

L'usage des jouets programmables à l'école maternelle : concevoir et utiliser des scénarios pédagogiques de robotique éducative

Vassilis Komis et Anastasia Misirli

*Department of Educational Sciences and Early Childhood Education, Université de Patras, Grèce
amisirli@upatras.gr, komis@upatras.gr*

Résumé

L'objectif du présent travail est l'étude de la conception et de l'implémentation des scénarios pédagogiques concernant l'usage de la robotique éducative et plus précisément des jouets programmables à l'école maternelle. Dans ce contexte, on étudie, à l'aide de la recherche évaluative orientée vers la conception (design based research), le processus de conception, d'application et d'évaluation des scénarios éducatifs dans des contextes réels de classes maternelles. Ces scénarios ont pour but le développement des concepts préliminaires de programmation et des concepts mathématiques par les enfants de la maternelle. Une analyse préliminaire de l'implémentation d'un scénario typique concernant les représentations des enfants sur les jouets programmables et sur leurs idées mentales des commandes de programmation du robot programmable montre qu'il y a eu une évolution importante de celles-ci vers les objectifs prévus par le scénario.

Mots clés

Robotique pédagogique, jouets programmables, scénarios pédagogiques

Introduction

La robotique, en tant que domaine scientifique et technologique, est constituée par l'ensemble des méthodes et des techniques de conception et de mise en œuvre des robots. En règle générale, l'activité de robotique consiste à concevoir, à construire et à piloter à l'aide d'un langage de programmation un objet technique (le robot construit). Dans un sens large, il s'agit d'une activité d'ordre transversal faisant intervenir des compétences en plusieurs domaines comme la mécanique pour la conception de l'infrastructure, la technologie pour la construction technique, les sciences physiques pour l'électronique, le dessin technique pour les plans, les arts plastiques pour l'esthétique et l'informatique pour le pilotage du robot (Marchand, 1992).

La robotique trouve depuis les années 1960 des usages intéressants en éducation. Ces usages constituent un courant éducatif, désigné par le terme de *robotique pédagogique*, qui est inscrit dans l'approche de l'apprentissage par la découverte en Logo dont le dispositif robotique (tortue de sol) est associé à un langage de programmation, simple au niveau de l'interface mais puissant au niveau de commandes, à l'aide duquel les apprenants développent des compétences transversales. Il s'agit, en d'autres termes, d'environnements technologiques reposant sur l'usage d'interfaces techniques qui permettent aux apprenants de manipuler des objets et d'expérimenter à partir de situations de la vie réelle. La robotique pédagogique se situe au carrefour de deux approches éducatives très fécondes au plan cognitif : les activités de manipulation et de construction des objets tangibles à la base des dispositifs de type Lego ou autres, et les micromondes programmables (Depover, Karsenti & Komis, 2007).

Dans cet article nous étudions quelques aspects de la robotique pédagogique et notamment son implication dans des activités scolaires à l'école maternelle. L'accent est mis sur la conception de la scénarisation pédagogique, l'implémentation et l'évaluation des scénarios utilisant des jouets programmables dans des conditions réelles en classe. La première partie présente le concept de la robotique pédagogique, la deuxième partie analyse les travaux des recherches de robotique en petite enfance, la troisième partie expose les affordances du jouet programmable Bee-Bot et la quatrième partie développe notre approche de scénarisation pédagogique en déployant un scénario précis. La cinquième partie analyse les données de l'implémentation de ce scénario quant aux aspects préliminaires à la programmation d'un robot et la sixième partie compare les résultats de notre recherche aux résultats des travaux précédents et expose des nouvelles perspectives à explorer.

La robotique pédagogique

La robotique pédagogique constitue une approche didactique originale, fondée sur une méthode d'apprentissage utilisant des dispositifs programmables et la mise en œuvre d'une « pédagogie par projet » (Denis & Baron,

1994 ; Depover et al., 2007). Elle se définit par l'utilisation des technologies informatiques dans leurs fonctions d'observation, d'analyse, de modélisation et de contrôle de différents processus physiques. La robotique pédagogique s'adresse à différents types d'apprenants (de l'école maternelle à la formation d'adultes) dans un objectif d'initiation à la démarche scientifique et de développement des compétences techniques et informatiques. Cette démarche permet à l'apprenant de se familiariser avec les technologies informatiques au sens large et de les employer pour définir un projet, le structurer et trouver une solution concrète au problème posé en confrontant son point de vue avec d'autres.

La robotique pédagogique, issue des travaux de recherche en Logo, est un exemple caractéristique de micromonde matériel et symbolique. Les robots pédagogiques peuvent prendre diverses formes allant d'un simple ordinateur contrôlant un objet périphérique (des maquettes de mesures en sciences physiques, une automobile, des systèmes automatisés) jusqu'à un automate intelligent ou un simulateur d'expérimentation (Leroux, Nonnon & Ginestie, 2005). La robotique pédagogique s'inscrit directement dans une approche constructiviste d'apprentissage. C'est un outil pédagogique apte au développement des compétences cognitives de haut niveau.

Le robot programmable constitue un nouvel objet technique de l'environnement des enfants. Il mémorise une suite de commandes et les exécute séquentiellement. Il peut ainsi permettre aux enfants d'explorer l'espace par l'intermédiaire de la technologie. Le robot incarne une entité douée d'autonomie capable d'accomplir des missions fixées à l'avance dans un environnement variable. Le robot peut être utilisé à l'école comme un outil efficace permettant d'agir sur le développement cognitif des enfants mais c'est aussi un objet technologique dont il ne faudrait pas négliger la portée pédagogique en tant qu'artefact d'appropriation de connaissances techniques. Le robot, par son caractère anthropomorphique, constitue un puissant outil de médiation qui, par un effet de miroir, permettra aux enfants de prendre conscience de la façon dont l'individu fonctionne (Bossuet, 1982). Soulignons également l'aspect ludique des automates programmables, facteur important de motivation à l'école maternelle ou élémentaire.

Les robots programmables s'étalent des constructions très sophistiquées, telles que les robots NAO ou les Lego Mindstorms, aux jouets programmables, comme les Pro-Bot ou les Bee-Bot. La plupart des recherches concernant l'usage de la robotique dans un contexte éducatif utilisent ces environnements robotiques programmables ou des constructions plus simples en briques (comme LEGO™, Duplo™, Primo™ blocks). Ces recherches se développent autour de deux axes : l'axe de construction (concevoir et construire un objet technique sous la forme d'un robot), et l'axe de la programmation (concevoir des algorithmes et les mettre en œuvre à l'aide d'un langage pour piloter un robot), si l'environnement le permet (Lego-WeDo ou Lego-Mindstorms). Les environnements robotiques dont ces recherches ont recours, à raison de leur complexité, ne sont pas appropriés pour des usages au niveau de l'école maternelle.

