

Programmer pour s'orienter, s'orienter pour programmer....

GAËTAN TEMPERMAN, CÉLINE DURANT, BRUNO DE LIÈVRE

Service de pédagogie générale et des médias éducatifs
Université de Mons
Belgique
gaetan.temperman@umons.ac.be
celine.durant@alumni.umons.ac.be
bruno.delievre@umons.ac.be

ABSTRACT

Our article focuses on the impact of programming on the development of spatial skills among early elementary school students. Our study is based on an experimental plan that evaluates the effect of two modes of use of the Scratch Jr application: a mode with tangible material to prepare the coding and a mode without this tangible material. Our dependent variables concern the understanding, expression and production of spatial prepositions. Our results tend to show that students make significant progress in both conditions in terms of comprehension and expression. In terms of production, we observe that programming cards allow students to make more progress in this learning than students who do not have them.

KEYWORDS

Spatial skills, programming cards, Scratch Jr, tangible material, code learning

RÉSUMÉ

Notre article s'intéresse à l'impact de la programmation sur le développement des compétences spatiales chez les élèves en début d'école primaire. Notre étude s'appuie sur un plan expérimental qui évalue l'effet de deux modalités d'usage de l'application Scratch Jr : une modalité avec un matériel tangible pour préparer le codage et une modalité sans ce matériel tangible. Nos variables dépendantes concernent la compréhension, l'expression et la production des prépositions spatiales. Nos résultats tendent à montrer que les élèves progressent significativement dans les deux conditions en termes de compréhension et d'expression. En termes de production, nous observons que les cartes de programmation permettent aux

élèves de progresser davantage dans cet apprentissage par rapport aux élèves n'en disposant pas.

MOTS-CLÉS

Jeu sérieux, robotique pédagogique, médiation cognitive, analyse de l'activité, grande section de maternelle

INTRODUCTION

Peu d'études à notre connaissance ont investigué la question de l'effet de l'apprentissage de la programmation sur la cognition spatiale en début d'école primaire. Cette contribution a pour objet d'éclairer cette zone d'ombre dans la littérature et de décrire un dispositif d'apprentissage mobilisant l'application « Scratch Jr » mis en place pour favoriser la structuration de l'espace en début d'école primaire. Nous étudions en particulier la question du développement du vocabulaire spatial (compétence géographique) chez de jeunes élèves. L'expérimentation en contexte réel (deux classes de 1^{re} année primaire) comporte plusieurs activités pédagogiques avec Scratch Jr, réparties sur une période de deux mois et propose deux modalités différentes de résolution de problèmes (avec ou sans cartes d'instructions). Celles-ci sont basées sur les contenus en éveil géographique du programme des études de l'enseignement fondamental en fédération Wallonie-Bruxelles.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

L'étiologie de cette recherche s'appuie sur deux domaines distincts : l'apprentissage de la programmation (le code) et le développement des compétences spatiales.

Le développement des compétences spatiales

Pourquoi s'intéresser aux marqueurs spatiaux ? Selon Leroyer (2005) le vocabulaire spatial est souvent considéré comme un savoir « naturel », qu'il est possible d'acquérir à travers les interactions langagières quotidiennes, dans le cadre scolaire ou extrascolaire. En 1997, une étude à large échelle en France, sur près de dix mille élèves du CP (six ans), utilisant le test des concepts de base de Boehm 3 (2009) a été effectuée et met en avant une difficulté majeure. Elle montre que le concept droite/ gauche est le plus complexe à appréhender, étant donné qu'il est le moins bien réussi (70,8 % en moyenne). Les résultats des rapports des évaluations externes pour les élèves de 8 ans (Fédération Wallonie-Bruxelles de Belgique, 2012) montrent également des difficultés au point de vue des concepts spatiaux. Les élèves ont ainsi une maîtrise réduite du vocabulaire spatial lié à l'observation d'un itinéraire dessiné et au repérage d'un

objet par rapport à un autre. Sur la base de ces différents constats, il s'avère donc que des difficultés existent au point de vue du vocabulaire spatial chez les élèves de 6 à 8 ans. L'école a dès lors un rôle important à jouer, pour venir en aide aux élèves qui éprouvent des difficultés avec ces notions de précision. La connaissance des concepts tels que « au-dessus/en dessous, en haut/ en bas, devant/derrière, gauche/droite... » est essentielle pour l'apprentissage de la lecture, de la résolution de problèmes et pour communiquer efficacement.

