

Robotique pédagogique à l'école primaire : quelle activité des élèves de Classe Préparatoire (6-7 ans) et quels apprentissages dans une séquence conçue par l'enseignant ?

SANDRA NOGRY

Laboratoire Paragraphe
Université Cergy-Pontoise
France
Sandra.nogry@u-cergy.fr

ABSTRACT

This paper analyses the pupil's activity during a robotic educational sequence designed and conducted by the teacher in first grade class. Video recording are analyzed in order to characterize the activity of the pupils using instrumental approach. The analysis is focused on instrumental and conceptual geneses. It characterizes the social and instrumental mediations involved in these geneses. The study highlights the role played by graphic representations in the process of abstraction during learning of programming skills.

KEYWORDS

Educative robotics, primary school, learning, micro-genetics approach, activity analysis

RÉSUMÉ

Cet article porte sur l'analyse de l'activité des élèves lors d'une séquence pédagogique robotique conçue et menée par l'enseignant en Classe Préparatoire. À partir de vidéos des séances enregistrées l'activité des élèves a été analysée en vue de caractériser les genèses instrumentales et conceptuelles au cours de la séquence ainsi que les médiations qui concourent à ces genèses. Cette étude permet ainsi de mettre en évidence la dynamique de l'activité des élèves et les apprentissages dans une telle séquence.

MOTS-CLÉS

Robotique pédagogique, école élémentaire, apprentissage, analyse microgénétique, approche instrumentale

INTRODUCTION

La transmission d'une culture informatique pour tous est devenue ces dernières années un enjeu sociétal. Il s'agit à la fois d'éduquer les citoyens en leur donnant les moyens de comprendre les traitements de l'information réalisés par les systèmes qu'ils utilisent, d'initier chacun aux notions fondamentales de l'informatique en vue de répondre à une demande croissante des entreprises, et de soutenir le développement d'une « *pensée informatique* » dès le plus jeune âge (Baron & Drot-Delange, 2016). Pour répondre à ces enjeux, l'académie des sciences ainsi que différents acteurs institutionnels et associatifs ont milité pour que l'informatique soit enseignée dès l'école primaire (Baron & Drot-Delange, 2016). Depuis septembre 2016, l'enseignement de l'informatique a pris place dans les programmes scolaires de l'enseignement primaire et secondaire français. Dès la maternelle, une introduction des technologies au service des principaux domaines d'apprentissage est proposée. L'initiation à la programmation est inscrite dans les programmes à partir du cycle 2 (« *programmer les déplacements d'un robot ou ceux d'un personnage sur un écran* ») puis prolongée en cycle 3 et complétée par une initiation au traitement de données numériques (<https://www.education.gouv.fr/cid38/programmes-et-horaires-a-l-ecole-elementaire.html> #Les_programmes_de_l_ecole).

Les études portant sur l'apprentissage de l'informatique en utilisant des jouets programmables consistent principalement à évaluer des séquences conçues par les chercheurs. Peu d'études portent sur des séances conçues par les enseignants eux-mêmes. Le projet ANR DALIE (*didactique et apprentissages de l'informatique à l'école primaire* - <http://www.unilim.fr/dalie/>) s'est attaché à laisser les enseignants concevoir de façon autonome leur séquence de robotique pédagogique. Comment se déroulent ses séquences ? Quelle est l'activité des élèves dans les situations proposées ? Comment les enfants apprennent-ils et qu'apprennent-ils ? Telles sont les questions abordées dans cette étude.

Robotique pédagogique

L'idée d'utiliser des robots pour apprendre a été proposée par Seymour Papert (1980). Cette idée s'inscrit dans une conception constructionniste de l'apprentissage (Harel & Papert, 1991) selon laquelle c'est en manipulant et en construisant quelque chose de montrable et de partageable que l'apprenant construit des connaissances.

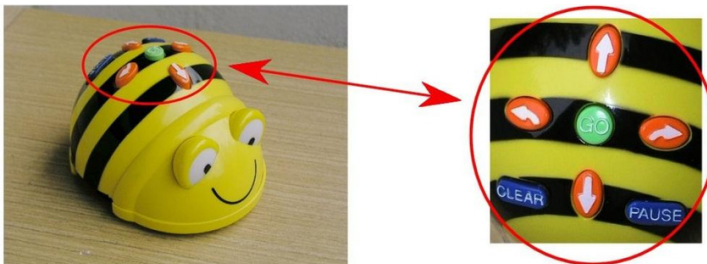
La robotique pédagogique - en offrant un environnement avec lequel les apprenants peuvent interagir, observer les résultats de leurs actions et créer – suscite leur intérêt et leur curiosité et semble favoriser le développement de compétences de différentes

natures (Benitti, 2012 pour une synthèse). Dans les situations étudiées, les apprenants développent leur capacité de réflexion (capacités d'observation, d'estimation, de manipulation), apprennent à mettre en œuvre une démarche d'investigation (« science process skills ») (Sullivan, 2008), développent des stratégies de résolution de problème et des compétences mathématiques (Mulligan & Highfield, 2008), ainsi que des habiletés sociales (Mitnik, Nussbaum, & Soto, 2008).