Depuis quelques années, un courant de la robotique pédagogique met l'accent sur la programmation des robots préconstruits. Dans ce contexte, la partie de construction n'est plus en considération et les efforts sont concentrés sur les aspects d'apprentissage et de l'expression au biais d'un langage de commandes (un micromonde programmable). Dans ce cas, le contexte pédagogique de la robotique peut s'étendre dans le contexte de l'école maternelle.

Les travaux sur la robotique pédagogique en petite enfance

Les potentialités cognitives de la robotique pédagogique au sein de la petite enfance sont étudiées depuis longtemps. On peut recenser quelques travaux pionniers des années 1980, issus directement du courant Logo, avec des dispositifs expérimentaux dont la mise en œuvre en classe n'était pas toujours évidente à cause de la complexité du matériel informatique. Les jouets programmables s'inscrivent dans l'approche épistémologique et psychopédagogique du langage Logo qui favorise le développement de la compétence métacognitive au sein de laquelle les enfants pensent de manière réflexive concernant les processus de la pensée qui ont réalisés. Dans ce cas, il améliore la compétence de résolution des problèmes et développe la compétence de l'orientation spatiale et la sensibilisation des enfants par rapport aux schémas et aux angles (Clements & Nastasi, 1999; Clements & Sarama, 2002).

La robotique pédagogique utilise des outils tangibles qui sont très appropriés au niveau développemental pour les enfants de l'école maternelle. L'usage des outils tangibles est un élément motivant qui favorise l'activation des enfants envers l'apprentissage et leur implication dans des activités inscrites dans un contexte ludique et plein de signification. De plus, dans ce contexte de l'apprentissage par le jeu, la construction des notions abstraites et des habiletés sociales, très importantes pour cette classe d'âge, est renforcée (Bers & Horn, 2010; Yelland, 2007). La robotique est un outil pour les enfants pour appliquer des notions mathématiques, des activités d'exploration scientifique et de résolution de problèmes (Rogers & Portsmore, 2004). De plus, la

robotique revêt un aspect transversal qui lui permet d'être facilement intégrée dans les contenus scolaires (Bers & Horn, 2010).

La partie de conception et de construction des objets techniques nécessite des habiletés mentales et motrices qui ne sont pas encore développées par les jeunes enfants. Par ailleurs, les concepts de programmation nécessaires doivent être mis en œuvre à l'aide des logiciels adéquats, dont le niveau d'abstraction ne correspond pas à la pensée des enfants de la maternelle. Néanmoins, des chercheurs tels qu'Eric Greff ont développé des méthodes pour aborder des concepts d'algorithmique en s'appuyant sur un langage de commande graphique restreint mais assez puissant pour décrire des algorithmes simples concernant le pilotage d'un robot de plancher (Greff, 1996, 2000). Dans ce contexte, l'enfant, en jouant le rôle du robot, est tour à tour programmeur et programmé, concepteur et exécutant et peut développer des concepts de programmation. Des robots de plancher directement programmables à l'aide d'une interface tels que Roamer ou Bee-Bot permettent de travailler des concepts de programmation avec de jeunes enfants. Par la suite, nous décrivons les recherches dont l'objet concerne l'usage des robots programmables dans le contexte des écoles primaires ou maternelles.

La recherche de Beraza, Pina et Demo (2010) présente des activités de robotique destinées à des maîtres d'écoles primaires et maternelles pour les aider à améliorer leurs pratiques didactiques. Ces chercheurs considèrent que le Bee-Bot est approprié pour la petite enfance mais qu'il n'offre que des possibilités limitées de programmation. Pour aider les enseignants à concevoir des scénarios pédagogiques adéquats autour des robots programmables, une interface tangible (appelée Arduino) a été développée sous la forme d'une table interactive.

Dans une autre recherche, Pekarova (2008) étudie le développement des pratiques didactiques efficaces à l'école maternelle à l'aide des TIC. Dans un contexte de design participatif, elle montre que le développement des concepts de programmation chez les jeunes enfants nécessite un accompagnement solide et organisé qui se base sur l'usage d'objets tangibles tels que les robots programmables. Mais cet usage n'est pas suffisant pour la motivation des enfants. Il doit également être accompagné de situations-problèmes adéquates et d'outils appropriés (quadrillages).

Un réseau d'enseignants en Italie s'occupant de l'usage éducatif de la robotique a été étudié pendant quelques années (De Michele, Demo & Siega, 2008). Les écoles maternelles du réseau ont utilisé le jouet programmable Bee-Bot dans des activités de programmation et de mathématiques (mesurer, additionner, etc.). Ce contexte s'avère adéquat pour les enfants qui développent des capacités de résolution de problèmes, d'apprentissage par l'exploration, de raisonnement logique et d'énumération.

De leur côté, Highfield et Mulligan (2008) décrivent un cas d'usage du jouet programmable Bee-Bot dans lequel un enfant de cinq ans participe à des expériences d'apprentissage en mathématiques soutenues par la technologie. Cet enfant, par un jeu d'exploration libre du jouet programmable, découvre les concepts d'orientation et de rotation : la notion de pivotement du jouet se construit après plusieurs essais de déplacement du jouet. Des résultats similaires, où des concepts mathématiques (mesures et transformations géométriques) apparaissent de manière précoce en utilisant le Bee-Bot, sont présentés dans une autre recherche de Highfield, Mulligan et Hedberg (2008).

Quant à la recherche de João-Monteiro, Cristóvão-Morgado, Bulas-Cruz et Morgado (2003), elle décrit les résultats d'une intervention didactique développementale dans des écoles maternelles au Portugal. Le Robot programmable Roamer a été utilisé pour aider les enseignants à comprendre l'intérêt des TIC en tant qu'outils cognitifs. Des gains d'apprentissage ont été constatés au niveau de l'usage des symboles, le mouvement dans l'espace, le développement de la compétence à se situer dans l'espace en utilisant leurs corps en tant que système de référence, la représentation des trajets, l'usage d'objets réels, etc.