D'un point de vue pédagogique, les travaux de Bruner (1983) montrent que l'interaction entre l'enfant et l'adulte est à la base des apprentissages linguistiques. Pour ce faire, la langue française dispose d'adjectifs, de noms et de prépositions permettant de structurer l'espace. Il est important d'utiliser le même « code » pour se comprendre. Des malentendus peuvent rapidement survenir, car l'expression de la spatialité peut être complexe et remplie de sous-entendus. Un enseignant demandant de lire des lettres au tableau peut par exemple dire : « quelle est la lettre avant le 'e' dans le verbe faire ? ». Il est alors nécessaire de pouvoir interpréter « avant » comme « à gauche ». Courant (2010) propose de distinguer deux situations, lors desquelles on a recours aux termes spatiaux. Elle qualifie des prépositions de « topologiques » (dans, sur, ...), quand la cible et le site sont reliés. Elle considère que les prépositions sont « directionnelles » (derrière, à gauche, ...), quand la cible et le site ne sont pas reliés. Pour qu'un énoncé comportant des termes spatiaux soit compris, il est nécessaire que les deux personnes aient la même représentation de l'espace et connaissent la signification lexicale des expressions utilisées. De plus, cela nécessite l'intégration de la signification linguistique stricte de l'énoncé et de toutes les informations contextuelles. Nous pouvons donc mettre en avant que l'acquisition des termes spatiaux s'effectue en interaction avec le milieu, d'une part avec les individus avec lesquels on échange et d'autre part avec l'environnement en tant que tel. De plus, il semble impératif lorsqu'on interprète un énoncé comportant des termes spatiaux, de tenir compte de l'interaction entre le contenu sémantique des mots individuels et le contexte.

Le développement des compétences de programmation

Une zone d'ombre existe au point de vue de l'apprentissage du code chez les élèves entre 5 ans et 8 ans. En effet, de nombreuses recherches ont été effectuées à l'école maternelle, notamment avec le Bee-bot et d'autres avec des logiciels de programmation pour les élèves plus âgés. Ce manque d'informations sur cette tranche d'âge s'explique selon Béziat (2012) par le fait que le cycle 2 est réservé aux apprentissages fondamentaux. L'apprentissage de la lecture, de l'écriture, du calcul... demande beaucoup de temps et il n'est dès lors pas étonnant qu'il y ait peu d'expérimentation spécifique. Ce point aveugle dans la littérature nous a dès lors donné l'envie d'investir ce cycle.

Deux recherches réalisées par Komis & Misirli (2011, 2015) à l'école maternelle

montrent que les jouets programmables se placent selon Robert (1985) dans « *l'approche épistémologique et psychopédagogique du langage LOGO* » (p. 271). C'est-à-dire que le Bee-bot peut, selon Depover, Karsenti & Komis (2007) détenir un « *potentiel cognitif, en vue de développer des compétences relatives à la pensée algorithmique, aux mathématiques et aux stratégies de résolution de problèmes* » (p. 280). L'objectif de la première recherche réalisée par Komis & Misirli (2011) est de comprendre si les concepts préliminaires à la programmation sont envisageables à l'école maternelle. Les résultats montrent qu'ils sont possibles, pour peu qu'ils s'inscrivent dans un contexte de scénarisation pédagogique adéquate. Les élèves passent par trois phases, à savoir : la familiarisation avec les commandes (de direction, de pivotement et de manipulation), l'utilisation des commandes de manière séquentielle ou automatisée et enfin, la programmation du jouet, pour réaliser des parcours prédéfinis. Selon les résultats de l'étude de cas, près de 30 % des élèves éprouvent des difficultés au point de vue de la latéralisation et ne réussissent pas à maîtriser efficacement et de manière persistante, les commandes de pivotement (gauche et droite). L'objectif pratique de la deuxième recherche, menée par les mêmes chercheurs, deux ans plus tard, est de mener le Bee-bot vers un objet précis. L'élève doit donc être en mesure de planifier le trajet, de le verbaliser, de rédiger un programme par cartes de commandes, de l'appliquer avec le Bee-Bot, et enfin de corriger ce programme, si le résultat est incorrect (Komis & Misirli, 2015). Les résultats de la recherche montrent que la majorité des élèves (47 %) conçoivent lors du premier essai, un programme correct et près de 31 % des élèves arrivent à corriger leur erreur, après la rétroaction apportée par le Bee-Bot. Un seul enfant seulement n'arrive pas à corriger son programme. De plus, il est intéressant de constater que cette étude a bénéficié d'un encadrement très structuré de la part des enseignants. Le niveau de structuration, d'encadrement, ainsi que la méthodologie utilisée sont des facteurs extrinsèques, importants à prendre en compte, lors de l'analyse de l'effet d'un dispositif expérimental.

Des recherches ont également été menées avec des élèves plus âgés (dix ans). Lhermenier-Marinho (1993), cité par Bruillard (1997), fait le point dans sa thèse sur les activités de programmation et présente deux recherches sur la pratique du LOGO. Il en résulte que les activités de programmation ne permettent pas de développer des capacités intellectuelles globales. Cependant, un effet plus spécifique a été remarqué au point de vue des habiletés mathématiques, de la géométrie et de l'orientation spatiale. Le langage de type LOGO est donc vu comme un environnement d'apprentissage riche, hétérogène, où il est possible de progresser et de développer des compétences spécifiques.