Par ailleurs, il a été montré que la robotique pédagogique est efficace dès 4 ans pour apprendre différents concepts et habiletés centrales en informatique tels que la capacité à construire une séquence d'instructions (sélectionner et ordonner correctement un ensemble d'instructions pour atteindre l'objectif visé) (Bers, Flannery, Kazakoff, & Sullivan, 2014; Kazakoff, Sullivan, & Bers, 2012 ; Komis & Misirli, 2015). Dans ces études (Komis & Misirli, 2015 ; Bers et al., 2014), un scénario d'apprentissage est proposé par les chercheurs et mis en œuvre par des expérimentateurs ou par des enseignants associés au projet. À l'issue de cet apprentissage, les élèves ont appris le concept de séquence et ont développé des capacités à planifier, à gérer plusieurs commandes de programmation, à réaliser un algorithme et à déboguer. Ils ont également développé des compétences sociales nécessaires à la collaboration entre pairs.

Dans de tels scénarios les élèves utilisent des jouets programmables tels que les beebots. Fondés sur les principes du langage LOGO, ces objets programmables sont contrôlés par une interface tangible disposée sur la partie supérieure de l'objet (figure 1). Quatre boutons permettent d'orienter l'objet et trois boutons permettent de contrôler l'exécution du programme (« go » : exécution des instructions programmées, « pause » : interruption momentanée de l'exécution du programme, « clear » : effacement des commandes enregistrées en mémoire). Celle-ci permet aux enfants de définir la totalité des commandes contrôlant le déplacement du robot. Leur manipulation les amène à développer des habiletés de programmation sans avoir besoin de construire eux-mêmes le robot (voir Misirli & Komis, 2014 pour une analyse des propriétés des jouets programmables).

FIGURE 1



Jouet programmable beebot

PRÉSENTATION DE LA RECHERCHE

Le projet ANR DALIE (*didactique et apprentissages de l'informatique à l'école primaire* - <http://www.unilim.fr/dalie/>), a été initié en 2014 dans le but d'étudier comment mettre en place un curriculum d'informatique à l'école primaire. Ce projet aborde plusieurs questions : Quelles connaissances enseigner dans les différents cycles ? Comment les enseignants conçoivent-ils et mettent-ils en œuvre des séquences d'enseignement de l'informatique ? Quelle est l'activité des élèves dans ces séquences ?

En France treize enseignants ont participé à ce projet. La plupart d'entre eux ont rapidement souhaité utiliser des robots éducatifs en vue de faire découvrir la programmation à leurs élèves. L'étude de cas présentée dans cet article porte sur l'analyse de l'activité des élèves de CP (first grade) dans une séquence de robotique pédagogique conçue et mise en œuvre par l'enseignante.

Méthodologie

L'étude s'est déroulée dans une classe de CP composée de 18 élèves âgés de 6 à 7 ans. L'enseignante, également maître-formatrice, était expérimentée.

Le protocole mis en place dans le projet DALIE consistait à mettre à disposition des ressources pédagogiques et à suivre le travail réalisé dans la classe en observant et filmant une séance toutes les deux semaines. Ces enregistrements étaient complétés par des entretiens avec les enseignants et des focus groupes avec les élèves.

Dans la classe observée, quatre des six séances qui composent la séquence ont été observées et filmées. Le dispositif de captation était composé d'une caméra fixe (plan large sur la salle) et d'une caméra mobile orientée successivement sur le travail des différents groupes d'élèves. Au total quatre heures de vidéos ont été enregistrées et analysées.

Présentation de la séquence pédagogique

La séquence pédagogique observée a été conçue et mise en œuvre par l'enseignante. Elle visait à faire programmer des déplacements dans l'espace. Elle proposait une démarche d'investigation fondée sur une approche inductive. Les 18 élèves étaient répartis par groupes de trois pour utiliser les six *beebots* disponibles.

La séquence s'est déroulée en deux phases :

1. Faire parcourir au robot un chemin tracé au sol avec des Kapplas (séance 1 à 4). L'objectif central de cette première phase était la compréhension des commandes de contrôle. Les consignes étaient minimales, les groupes travaillaient en autonomie durant environ 30 minutes par séance. Ils devaient découvrir par eux-mêmes le robot et en comprendre le fonctionnement pour réaliser la tâche demandée, avant de rendre compte de leurs découvertes et de leurs questions lors d'un regroupement en classe entière. Après un premier temps de recherche en autonomie (séance 1), l'enseignante a

précisé la consigne en demandant de tracer une ligne droite, avant de laisser les élèves plus libres de leur tracé.

2. Dessiner par groupe un parcours à programmer ensuite (séances 5 et 6). Dans cette deuxième phase, l'objectif était de les amener à programmer une séquence d'instructions. Durant la séance 5, chaque groupe dessinait un parcours sur papier puis programmait le robot pour réaliser son propre parcours tandis que durant la séance 6, le parcours était d'abord dessiné par un groupe avant d'être donné à un autre groupe qui programmait le robot pour qu'il exécute ce parcours.

