

# Jouets programmables comme outils cognitifs : pratiques pédagogiques de stagiaires professeurs des écoles

Catherine Barrué, Nathalie Vigot

[catherine.barrue@espe-bretagne.fr](mailto:catherine.barrue@espe-bretagne.fr), [nathalie.vigot@espe-bretagne.fr](mailto:nathalie.vigot@espe-bretagne.fr)

École Normale Supérieure de Cachan-Université Paris-Saclay-France  
École Supérieure du Professorat et de l'Éducation de Bretagne- Université de Bretagne Occidentale- France

**Résumé.** Cette étude porte sur l'appropriation des jouets programmables dans l'enseignement par un groupe de professeurs des écoles stagiaires lors d'un module de formation. Il s'agit d'élaborer un scénariopédagogiquepour résoudre une situation-problème qui consiste dans la programmation d'un robot de sol, destinéà des élèves de l'école maternelle. C'est l'élaboration du « chemin » effectuépar le robot, construit et programmé par l'élève qui permet de résoudre le problème. Le questionnement porte sur les enjeux d'apprentissage lorsde la programmation pour la formation et l'usage des nouvelles technologies. L'analyse porte sur les différentes stratégies mises en œuvre durant le scénario. Ces stagiaires déploient différentes stratégies en fonctiondesdifférentes procédures, erreurs et obstacles rencontrés par des élèves dans la construction du déplacement réel du robot et dans le cas de l'utilisation d'une application conçue pour des I-Pad.

**Mots-clés :** robotique, jouets programmables de sol, programmation, stratégies didactiques, formation

## Introduction

La robotique a fait son entrée dans le monde de l'éducation dans les années 1960, avec notamment la Tortue de sol commandée par une interface en langage Logo, s'inscrivant dans un mouvement pédagogique reconnu en recherche sous la dénomination de « robotique pédagogique ». Bien que des apports sur le plan du développement cognitif des élèves et en particulier dans la résolution de problèmes ont été mis en évidence (Clements&Nastasi, 1999), il semblerait que cet enseignement à l'école primaire en France ne soit pas encore effectif,mais encouragé. A l'heure où les « fab-labs » se développent dans la sphère publique et où la robotique est bien présente dans les programmes du secondaire, l'introduction de la robotiqueà l'école primaire reste à l'initiative de quelques enseignants et formateursqui sont des « convaincus ». Ils développent alors des projets innovants en marge des programmes officiels. L'argument du coût des jouets programmables de sol utilisés avec de jeunes élèves(Bee-Botet Pro-Bot)qui est parfois avancé ne peut pas 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 deco-investigateur dans la résolution de problème avec leurs élèves semblent être les freins principaux à l'utilisation de ces outils. Il semblerait également que ces outils ne soient pas considérés au même titre que d'autres.Il est possible que le manque de formation permettant de découvrir la richesse de ces outils contribue 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 module de formationà destination de stagiaires professeurs des écoles (PE) en master 2 Métiers de l'Enseignement de l'Éducation et de la Formation (MEEF). Ces stagiaires construisent des scénarios pédagogiques (Komis & Misirli, 2011, 2015) mettant en œuvre des jouets de sol programmablesBee-Bot. L'objectif est d'engager des élèves de maternelle (4-5 ans) dans la résolution de problèmes par le biais de l'outil Bee-Bot et dans l'élaboration de déplacements.Bien qu'un débat demeure dans la littérature de recherche entre considérer la programmation comme une discipline à part entière ou comme au service des disciplines, le jouet programmable est ici introduit pour la résolution de problèmes par la programmation.Les connaissances à propos des formes géométriquesreconnues comme dessavoirs mathématiquesont mobilisées à cette occasion. Cependant elles ne sont pasl'enjeu de l'apprentissage.Nous nous intéressons particulièrement 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.

## **Informatique et disciplines**

Depuis les années 2000, des jouets programmables tels que les Bee-Bot et Pro-Bot font leur apparition dans les catalogues de matériel pédagogique. Le Bee-Bot est un jouet de sol qui a la forme d'une abeille (figure1) et comporte une interface de commande sur son dos qui permet de le programmer directement dans le but qu'il effectue des déplacements sur un quadrillage. Les déplacements sont 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 activités proposées (<http://www.edunet.ch/act11-12/bee-bot.html>) mettent en avant une utilisation ludique de ces jouets programmables pour apprendre des contenus d'apprentissages disciplinaires (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. Cependant, dans certaines activités, cela peut être envisagé 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 que des élèves entrent dans une programmation éventuelle sur ordinateur. D'autre part, il est plus facile pour des élèves de corriger leurs erreurs de programmation par le recours aux jouets programmables. A la différence d'un algorithme programmé dans un ordinateur, ils voient le robot exécuter la liste d'actions demandées pour son déplacement. Les erreurs de programmation permettent un retour sur l'analyse du chemin codé, sur la recherche de l'erreur et de sa compréhension.