Plus récemment, une recherche menée par Temperman, Anthoens, De Lièvre et De Stercke (2014) à l'Université de Mons a été réalisée sur les compétences mathématiques, développées à l'aide du logiciel Scratch. Celle-ci a été menée avec des élèves

de 6^e année primaire. Le scénario pédagogique très structuré met en évidence son efficacité au point de vue des gains relatifs des élèves, même s'il n'est toutefois pas possible d'imputer cette augmentation des performances, à la seule utilisation de Scratch (n'ayant pas de groupe contrôle pour effectuer la comparaison). Ce travail a notamment permis de mettre en avant le gain plus important des élèves plus faibles. Un réel effet du dispositif sur l'équité peut donc être mis en avant.

Pour aider les plus jeunes élèves, Scratch Jr propose une interface simplifiée sur tablette (Bers, 2018). Autour d'une grille de création, les élèves disposent de différents blocs de programmation classés en six catégories (mouvements, direction, son, apparence, contrôle, fermeture). À partir d'une analyse de scripts créés, Portelance, Strawhacker et Bers (2015) montrent que l'usage des blocs de mouvement est significativement plus important que les autres catégories. Les auteurs montrent également une plus grande variété d'usages pour les élèves du début primaire comparativement aux élèves de l'école maternelle. Papadakis, Kalogiannakis et Zaranis (2016) montrent toutefois que l'âge n'influence pas la compréhension des principes de programmation. Leur étude qualitative fait toutefois ressortir que les enfants d'âge préscolaire commettent donc plus d'erreurs lorsque la scène implique plus d'un personnage. Les élèves semblent ainsi en difficultés pour gérer les interactions sur la scène. Dans ce type d'environnement et sur la base de l'analyse du processus d'apprentissage des élèves, Flannery & al. (2013) mettent en avant l'importance de leur offrir du support pour planifier plus facilement leurs tâches de programmation. Concernant la formation des enseignants dans le contexte de l'usage de Scratch Jr, Bean, Weese et Feldhausen (2016) soulignent l'importance de montrer les possibilités de développer des compétences dans différentes disciplines (mathématique, langue maternelle, etc.).

Pour obtenir un impact positif sur l'apprentissage, la littérature pédagogique relative à la découverte du code s'accorde autour de l'idée que la scénarisation pédagogique est primordiale à la fois en termes de conception de situations didactiques et en termes d'encadrement de celui-ci (Lai & Yang, 2011). Cette recherche s'inscrit dans la continuité de l'étude de Misirli et Komis (2015), ceux-ci se sont intéressés à la construction des notions spatiales d'orientation et de direction, par la programmation d'un objet tangible. L'idée est que les activités de programmation motivantes, contextualisées et favorisant la collaboration permettront aux élèves d'améliorer leurs performances au point de vue de l'expression et de la compréhension du vocabulaire spatial. Selon Pekarova (2008), il n'est pas aisé de manipuler et de contrôler un objet tangible à plusieurs. C'est en réponse à cette difficulté qu'un « pseudo-langage » a du sens, pour aider les élèves à organiser et à visualiser leurs idées en groupe. Greff (1998) avait déjà créé un ensemble complet de cartes. Nous pouvons établir ici un lien avec la notion de « relation déictique ». Selon Crahay (1987) cela signifie que « *l'être humain utilise les signes linguistiques en relation avec le contexte linguistique de l'énoncé, qu'il s'agisse des inter-*

locuteurs eux-mêmes, d'autres personnes ou d'objets présents dans le contexte » (p. 320). Plusieurs études de Komis et Misirli (2011, 2015) utilisent des cartes de commandes avec le Bee-Bot à l'école maternelle et mettent en évidence des résultats probants sur la qualité de l'apprentissage.

Sur la base de cette revue de littérature, notre hypothèse principale est que la programmation peut aider les élèves à développer des compétences spatiales. D'un point de vue pédagogique, ce développement peut être renforcé par l'utilisation de cartes de commandes permettant aux élèves de se focaliser sur le codage et à la résolution de la situation problème sans contrainte technique.

MÉTHODOLOGIE

Échantillon

Notre échantillon qui a réalisé l'ensemble des tâches de programmation sur une période d'environ deux mois (la durée de mise en œuvre du scénario s'élève au total à 22 heures) compte trente et un élèves de 6 et 7 ans. Deux groupes indépendants de quinze et seize élèves ont donc été évalués. En raison de la difficulté à trouver des enseignants du cycle 2 prêts à libérer du temps pour réaliser des expérimentations, il s'agit d'un échantillon de convenance. Les deux groupes ont été formés par les enseignants en début d'année scolaire, de manière aléatoire simple.