Analyses réalisées

À partir des enregistrements et d'entretiens une analyse de l'activité a été réalisée en mobilisant l'approche instrumentale (Rabardel, 1995).

Il s'agit de documenter les finalités de l'activité des élèves filmés, le déroulement de cette activité et les médiations entre le sujet et l'objet de l'activité. Ces médiations peuvent être de nature sociale (interactions entre élèves ou avec l'enseignant) ou instrumentale, les instruments mobilisés étant les artefacts utilisés associés à un schème (organisation invariante de l'action) (Rabardel, 1995; Vergnaud, 1990).

Cette analyse vise à mettre en évidence les genèses instrumentales - comment l'artefact devient instrument - en documentant les éventuelles modifications apportées à l'artefact (instrumentalisation) et la constitution de nouveaux schèmes associés à l'artefact (instrumentation) (Rabardel, 1995).

Cette analyse a été articulée à une analyse micro-génétique du développement des connaissances (Siegler, 2006). Cette approche se fonde sur l'analyse d'épisodes d'activité durant lesquels des savoirs-faire, des transformations de connaissances ou des changements conceptuels peuvent être mis en évidence.

En articulant ces deux approches, nous visons à mettre en évidence les genèses instrumentales et conceptuelles qui ont lieu durant la séquence d'apprentissage proposée.

Ainsi, dans cette perspective, une analyse de l'activité des élèves a été réalisée dans chacune des deux phases suivant trois étapes :

- identification des épisodes durant lesquels des changements sont visibles,
- transcription des interactions et analyse de l'activité des élèves lors des épisodes précédemment sélectionnés, afin de mettre en évidence les médiations sociales et instrumentales,
- mise en évidence des changements au cours de la séquence (genèses instrumentales et conceptuelles).

Il s'agissait notamment de documenter la constitution de nouveaux schèmes associés au robot (genèse instrumentale), et d'identifier des indices du développement du concept de séquence d'instruction.

RÉSULTATS

Phase 1 : faire parcourir au robot un trajet dessiné sur le sol

Dans cette première phase, les élèves avaient pour consigne de tracer un chemin sur le sol (figure 2) et de faire parcourir ce chemin au robot.

FIGURE 2



Construction par les élèves d'un chemin à faire parcourir par le robot

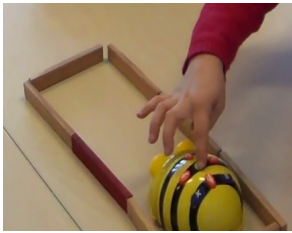
Activité des élèves

Durant les trois premières séances, dans les différents groupes, les élèves construisent rapidement un chemin, se saisissent du robot et appuient sur différentes touches pour le faire avancer. Leur attention est focalisée sur le chemin (parcours et distance) que parcourt le robot. L'activité des membres du groupe n'est pas coordonnée : chacun essaie de se saisir du robot sans répartition des tâches ni discussion sur la stratégie à adopter. Les interactions entre élèves se limitent à exprimer leur déception ou leur joie suivant si l'objectif est atteint ou pas.

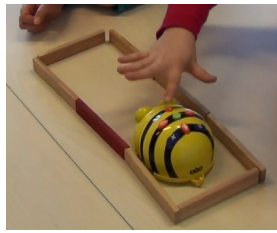
Apparition d'un schème associé au beebot

Dans ces premières séances, pour réaliser la tâche demandée (faire parcourir un chemin au robot), une stratégie de type « pas à pas » (par ailleurs mise en évidence par Komis & Misirli, 2015) est d'abord privilégiée : l'élève qui a le robot en main introduit une instruction à la fois et observe son comportement. La séquence d'instruction est généralement la suivante : appui sur la commande « go » puis sur la flèche de direction souhaitée (figure 3).

FIGURE 3



L'élève appuie sur go



L'élève appuie sur flèche



Le robot parcourt un trajet plus long que prévu suscitant surprise et émotion

Mise en œuvre du schème « go-flèche », et effet produit

La séquence « go-flèche » devient rapidement un invariant observé dans les différents groupes, puis explicité et « institutionnalisé » en regroupement :

Extrait 1 (extrait du regroupement suite à la séance 2 - Ens : enseignante, les noms des élèves ont été anonymisés) :

Ens : Est-ce que quelqu'un se rappelle à quoi servait le bouton vert (Commande 'go') ?

Romain : quand on appuie sur go et sur la flèche « arrière » ça recule

Leony : non pas tout le temps, parfois ça tourne

Ens : s'il te plaît répète ce que tu as dit

Romain : on appuie sur le bouton vert et sur la flèche en bas ça le fait reculer

Ens : qui est d'accord avec Romain ?

Aucun élève ne venant remettre en doute ces propos, cette séquence devient ensuite un schème (organisation invariante de l'action) socialement partagé au sein de la classe.

