la bonne case depuis la case d'arrêt précédente. Les PES ont considéré ceci comme une erreur et ont remis le Bee-Bot sur la case de départ. Ces deux PES ont déclaré : « *c'est une évidence !* ». Cette éventualité n'avait pas été discutée lors de la construction du scénario. C'est pourquoi, ils n'ont pas adapté le scénario à l'imprévu. Cependant, la stratégie de fragmentation du « chemin » nous apparaît comme une situation à étudier de plus près. La réaction de ces PES a conduit l'élève à penser qu'il n'y avait qu'un « chemin » possible. Nous avons d'ailleurs compris, dans les propos

d'un des deux PES, que le seul chemin envisageable était le chemin le plus court ! La stratégie de l'essai-erreur-remédiation aurait pu être productive dans le cadre de la résolution du problème. De plus, ce stagiaire ne considère pas que la fragmentation a un intérêt dans la phase d'apprentissage. Elle prend pourtant son sens également lorsque les « chemins » sont très longs ou dans le cas de la transformation d'une erreur en réussite.

Une vision réductrice de la verbalisation des actions

Nous avons aussi observé que certains PES faisaient verbaliser le « chemin » sans pour autant donner les moyens aux élèves de percevoir leurs erreurs. Ils ont appliqué le scénario sans comprendre l'intérêt de cette étape. Pour eux, « *ce n'était que pour utiliser des verbes actions en français* ».

1.3. Respect des étapes du scénario, avec des adaptations en fonction des élèves

Certains groupes de PES ont respecté les étapes construites pour la séance avec les élèves tout en s'adaptant aux difficultés et stratégies des élèves. Pour cela, ils ont réfléchi à la manière de faire progresser les élèves dans le déplacement du robot. Ils ont également pris en compte la diversité des « chemins » proposés par les élèves. Nous avons repéré quatre points de réflexion développés par ces PES.

La technique de l'enfant-robot

Certains élèves ont eu des difficultés liées à la rotation du robot sur lui-même et à la commande des flèches de direction. Les deux PES de cette équipe leur ont proposé d'utiliser leur corps pour simuler le déplacement du Bee-Bot. Lors de leur poursuite de l'expérimentation avec des élèves de CP-CE1, les deux PES S1 et S2 ont aussi proposé ce moyen pour aider les élèves en difficulté dans le repérage dans l'espace. Le recours à cette technique de l'enfant-robot (Greff, 1998) a été bénéfique. Ces élèves n'ont ensuite eu aucune difficulté dans l'utilisation des cartes de direction, ni pour le passage à la programmation.

Une vision critique de la réussite

Certains élèves d'une même équipe n'étaient pas d'accord sur le « chemin » à suivre pour résoudre le problème. Les deux PES de leur équipe se sont saisis de la situation pour discuter des différentes possibilités. Ils ont précisé que le « chemin » le plus court n'était pas une obligation. En effet, ils avaient constaté que deux « chemins » différents pouvaient aussi correspondre aux mêmes nombres d'actions de programmation. Chacun des « chemins » proposés a ensuite été testé.

Lorsqu'une erreur était repérée, ce binôme de PES donnait l'opportunité aux élèves de leur équipe de trouver la source de l'erreur comme prévu dans le scénario.

Une gestion de l'hétérogénéité du groupe

Ces binômes ont également géré l'hétérogénéité des élèves. Ils ont donné la possibilité aux élèves de progresser en proposant de fractionner le « chemin » à suivre et de rallonger ensuite le nombre d'actions. Ces deux PES ont pris soin de faire pointer la forme mathématique sur le plateau avant que les élèves ne se lancent dans la construction d'un « chemin ». Ils ont considéré que la connaissance des formes géométriques faisait partie des prérequis. Ce n'était pas l'objet de l'activité en terme d'apprentissage. Nous faisons remarquer que, même si l'élève ne connaissait pas le nom d'une forme, il avait les moyens de la retrouver sur le plateau. Une simple comparaison entre la carte tirée dans le jeu de l'enseignant et la forme présente sur le plateau suffisait. De plus, chaque forme avait une couleur différente. La couleur permettait à l'élève de retrouver la forme sur le plateau.