Plan expérimental et scénario pédagogique

Dans le cadre de notre recherche, nous nous sommes questionnés sur les démarches pédagogiques favorisant le développement de l'expression et de la compréhension des locutions prépositives spatiales. Pour ce faire, nous avons construit un scénario pédagogique basé sur les contenus des socles de compétences de la fédération Wallonie-Bruxelles. Les activités de programmation proposées dans le cadre de cette expérimentation tiennent compte de ce préalable. Ils se basent sur des situations problèmes pouvant être résolues à l'aide de scripts élaborées dans l'application. Elles visent à développer chez les élèves leurs compétences spatiales (utiliser le vocabulaire spatial, situer les objets, utiliser des repères spatiaux, suivre un itinéraire, etc.). Pour développer ces compétences de compréhension et d'expression des locutions prépositives spatiales, notre dispositif pédagogique module le degré d'initiative des élèves. Il combine en effet à la fois un processus d'apprentissage guidé plutôt convergent et des démarches plus divergentes relatives à la créativité et à la collaboration. La recherche s'étend sur une période de deux mois. Les pré-tests et les post-tests demandent respectivement deux semaines pour leur administration. Deux séquences de deux heures sont prévues pour la découverte de l'application Scratch Jr. Les deux premières tâches pédagogiques permettent de découvrir l'application Scratch Jr ainsi que ces principales

fonctionnalités. Ces deux séquences sont administrées aux deux classes lors de la même journée, en suivant scrupuleusement le même protocole. Cette démarche s'appuie sur l'usage de fiches guidées pour amener les élèves à un travail autonome.

FIGURE 1

CARRÉMENT FACILE!
But du jeu : terminer le carré en complétant le programme suivant :
Il faut :
Une scène : Un personnage :
Le script :
Pour aller plus loin : Répliquer l'activité avec le rectangle en modifiant la longueur des côtés.

HOP, HOP, HOP
But du jeu : gravir un escalier
Il faut :
Une scène : Un personnage :
Le script :
Première possibilité :
Deuxième possibilité :

Activités de découverte

Quant à l'expérimentation, cinq séances de deux heures sont prévues. Au total, vingt-deux heures sont nécessaires pour mettre en place ce dispositif dans une classe. Ce ne sont pas moins de quarante-quatre heures qui ont été nécessaires en raison des deux groupes. Ces activités sont l'occasion pour les élèves de résoudre différents défis en mode collaboratif liés à la programmation de déplacement de personnages dans différents environnements réels, illustrés, etc. La différence entre les deux groupes se marque lors des cinq séquences d'expérimentation. Le premier groupe ne dispose pas de matériel et programme donc directement sur la tablette. Le second groupe, quant à lui, dispose de matériel (cartes de commandes) avant de programmer (figure 2).

FIGURE 2

Utilisation des cartes de commandes et de l'application Scratch Jr

Le tableau 1 décrit le plan expérimental et la variable indépendante à deux modalités que nous manipulons. Le premier groupe réalise les cinq séquences d'expérimentation sans matériel. Le deuxième groupe les réalise avec du matériel appelé « cartes de commandes ».

TABLEAU 1

<i>Plan expérimental</i>				
	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4
Groupe expérimental	Activités de découverte	Prétest	5 Activités sans cartes de commande	Post-test
Groupe contrôle			5 Activités avec cartes de commande	

Cette terminologie est celle utilisée par Komis & Misirli (2011, 2015), lors de leurs expérimentations à l'école maternelle, avec le Bee-bot. Leur scénario pédagogique vise à entraîner les enfants à la programmation et plus précisément aux notions de commandes de gestion et de fonctionnement, à la construction des séquences de commandes et à la réalisation de trajets dans l'espace. Avant de programmer le robot, les élèves doivent manipuler des cartes de commandes au préalable et concevoir le programme qu'ils encodent ensuite sur le robot. Comme l'illustre la figure 1, la démarche passe par une élaboration collaborative du programme à l'aide des différentes commandes d'orientation et l'usage de chiffres pour quantifier le nombre d'actions à réaliser (figure 2).

Variables dépendantes

Pour évaluer l'efficacité de notre démarche, nous avons utilisé différentes épreuves pour mesurer les gains au niveau de la structuration spatiale.

Le test des concepts de base Boehm 3 (2009) a pour objectif d'évaluer les concepts fondamentaux pour la réussite scolaire. Constitué à la base de 50 items, nous n'avons administré qu'une partie du test : les 25 items spatiaux. Selon Robin (2002) pour situer un objet dans l'espace, il est nécessaire de pouvoir établir des relations entre un objet et un système de référence. La connaissance des notions comme droite/gauche, devant/derrière, haut/bas... est essentielle lors de l'apprentissage de la lecture, de l'écriture, en résolution de problèmes et de manière plus générale, pour communiquer de manière

efficace avec autrui. Maîtriser ces rapports « topologiques » élémentaires est nécessaire pour l'apprentissage plus complexe des rapports « projectifs » et « euclidiens » (Robin, 2002). Lors de la passation collective de chaque item, l'examineur invite les élèves à observer quatre dessins. La position de l'objet est répétée deux fois à voix haute et entourée par les élèves. L'analyse des réponses consiste à attribuer la note 1 pour une réussite (le bon objet est entouré) et la note 0 pour un échec (le mauvais objet est entouré). Les réponses sont également considérées comme nulles lorsqu'aucun objet n'est entouré ou que les deux objets le sont.