Le débat récurrent concernant l'introduction de l'informatique à l'école n'a pas permis d'éclaircir si l'algorithme était à considérer comme des savoirs à acquérir. La seule référence explicite dans les programmes officiels français est la référence à la Tortue Logo dans les années 1990 (Béziat, 2008). Ce débat est d'autant plus saillant dans les discours officiels. 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 bien présents dans l'enseignement au Lycée en France. L'algorithme est enseigné pour l'algorithme en mathématiques alors que la robotique est bien présente dans des enseignements d'exploration qualifiés de Sciences de l'Ingénieur où l'acquisition de connaissances est bien moins importante que les activités de création. Cette dichotomie entre informatique et robotique ne contribue certainement pas au développement d'activités introduisant des objets programmables à l'école. Pourtant, ces 3 approches sont légitimes puisqu'elles sont déjà présentes dans les diverses activités de classe bien qu'elles ne soient pas explicitement inscrites dans les programmes officiels de l'école élémentaire. Cela constitue également peut-être un frein à la formation des enseignants dans la mesure où l'innovation n'y trouve pas toujours sa place.

## La robotique pédagogique

La robotique pédagogique est une approche didactique basée sur l'apprentissage par l'utilisation de dispositifs programmables. La robotique est alors considérée comme un passage nécessaire à l'apprentissage de la programmation. Alors, il faut se poser la question de ce que les élèves apprennent. Si l'on se place dans une visée de construction du robot, ce sont des projets de classe qui naissent en lien avec les programmes de technologie de l'école primaire. Par une pédagogie de projet (Denis & Baron, 1994), les différents aspects scientifiques et techniques de construction de l'objet sont considérés en même temps qu'une initiation à des langages de programmation de commande du robot construit par les élèves. C'est le cas du projet d'école mené dans un CM2 par deux étudiants de Master 2 MEEF (Poullain, Girre & Arrieta, 2015) accompagnés par un formateur de sciences et technologie de l'École Supérieure du Professorat et de l'Éducation de Bretagne (ESPE). Les élèves construisent des véhicules roulants filoguidés dont le moteur est commandé et piloté à distance via un dispositif intégrant un *Raspberry Pi* programmé en langage *Scratch*. Ce type d'approche complexe d'un point de vue cognitif et moteur, n'est pas adapté à des jeunes élèves de maternelle. Si l'on s'inscrit dans une visée de programmation à l'aide d'un langage intermédiaire entre l'élève et le jouet programmable Bee-Bot (Komis & al, 2011), il est tout à fait possible d'implanter des scénarios pédagogiques qui mettent l'accent sur la résolution de problèmes. Ce langage intermédiaire est construit à l'aide de cartes reprenant les commandes de direction du robot (figure 2). Il est essentiel dans l'anticipation de la tâche à « faire faire » au robot. Dans ce cas, l'écueil évité est la réduction du robot programmable à un simple jouet « presse bouton ».

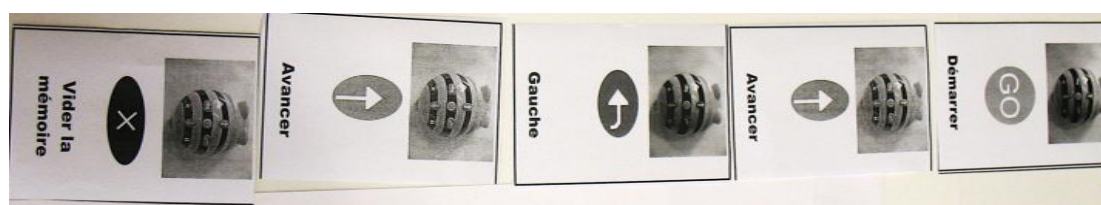


Figure 2. Langage intermédiaire construit à l'aide de cartes des commandes du Bee-Bot

Les différentes recherches menées avec des jouets programmables (Pekarova, 2008 ; Peraza, Pina & Demo, 2010) mettent en évidence que l'utilisation du jouet programmable doit être accompagnée de problèmes adéquats et d'outils appropriés au-delà de l'aspect ludique du jouet lui-même. Dans ce cas, l'apport de la modélisation de scénarisation en robotique pédagogique proposée par Komis et al (2015) prend tout son sens. Des recherches (De Michele, Demo & Siega, 2008 ; Highfield, 2010) montrent les bénéfices de l'usage des Bee-Bots en terme d'apprentissage du raisonnement dans la résolution de problèmes. Komis et al (2015) pointent également des gains d'apprentissage chez de jeunes élèves dans différents domaines : 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.