La prise en compte d'une future programmation dans un ordinateur

Une discussion a eu lieu entre deux PES d'une même équipe. La disposition spatiale des cartes, pour l'élaboration du chemin dans la construction du langage intermédiaire, a été au cœur des débats. Valait-il mieux les positionner de gauche à droite, comme dans le sens de la lecture, ou verticalement de bas en haut, comme décidé dans le scénario ? Ils ont finalement conservé le sens vertical. L'argument avancé a été que cela poserait moins de problèmes de décentration pour les élèves. Cette bande verticale, ainsi construite, allait dans le sens global de l'avancée du robot. La deuxième explication avancée par ces deux PES est que cela pourrait permettre de passer ensuite plus rapidement à l'écriture d'un algorithme, car une action correspond à une ligne en langage informatique. Nous précisons que ces deux PES avaient déjà eu l'opportunité de programmer une fois en langage « Scratch ».

2. Utilisation de l'application Bee-Bot dans la tablette numérique

Des stratégies de fragmentation du chemin différentes

Lors du module de formation, les PES avaient constaté qu'il leur était plus difficile de se décentrer dans l'application numérique de la tablette qu'avec les Bee-Bot. Les plateaux donnaient la possibilité de se déplacer physiquement autour de ceux-ci. Ils n'ont pas repéré que l'application de la tablette permettait également de fragmenter le « chemin ». Les élèves ont segmenté le parcours sur la tablette comme sur le plateau quadrillé avec les Bee-Bot. La nécessité du langage intermédiaire prend tout son sens puisque nous avons observé que les PES, comme les élèves, font plus souvent du « pas à pas » sur les tablettes.

De nouvelles stratégies

Les élèves ont développé d'autres stratégies sur la tablette. Ils utilisent de nombreuses fois la touche « recule » alors qu'ils ne le faisaient pas sur le plateau réel. Une des raisons semble liée à la pratique de certains PES qui replaçaient systématiquement le Bee-Bot au « départ ». Cela empêchait les élèves d'utiliser cette commande. D'autre part, cette touche de commande n'a pas été prise en compte par les élèves sur le plateau réel pour une autre raison : certains PES semblaient considérer la touche « recule » comme une marque d'erreur. Ces PES expliquent que les élèves ont eu recours plus souvent à cette commande sur les tablettes parce que leurs consignes étaient moins directives. Ils considèrent la tablette comme un support de « jeu » qui met un terme à l'activité de façon ludique ; Ils ne l'ont pas envisagé comme un support d'apprentissage ou d'évaluation. Il est vrai que l'apprentissage est moins développé sur l'application de la tablette : l'élève n'a pas le choix du « chemin » (figure 4, p. 77). Cela va dans le sens des stratégies adoptées par certains PES qui considéraient qu'un seul chemin pouvait être valide sur le plateau.

Nous avançons que la raison majeure à l'utilisation de la commande « recule » est liée au fait qu'il n'y a pas d'obstacle physique sur le plateau réel. Sur l'application de la tablette, le Bee-Bot rencontre des murs virtuels. Alors, la seule solution de débogage est le recours à la touche « recule ». Aucun des PES n'a eu conscience de cette différence.

La tablette numérique, un outil de jeu

Certains PES ont montré des stratégies aux élèves pour pouvoir monter en niveau de difficulté dans le « jeu ». Ils ont incité les élèves à suivre le « chemin » avec leur doigt tout en programmant. Cette stratégie va à l'encontre des demandes de construction du « chemin » avant de programmer le Bee-Bot qu'ils exigeaient lors de la résolution de problème sur le plateau réel. Leur objectif semblait être que les élèves atteignent les niveaux les plus élevés pour gagner.

3. Cas particulier d'un stagiaire (S1) en situation de classe avec des CP-CE1 : utilisation de la tablette (phase 4 du module de formation)

Une projection de ses propres difficultés

Lors de la présentation de l'application Bee-Bot sur la tablette, S1 a anticipé un obstacle possible. Suite à la difficulté de décentration vécue personnellement, il a attiré l'attention des élèves sur la présence des flèches directionnelles. Sur la tablette, elles sont dans l'angle droit en bas (figure 4, p. 77) alors qu'elles se trouvent sur le dos du jouet programmable. Une élève est intervenue pour expliquer que les flèches ne pouvaient pas être sur le dos du Bee-Bot dans la tablette : « *C'est beaucoup trop petit !* ». Le stagiaire a répondu « *Du coup, les flèches... elles ne bougent pas puisqu'elles ne sont pas sur le dos du Bee-Bot* ». À cela, la même élève a répondu « *Ben oui !* ». Nous constatons que la difficulté anticipée par S1, liée à son vécu personnel, n'était pas une pour les élèves. Cela a jeté le trouble dans l'esprit de certains élèves qui avaient pris en main intuitivement l'application dans la tablette.