La commande « go » ayant pour fonction d'exécuter le programme déjà implémenté, le déplacement opéré suite à la séquence d'instruction « go-flèche » correspond aux instructions précédemment enregistrées, et non à un déplacement dans la direction choisie ensuite. De ce fait, les élèves constatent un écart croissant entre leur objectif (voir le robot avancer) et le déplacement effectif du robot, variable suivant les instructions précédemment entrées par d'autres élèves. Ces déplacements suscitent émotions, agacement et incompréhension, exprimés en regroupement « *au début il m'écoutait et là il m'écoute plus du tout* » « *il fait ce qu'il veut* ».

Reprendre le contrôle du robot

La difficulté à maîtriser les déplacements du robot conduit les élèves à envisager d'autres stratégies pour réussir la tâche. Dans un premier temps, ils modifient le parcours dessiné au sol afin que celui-ci corresponde au déplacement effectif du robot afin de réussir la tâche. La programmation du robot n'est alors plus centrale dans leur activité.

Dans un second temps, apparaît un nouvel objet dans l'activité des élèves : *reprendre le contrôle du robot*. Plusieurs stratégies sont observées : le déplacer manuellement, appuyer sur les touches pendant son déplacement, ou l'éteindre. La seconde stratégie met en évidence un manque de compréhension du caractère différé de l'exécution du programme. La dernière stratégie se révèle efficace et leur permet de programmer à nouveau le robot selon leur objectif. En effet, l'action d'éteindre le robot efface la mémoire du beebot. Néanmoins, si les élèves constatent l'efficacité de leur action, rien ne permet d'affirmer qu'ils en comprennent les raisons.

Médiations proposées par l'enseignante

Constatant ces difficultés, lors de la troisième séance, l'enseignante amène les élèves à s'interroger sur leurs actions par des questionnements (extrait 2).

Extrait 2 :

Ens : est-ce qu'elle fait comme tout à l'heure/

E1 : *appuie sur go* ((le robot avance d'un pas))

E1 : non

Ens : non elle fait pas comme tout à l'heure regardez (.) on va annuler tout ça et on va recommencer encore

E2 : *appuie sur go*((le robot avance d'un pas))

Ens : là tu lui demande de recommencer et de faire la même chose (.) maintenant on va annuler

E3 : *appuie sur go*((le robot avance d'un pas))

Ens : là tu lui redemande encore de faire la même chose

E2 : *appuie sur la flèche avant et go* ((le robot avance de deux pas et sort de l'espace de déplacement))

Ens : là tu lui redemande encore de faire la même chose (.) maintenant on va faire autre chose

E1 : *réoriente le robot*

Ens : là on va laisser un petit peu le robot (.) explique moi ce qui se passe

E1 : là on lui demande des choses, [on lui demande des choses et après, après il va aller tout droit

E2 : [appuie sur go flèche arrière ((le robot avance de deux pas et effectue une rotation))

Ens : là on attend qu'elle s'arrête (.) [vas-y demande lui des choses

Ens : [*pose le robot devant E1*

E1 : on pourrait lui demander d'aller tout droit

Ens : est-ce que tu pourrais aller tout droit/

E1 : *appuie sur go et fleche* ((le robot avance de deux pas et effectue une rotation))

E2 : elle a écouté mais elle a pas été tout droit

Ens : est-ce que ça fonctionne de lui parler (.) non d'accord

Ens : *saisit le robot*

Ens : on va recommencer comme tout à l'heure vous trouvez une solution pour l'annuler et recommencer depuis le départ

E3 : *appuie sur clear*

Ens : toi tu as trouvé une solution (.) tu appuies sur le bouton là, vérifie si maintenant elle ne fait pas comme tout à l'heure, vas-y

E3 : *appuie sur go* ((le robot reste immobile))

Ens : est-ce qu'elle a avancé comme tout à l'heure ?

E3 : non

Ens : non alors qu'est-ce que tu as fait pour que ça fonctionne/ tu as appuyé sur quoi

E2 : j'ai appuyé sur le bouton

E2 : *montre la commande go*

Ens : et avant et avant

E3 : *montre la commande clear*

Ens : tu appuies ici [(.) ça veut dire qu'il fait quoi ce bouton

Ens : [*montre la commande clear*

E2 : il arrête

Ens : il arrête ce que vous aviez demandé au robot avant (.) d'accord/

Ens : maintenant faites le avancer juste tout droit

Ens : *positionne le robot au début du parcours et montre le chemin à parcourir*

E3 : *appuie sur go puis deux fois sur la flèche avant*

E3 : vas tout droit s'il te plait ((pas de déplacement))

E3 : *appuie sur go* ((le robot avance de 2 pas))

E1 : mais non il faut pas appuyer dessus

Ens : ha

E1 : *prend le robot le repositionne, appuie sur clear*

Ens : oui elle a raison (.) tu as annulé (.) vas-y demande lui de faire ce que tu veux

E1 : *appuie sur go puis sur la flèche arrière* (.) * elle rappuie sur go* ((le robot recule en tournant légèrement))

Ens : c'est le chemin qu'on veut ou pas/

Dans cet extrait, l'enseignante amène un groupe d'élèves à découvrir la fonction de la touche « clear » en leur demandant d'annuler ce qui a déjà été fait et en les laissant

chercher par eux-mêmes une solution. Ces questions suscitent des interrogations et des doutes chez les élèves, et les conduisent à remettre en question le schème « go-flèche ».