### Notre position dans ce débat et nos questions de recherche

Si certains programmes de maternelle en Grande Bretagne, Australie et Grèce promeuvent l'introduction de ces jouets programmables, cela n'est pas le cas encore en France. La seule référence trouvée dans les programmes français de maternelle est « identifier le principe d'un algorithme et poursuivre son application » (Bulletin Officiel N°3 du 3 juin 2008). Il s'agit de compléter des suites en fonction de critères. Il faut 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 assumons le choix de l'utilisation du Bee-Bot en classe. Nous prenons aussi appui sur les bénéfices en terme d'apprentissages mis en avant par les recherches menées (Komis & al, 2011). Dans un contexte de discussion pour déterminer si l'informatique doit se mettre au service des disciplines ou viser à l'apprentissage de la programmation, notre choix est de ne pas entrer dans ce débat. En effet, les efforts sont portés sur la résolution de problème. Les connaissances disciplinaires (géométrie) sont convoquées pour donner du sens au problème à résoudre. Nous n'envisageons pas non plus la programmation pour la

programmation. Cette expérimentation se place alors dans une perspective constructiviste qui considère le Bee-Bot comme un outil de développement de compétences cognitives diverses.

Cette tension entre apprendre à programmer et programmer pour apprendre génère une tension dans l'approche pédagogique et donc dans les choix faits dans la construction de modules de formation d'enseignants. Notre posture de formatrice et de chercheuse est alors une posture engagée. Nous avons construit ce module de formation pour des professeurs stagiaires 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 dans le cadre de la résolution de 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. Cette expérimentation prend le parti de mettre des stagiaires PE 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) qu'ils ont ensuite testé avec des élèves de moyenne section-grande section (MS-GS) de maternelle.

Nous cherchons à déterminer quelles sont les stratégies d'enseignement qu'ils ont adoptées 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 si ils perçoivent l'intérêt pédagogique des différentes étapes du modèle de scénarisation de Komis et al (2015) et notamment les enjeux liés au langage intermédiaire dans la résolution de la situation problème. Nous cherchons à déterminer également comment ces novices de l'enseignement amènent des élèves à comprendre le processus de construction d'une séquence algorithmique à l'aide des cartes permettant la construction du langage intermédiaire. Perçoivent-ils ce scénario pédagogique comme une succession d'actions qui conduit les élèves à « trouver un chemin » sur le plateau de déplacement du Bee-Bot ? Sont-ils conscients de l'intérêt didactique du *pseudo-langage* (Greff, 1999, 2001 ; Komis & al, 2011, 2015) entre l'élève et le robot pour l'apprentissage de l'algorithme ?

## **Méthodologie**

### ***Le cadre méthodologique***

Cette recherche s'inscrit dans le cadre méthodologique de Design-Based Research (DBR). La maternité du terme « *design-based classroom setting* » ou « *design experiment* » est attribuée à Brown (1992). Le besoin de méthodologies nouvelles pour comprendre la complexité de l'apprentissage ainsi que la nécessité de prendre en compte les considérations des tentatives antérieures visant à réorganiser les milieux scolaires l'ont engagée dans des expériences nouvelles de conceptions. Elles sont destinées à transformer les salles de classe jusqu'alors envisagées comme des laboratoires de recherches universitaires, en environnements d'apprentissage qui favorisent la pratique réflexive des élèves, des professeurs mais aussi des chercheurs. Dans cette conception de la recherche en éducation, le contexte n'est plus à considérer comme une variable extérieure. Les élèves sont vus comme des participants à la recherche et non pas comme des sujets. L'accent peut alors être mis sur la production, la révision de théories ou sur l'amélioration des pratiques éducatives. Le DBR est une série d'approches qui visent à produire des théories nouvelles, des artefacts et des pratiques qui prennent en compte les environnements d'apprentissage (Barad & Squire (2004). C'est en analysant ces interventions que traduisent Sandoval et Bell (2004) par « *When it works, how it works and for who it works ?* » qu'une révision du dispositif est possible et qu'un raffinement du modèle théorique qui oriente sa construction est possible. L'approche DBR qui allie la recherche pédagogique empirique avec sa conception fondée sur la théorie des milieux d'apprentissage vise à comprendre quand et pourquoi les innovations éducatives « marchent » ou ne « marchent pas » dans la pratique. De plus, dans cette approche que nous défendons, une collaboration entre les chercheurs et les praticiens est développée afin d'améliorer les méthodes de recherche enracinées dans la conception d'environnements d'apprentissage. La visée est alors de partager avec des praticiens des théories pertinentes dans la conception des situations de classe. L'objectif de cette recherche est d'améliorer la construction d'un module de formation portant sur l'utilisation des Bee-Bot comme outil cognitif pour développer des stratégies de résolution de problème et pour l'apprentissage de la programmation.

C'est le modèle de scénarisation (Komis & al, 2015) appliqué à un environnement d'usage du jouet programmable Bee-Bot qui a guidé la construction du dispositif empirique et qui a été mis à l'épreuve du terrain. Il est construit en 7 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 et (7) consignes spécifiques pour les enseignants.

### ***Les participants et le contexte***

Dans la plupart des recherches mettant en œuvre l'utilisation de jouets programmables, ce sont généralement les chercheurs qui mènent les activités. L'originalité de notre recherche est que ce sont 14 enseignants novices en programmation qui ont pris en charge des élèves dans le cadre d'un 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*. Nous précisons que ce module est obligatoire et que le contenu est le choix de la chercheuse et formatrice.