En résumé, les activités de robotique en maternelle, autour des jouets programmables de type Bee-Bot, font de plus en plus l'objet de recherches scientifiques. En ce qui concerne le développement des compétences de programmation, un besoin de contextualisation adéquate s'avère nécessaire pour motiver les jeunes enfants. Dans ce contexte, le jouet programmable peut avoir un potentiel cognitif (Depover et al., 2007) pour le développement d'autres compétences relatives aux mathématiques et aux stratégies de résolution de problèmes.

Il est à noter que la robotique pédagogique occupe depuis quelques années une place dans certains programmes scolaires de l'école maternelle. Par exemple, dans le curriculum pour la maternelle de l'Angleterre, les jouets programmables sont abordés dans la section des mathématiques alors que les enfants doivent organiser le trajet d'un jouet pour développer la compétence de la description de l'espace et l'estimation de la position et de l'orientation. En Australie, le ministère de l'éducation a publié un guide contenant des activités pour l'introduction des jouets programmables (Bee-Bot) à l'école maternelle (Kopelke, 2007). En Grèce, les nouveaux programmes scolaires de la maternelle prescrivent des activités de robotique pédagogique à l'aide des jouets programmables. En Malte également, des projets pilotes utilisent le jouet Bee-bot pour des activités dans les différentes disciplines à l'école maternelle et primaire.

Les jouets programmables

Comme il a été discuté dans la section précédente, le jouet programmable Bee-Bot occupe une place particulière dans les recherches en robotique pédagogique au sein de la petite enfance. Le Bee-Bot constitue l'équivalent contemporain de la tortue Logo, c'est-à-dire c'est un robot de sol qui comporte une interface tangible pour le programmer directement (figure 1) sans faire appel à un logiciel informatique. Les enfants peuvent par conséquent programmer le robot pour effectuer des trajets sur des quadrillages au sol. Dans le cas du Bee-Bot, il ne s'agit pas d'un robot à la forme d'une tortue mais d'une abeille programmable. Pour la programmation de ce jouet programmable nous n'avons pas besoin d'un ordinateur et d'une télécommande, mais on le manipule de manière directe à l'aide des quelques boutons placés sur son dos.

Le contrôle des actions du Bee-Bot se fait donc à partir d'une interface tangible se trouvant sur la partie supérieure du jouet et comportant un ensemble de boutons de différentes couleurs (figure 1). Les enfants, par le biais de cette interface, lui donnent des ordres pour le déplacer et l'orienter. Il s'agit des ordres simples à l'aide des quatre boutons oranges : AVANCE et RECULE (un pas est égal à la longueur du jouet (15 cm)), DROITE et GAUCHE (le jouet n'effectue que des rotations d'un angle droit) pour le faire déplacer. Le bouton vert (GO) sert à démarrer le jouet dès qu'une série de commandes est donnée. Il sert aussi à arrêter le jouet avant que la séquence des commandes soit finie. Il y a également deux boutons de couleur bleu : le bouton CLEAR sert à effacer les commandes enregistrées en mémoire. La mémoire du jouet programmable accepte jusqu'à quarante (40) commandes consécutives. Le bouton PAUSE offre la possibilité d'interrompre de manière momentanée (une seconde) l'exécution des commandes.

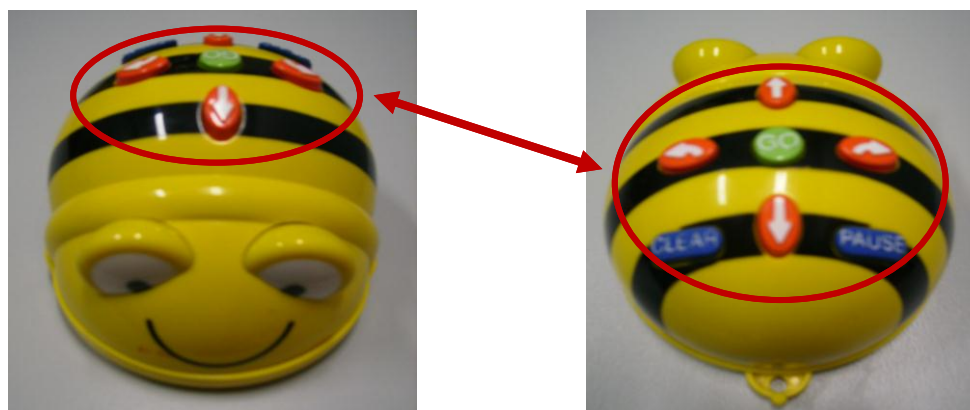


Figure 1. Le jouet programmable Bee-Bot et son interface de manipulation

Le jouet offre également une rétroaction sonore quand on introduit une commande et visuelle quand une séquence de commandes est terminée. Un logiciel de simulation peut accompagner le jouet programmable. Sur l'interface du logiciel, l'utilisateur simule les mouvements du Bee-Bot. Il s'agit dans ce cas de manipulation virtuelle du Bee-Bot sur un tapis numérique soit par navigation directe, soit par navigation commandée par un programme écrit directement à l'ordinateur.

Un modèle de scénarisation éducative en robotique pédagogique

Dans cette partie, nous présentons un modèle de scénarisation pédagogique concernant l'usage des jouets programmables à l'école maternelle. Nous décrivons d'abord la méthodologie de notre approche, pour ensuite développer les principales phases de la scénarisation avant de conclure par la présentation des premiers résultats de notre expérimentation en situations réelles avec les enseignantes dans le contexte du projet européen Fibonacci (<http://www.ecedu.upatras.gr/fibonacci/>).

Méthodologie

La recherche en cours s'inscrit dans le cadre d'une recherche évaluative orientée vers la conception (*Design based research*). Cette forme de recherche s'intéresse à la mise au point de programmes ou de dispositifs pédagogiques dans le cadre d'un processus itératif où alternent la conception, le développement et la prise de mesure sur le terrain de manière à assurer le meilleur ajustement possible de ces programmes ou de ces

dispositifs aux besoins des bénéficiaires (Depover, Karsenti & Komis, 2011). Plus précisément, la présente recherche s'intéresse à la conception et l'implémentation de scénarios éducatifs à l'aide des TIC pour l'éducation préscolaire. Elle met l'accent sur la conception de scénarios qui utilisent des jouets programmables et la façon dont ces scénarios peuvent soutenir la construction des notions au sein des différentes disciplines telles que l'informatique, les mathématiques, etc.