Plus généralement, les questionnements de l'enseignante assurent différentes fonctions de médiation :

- ils amènent les élèves à s'interroger sur les relations de cause à effet entre les touches sélectionnées et le comportement du robot (« pourquoi il se déplace comme ça ? ») puis à planifier leurs actions (« et comment vous allez faire pour qu'il se déplace autrement ? »),
- Ses retours donnent également du sens aux actions commandes de contrôle ; ainsi en observant un élève appuyer uniquement sur « go », elle précise « là tu lui demandes de recommencer et de faire la même chose ».

Par ses retours et son questionnement, l'enseignante introduit ainsi le caractère reproductible du programme (« est-ce qu'elle fait comme tout à l'heure ? »).

Des genèses instrumentales et conceptuelles ?

L'analyse de l'activité des élèves durant la première phase met en évidence une genèse instrumentale : l'apparition d'un schème d'action associé au beebot (go-flèche) partagé collectivement au sein de la classe. Les élèves semblent ici adopter une conception anthropomorphique du robot selon laquelle « *La machine prend en compte les intentions, et traite sémantiquement les opérations en jeu* » (Rogalski, 2015, p. 294) ; on peut ainsi avancer une interprétation sémantique de la séquence « go-flèche » : va – en avant / en arrière/etc.). Néanmoins, ce schème ne permet pas de contrôler efficacement le déplacement du robot.

Différents concepts nécessaires à la compréhension du fonctionnement du robot semblent absents. Leurs actions mettent en évidence un manque de compréhension du caractère différé et répétable de l'exécution du programme et un manque de compréhension des fonctions commandes de contrôle (go, pause, « clear »). L'utilité de la touche de contrôle « clear » est progressivement découverte dans les différents groupes grâce aux médiations de l'enseignante, mais au terme de cette première phase, sa fonction (effacer la mémoire) ne semble pas encore comprise. Autrement dit les élèves constituent progressivement des schèmes associés au beebot pour atteindre leur but (genèse instrumentale), avec un succès limité, sans en comprendre le fonctionnement (absence de genèse conceptuelle). À l'issue de la quatrième séance, l'enseignante s'appuie sur une situation de réussite de l'un des groupes pour amener les élèves à préciser la fonction des commandes de contrôle et l'ordre dans lequel les utiliser. Au début des séances suivantes, une séquence d'action est instituée collectivement par l'enseignante : *remettre à zéro en utilisant la touche « clear », appuyer sur les flèches, appuyer sur go.*

Phases 2 : programmer le robot pour qu'il exécute un parcours dessiné


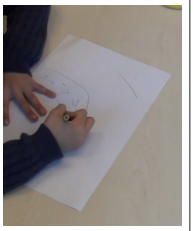


Dans la phase suivante, les consignes données par l'enseignante étaient plus nombreuses. Il était demandé aux groupes de dessiner sur une feuille le parcours du robot, puis précisé que les déplacements devaient être représentés sur le dessin par des flèches. Dans un second temps il était demandé aux groupes de se mettre d'accord sur le programme avant de l'implémenter avec le beebot, puis de vérifier la correspondance entre le trajet parcouru et le schéma du parcours.

Dans cette phase, de par la nature de la tâche proposée, la programmation devenait différée.

Activité des élèves

L'analyse de l'activité des élèves montre que ces prescriptions sont suivies, les élèves poursuivent successivement plusieurs objectifs distincts. Dans un premier temps, leur objectif est de dessiner un parcours, dessin le plus souvent pris en charge par un membre du groupe. Dans un second temps, leur objectif est de préciser les déplacements du robot sur le parcours par des flèches. Ceci donne lieu à des négociations au sein du groupe sur la taille des flèches, leur espacement, ainsi que la représentation des déplacements du beebot dans les virages, et éventuellement à la production d'un nouveau parcours. Dans un second temps, à partir du dessin qu'ils ont réalisé ensemble, ils se mettent d'accord sur la séquence de déplacements à programmer en verbalisant les actions à exécuter ensuite, ou en les représentant par des déplacements manuels du robot ou de leur propre corps dans l'espace (figure 4).

FIGURE 4

			
L'élève prend le schéma du parcours	Elle compte à voix haute les flèches tout en les cochant	Elle prend le robot pour programmer mais s'interroge sur le sens de rotation	Elle représente la représentation du robot par un mouvement du corps qu'elle commente
		E1 : tourner (.) à droite ou à gauche ?	E2 : à droite E1 : à gauche, si on se met comme ça c'est à gauche

Séquence d'action réalisée par une élève pour planifier le programme à implémenter

La programmation des rotations, représentées par des virages, pose problème ; en effet, le robot ne tourne qu'à angle droit. Ceci les conduit à modifier la représentation du

parcours pour l'ajuster aux possibilités du robot. Pour identifier les directions à choisir, certains élèves éprouvent également le besoin de représenter les déplacements du robot en acte, par des mouvements du corps (figure 4).