Le contexte n'a pas été non plus celui d'une classe ordinaire. En effet, une partie du module a été menée lors d'une « Journée Sciences » qui 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 stagiaires professeurs des écoles en Master 2. 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 14 stagiaires ont pu interagir étroitement entre eux et avec les élèves. Les élèves qui ont participé à « l'atelier robotique » sont les 21 élèves d'une même classe de moyenne section-grande section de maternelle (MS-GS) n'ayant aucune particularité. Ils n'ont jamais eu l'occasion de voir, de manipuler des Bee-Bot et d'utiliser des tablettes numériques dans le cadre scolaire.

### ***Le dispositif de formation et de recherche***

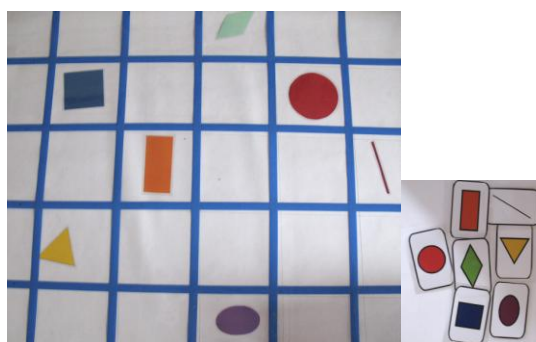
Le module de formation qui se décline initialement en 5 phases a été construit de manière à prendre en compte les 7 étapes du modèle de scénarisation de Komis et al (2011, 2015).

- La première phase consiste en une séance de 2 heures de formation menée par la première chercheuse. 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* » (Komis et al, 2015) n'a pas été menée par des entretiens individuels des élèves. Ici, c'est l'analyse des résultats de Komis et al (2015) qui s'est substituée aux entretiens. 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 objectifs de la scénarisation ont été identifiés par les stagiaires 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 2 heures. Elle est consacrée à « *la construction du matériel didactique* » et à « *l'élaboration des activités pour la séance d'enseignement* » (Komis et al, 2015). Le choix de la situation problème est alors discuté puisqu'elle a un impact direct sur la construction du matériel. C'est la connaissance des formes géométriques qui a été choisie. Elle a été considérée comme un prérequis et devait permettre aux élèves de se centrer sur la programmation. Les plateaux, les cartes pour la construction du langage intermédiaire, les jeux de cartes représentant des formes colorées ont été fabriqués comme présentés sur les figures 2 et 3.





**Figure 3. Plateau de déplacement du jouet programmable Bee-Bot et jeu de cartes des formes et des couleurs**

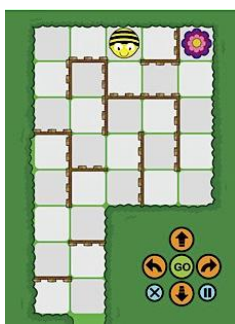
Les activités de classe qui reprennent les objectifs didactiques sont construites par les stagiaires autour de 4 temps de manipulation : la découverte des commandes du Bee-Bot, la création d'une séquence de codage pour construire le langage intermédiaire, la résolution du problème et l'évaluation à l'aide d'une simulation dans un I-Pad (figure 4). « *Des consignes spécifiques pour l'enseignant* » (Komis et al, 2015) sont données pour chaque temps. Le détail de ces activités est présenté dans le tableau 1 construit par les stagiaires comme une sorte de fiche de préparation de cours.

**Tableau 1. Scénario construit par les stagiaires**

Étapes du scénario	Éléments nécessaires au déroulement
Objectifs du scénario	Prendre en main des commandes de direction et d'orientation (avancer, reculer, droite, gauche) et de manipulation (démarrer et vider la mémoire) à l'aide de cartes de séquences de commandes qui les représentent Utiliser les commandes de direction et d'orientation de manière séquentielle et automatisée
Les compétences générales mises en jeu	Réaliser un trajet, un parcours à partir d'une représentation en construisant un raisonnement Se déplacer jusqu'à une forme définie (ex : un carré vert) en se repérant sur les cases d'un quadrillage Utiliser le vocabulaire définissant les positions
Compétences en jeu travaillées lors de la programmation	Les marqueurs spatiaux : devant, derrière, droite et gauche. La manipulation du jouet programmable à l'aide des boutons de commandes L'apprentissage du langage intermédiaire permettant la programmation du robot : construction d'une séquence depuis « vider la mémoire » jusqu'à « GO ».
Connaissances en jeu pré-requises	Savoir numéroter des objets du 1 à 10 Reconnaître les formes géométriques simples : carré, rectangle, cercle, losange Reconnaître les couleurs.
Première temps de manipulation : découverte des flèches de direction, de commande, de déplacement du Bee-Bot (rotation à 90° et « pas » de 1 case) et de la mémoire.	Un temps de manipulation libre sur le plateau vierge est donné. Consigne : Préciser aux enfants de bien se mettre derrière le Bee-Bot. 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 ». 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 »
Deuxième temps de manipulation : création d'une séquence de codages à l'aide des cartes du langage intermédiaire	L'enseignant montre les cartes de codage des actions du Bee-Bot. 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 ». 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. Il est donné l'opportunité d'y remédier.