La littérature de ce domaine est très restreinte, de fait, les interventions didactiques utilisées dans les recherches recensées sont souvent très sommaires. Il n'en ressort pas une conception globale de scénario mais plutôt un ensemble d'activités plus ou moins organisées. D'ailleurs, pendant les activités initiales il n'y a souvent qu'une entrevue individuelle avec les enfants où on pose en principe une seule question du genre « dis-moi ce qu'est un robot » (Pekarova, 2008). Dans d'autres cas, les questions posées concernent également l'expérience préalable des enfants avec les jouets programmables et leur manipulation (Highfield & Mulligan, 2008; Highfield et al., 2008).

Dans les études recensées, on ne repère pas un cadre communicationnel précis et bien organisé concernant l'apprentissage des notions de programmation de robot. En d'autres termes, on ne recense pas de situations-problèmes autour desquelles se structurent les apprentissages envisagés quant à la programmation du robot. Dans deux études, on trouve une démonstration simple, effectuée par les chercheurs, d'un trajet dont on préconise la reproduction par les enfants (Highfield & Mulligan, 2008; Highfield et al., 2008). Par ailleurs, selon Pekarova, (2008), le jouet programmable ne constitue pas en lui seul un cadre de motivation permanente pour garder longtemps l'attention et l'intérêt des enfants. De plus, la manipulation et le contrôle du jouet n'est pas toujours évidente, notamment quand le nombre des enfants de l'équipe est élevé.

La création d'un « pseudo langage » à l'aide duquel les enfants arrivent à communiquer avec le robot apparaît comme une stratégie didactique adéquate. Dans ce contexte, certains chercheurs créent un ensemble complet de cartes à programmer (Greff, 1998) qui représentent le jeu de commandes qu'un robot peut exécuter. En revanche, d'autres chercheurs aident les enfants à construire un jeu de cartes plus limité pour programmer le robot (Roamer) à accéder des contenus spécifiques tels que des schémas ou des couleurs (João-Monteiro Cristóvão-Morgado, Bulas-Cruz & Morgado, 2003). Par ailleurs, la plupart des recherches n'ont pas eu lieu dans des conditions réelles en classe et n'ont pas été conduites par les enseignants mais plutôt par les chercheurs (Highfield & Mulligan, 2008 ; Highfield et al., 2008). Une recherche de Greff (1996) a certes eu lieu dans des conditions réelles en classe de maternelle mais il n'a pas utilisé un véritable dispositif robotique : ce sont les enfants eux-mêmes qui ont joué le rôle de l'enfant-robot pour développer des concepts de programmation. Dans d'autres recherches, le robot Roamer a été utilisé dans des conditions de classe pour aborder des concepts de programmation et des concepts mathématiques (Greff, 2001 ; João-Monteiro et al., 2003).

Au niveau du contenu, les concepts préliminaires de programmation (par exemple la séquence de commandes) et les concepts mathématiques (par exemple des mesures et des transformations géométriques) sont ceux qui sont le plus souvent abordés chez les enfants de la maternelle à l'aide des jouets programmables. Dans leur recherche, João-Monteiro et al. (2003) ont employé une approche interdisciplinaire pour la conception des activités de robotique pédagogique.

Le modèle de scénarisation pédagogique dont nous tenons compte pour la conception des scénarios éducatifs en robotique se base sur un modèle plus général (Komis, 2010) et sur l'analyse des travaux de recherches. Dans ce contexte, nous avons organisé le scénario analysé dans cet article autour des concepts provenus de deux disciplines (informatique et mathématiques) en suivant sept phases de conception, décrites dans la section suivante.

Conception du scénario pédagogique

La conception et la construction du scénario tiennent en compte les spécificités de la petite enfance et les difficultés inhérentes aux notions de programmation. Par exemple, Pekarova (2008) met l'accent sur la difficulté d'utiliser le jouet programmable Bee-Bot quand on essaie à introduire des concepts de programmation aux jeunes enfants sans l'aide des activités bien organisées. Une contextualisation appropriée s'avère donc nécessaire. Dans ce contexte, on conçoit des situations-problèmes adéquates étendues sur toutes les phases de la réalisation du scénario. D'autres spécifications sont prises en compte pour mieux intégrer les résultats des recherches ou pour dépasser les lacunes méthodologiques soulevées :

- Entretien personnel pour détecter et évaluer à l'aide d'une série de questions (dix questions dans le scénario expérimenté) les idées initiales et les représentations des enfants à propos des différentes fonctions du jouet programmable.
- Création d'un contexte communicationnel organisé, autour duquel se structure une situation-problème contenant des activités d'enseignement pour les notions de programmation.

- Évolution progressive du degré de difficulté conceptuelle des activités et de l'implication des enfants dans le déroulement du scénario.
- Usage de contrat didactique précis en classe pour organiser l'accès et l'interaction avec le jouet programmable par les membres de différentes équipes.
- Création d'un jeu de cartes représentant les commandes de programmation du jouet programmable. Plus précisément, les différentes cartes doivent représenter toutes les commandes du jouet permettant ainsi l'« écriture » des programmes et le soutien des enfants pendant la latéralisation et la manipulation.
- Conception et implémentation du scénario dans des contextes réels en classe où les enseignants jouent un rôle de facilitateur et de co-investigateur.

Le scénario pédagogique se construit selon sept phases (Komis, 2010) : 1) détermination de l'objet didactique du scénario (titre du scénario pédagogique, disciplines concernées), 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 (conventionnel et numérique), 5) définition des activités de réalisation du scénario en classe (séances d'enseignement), 6) conception de l'évaluation des apprenants et du scénario et 7) consignes spécifiques pour les enseignants.

Les activités de robotique conçues prennent place à l'aide du jouet programmable Bee-Bot. Par conséquent, la scénarisation pédagogique ne prévoit pas d'activités de construction d'un robot, parce que les enfants de l'école maternelle n'ont pas les capacités cognitives nécessaires pour le faire. Dans ce contexte, le scénario conçu n'est donc pas intéressé par les domaines de la conception de l'infrastructure (la construction du robot), mais il met l'accent sur le pilotage du robot qui a trait aux aspects informatiques (la programmation du robot). L'objet didactique du scénario proposé concerne la programmation des jouets programmables et comporte trois axes :

- Manipuler, contrôler, et programmer le jouet programmable de manière organisée.
- Comprendre des concepts de la direction et de l'orientation (AVANCE, RECALE, GAUCHE, DROITE) en utilisant le jouet programmable Bee-Bot.
- Faire des estimations, des comparaisons et des représentations des trajets.