Du fait de la difficulté à programmer les « virages », certains élèves adoptent une stratégie de type *sous-programmes*, par ailleurs mise en évidence par Komis & Misirli (2015). Le parcours complet est segmenté en sous-programmes : un sous-programme correspondant à une ligne droite à parcourir est suivie de la programmation de la rotation en pas à pas (une instruction seule entre les commandes *clear* et *go*), puis d'un nouveau sous-programme. Progressivement, ils intègrent les rotations à leur programme. À l'issue des deux séances de la phase 2, l'ensemble des élèves est capable de produire une séquence d'instruction complète associée à un parcours donné.

Médiations proposées par l'enseignante

Différentes médiations (dessin, verbalisations) sont introduites tout au long de l'activité afin de conduire les élèves à planifier le déplacement du robot préalablement à l'implémentation du programme et son exécution.

Dans un premier temps l'enseignante propose un fort étayage : elle guide l'utilisation des commandes de contrôle (« *tu as annulé d'abord ?* »), la planification du trajet (« *d'accord, il va aller tout droit, et combien de fois ?* ») et l'analyse de l'écart entre le parcours dessiné et le déplacement effectué. Elle montre notamment la correspondance entre la représentation des déplacements sur le dessin (les flèches) et le déplacement du robot en comptant chaque pas ; elle analyse avec eux les causes de l'écart (figure 5) et les conduit à modifier le programme ou la représentation du déplacement lorsqu'elle est imprécise. À travers cet étayage elle structure l'activité des élèves et introduit une procédure à suivre systématiquement. Lors de la dernière séance, cet étayage est proposé spécifiquement aux élèves en difficulté.

FIGURE 5



Dessin du parcours à réaliser par le robot, geste déictique de l'enseignante pour évaluer l'écart au but

Genèses instrumentales et conceptuelles

Dans cette seconde phase, la structuration de la tâche et les médiations proposées par l'enseignante conduisent progressivement les élèves à adopter une démarche consistant à anticiper le déplacement du robot, à réfléchir à la séquence d'instruction à coder, à l'implémenter, à observer l'écart entre le parcours prévu et réalisé et à modifier le programme (ou le parcours) en conséquence. Il est à noter que cette démarche s'apparente à celle mise en œuvre par les informaticiens : planification, implémentation de l'algorithme, évaluation et à débogage. Elle rend visible le caractère différé de l'exécution d'un programme, non encore perçu par certains des élèves dans la phase précédente.

Dans cette démarche, la réflexion sur la séquence d'instructions à coder prend la forme de conversions successives des représentations du parcours : le dessin esquissé devient parcours balisé par des flèches décrivant les déplacements du robot, puis verbalisation ou représentation en acte de la séquence d'action du beebot, avant d'être implémenté à l'aide des commandes du beebot.

Concernant l'implémentation du programme, le schème « *go-flèche* » apparu lors de l'activité des élèves pendant la première phase est remplacé par un autre schème « *clear – flèches – go* » institué par l'enseignante, la succession des flèches sur lesquelles appuyer étant déterminée par les conversions réalisées successivement.

Dans cette phase, le concept de séquence ou de programme n'est jamais verbalisé par l'enseignante ou par les élèves. Néanmoins il apparaît au cours de l'activité lorsque les élèves deviennent capables d'ordonner les différentes instructions pour aboutir au déplacement visé. L'activité des élèves est alors orientée par des invariants opératoires qui ne sont ici exprimés que dans l'action : la séquence devient un concept en acte (Vergnaud, 1990).

DISCUSSION

Dans cette étude, nous avons analysé l'activité des élèves dans une séquence conçue et mise en œuvre par une enseignante expérimentée mais peu formée à l'enseignement de l'informatique. L'analyse qualitative des genèses instrumentales et conceptuelles a permis de mettre en évidence l'apparition de différents schèmes (organisations invariantes de l'action), des conditions participant à leur apparition, et d'approcher les concepts-en-acte qui sous-tendent leur action.

Retour sur l'activité des élèves

Dans la première phase de découverte, les élèves ont rapidement adopté un schème non adéquat. Ils ont par ailleurs éprouvé des difficultés à intégrer le caractère différé de l'exécution du programme et à comprendre les commandes de contrôle du robot : celles-ci paraissent simples mais nécessitent des connaissances sur les choix de

conception du robot (empan de la mémoire, etc.) dont ne disposaient pas les élèves. Ces difficultés sont par ailleurs bien documentées dans les travaux sur l'apprentissage de l'informatique dans le secondaire (Rogalski, 2015).

Cette phase de découverte les a conduits à s'interroger sur le fonctionnement du robot, sur l'effet de leurs actions ainsi qu'à découvrir certaines commandes de contrôle. Dans la seconde phase, la consigne les amène à changer d'objectif en se centrant moins sur le déplacement du robot lui-même dans une direction donnée, que sur la mise en œuvre d'une démarche aboutissant à l'implémentation et à l'exécution d'un programme.