Des tentatives de prise en compte des stratégies des élèves

Les élèves du CP-CE1 s'approprient rapidement les tablettes. Nous remarquons plusieurs stratégies d'élèves face aux premiers « chemins » simples proposés dans l'application. Certains font une sorte de correspondance « action à action » : l'élève appuie sur « avance » et s'assure que le Bee-Bot est sur la case visée avant d'appuyer à nouveau sur une autre touche. Beaucoup d'élèves anticipent le « chemin » en regardant le point d'arrivée. Ils parcourent mentalement le « chemin » quand il est de faible longueur. Il est mémorisé et ensuite programmé. D'autres tracent le « chemin » avec un doigt sur la tablette, le matérialisant physiquement avant de s'autoriser à programmer. S1 a cherché à faire évoluer les stratégies des élèves en suggérant d'éviter de fragmenter le « chemin ». Selon nous, il semble y avoir une difficulté supplémentaire pour les élèves dans l'application numérique : une stratégie adoptée par l'élève va dépendre de la situation, c'est à dire du niveau de difficulté atteint dans le « jeu » et du niveau d'apprentissage. Les stratégies développées alors par les élèves ne peuvent pas, *a priori*, être considérées d'emblée comme des stratégies non expertes. C'est plutôt une adaptation à un milieu-problème.

Lorsque les élèves ont progressé en niveau de difficulté dans l'application, le « chemin » se complexifie considérablement. Les élèves avancés dans le « jeu » ont alors utilisé deux stratégies. Arnaud fragmentait le « chemin » après avoir enregistré deux ou trois changements de direction ; il avait évalué le nombre d'actions qu'il était capable de mémoriser sans erreur ou avec un taux d'erreur faible. De plus, il prenait un point de repère sur le « chemin » pour chaque fragment avec un changement de direction à droite ou à gauche. Gwendal utilisait une autre stratégie : il fonctionnait avec la touche « recule » très peu utilisée avec le jouet programmable. Devant un « mur » représenté dans le « jeu », il reculait au lieu de chercher à s'orienter et à tourner de 90°. L'enjeu était pour cet élève d'aller très vite pour augmenter son score dans le « jeu ».

S1 a cherché à exploiter la stratégie de Gwendal ; il lui a demandé de rejouer la partie sur le tableau blanc interactif où l'application était projetée. La partie ne s'est pas déroulée de la même façon ; l'élève n'avait pas analysé sa stratégie. Nous pensons que la diffusion des différentes stratégies utilisées par les élèves est un enjeu important pour l'apprentissage au sein du groupe classe. L'apport du langage, par la mise à distance de l'expérience, constitue un moyen de consolider les connaissances. S1 n'a pas pensé à utiliser l'application projetée de la tablette pour soumettre une situation-problème à l'ensemble de la classe. Il aurait pu ainsi « enquêter » sur les différentes stratégies possibles. Les stratégies sont donc restées personnelles.

Les stratégies utilisées pour programmer les déplacements du Bee-Bot dans l'application de la tablette diffèrent pour les élèves comme pour les PES. Les stratégies de fragmentation du chemin sont plus fréquentes. De nouvelles stratégies, qui ne sont pas présentes lors du déplacement libre du robot, apparaissent en fonction des contraintes liées à la conception même de l'application. La manière dont l'application de la tablette est considérée et utilisée a une influence sur les stratégies de ces enseignants.

Discussion et conclusion

Les résultats de cette expérimentation mettent au jour des différences de compréhension et de mise en œuvre d'un même scénario pédagogique qui vise à développer la pensée informatique et la résolution de problème par utilisation de jouets programmables. Les stratégies des PES et leurs propres difficultés avec l'utilisation du jouet programmable ont un impact direct sur les stratégies des élèves. Nous avons mis en évidence qu'elles limitent parfois les apprentissages des élèves ou au contraire leur permettent de progresser. Que ce soit dans le respect ou non du scénario construit de manière collaborative par les quatorze PES de cette étude, trois grands types de difficultés peuvent être mis en avant.