Dans la section suivante nous présentons de manière détaillée la partie du scénario qui est relative aux activités de la programmation (manipulation, contrôle et mémoire).

Présentation du scénario pédagogique

Objectifs du scénario pédagogique

- Les enfants se familiarisent avec les commandes de direction et d'orientation (avancer, reculer, droite, gauche) ainsi qu'avec les commandes de manipulation (démarrer et vider la mémoire) à l'aide de cartes de séquences de commandes qui les représentent.
- Les enfants utilisent des commandes de direction et d'orientation de manière séquentielle (une par une) et de manière automatisée (une série de commandes).
- Les enfants programment le jouet programmable (de manière séquentielle et automatisée) dans l'espace par rapport à des points de repère.

Connaissances en jeu

Connaissances préliminaires

En mathématiques : (notions de base et connaissances spatiales) : numéroter des objets du 1 à 10, orientation (devant – derrière, gauche — droite : système de référence le corps des enfants), places des objets dans l'espace par rapport au corps des enfants, approche intuitive des relations spatiales (à côté, dedans, dehors, sous, sur, etc.).

En TIC (jouets programmables) : connaissance intuitive de la mise en marche.

Connaissances à acquérir

La manipulation du jouet programmable, les fonctions de base (on – off, pause), le contrôle utilisant un langage de commandes (mouvement et pivotement) du jouet programmable, la mémoire du jouet programmable : les commandes sont sauvegardées et exécutées.

Selon les objectifs, le scénario se déroule en deux phases. Avant et après ces phases, il y a la phase préliminaire d'entretien et la phase des activités de l'évaluation.

Phase 1 : Orientation et mouvement

À la fin de la séance, les enfants doivent être d'accord sur a) la fonction des flèches de déplacement et de la commande « GO » et b) la succession des commandes : d'abord on enregistre la commande (appui sur les flèches) puis on l'exécute (appui sur « GO »).

Organisation de la classe : les élèves sont en équipe. Faire en sorte qu'ils soient placés derrière le Bee-Bot. Ensuite, les élèves sont répartis en groupe (de 4 à 7 enfants).

Les questions à poser par l'enseignant aux enfants pour motiver l'exploration : « Qu'est-ce que cet objet ? », « Que fait-il et comment fonctionne-t-il ? »

Stratégie didactique 1 : Expérimentation avec le jouet programmable Bee-Bot, observation de la fonction-mouvement.

Description de la séance : Les élèves sont invités à expérimenter le robot (5 à 10 minutes). Ils peuvent tester les différents boutons de façon à découvrir leur fonction. Il faut préciser aux enfants qu'ils ne peuvent utiliser que les flèches et la commande GO (boutons verts et orange). Les inviter à se placer derrière le Bee-Bot. Passer dans les groupes pour échanger avec les enfants (ont-ils réussi à utiliser le robot, qu'ont-ils compris ?).

Temps d'échange collectif (classe entière) : exemples de questions à poser par l'enseignant aux enfants : « Qu'est-ce qui se passe avec le Bee-Bot quand on touche la flèche ? », « Qu'est-ce qui se passe avec le Bee-Bot quand on touche le bouton VERT ? », « Quel nom peut-on donner au bouton de couleur vert ? ».

Stratégie didactique 2 : Discussion avec les enfants, enregistrement des résultats en groupe.

Description de la séance : Demander à un enfant de mettre en marche le robot. Puis demander, en les pointant un à un, à quoi servent les 5 boutons étudiés. Confronter les points de vue. Tester les réponses des enfants pour valider. Demander aux enfants « Quel nom peut-on donner aux boutons de couleur vert et orange ? »

Phase 2 : Vider la mémoire (commande « CLEAR »)

À la fin de la séance les enfants doivent avoir compris le principe de la commande « CLEAR ».

Pour les séances suivantes, habituer les élèves à suivre cette procédure : Clear + Flèches + Go (notion du programme dans le contexte du Bee-Bot).

Organisation de la classe : Faire en sorte que les enfants soient placés derrière le Bee-Bot.

Temps 1 : Utilisation des flèches et de la commande « GO » uniquement.

Question à poser aux enfants pour motiver l'exploration : « Le Bee-Bot fait-il seulement ce que les cartes représentent ? »

Stratégie didactique : Coopération en équipe où en classe entière, participation active, exploration, découverte.

Description de la séance : l'enseignant montre les cartes de direction (flèches) et demande à un élève de choisir une carte. Mettre la carte bien en vue avec la carte de bouton VERT (commande GO) et faire en sorte que le robot exécute le mouvement. Ensuite demander à un enfant de choisir une autre carte. Demander aux enfants comment procéder. Exécuter la commande : le robot exécute cette nouvelle commande, mais également la commande précédente ! (créer un conflit cognitif).

Temps 2 : Utilisation du bouton « Clear ».

Questions à poser aux enfants pour motiver l'exploration : « Est-ce qu'il y a un autre bouton que nous n'avons pas essayé ? », « Comment on peut appeler le bouton qui remet à zéro les instructions de notre ami ? ».

Stratégie didactique : Discussion avec les enfants, enregistrement des résultats en classe entière.

Description de la séance : Demander aux enfants de trouver pourquoi le robot fait cela (se servir des cartes de commande en montrant que la première carte est toujours sur la table : on ne l'a pas enlevé (physiquement de la table et symboliquement de la mémoire du robot). Appuyer une nouvelle fois sur le bouton « GO » pour montrer que la séquence se répète. Faire réfléchir les enfants à ce qu'il faudrait faire (il faut effacer !). Parler du bouton bleu qui n'a pas encore été utilisé (commande CLEAR).

Test : Appuyer sur « Clear » (symboliquement enlever les deux cartes posées sur la table). Puis appuyer sur GO « Que va-t-il se passer ? » Choisir une nouvelle carte de direction, appuyer sur la flèche correspondante, puis GO. Choisir une autre carte. Avant d'appuyer sur la flèche, appuyer sur « Clear » (enlever l'ancienne carte sur la table). Etc. Demander aux enfants de donner un nom au bouton bleu.

Directives conclusives aux enfants pour la programmation du jouet programmable : D'abord on vide (« Clear ») la mémoire Bee-Bot (nettoyer les commandes existantes). Ensuite on introduit les commandes de couleur ORANGE (pour le faire déplacer ou tourner). En fin on introduit la commande de couleur VERT (pour démarrer les commandes). Dernière remarque : quand le Bee-Bot pivote il reste à la même position.