Cette démarche les a conduits à élaborer différentes représentations de plus en plus abstraites du parcours à réaliser, à analyser l'écart entre le parcours prévu et réalisé et à corriger leur programme, passant ainsi d'une stratégie de programmation pas à pas du robot à une programmation de sous-programmes successifs avant de programmer la totalité du parcours.

TABLEAU 1*Synthèse des observations*

	Tâche	Médiations de l'enseignant	Genèses instrumentales et apprentissages
Phase 1	Faire parcourir au robot un chemin tracé au sol	Questions ouvertes Questionnements sur les causes des mouvements du robot Attribution de sens aux actions des élèves Introduction du caractère reproductible du programme Accompagnement de la découverte des fonctions des commandes de contrôle	Un schème d'utilisation stable mais inadéquate Doutes, questionnements Découverte des fonctions des commandes de contrôle
Phase 2	Dessiner un parcours et le programmer ensuite	Prescription d'une séquence d'actions à réaliser (clear, flèches, go) Fort étayage Guidage de l'utilisation des commandes de contrôle Questions relatives à l'anticipation du trajet, À l'écart entre parcours prévu et réalisé	Utilisation adéquate des commandes de contrôle Planification du programme à coder Codage de séquences de plus en plus complexes Apprentissage de la démarche de résolution de problème et du débogage

Analyse des choix pédagogiques

Comme le souligne Benitti (2012), en robotique pédagogique différents facteurs tels que la possibilité de travailler en petits groupes, d'avoir un temps de découverte du robot ou de disposer d'espace pour expérimenter sont déterminants pour l'apprentissage, tout comme le rôle adopté l'enseignant.

La séquence proposée (tableau 1) était, dans un premier temps, fondée sur la démarche d'investigation : les élèves étaient invités à découvrir par eux-mêmes le fonctionnement du robot. Suite à leurs difficultés, une seconde phase reposant sur la production d'une représentation graphique du parcours à effectuer leur a été proposée.

Dans cette séquence l'enseignante a fait le choix d'adopter une démarche d'investigation (faire travailler les élèves en groupes et à les laisser découvrir par eux-mêmes les propriétés des objets manipulés). Cette démarche, commune à plusieurs autres enseignants participant au projet DALIE (Béziat, 2017; Gelis & Haspekian, 2016; Spach, 2017), présentait l'avantage de leur donner du temps pour analyser les difficultés et besoins des élèves, pour penser une orchestration possible de l'activité des élèves et pour construire ainsi des genèses instrumentales professionnelles adaptées à ce nouvel enseignement (Haspekian, 2017). Néanmoins, il n'y a pas ou peu d'institutionnalisation de connaissances ou de schèmes instrumentaux ; les bilans sont centrés sur les démarches mises en œuvre par les élèves sans prise de position sur les connaissances ou les schèmes construits. Ainsi dans la première phase de cette séquence, il n'y a pas eu de connaissances informatiques institutionnalisées, les concepts centraux (instruction, commande, séquence, algorithme, mémoire) n'étaient pas thématiques et les schèmes construits, peu efficaces.

L'organisation de la seconde phase et les représentations qui y étaient introduites ont contribué à une mise à distance de l'action, à une appropriation des schèmes instrumentaux adéquats et à la construction de concept en acte (séquence d'instructions) par les élèves (cf. tableau 1).

Cette seconde phase présente des similarités avec le scénario proposé par Komis & Misirli (2015). Les démarches proposées - consistant à distinguer la conception de l'algorithme, le codage, l'exécution et la correction - sont de même nature. Dans les deux situations, les enseignants guident l'utilisation des commandes de contrôle, des verbalisations sont sollicitées et des représentations graphiques sont proposées pour élaborer la séquence d'instruction à programmer, cependant, la nature de ces représentations diffère.

Un mouvement d'abstraction soutenu par des représentations graphiques

Dans cette séquence les élèves passent d'une centration sur le résultat de l'action (point à atteindre par le robot) à une centration sur la procédure, les déplacements à

réaliser. Ce changement de focalisation du résultat vers la procédure participe selon Piaget (1974) à un mouvement d'abstraction. Or, comme le soulignent Crahay (1987) puis Gaudiello & Zibetti (2013), un certain degré d'abstraction est exigé de la part de l'élève pendant la programmation d'un robot, celle-ci nécessite des représentations abstraites des références temporelles et des mécanismes causaux, représentations en cours de développement chez les jeunes enfants.

Dans cette séquence ce mouvement d'abstraction est soutenu par la nature des tâches proposées, les médiations sociales apportées par l'enseignante favorisant une mise à distance de l'action (tableau 1), mais aussi par les représentations graphiques du parcours à élaborer. Les élèves en viennent à construire une représentation externe de plus en plus abstraite de la séquence à programmer. L'idée selon laquelle le développement de la pensée formelle pourrait être facilité par la construction d'une représentation graphique anticipatrice et structurante a déjà été émise dans le cadre d'études portant sur l'apprentissage du langage logo (Lambos, 1993, cité par Baron & Drot-Delange, 2016). Différentes recherches dans le champ de la cognition située ou en didactique des mathématiques (Duval, 1995; Radford, 2003) ont depuis longtemps souligné l'importance des représentations sémiotiques construites et mobilisées durant l'apprentissage dans le processus d'abstraction. Dans cette étude de cas comme dans d'autres recherches portant sur la robotique pédagogique des représentations sémiotiques de différentes natures sont utilisées dans les séquences proposées (Misirli & Komis, 2015; Spach, 2017). La nature de ses représentations sémiotiques et leur rôle dans le processus d'apprentissage mériteraient d'être investigués de façon plus systématique.