Des difficultés habituelles rencontrées par des enseignants novices

L'utilisation du matériel, la prise en compte des prérequis des élèves et la gestion du temps lors des apprentissages sont des difficultés ordinaires et non spécifiques à la robotique.

Des difficultés d'ordre personnel

L'utilisation d'un matériel tel qu'un robot ou une application numérique mettant en jeu des déplacements fait apparaître des problèmes de décentration de certains PES. Une autre difficulté notable est le manque d'anticipation des possibilités de déplacement du robot avant de programmer.

Des difficultés d'ordre didactique

Une de ces difficultés réside dans la compréhension de l'intérêt didactique des étapes du scénario de Komis et al. (2015). L'intérêt du langage intermédiaire permettant d'aller vers la programmation n'a pas été perçu par une partie des PES. La verbalisation des actions, comme moyen de mise à distance de l'expérience, n'a pas été considérée par tous. Les PES pour qui ces difficultés ont été repérées n'ont pas développé des stratégies pédagogiques efficaces.

Une autre difficulté majeure est de percevoir les stratégies des élèves dans l'action et d'identifier le gain d'une stratégie par rapport à une autre. Il ressort que la question de la fragmentation du « chemin » est un point central à discuter en termes de bénéfices pour l'apprentissage.

La nature des difficultés de certains élèves, lors des différentes étapes du scénario, pose des problèmes différents dans l'adaptation des pratiques de ces enseignants. Bien que les PES aient tous suivi le même module de formation, les adaptations pédagogiques n'ont pas toujours été en adéquation avec ce qui avait été anticipé en formation. Lors de la première phase du module de formation, les stratégies déployées par les élèves participant à la recherche de Komis et al. (2015) avaient été travaillées. Celles des élèves impliqués dans notre expérimentation sont en partie les mêmes. Nous nous attendions donc à ce que les PES les identifient avec plus d'aisance.

Conclusion

Ces premiers résultats et l'engagement de ces enseignants novices dans ce module de formation nous font dire qu'il est envisageable de développer ce type d'enseignement pour des professeurs des écoles non spécialistes. Cela nous amène à proposer des ajustements à ce module de formation pour la suite. En effet, dans les nouveaux programmes de 2015 (B.O. n°11 du

26 novembre 2015), il est inscrit que l'élève devra « programmer les déplacements d'un robot ou ceux d'un personnage à l'écran ». Nous pensons que les ajustements du module de formation prennent encore plus de sens, dans la mesure où les formations ne pourront plus n'être que des initiatives de « convaincus ». Nous proposons que les résultats de cette expérimentation soient présentés aux côtés de l'analyse de l'article de Komis et *al.* (2015) aux PES des années à venir. L'analyse des pratiques des quatorze PES de cette expérimentation et des stratégies des élèves doit alors être menée avec les PES de l'année universitaire suivante. En prenant appui sur les résultats, la scénarisation construite par les quatorze PES pourra être reprise et modifiée par les nouveaux PES. Une réflexion sur les supports utilisés pourra aussi être développée. En effet, le choix des formes colorées apparaissait comme discutable, comme vu précédemment. Le positionnement d'obstacles sur le plateau réel donnerait l'opportunité aux élèves d'utiliser la touche de commande « recule ». Cela apporterait des éléments de comparaison entre les stratégies des élèves lors de l'usage des jouets programmables et de l'application Bee-Bot de la tablette. Certains PES n'ont pas perçu l'importance de l'utilisation du langage intermédiaire dans la résolution du problème posé aux élèves. Un temps plus long pourrait être consacré à l'expérimentation du scénario. Un autre point reste en discussion : le choix de l'évaluation par l'utilisation de l'application dans une tablette numérique. Les résultats ont montré des difficultés inhérentes à son usage. De nouvelles stratégies de la part des élèves ont été élaborées en lien avec la spécificité de l'application. Cela a entraîné de nouvelles stratégies pédagogiques non anticipées de la part des PES. Il serait alors préférable d'envisager une évaluation utilisant le plateau, le robot et la construction de la séquence de codage avec les cartes. Il nous semble que l'utilisation de l'application pour tablette pourrait être un objet de recherche en soi et être l'objet d'une formation spécifique de nos PES.