Implémentation du scénario pédagogique

L'implémentation du scénario pédagogique a été liée au déroulement du projet européen Fibonacci. Dans ce sens, le scénario a été appliqué dans un contexte réel en classe après une série de séminaires de formation au sein du projet. Les enseignantes de sept écoles maternelles ont pris part à ces séminaires de formation. La première phase de l'étude s'est déroulée pendant l'année 2010-2011. Une seconde phase de l'étude se déroule pendant l'année 2011-2012.

Les enfants (de 4 à 6 ans) des quatre écoles (parmi les sept du projet) participant à la présente étude (nombre d'élèves=92) ont travaillé en équipe de quatre à sept personnes en utilisant le dispositif robotique dans un contexte d'initiation aux concepts de programmation de type Logo. Ce dispositif robotique comprenait le jouet programmable Bee-Bot, le logiciel associé, des planchers en carton plastifié ainsi que les cartes à programmer le jouet conçues spécialement pour le scénario pédagogique.

L'implémentation complète du scénario a été mise en œuvre suivant cinq activités. La première activité a été dédiée à l'étude des idées initiales et des difficultés cognitives des enfants sur des manipulations du jouet programmable, son fonctionnement, son « langage » de commandes et sa « mémoire ». Cette activité s'est déroulée avant que les enfants mettent en marche le jouet programmable (phase préliminaire). En sa présence, ils ont exprimé leurs idées pour les usages éventuels de Bee-Bot et ils ont fait des dessins. Les deux *activités* suivantes du scénario (les phases 1 et 2 décrites dans la section précédente) ont mis l'accent sur la découverte et la familiarisation des commandes de direction et de pivotement du robot (AVANCE, RECULE, TOURNE DROITE, TOURNE GAUCHE) et aux commandes pour démarrer (GO) et vider (CLEAR) la mémoire du jouet à l'aide des cartes de programmation conçues pour représenter ces commandes.

La quatrième *activité* s'est centrée sur l'introduction des commandes au robot de manière séquentielle (vider la mémoire (CLEAR), taper une commande (p.e. AVANCE, TOURNE DROITE, etc.) et ensuite taper sur démarrer (GO)) et la cinquième *activité* a consisté à « écrire » le programme de manière automatique, c'est-à-dire à produire un algorithme complet et à l'exécuter. Ces activités ont été encadrées par d'autres activités concernant des notions mathématiques (mesure, estimation, comparaison directe et indirecte de longueurs) et elles ne sont pas décrites et analysés de manière détaillée dans la présente étude.

Analyse des Données

Dans cette section, nous étudions les données concernant l'évolution des représentations des élèves sur les jouets programmables et les idées mentales sur les commandes de ces jouets après l'implémentation du scénario éducatif. Les représentations des enfants ont été détectées à l'aide d'une entrevue individuelle pendant laquelle chaque enfant a été questionné sur le jouet programmable a) avant d'avoir la possibilité de le manipuler (pour connaître ses représentations initiales) et b) après le déroulement complet du scénario (pour connaître ses représentations finales). Il y a eu deux catégories de questions posées aux enfants. La première catégorie concernait les principales images mentales à propos du Bee-Bot : par exemple, *qu'est-ce que tu penses qu'il est, qu'il fait et comment le fait-il*. La deuxième catégorie des questions concernait les touches de commandes apparaissant sur le Bee-Bot : pour chaque touche l'enfant a émis une description de sa représentation. Après chaque entretien individuel (phase préliminaire et phase d'évaluation) les enfants dessinaient, à la suite d'une demande de l'enseignante, leurs idées sur le Bee-Bot.

Les entretiens personnels et les dessins des enfants sur le Bee-Bot ont été analysés de manière qualitative et classifiés selon sept catégories principales (avec 25 modalités). Ensuite, ils étaient soumis à une analyse factorielle des correspondances multiples (Misirli & Komis, 2012) pour obtenir un aperçu global de leurs représentations. Les idées mentales des enfants concernant les commandes de programmation ont été également catégorisées et soumises à une analyse factorielle des correspondances multiples (Komis & Misirli, 2011). Enfin, la totalité des variables de la phase de l'évaluation a été également traitée à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances multiples : entretiens personnels, dessins des enfants, commandes de programmation. Les deux variables qui concernent les commandes de programmation sont recensées uniquement à la phase de l'évaluation : nous analysons si les enfants utilisent les cartes de programmation pour construire leurs programmes et si ces programmes sont appropriés, c'est-à-dire, quand le jouet programmable effectue correctement le trajet demandé par le scénario.

Les représentations des jouets programmables

Les représentations initiales des enfants sur les jouets programmables sont organisées en trois groupes (Misirli & Komis, 2012) : l'inexistence des représentations, les représentations des plus petits enfants (de 4 à 5 ans) formées autour des conceptions animistes (le Bee-Bot est un animal) et les représentations de plus âgés (de 5 à 6 ans) qui sont plus conformes aux aspects du jouet en tant que robot. Les représentations finales évoluent de manière significative. Un petit groupe d'enfants ne forme pas de représentations, un autre groupe crée des représentations incomplètes (idées animistes et imaginaires) tandis qu'un troisième groupe (le plus important au niveau des effectifs) forme des représentations complètes dont les caractéristiques sont plus conformes aux usages et aux fonctionnalités du Bee-Bot.

Les commandes de programmation

Les idées mentales initiales des enfants concernant les commandes de programmation se classifient en trois groupes (Komis & Misirli, 2011) : a) le groupe contenant les enfants dont les idées mentales sont complètes par rapport aux commandes de direction et de pivotement mais imaginaires quant aux commandes GO et CLEAR, b) le groupe comportant les réponses manquantes à toutes les variables de l'analyse (idées inexistantes) et c) le groupe se formant en principe par les idées imaginaires concernant les commandes de pivotement et de direction, et l'ignorance de la commande GO.

Les idées mentales finales s'organisent également en trois groupes (Komis & Misirli, 2011) : le groupe des idées mentales complètes concernant les commandes RECULE, AVANCE, GO et TOURNE DROITE, le groupe non exprimé (valeurs manquantes) et la groupe des idées mentales incomplètes concernant les commandes de pivotement et la commande CLEAR.