REMERCIEMENT

Cette étude a été soutenue et financée par le projet ANR DALIE. Nous remercions également l'inspection académique des Hauts-de-Seine, l'enseignante et les élèves qui ont accepté de participer à cette étude.

RÉFÉRENCES

- Baron, G. L., & Drot-Delange, B. (2016). L'informatique comme objet d'enseignement à l'école primaire française? Mise en perspective historique. *Revue Française de Pédagogie*, 195, 51-62.
- Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988.
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157.
- Béziat, J. (2017). Compétences pédagogiques et compétences informatiques. Un difficile alliage.

- Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire*. Retrieved from <http://www.ritpu.org/pages/entrevues/>.
- Crahay, M. (1987). Logo, un environnement propice à la pensée procédurale. *Revue Française de Pédagogie*, 80(1), 37-56.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Bern: Lang.
- Gaudiello, I., & Zibetti, E. (2013). La robotique éducationnelle: État des lieux et perspectives. *Psychologie Française*, 58(1), 17-40.
- Gélis, J. M., & Haspekian, M. (2016). *Nouvelles connaissances à enseigner et nouveaux outils. Situations, repères didactiques et genèses instrumentales*. Paper presented at the Colloque AREF, Mons, Belgique.
- Harel, I. E., & Papert, S. E. (1991). *Constructionism*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- Haspekian, M. (2017). Computer science in mathematics new curricula at primary school: New tools, new teaching practices? In G. Aldon & J. Trgalova (Eds.), *Proceedings of the 13th International Conference on Technology in Mathematics Teaching (ICTMT 13)* (pp. 23-31). Lyon, France: Université Claude Bernard Lyon I.
- Kazakoff, E. R., Sullivan, A., & Bers, M. U. (2013). The effect of a classroom-based intensive robotics and programming workshop on sequencing ability in early childhood. *Early Childhood Education Journal*, 41(4), 245-255.
- Komis, V., & Misirli, A. (2015). Étude des processus de construction d'algorithmes et de programmes par les petits enfants à l'aide de jouets programmables. In B. Drot-Delange, G.-L. Baron & E. Bruillard (Éds.), *Informatique en éducation : Perspectives curriculaires et didactiques*. Clermont-Ferrand: Presses Universitaires Blaise-Pascal.
- Misirli, A., & Komis, V. (2014). Robotics and programming concepts in Early Childhood Education: A conceptual framework for designing educational scenarios. In C. Karagiannidis, P. Politis & I. Karasavvidis (Eds.), *Research on e-Learning and ICT in Education* (pp. 99-118). New York: Springer.
- Mitnik, R., Nussbaum, M., & Soto, A. (2008). An autonomous educational mobile robot mediator. *Autonomous Robots*, 25(4), 367-382.
- Mulligan, J., & Highfield, K. (2008). Young children's engagement with technological tools: The impact on mathematics learning. In *Proceedings of International Congress in Mathematical Education 11* (pp. 1-8). Monterrey, Mexico: International Congress of Mathematics Education.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books, Inc.
- Piaget, J. (1974). *La prise de conscience*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies*. Paris: Armand Colin.
- Radford, L. (2003). Gestures, speech, and the sprouting of signs: A semiotic-cultural approach to students' types of generalization. *Mathematical Thinking and Learning*, 5(1), 37-70.
- Rogalski, J. (2015). Psychologie de la programmation, didactique de l'informatique déjà une histoire... In B. Drot-Delange, G.-L. Baron & E. Bruillard (Éds.), *Informatique en éducation : Perspectives curriculaires et didactiques*. Clermont-Ferrand: Presses Universitaires Blaise-Pascal.
- Siegler, R. S. (2006). Microgenetic analyses of learning. In D. Khun & R. Siegler (Eds.), *Handbook of Child Psychology* (vol. 2, 464-504). New York: John Wiley & Sons.
- Spach, M. (2017). *Activités robotiques à l'école primaire. Quelle place du scénario pédagogique ? Les limites du co-apprentissage*. Thèse de doctorat, Université Paris-Descartes, France.

- Sullivan, F. R. (2008). Robotics and science literacy: Thinking skills, science process skills and systems understanding. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 373-394.
- Strebelle, A., Mélot, L., Ducarme, A., & Depover, C. (2017). Analyse des comportements sociaux dans le cadre d'un apprentissage collectif de la programmation d'un robot de sol. *STICEF*, 24(1). Retrieved from <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2017/24.1.8.strebelle/24.1.8.strebelle.pdf>.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3), 133-170.