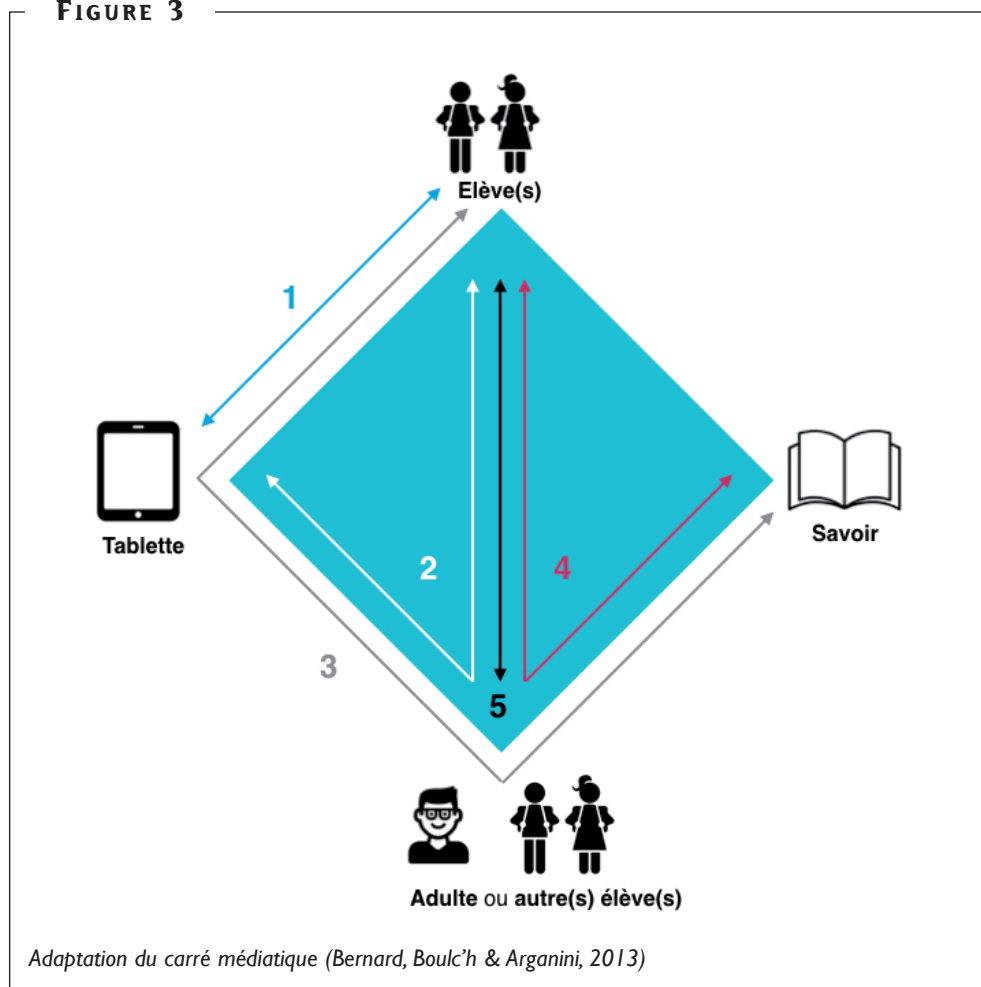
Nous avons également créé une épreuve afin de recueillir des informations à propos de la capacité des élèves à exprimer le vocabulaire spatial. Une maison constituée de blocs Lego® a été construite. Cette épreuve est administrée de manière individuelle. La maison est placée face à l'élève. Un personnage est placé à différents endroits de la maison et l'apprenant doit utiliser le terme le plus précis pour désigner sa position. Les onze locutions prépositives spatiales de cette épreuve sont les paires antonymiques suivantes : loin/ près, droite /gauche, sur /sous, devant/ derrière ainsi que « dans, au centre et entre ». Au sein de cette liste non exhaustive, au moins un marqueur spatial fait partie des sept catégories de locutions prépositives spatiales élaborées par Piérart & Costermans (1979). Nous y avons toutefois ajouté les notions « droite » et « gauche ».

Enfin, en début et au terme de l'expérimentation, un exercice de programmation avec Scratch Jr est proposé aux différents groupes. Les élèves doivent observer le chemin à parcourir et programmer un personnage pour qu'il l'effectue. Ce parcours a la particularité d'être en escalier et de posséder neuf segments. Le pré-test et le post-test sont similaires, mais des données de surface (grandeur de l'escalier, grandeur des segments, etc.) sont modifiées. Chaque groupe est ensuite invité à réaliser un bref podcast en s'enregistrant à tour de rôle. Les élèves expliquent de la manière la plus précise possible le programme qu'ils ont élaboré pour résoudre le problème, en utilisant un vocabulaire précis et correct par rapport à la situation. Les données recueillies sont l'enregistrement vocal (produit) ainsi qu'une vidéo de chaque groupe réalisant l'activité (processus). La qualité du produit est évaluée en comparant le parcours programmé, au parcours demandé. Une analyse de contenu des vidéos est également effectuée afin de recueillir des informations sur la manière dont les élèves travaillent en groupe et partagent la tablette. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur le modèle du carré médiatique (Bernard, 2006). Nous avons codé chaque unité de sens, selon les cinq dimensions reprises dans la figure 3.