Troisième temps de manipulation : Résolution de la situation problème	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. Un élève de l'équipe construit la séquence de codage, programme le Bee-Bot et les autres aident éventuellement au débogage en cas de non réussite (atteindre la case). Un autre élève tire une autre carte dans le jeu de l'enseignant et ainsi de suite.
Quatrième temps de manipulation : Évaluation par utilisation de l'application Bee-Bot dans l'I-Pad.	Objectif d'évaluation : les élèves construisent le « chemin » pour conduire le Bee-Bot vers la case d'arrivée sans utiliser le langage intermédiaire. Remarque : il ne s'agit plus de résoudre un problème puisque les chemins sont prédéfinis.

La « *conception de l'évaluation des apprenants* » (Komis et al, 2015) est ici menée par mise en situation des élèves face à une application numérique Bee-Bot conçue pour des I-Pad. Cette demande est faite par la chercheuse pour tenter 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 ?* ».



**Figure4. Exemple de « chemins » prédéfinis dans l'application Bee-Bot pour I-pad**

Une discussion et une mise en commun par les étudiants conduisent à l'élaboration d'un seul scénario pédagogique que tous devront mettre en œuvre. La totalité du scénario est expérimentée par les stagiaires eux mêmes pour s'assurer de sa cohérence. Ils s'approprient également de manière individuelle l'application Bee-Bot dans les I-Pad.

- La troisième phase s'est déroulée lors de la « Journée sciences » du 28 mai 2015. Les 14 stagiaires PE ont pris en charge les 21 élèves de la classe de MS-GS lors de l'atelier robotique. Ils n'ont eu aucune contrainte de temps. Deux stagiaires ont encadré une équipe de 3 élèves. Les 7 équipes sont disposées d'un Bee-Bot, des cartes pour construire le langage intermédiaire (figure 2), d'un plateau de déplacement et d'un jeu de cartes représentant les formes et des couleurs (figure 3).

- En accord avec notre cadre méthodologique, des adaptations du dispositif ont été faites après une première analyse de la mise en situation des stagiaires. Il a été donné l'opportunité à deux stagiaires (repérés dans le texte par S1 et S2) de renouveler l'expérimentation dans un contexte de classe ordinaire avec 24 élèves de CP-CE1 dans la classe de la deuxième chercheuse. 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 à l'issue de la mise en situation des stagiaires lors de la « Journée Sciences ». Son objectif était de diffuser les résultats de cette recherche auprès des 14 professeurs stagiaires pour qu'ils puissent améliorer leur compréhension des enjeux didactiques de cette scénarisation depuis la conception jusqu'à la pratique. Nous précisons que cette phase n'a pas pu être menée, l'année universitaire s'achevant.

### **Données**

Les phases de mise en situation des stagiaires dans l'encadrement des élèves de maternelle dans le cadre de la « journée sciences » et l'intervention des 2 stagiaires dans la classe de CP-CE1 (phases 3

et 4 du dispositif de formation et de recherche) ont été filmées. Pendant le déroulement de ces phases, les stagiaires sont interrogés en direct. Ils explicitent les actions et les choix faits en fonction des stratégies observées chez les élèves et des erreurs éventuelles qu'ils repèrent. Des notes ont également été prises par les deux chercheuses lors des observations des stagiaires et des élèves. Seules les notes des chercheurs constituent les données lors de la prise en main des applications Bee-Bot sur les I-Pad. En effet, l'enregistrement vidéo n'a pas été possible techniquement lors de cette étape du scénario.

## **Analyses et résultats**

Nous avons réalisé une analyse qualitative des stratégies adoptées par les stagiaires lors de la mise en place du scénario pédagogique. Nous avons regardé les écarts entre le scénario prévu et le scénarioréalisé. Cela nous a conduites à identifier 3 grandes catégories de stratégies adoptées par les différents groupes de stagiaires : (1) le non-respect du scénario initial, (2) le respect de celui-ci et (3) l'adaptation du scénario en fonction des élèves tout en respectant les étapes définies lors de sa construction. Nous avons ensuite caractérisé chaque stratégie et déterminer l'origine des modifications en analysant les actions et les verbalisations des élèves. 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 stagiaires PE et/ ou d'une compréhension erronée des différentes étapes de la scénarisation.