L'évolution des représentations des jouets programmables

L'analyse précédente, effectuée d'un part sur les représentations du jouet programmable et d'autre sur les idées mentales concernant les commandes de programmation du jouet, montre qu'il y a une évolution des représentations et des idées mentales des enfants après l'application du scénario : celles-ci se restructurent de manière prévisible, en allant des schémas inexistantes, en passant des schémas intermédiaires vers des schémas quasi complets.

De même, l'examen de la totalité des variables de la phase de l'évaluation à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances multiples nous procure des résultats intéressants quant à l'évolution des représentations et des idées mentales des enfants sur jouets programmables. Cette analyse nous permet également d'avoir une appréciation globale de l'application du scénario. L'analyse factorielle montre qu'il y a eu une évolution importante des représentations des enfants après l'application du scénario éducatif. L'évolution globale des représentations et des idées mentales des élèves suit le cheminement déjà repéré pendant les analyses précédentes. On y retrouve à nouveau trois groupes principaux, formés par les deux premiers axes de l'analyse factorielle (tableau 1). Le premier axe (27,95% de l'information totale de l'analyse) représente l'opposition entre les représentations manquantes (groupe 1) et les représentations bien structurées (groupe 3). Le second axe (9,11% de l'information totale de l'analyse) représente, cette fois, l'opposition entre les représentations incomplètes (groupe 2) et les représentations bien structurées (groupe 3), apparues également sur l'axe 1. La structure des groupes évoque des caractéristiques prouvant que les objectifs du scénario ont été atteints par une partie significative d'enfants. Il y a certes un petit groupe (entre 11 et 15 personnes) dont les représentations ne semblent pas du tout évoluées : il s'agit des individus (tableau 1, groupe 1, réponses manquantes) dont nous n'avons pas obtenu de réponses pendant l'évaluation. Les deux autres groupes réunissent d'un part les représentations et les idées mentales demi – structurées (groupe 2, tableau 1) et d'autre les représentations et les idées mentales bien structurées (groupe 3, tableau 1). Plus précisément, le groupe 2 comporte les modalités suivantes : Programmation Cartes Non Correct, Programmation Commandes Non Correct, Avance Idée Incomplète, Représentation de Définition Opérationnelle Incomplète, Représentation Imaginaire du Contenu, Animal, CLEAR Incomplète, Manque de représentation de Manipulation Complète, Tourne Gauche Idée Incomplète, Tourne Droite Idée Incomplète. On y trouve un échec au niveau de programmation, des commandes de manipulation pas bien structurées, des idées incomplètes sur le mouvement et le pivotement du robot, et des représentations imaginaires du Bee-Bot. Le groupe 3 comporte les modalités suivantes : Tourne Droite Idée Complète, Tourne Gauche Idée Complète, GO Idée Complète, CLEAR Idée Complète, Idée finale Robot, Représentation de Définition Opérationnelle Complète, Représentation de Manipulation Complète, Avance Idée Complète, Recule Idée Complète, Programmation Cartes Correct, Programmation Commandes Correct. Il s'agit, par conséquent, d'un groupe contenant des représentations et des idées mentales valides au niveau des objectifs du scénario.

Description de l'axe 1 (27,95%) Par les MODALITES ACTIVES			Description de l'axe 2 (9,11%) Par les MODALITES ACTIVES		
Libellé de la modalité	Valeur-Test	Poids	Libellé de la modalité	Valeur-Test	Poids
Groupe 1			Groupe 3		
Reponse manquante	-9,37	12,000	Tourne Droite Idée Complète	-6,04	56,000
Reponse manquante	-9,37	12,000	Tourne Gauche Idée Complète	-6,04	56,000
Reponse manquante	-9,37	12,000	CLEAR Idée Complète	-5,80	32,000
Reponse manquante	-9,37	12,000	Idée Finale Robot	-4,07	16,000
Reponse manquante	-9,37	12,000	*Reponse manquante*	-3,89	11,000
Reponse manquante	-9,02	13,000	*Reponse manquante*	-3,89	11,000
Reponse manquante	-9,01	13,000	*Reponse manquante*	-3,89	11,000
Reponse manquante	-8,38	15,000	Représentation de Définition Opérationnelle Complète	-3,70	13,000
Reponse manquante	-8,38	15,000	Représentation de Manipulation Complète	-2,57	42,000
Reponse manquante	-4,68	11,000	Avance Idée Complète	-2,40	75,000
Reponse manquante	-4,68	11,000	Programmation Cartes Correct	-2,25	58,000
Reponse manquante	-4,68	11,000	Programmation Commandes Correct	-2,03	51,000
Groupe 3			Groupe 2		
CLEAR Idée Complète	2,29	32,000	Programmation Cartes Non Correct	2,05	29,000
Représentation de Manipulation Complète	2,59	42,000	Programmation Commandes Non Correct	2,77	35,000
Animal	3,52	39,000	Avance Idée Incomplète	3,06	5,000
Description des actions du robot	4,42	55,000	Représentation de Définition Opérationnelle Incomplète	3,80	33,000
Tourne Droite Idée Complète	4,61	56,000	Représentation Imaginaire du Contenu	3,86	25,000
Tourne Gauche Idée Complète	4,61	56,000	Animal	4,10	39,000
Manipulation Complète	5,36	62,000	CLEAR Incomplète	4,73	45,000
GO Idée Complète	5,66	65,000	Représentation de Manipulation Incomplète	5,14	39,000
Avance Idée Complète	7,59	75,000	Tourne Gauche Idée Incomplète	6,17	24,000
Recule Idée Complète	8,05	76,000	Tourne Droite Idée Incomplète	6,17	24,000

Tableau 1. Évolution des représentations et des idées mentales des jouets programmables

Il paraît que l'usage des stratégies et des aides didactiques adéquates conçus dans le scénario conduit à une évolution rapide des idées mentales des enfants concernant les commandes de base (AVANCE, RECULE, EXECUTE). En revanche, le travail de latéralisation apparaît plus complexe et nos résultats montrent qu'une partie des enfants (30%) ne réussit pas à maîtriser de manière persistante les commandes de pivotement (TOURNE DROITE, TOURNE GAUCHE). En résumé, tout ce qui concerne la latéralisation apparaît plus difficile à construire de manière complète. La construction de la notion de mémoire du robot apparaît également comme un processus difficile étant donné que 45 enfants (la moitié des enfants de l'étude de cas) n'arrivent pas à lui attribuer une définition fonctionnelle. Il faut noter qu'un plus grand nombre d'enfants a réussi à vider la mémoire du jouet, étant donné qu'il a réussi à construire un programme complet, mais il n'arrive pas à expliquer son raisonnement. Enfin, Une majorité d'enfants arrive à construire des programmes, tant au niveau des cartes (N=58) qu'au niveau des commandes directes sur le Bee-Bot (N=51).