Dans la catégorie 1 : « interaction fonctionnelle » : le ou les élève(s) agissent directement sur la tablette. Il s'agit par exemple d'un élève qui touche la tablette du doigt pour montrer, compter, placer une icône... La catégorie 2 : « TIC objet de l'interaction » fait référence aux échanges entre plusieurs personnes, au sujet de l'artefact (tablette). Nous y retrouvons par exemple des interventions telles que : « Comment fait-on pour

mettre le chiffre ? », « On ne sait pas retirer les icônes »... Dans la catégorie 3 : « TIC outil de l'interaction », l'échange entre les différentes personnes porte sur le savoir et est médié par l'artefact. C'est par exemple le cas d'élèves discutant de l'icône à ajouter à leur programme, en touchant la tablette du doigt. La catégorie 4 : « interactions portant sur les contenus, les savoirs » traite des savoirs lors de discussions entre les apprenants. Des élèves peuvent par exemple parler de la prochaine icône à placer ou du chiffre à ajouter. Enfin, la catégorie 5 : « régulation » comprend toutes les interactions non fonctionnelles. Par exemple: « Après on peut jouer ? », « C'est à qui ? », « On est où ? »...

FIGURE 3



L'interface de programmation

L'interface de Scratch Jr est très différente de l'interface de Scratch. Elle a été simplifiée et repensée afin de s'adapter au public cible très jeune, mais a gardé son caractère intuitif attrayant. Son développement graphique est beaucoup plus visuel grâce à l'utilisation d'icônes, de couleurs et d'une présentation claire et structurée. Nous pouvons relever cinq zones distinctes : la scène au centre de l'écran, à sa droite la zone des écrans, à sa gauche la zone des objets, en dessous la barre des icônes et tout en bas de l'écran, l'aire de script. Tout en haut de l'écran figurent différentes icônes supplémentaires permettant de changer de décor, d'insérer du texte, d'ajouter un quadrillage...

Questions de recherche

Sur la base de notre dispositif expérimental et de notre scénario pédagogique, nous formulons les trois questions de recherche suivantes.

Q1 : Le développement de la compréhension des prépositions spatiales mesurée à l'aide du test de Boehm 3 se différencie-t-il en fonction de l'usage des cartes de commande ?

Q2 : Le développement de l'expression des prépositions spatiales se différencie-t-il en fonction de l'usage des cartes de commande ?

Q3 : La progression des élèves lors de la production d'un podcast se différencie-t-elle en fonction de l'usage des cartes de commande ?

RÉSULTATS

La présentation des résultats se structure autour de nos trois questions de recherche.

Compréhension des prépositions spatiales (Q1)

Sans tenir compte des conditions expérimentales, nous observons tout d'abord que la moyenne augmente entre le pré-test ($\bar{X}=88,64$) et le post-test ($\bar{X}=95,20$). Le gain relatif de 57,74 %, largement supérieur au seuil de 30 % énoncé par D'Hainaut (1975), permet de considérer qu'il y a eu apprentissage. De plus, le coefficient de variation diminue entre le pré-test (8,23%) et le post-test (4,21%). L'hétérogénéité au sein du groupe diminue donc entre le pré-test et le post-test.

Un t de student confirme la progression significative entre le pré-test et le post-test ($t = -3,060$; $p = 0,006$). Nous avons également utilisé le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson entre le pré-test et les gains relatifs, pour apprécier l'effet du dispositif en fonction du niveau de départ. La corrélation négative ($r=-0,47$) est statistiquement significative ($p=0,017$). Nous constatons donc une corrélation négative entre le niveau de départ des élèves en compréhension des prépositions spatiales et le gain relatif. En d'autres termes, les élèves les plus faibles au pré-test, progressent davantage et vice versa.

TABLEAU 2*Statistique descriptive - Progression globale en termes de compréhension*

	Moyenne	Coefficient de variation
Score total au pré-test (%)	88,64	8,23
Score total au post-test (%)	95,2	4,21
Gain relatif (%)	57,74	63,89

Quand on s'intéresse à la progression des deux groupes expérimentaux (avec ou sans carte de commande), plusieurs résultats peuvent être mis en évidence à la lecture du tableau 3. Nous constatons que le niveau de départ est plus faible dans le groupe utilisant les cartes de commandes ($\bar{X}=82,92$) que dans le groupe n'en utilisant pas ($\bar{X}=93,12$). Nos résultats à ce niveau sont donc à considérer avec prudence. Cependant en observant le pré-test et le post-test de chaque groupe, une progression est visible, laissant présager une amélioration des performances. Le coefficient de variation diminue dans les deux groupes, entre le pré-test et le post-test. L'hétérogénéité au sein des deux groupes est donc moins importante après l'expérimentation. Nous constatons également une différence entre le gain relatif qui équivaut à 50 % dans le groupe n'utilisant pas de cartes de commandes et à 61,59 % dans le groupe en utilisant. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'il soit plus aisé de progresser lorsque le score de départ est plus faible (comme dans le second groupe). Il est donc compréhensible que le gain relatif y soit plus élevé. D'un point de statistique, nous n'observons toutefois pas différence statistique de progression entre les deux groupes ($t=0,853$; $p=0,402$).