### ***Les stratégies des stagiaires PE pendant l'atelier robotique lors de la « Journée sciences »***

#### *1. Lenon-respect du scénario initial*

La première chose à noter est que le non-respect du scénario agénéralement mis les élèves en difficulté. Cependant différentes raisons peuvent être avancées. Certains stagiaires ont laissé le plateau avec les repères des formes et couleurs (figure 3), avant de travailler la prise en main des commandes du Bee-Bot. Les difficultés des élèves se sont alors manifestées dès le début lors de la résolution du problème, soit se rendre sur la case du « carré vert » sur le quadrillage. Les élèves ont dû à la fois découvrir 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 phase 4 du module de formation dans une classe de CP-CE1 a montré qu'au contraire, cette stratégie a 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. Certains stagiaires ne se sont pas assurés des prérequis 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 les élèves. C'est la forme qui a été mal identifiée par la confusion entre le carré et le rectangle. L'élève a d'ailleurs bien programmé son parcours. Alors qu'il est en réussite sur la programmation, il a été considéré comme ayant « échoué » par les deux stagiaires encadrant son groupe.

Nous avons aussi observé qu'une stagiaire avait 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. A 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. En la questionnant, il s'avère qu'elle avait elle-même des difficultés à se décentrer par rapport au robot. Elle n'a pas évoqué l'idée qu'elle aurait pu se mettre à côté des élèves et non en face.

Certains stagiaires éliminent carrément l'étape de construction du langage intermédiaire permettant de construire la séquence informatique pour programmer le déplacement du Bee-Bot. Leur explication est que « *c'est trop compliqué pour des élèves de cet âge* ». Les élèves programment alors pas à pas et ne progressent pas dans l'anticipation du « chemin » pour atteindre la case où se situe le « carré vert » sur le quadrillage. Pour ces deux stagiaires, les élèves sont en réussite puisqu'ils vont jusqu'au « carré vert ». Nous constatons que c'est la pratique du stagiaire liée à ses convictions qui restreint l'apprentissage à la prise en main d'une seule commande. Ils se centrent uniquement sur les savoirs mathématiques, qui pourtant avaient été considérés comme des prérequis dans le scénario. Ces deux stagiaires ne semblent pas avoir compris l'intérêt de l'utilisation du langage intermédiaire dans



l'apprentissage de la programmation. Nous notons d'ailleurs que, très vite, les 3 élèves de leur équipe se lassent. Nous pouvons considérer qu'aucun problème ne leur est réellement posé.

Un autre groupe de stagiaires n'a pas respecté le scénario dans son découpage temporel. Ils ont consacré beaucoup de temps lors de la prise en main des commandes de direction du Bee-Bot. Nous notons que 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 » qui était prévu dans le scénario. Ces stagiaires se sont focalisés sur la partie technique de la programmation. La discussion avec ces stagiaires met en évidence qu'ils avaient eux-mêmes des difficultés à prendre en main les commandes du robot.

### *2. Le respect du scénario initial*

Certains groupes de stagiaires ont respecté le scénario comme une succession d'étapes qui conduit les élèves à trouver un « chemin » pour conduire le Bee-Bot vers la case choisie. Cela a eu également pour conséquence de limiter la progression de certains élèves alors qu'ils étaient en 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 case depuis la case d'arrêt. Les stagiaires ont considéré ceci comme une erreur et ont remis le Bee-Bot au départ. Ces deux stagiaires 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 » est une situation à étudier de plus près dans la résolution de la situation problème par l'élève. La réaction de ces stagiaires 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 stagiaires 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 son sens aussi lorsque les « chemins » sont très longs dans la transformation d'une erreur en réussite.

Nous avons aussi observé que certains stagiaires 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.

### *3. Le respect des étapes du scénario avec des adaptations en fonction des élèves*

Face aux difficultés de certains élèves avec la rotation du robot sur lui-même et les flèches de direction, deux stagiaires 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 stagiaires 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 puisque ces élèves n'ont ensuite eu aucune difficulté avec les cartes de direction et la programmation.

Certains élèves d'une même équipe n'étaient pas d'accord sur le « chemin » à suivre pour résoudre le problème. Les deux stagiaires les encadrant 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 été testé.

Lorsqu'une erreur était repérée, ce binôme de stagiaires donnait l'opportunité à l'équipe d'élèves de trouver la source de l'erreur comme prévu dans le scénario. Ils ont également géré en même temps l'hétérogénéité des élèves en leur donnant la possibilité de fractionner le « chemin » à suivre et en proposant de rallonger ensuite le nombre d'actions pour que l'élève progresse. Ces deux stagiaires ont pris soin de faire pointer la forme mathématique sur le plateau avant que les élèves se lancent dans la construction d'un « chemin ». Ils ont considéré que la connaissance des formes géométriques faisait partie des prérequis et que ce n'était pas l'objet de l'activité en terme d'apprentissage. Il est à noter que même si l'élève ne connaissait pas le nom des formes, il avait les moyens de la retrouver sur le plateau par simple comparaison entre la carte tirée dans le jeu de l'enseignant et la forme présente sur le plateau. De plus chaque forme avait une couleur différente. Seule la connaissance des couleurs pouvait ainsi suffire à l'élève pour la retrouver !