Toutes les difficultés des PES mises en évidence dans cette expérimentation peuvent servir de point d'appui à la communauté de recherche et de formation pour développer des modules de formation en robotique pédagogique. De plus, même si l'objet de cette recherche est centré sur les pratiques des PES, cette expérimentation permet également d'approcher les procédures, les difficultés et les réussites des élèves.

Des questions subsistent au-delà de l'amélioration de notre module de formation. Sera-t-il possible d'évaluer les effets de celui-ci ? Quelle place ces modules innovants menés à l'initiative de chercheurs et formateurs convaincus auront-ils dans la formation initiale des enseignants ? Ces enseignants novices mettront-ils en pratique des activités de programmation dans leurs futures classes pour répondre aux nouveaux programmes de l'école primaire ?

Références bibliographiques

- BARON, G.-L. & Bruillard, E. (2001). Une didactique de l'informatique ? *Revue française de pédagogie*, 135, 163-172.
- BERAZA, I., PINA, A. & DEMO, G. B. (2010). Soft & hard ideas to improve interaction with robots for kids & teachers. In *Proceedings of SIMPAR Intl. Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots*, 549-557. Darmstadt: Germany.
- CLEMENTS, D. H. & NASTASI, B. K. (1999). Metacognition, learning, and educational computer environments. *Information Technology in Childhood Education Annual*, 1, 5-38.
- DE MICHELE, M. S., DEMO, G. B. & SIEGA, S. (2008). A Piedmont SchoolNet for a K-12 mini-robots programming project: Experience in primary schools. In workshop *Proceedings of SIMPAR 2008 Intl. Conf. on Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots*, 90-99. Venice: Italy.

- DENIS, B. & BARON, G.-L. (1994). Regards sur la robotique pédagogique. In *Actes du quatrième colloque international sur la robotique pédagogique*. Paris : INRP.
- DUCHÂTEAU, C. (1993). Robotique-Informatique : mêmes ébats, mêmes débats, mêmes combats ? *Actes du 4^e Colloque de Robotique Pédagogique, Liège, 8 juillet 1993*, 10-33. INRP : Saint-Fons.
- GREFF, É. (1998). Le « jeu de l'enfant-robot » : une démarche et une réflexion en vue du développement de la pensée algorithmique chez les très jeunes enfants. *Revue Sciences et Techniques Educatives*, 5(1), 47-61.
- HIGHFIELD, K., MULLIGAN, J. & HEDBERG, J. (2008). Early mathematics learning through exploration with programmable toys. In O. Figueras, J. L. Cortina, S. Alatorre, T. Rojano & A. Sepulveda (Eds.), *Proceedings of the Joint Meeting of PME 32 and PME-NA XXX. Vol 3*, 169-176. Mexico: International Group for the Psychology of Mathematics Education Psychology of Mathematics Education.
- KOMIS, V. & MISIRLI, A. (2011). Robotique pédagogique et concepts préliminaires de la programmation à l'école maternelle : une étude de cas basée sur le jouet programmable Bee-Bot. Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques. *Actes du quatrième colloque international DIDAPRO 4-Dida&Stic, 24-26 octobre 2011*, 271-281. Université de Patras.
- KOMIS, V. & MISIRLI, A. (2015). Apprendre à programmer à l'école maternelle à l'aide de jouets programmables. G.-L. Baron, É. Bruillard & B. Drot-Delange (dir.) *Informatique en éducation : perspectives curriculaires et didactiques*, 210-226. Clermont-Ferrand : Presses Universitaires Blaise-Pascal.
- LEROUX, P. (2009). Enseigner la technologie par la robotique et l'informatique. *Apprendre et enseigner la technologie : regards multiples*, 163-174. Multimondes.
- PAPERT, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit*. Flammarion.
- PEKAROVA, J. (2008). Using a programmable toy at preschool age: Why and how?. In *Workshop Proceedings of SIMPAR 2008 Intl. Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots*, 112-121. Venice: Italy.
- POULLAIN, L., GIRRE, E. & ARRIETA, M. (2015). Osons la robotique pédagogique en primaire. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 109, 383-394.
- TCHOUNIKINE, P. (2016). *Initier les élèves à la pensée informatique et à la programmation avec Scratch*. <http://lig-membres.imag.fr/tchounikine/> (consulté le 23 février 2017).