TABLEAU 3*Statistique descriptive - Progression des deux groupes en compréhension des prépositions spatiales*

	Groupe sans cartes de commandes (N=14)		Groupe avec cartes de commandes (N=11)	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Moyenne	93,12	96,56	82,92	93,44
Coefficient de variation	1,71	0,98	3,10	1,29
Gain relatif (%)	50		61,59	

Expression des prépositions spatiales (Q2)

L'épreuve de la maison Lego® amène les élèves à exprimer onze prépositions spatiales en contexte. Le tableau ci-dessous présente les principaux résultats. Nous pouvons constater que les résultats moyens au pré-test ($\bar{X}=57,91$ %) ne sont pas très élevés et progressent considérablement au post-test ($\bar{X}=85,52$ %). Le coefficient de variation diminue entre le pré-test et le post-test. L'hétérogénéité au sein du groupe tend donc à s'amoinrir après la mise en place du dispositif. Quant au gain relatif, celui-ci est important (65,6 %) et dépasse largement le seuil des 30 % fixé par D'Hainaut (1975). Cela montre bien qu'il y a eu apprentissage (tableau 4).

TABLEAU 4

Progression globale en expression des prépositions spatiales

	Moyenne	Coefficient de variation
Score total au pré-test	57,91	2,67
Score total au post-test	85,52	1,93
Gain relatif (%)	65,6	53,98

Avant de conclure trop hâtivement à un effet d'apprentissage sur la base de la comparaison de moyennes, nous avons appliqué un t de Student. Le résultat obtenu ($t=-7,639$, $p=0,000$) est significatif. Nous pouvons donc avancer que la différence de moyennes observée entre le pré-test et le post-test, est statistiquement significative. Le coefficient de Bravais-Pearson, calculé sur base du pré-test et du gain relatif, montre également que l'expérimentation ne favorise aucun profil d'élève en particulier ($r=-0,154$, $p=0,444$). Quand on s'intéresse à l'effet à de nos conditions expérimentales, Le tableau ci-dessus montre aussi bien au point de vue de la moyenne, du coefficient de variation et du gain relatif, que des résultats extrêmement semblables sont relevés dans les deux groupes. La moyenne augmente entre le pré-test et le post-test (tableau 5).

TABLEAU 5

Progression des deux groupes en expression des prépositions spatiales

	Groupe 2 : sans cartes de commandes (N=14)		Groupe 1 : avec cartes de commandes (N=13)	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Moyenne	57,14	85,71	58,74	85,31
Coefficient de variation	2,78	1,76	2,66	2,17
Gain relatif (%)	66,67		64,41	

Nous constatons également que le coefficient de variation est faible, mais diminue entre le pré-test et le post-test. L'application d'un t de Student sur les gains relatifs ($t=-0,39$, $p=0,969$) révèle que la progression ne se différencie pas selon l'usage ou non des cartes de commande sur le plan statistique. D'un point de vue pédagogique, nous pouvons estimer que les cartes n'apportent pas une aide supplémentaire pour les élèves dans l'expression des propositions spatiales.

Production d'un podcast (Q3)

Cette dernière question s'intéresse au produit de l'apprentissage avant et après l'expérimentation, pour une tâche d'élaboration orale de podcast, en réponse à un problème de programmation à résoudre avec l'application Scratch Jr (tableau 6).

TABLEAU 6

<i>Progression des deux groupes en élaboration orale</i>				
	Groupe 1 : sans cartes de commandes (N=15)		Groupe 2 : avec cartes de commandes (N=15)	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Moyenne	58	42	42	62
Coefficient de variation	30,84	59,29	79,68	21,03
Gain relatif (%)	-27,59		34,48	

Dix données devaient être fournies pour résoudre le problème correctement. Le tableau 6 décrit les principaux résultats obtenus dans les deux groupes, en pourcentage de réussite à l'exercice (100 % correspond à dix informations correctes). Les résultats entre les deux groupes sont très contrastés. La moyenne du groupe qui n'utilise pas de cartes de commande diminue entre le pré-test (58%) et le post-test (42%). A contrario, la moyenne du groupe 2 qui utilise les cartes de commandes pour planifier son parcours augmente entre le pré-test (42%) et le post-test (62%). Le gain relatif du premier groupe, n'utilisant pas les cartes de commandes est négatif (-27,59 %). Nous observons une régression dans ce groupe concernant la programmation d'un parcours. Quant au second groupe, planifiant son parcours à l'aide de cartes de commandes, nous constatons une progression de 34,48 %. Nous avons appliqué un t de Student entre les groupes, sur les gains relatifs, qui s'avère statistiquement significatif ($t=3,476$, $p=0,008$). Le coefficient de variation augmente pour le groupe n'utilisant pas les cartes de commandes, entre le pré-test et le post-test, alors qu'il diminue pour le groupe utilisant les cartes de commande. Nous pouvons donc mettre en évidence que la

planification préalable d'un parcours à l'aide de cartes de commandes (groupe 2) permet de diminuer l'hétérogénéité des résultats en programmation d'itinéraire. A contrario, le groupe 1 devient davantage hétérogène en fin d'expérimentation. En termes de processus, on peut se poser la question dans quelle mesure l'usage des cartes de commande favorise la réalisation de l'activité collaborative. Le tableau 7 présente les résultats de l'analyse de contenu réalisée sur la base des observations réalisées.