Une discussion a eu lieu entre deux stagiaires d'une même équipe à propos de la disposition spatiale des cartes pour l'élaboration du chemin dans la construction du langage intermédiaire. 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 en argumentant que cela poserait moins de problèmes de décentration pour les élèves dans la mesure où cette bande verticale ainsi construite allait dans le sens global de l'avancée du robot. La deuxième explication avancée par ces deux professeurs stagiaires est que cela pourrait permettre de passer ensuite plus rapidement à l'écriture d'un algorithme, une action correspondant à une ligne en langage informatique. Nous précisons que ces deux professeurs stagiaires avaient déjà eu l'opportunité de programmer une fois en langage *Scratch*.

### ***L'utilisation de l'application Bee-Bot dans les I-Pad***

Lors de la manipulation des I-Pad par les stagiaires lors du module de formation, ceux-ci avaient constaté qu'il leur était plus difficile de se décentrer que lors de la manipulation des Bee-Bot sur les plateaux autour desquels ils pouvaient se déplacer physiquement. Ils n'ont pas vu que l'application de l'I-Pad permettait également de fractionner le « chemin ». Les élèves ont segmenté le parcours sur l'I-Pad comme sur le plateau quadrillé avec les Bee-Bot. La nécessité du langage intermédiaire prend tout son sens puisque nous avons observé que les professeurs stagiaires, comme les élèves, font plus souvent du « pas à pas » sur les I-Pad. Certains stagiaires 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 !

Les élèves ont développé d'autres stratégies sur l'I-Pad. 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 professeurs stagiaires qui remplaçaient systématiquement le Bee-Bot au « départ », ce qui 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 car certains professeurs stagiaires semblaient considérer la touche « recule » comme une marque d'erreur. Les commentaires de ces stagiaires font apparaître qu'ils attribuent le recours à cette commande dans les I-Pad à leurs pratiques moins directives. Ils considèrent l'I-Pad comme un support de « jeu » mettant un terme à l'activité de façon ludique et non pas comme un support d'apprentissage ou d'évaluation. Il est vrai que l'apprentissage est moins développé sur l'application de l'I-Pad. En effet, dans le « jeu », l'élève n'a pas le choix du « chemin » (figure 4). Cela va dans le sens des stratégies adoptées par certains stagiaires qui considéraient qu'un seul chemin pouvait être valide sur le plateau. Cependant, 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 l'I-Pad, le Bee-Bot rencontre des murs et la seule solution de débogage est alors le recours à la touche « recule ». Aucun des stagiaires ne s'est rendu compte de cette contrainte lors de l'activité.

#### *Cas particulier d'un stagiaire (S1) en situation de classe avec des CP-CE1 avec les I-Pad (phase 4 du module de formation et de recherche)*

Lors de la présentation de l'application du Bee-Bot sur l'I-Pad à la classe de CP-CE1, S1a anticipé un obstacle possible. Suite à la difficulté de décentration vécue personnellement, il a attiré l'attention des élèves sur la présence des flèches directives. Sur l'I-Pad, elles sont dans l'angle droit en bas (figure 4) 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 l'I-Pad car « *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* ». A cela, la même élève a répondu « *ben oui !* ». Nous constatons que la difficulté anticipée par S1 et liée à son vécu personnel n'en 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 l'I-Pad.

Les élèves du CP-CE1 s'approprient rapidement les I-Pad. 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 l'I-Pad, matérialisant physiquement le « chemin » avant de s'autoriser à programmer. S1 a cherché à faire évoluer les pratiques 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. En effet, 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 mais plutôt comme 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. Arthur 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. Gabriel 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 Gabriel en lui demandant de rejouer la partie sur le Tableau Blanc Interactif où l'application était projetée. Cependant la partie ne s'est pas déroulée de la même façon car 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 l'I-Pad pour soumettre une situation-problème à l'ensemble de la classe dans le but d'« enquêter » sur les différentes stratégies possibles. Les stratégies sont donc restées personnelles.

## **Discussion et conclusion**

Cette expérimentation met à jour des différences de compréhension et de mise en œuvre d'un même scénario pédagogique visant à développer la pensée informatique et la résolution de problème par utilisation de jouets programmables. Les stratégies des stagiaires PE 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. La difficulté majeure de certains de ces 14 stagiaires est de percevoir dans l'action, les stratégies des élèves et d'identifier le gain d'une stratégie par rapport à une autre. Il ressort de cette expérimentation 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 en fonction des différentes étapes du scénario pose des problèmes différents dans l'adaptation des pratiques de ces enseignants, bien qu'ils aient tous suivi le même module de 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 recherche sont en partie les mêmes. Nous nous attendions donc à ce que les stagiaires les identifient. Certaines stagiaires n'ont pas perçu l'importance de l'utilisation du langage intermédiaire dans la résolution du problème posé aux élèves. D'un point de vue de la recherche, il aurait été nécessaire de pouvoir conduire la phase réflexive (phase 5) du module de formation. Nous aurions présenté les résultats de cette recherche. Cela aurait pu conduire à repenser la scénarisation et les supports utilisés. Une réflexion sur le choix des formes colorées apparaît comme nécessaire. Le positionnement d'obstacles sur le plateau rédonnerait l'opportunité aux élèves d'utiliser la touche de commande « recule ». Cela apporterait des éléments de comparaison entre les stratégies des élèves lorsqu'ils utilisent les jouets programmables et l'application Bee-Bot de l'I-Pad.