Discussion

L'approche de scénarisation pédagogique étudiée dans cette recherche se révèle appropriée dans le contexte de la robotique éducative. Analyser l'application d'un scénario complet (des situations didactiques, des stratégies, du matériel approprié, etc.) au lieu de tester des interventions ponctuelles, effectuées souvent par les chercheurs et non par les enseignants de la classe, permet à notre étude de fonder des réponses confirmées dans le terrain et d'avancer des nouveaux questionnements de recherche. Notre approche est validée de manière qualitative et exploratoire dans des conditions réelles en classe. Ce contexte réel d'application fait également distinguer notre approche des autres recherches sur les jouets programmables. Les objectifs du scénario appliqué dans les classes de notre recherche ont été atteints par une majorité d'enfants.

Les premiers résultats de l'implémentation du scénario montrent que le jouet programmable peut avoir un potentiel cognitif (Depover et al., 2007) pour le développement des compétences relatives à des notions mathématiques, à la pensée algorithmique et aux stratégies de résolution de problèmes. Plus précisément, l'application du scénario pédagogique dans des conditions réelles en classes de maternelle montre qu'une approche des concepts préliminaires de la programmation est possible dans le cadre de la petite enfance à l'aide des jouets programmables. Les enfants, avec l'aide didactique de leurs enseignantes, ont réussi en grande partie à mener à terme les activités du scénario et à atteindre ses objectifs. En somme, les élèves sont capables à construire des programmes séquentiels à la base des commandes visuelles (dispositif de cartes à programmer) et à les transférer sur l'interface tangible du jouet programmable dans un contexte de classe encadré par des approches didactiques appropriées. Néanmoins, il paraît que le développement des compétences de programmation (pensée algorithmique, séquence, notion de mémoire) nécessite un besoin de contextualisation adéquate au biais de scénarisation pédagogique pour motiver de manière efficiente les jeunes enfants.

Bien attendu, nos résultats, inscrits dans un cadre spécifique, doivent également être validés dans d'autres contextes scolaires. Plusieurs questionnements restent ouverts : quel est le rôle de l'enseignante dans le déroulement du scénario ? Existe-t-il des différences aux résultats obtenus si le scénario est appliqué en simulant le Bee-Bot sur un logiciel ? Les notions de programmations construites sont-elles transférables dans d'autres domaines ?

Références bibliographiques

- Beraza, I., Pina, A., & Demo, 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* (pp. 549-557). Darmstadt: Germany.
- Bers, M. & Horn, M. (2010). Tangible programming in early childhood: Revisiting developmental assumptions through new technologies. In I. R. Berson & M. J. Berson (Eds.), *High-Tech Tots: Childhood in a Digital World* (pp. 49-69). North Carolina: Information Age Publishing.
- Bossuet, G. (1982). *L'ordinateur à l'école*. Paris : PUF.
- Clements, D. H., & Nastasi, B. K. (1999). Metacognition, learning, and educational computer environments. *Information Technology in Childhood Education Annual*, 1, 5-38.
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2002). The role of technology in early childhood learning. *Teaching Children Mathematics*, 8(6), 340-343.
- De Michele, S. M., Demo, B. G., & 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* (pp. 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.
- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). *Enseigner avec les technologies*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2011). La recherche évaluative. In T. Karsenti & L. Savoie-Zajc (Eds.), *La recherche en éducation: étapes et approches* (pp. 213-228). Sherbrooke : Éditions du renouveau pédagogique.
- Greff, E. (1996). Le jeu de l'enfant-robot. *École Maternelle Française*, 3, 41-46.

- Greff, E. (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*. Thèse de Doctorat de l'Université Paris VII.
- Greff, E. (2000). *Le jeu de l'enfant-robot : un exemple d'ingénierie éducative concernant la construction et la représentation de l'espace chez les très jeunes enfants*. In Actes du Colloque International "Constructivisme, perspectives et usages en Éducation" (pp. 38-46). Genève : Suisse.
- 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. (2008). Young children's engagement with technological tools: the impact on mathematics learning. *Discussion Group 27: How is technology challenging us to re- think the fundamentals of mathematics education*. In Proceedings of International Congress in Mathematical Education 11. Monterrey, Mexico. Retrieved from <http://dg.icme11.org/tsg/show/28>.
- 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* (pp. 169 – 176). Mexico: International Group for the Psychology of Mathematics Education Psychology of Mathematics Education.
- João-Monteiro, M., Cristóvão-Morgado, R., Bulas-Cruz, M., & Morgado, L. (2003). A robot in kindergaten. In Eurologo'2003 *Proceedings - Re-inventing technology on education - Eurologo'2003*, Coimbra: Portugal. Récupéré de <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00190327/fr/>
- 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 *Actes DIDAPRO 4, Dida et STIC* (pp. 271-284). Patras : Université de Patras.
- Komis, V. (2010). *Outils pour la formation des enseignants en TICE*. Patras : EAITY.
- Kopelke, K., (2007). *Making your classroom buzz with Bee-Bots: Ideas and activities for the early phase*. ICT Learning Innovation Centre – Department of Education, Training and the Arts, Queensland Government.
- Leroux P., Nonnon P., & Ginestié J. (Eds.) (2005). In *Actes du 8ème colloque francophone de Robotique Pédagogique*, Revue Skhôle HS(2), IUFM Aix-Marseille.
- Marchand, D. (1992), La robotique pédagogique ! ça existe ?, *Revue EPI*, 65, 119-124.
- Misirli, A. & Komis, V. (2012). Les représentations des jeunes enfants à propos de jouet programmable Bee-Bot. In *Actes du sixième colloque de Didactique de l'Informatique*, Florina-Grèce, 22-24 avril 2012 (accepté).
- 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* (pp. 112-121). Venice: Italy.
- Rogers, C., & Portsmore, M. (2004). Bringing engineering to elementary school. *Journal of STEM Education*, 5(3-4), 17-28.
- Yelland, N. (2007). *Shift to the future: rethinking learning with new technologies in education*. New York: Routledge.