Il serait souhaitable dans le cadre d'une nouvelle itération dans l'approche DBR, de procéder à des entretiens individuels pour chercher à comprendre pourquoi certains professeurs stagiaires ont compris l'intérêt et les objectifs d'apprentissage de la programmation. Cela apporterait des éléments pour comprendre pourquoi certains d'entre eux considèrent l'outil Bee-Bot au-delà d'un simple objet

ludique, bien qu'ils n'aient jamais eu de formation liée à l'informatique ou à la programmation. Les premiers résultats de cette première itération 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. Ce constat rejoint les résultats de la recherche de Baron et Voulgre (2014) menée autour de la programmation en langage *Scratch* avec des étudiants de Sciences de l'Éducation non spécialistes de l'informatique. En tenant compte de ces résultats, il est envisagé de procéder à des ajustements du module de formation pour le mois de mai 2016, dans le cadre d'une nouvelle itération. Les résultats de cette recherche seront présentés aux stagiaires de cette année universitaire 2015-2016 à l'issue du travail d'analyse de l'article de Komis et al (2015). Une analyse de la pratique des 14 stagiaires de cette recherche et des stratégies des élèves sera menée avec les stagiaires 2015-2016 afin de pointer les écueils à éviter. La scénarisation construite par les 14 stagiaires sera reprise et modifiée par les nouveaux en fonction des résultats de cette recherche. Un temps plus long sera consacré à l'expérimentation du scénario pour que la chercheuse repère les difficultés personnelles des nouveaux stagiaires dans la résolution du problème qui sera posé aux élèves.

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

## Bibliographie

- Barab, S. & Squire, K. (2004) Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13,1,1- 14.
- Baron, G.-L., & Bruillard, E. (2001). Une didactique de l'informatique ? *Revue française de pédagogie*, 135, 163-172.
- Baron, G.-L., & Voulgre, E. (2014). Initier à la programmation des étudiants de master de sciences de l'éducation ? Un compte rendu d'expérience. Drot-Delange, B. ; Baron, G.-L. & Bruillard, E. *In Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) en milieu éducatif*, 2013, Clermont-Ferrand, France. . Actes du quatrième colloque international DIDAPRO 4-Dida&Stic, 24-26 octobre 2011, Université de Patras. (p. 271-281).
- Béziat, J. (2008). *Les TIC et l'école primaire. Le cas français : 1976-2002*. [http://www.adjectif.net/spip/IMG/pdf/TIC\\_et\\_primaire.pdf](http://www.adjectif.net/spip/IMG/pdf/TIC_et_primaire.pdf)
- Brown, A. L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2, 2, 141- 178.
- Clements, D. H., & Nastasi, B. K. (1999). Metacognition, learning, and educational computer environments. *Information Technology in Childhood Education Annual*, 1, 5-38.
- Demo, G. B., Marciano, G., & Siega, S. (2008). Concrete Programming: Using Small Robots in Primary Schools. In *Advanced Learning Technologies: Proceedings of the Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 301-302).
- Denis, B., & Baron, G.L. (1994). Regards sur la robotique pédagogique. In *actes du quatrième colloque international sur la robotique pédagogique*. Paris : INRP.
- 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.
- Greff, E. (1999). En quoi le robot Algor constitue-t-il un objet didactique original ? *La revue de l'EPI*, 93, 127-150.
- Greff, E. (2001). Résolution de problèmes en grande section autour des pivotements à l'aide du robot de plancher. *Grand N*, 68, 7-16.
- Highfield, K., Mulligan, J., & Hedberg, J. (2008). Early mathematics learning through exploration with programmable toys. *Proceedings of the joint meeting of PME 32 and PME-NA XXX*, vol. 3 (pp. 169–176), Morelia, México, July 17–21, 2008.
- 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. In *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, Université de Patras. (p. 271-281).
- Komis, V., Misirli, A., (2015). Apprendre à programmer à l'école maternelle à l'aide de jouets programmables in Georges-Louis Baron, Eric Bruillard et Béatrice Drot-Delange (dir.) *Informatique en éducation: perspectives curriculaires et didactiques*, pp. 210-226, Clermont-Ferrand: Presses Universitaires Blaise-Pascal. ISBN :978-2-84516-697-4
- Pekarova, J. (2008). Using a programmable toy at preschoolage: Why and how? *Proceedings Workshop of SIMPAR 2008 International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots*, 112-121.
- Poullain, L., Girre, E. & Arrieta, M. (2015). Osons la robotique pédagogique en primaire. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 109, 383-394.
- Sandoval, W. A. & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. *Educational Psychologist*, 39, 4, 199- 201.