TABLEAU 7

Statistiques Inférentielles - Comparaison de moyennes selon les catégories de Bernard (2006) pour le groupe 1 (sans cartes de commandes)

	Groupe 1 : sans cartes de commandes			Groupe 2 : avec cartes de commandes		
	Pré-test	Post-test	Taux de croissance	Pré-test	Post-test	Taux de croissance
Interaction fonctionnelle	8,6	2	-76,7	16,2	2,8	-82,72
Régulation	16,4	4,8	-70,7	20	17,6	-12
TIC « objet » de l'interaction	6,6	1,2	-81,8	6,2	1,8	-70,97
Interactions sur les contenus et les savoirs	23,8	17,4	-26,9	37,2	24,6	-33,87
TIC « outil » de l'interaction	21,8	19	-12,8	35,8	34,8	-2,79

Dans les deux groupes, au sein de la catégorie des interactions fonctionnelles, le taux de croissance diminue. Suite au dispositif expérimental, les élèves éprouvent donc un besoin moins important d'explications sur le fonctionnement du matériel et de la tablette. Nous constatons également un nombre plus important d'unités de sens au sein du groupe 2, utilisant les cartes de commandes que dans le groupe 1, n'en utilisant pas. Nous avons également appliqué des t de Student afin de voir si les différences observées sont statistiquement significatives. Le tableau 8 présente les différents résultats obtenus par catégorie pour le groupe 1, n'utilisant pas de cartes de commandes.

TABLEAU 8

Statistiques Inférentielles - Comparaison de moyennes selon les catégories de Bernard (2006) pour le groupe 1 (sans cartes de commandes)

	Test t		
	t	ddl	P-value
Interaction fonctionnelle	4,598	4	0,010
Régulation	4,397	4	0,012
TIC « objet » de l'interaction	4,811	4	0,009
Interactions sur les contenus et les savoirs	0,676	4	0,536
TIC « outil de l'interaction »	0,288	4	0,787

Pour le groupe 1, n'utilisant pas de cartes de commandes, nous constatons une différence entre les trois catégories les moins riches au niveau du nombre de pôles mobilisés (interaction fonctionnelle, régulation et TIC « objet » de l'interaction) et les deux catégories les plus riches (interactions sur les contenus et les savoirs et TIC « outil » de l'interaction). La différence de moyennes entre le pré-test et le post-test est statistiquement significative pour les catégories « interactions fonctionnelles » ($t=4,598$; $p=0,010$), « régulation » ($t=4,397$; $p=0,012$) et « TIC objet de l'interaction » ($t=4,811$; $p=0,009$). Il n'y a pas de différence statistiquement significative pour les catégories « interactions sur les contenus et les savoirs » et « TIC outil de l'interaction ». Le tableau ci-dessous présente les mêmes analyses à propos du groupe 2, utilisant les cartes de commandes. Tout comme dans le premier groupe, la différence de moyennes pour la catégorie « interaction fonctionnelle » ($t=3,630$) est statistiquement significative ($p=0,022$). Il en va de même pour la différence de moyennes de la catégorie « TIC objet de l'interaction » ($t=3,415$; $p=0,027$). Nous ne relevons pas d'autres différences de moyennes statistiquement significatives. Comme dans le groupe 1, nous y retrouvons les deux niveaux les plus riches quant au nombre de pôles mobilisés (interactions sur les contenus et les savoirs et TIC outil de l'interaction). De plus, le t de Student de la catégorie « régulation » n'est pas statistiquement significatif (tableau 9, $t=1,218$, $p=0,290$).

TABLEAU 9

*Statistiques Inférentielles - Comparaison de moyennes selon les catégories de Bernard (2006)
pour le groupe 2 (avec cartes de commandes)*

	t	ddl	P-value
Interaction fonctionnelle	3,630	4	0,022
Régulation	1,218	4	0,290
TIC « objet » de l'interaction	3,415	4	0,027
Interactions sur les contenus et les savoirs	1,311	4	0,260
TIC « outil » de l'interaction	0,150	4	0,888

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Plusieurs résultats de notre étude méritent d'être discutés et mis en perspective. Tout d'abord, nous relevons plusieurs similarités entre la compréhension et l'expression des prépositions spatiales. Le dispositif expérimental mis en place a permis d'obtenir un gain d'apprentissage important, supérieur au seuil de 30 % de D'Hainaut (1975), aussi bien au point de vue de la compréhension (57,74 %) que de l'expression (65,6 %) des prépositions spatiales. Les différences de moyennes observées entre le pré-test et le post-test sont significatives et mettent en avant la progression des élèves. Tout comme l'ont observé Temperman et al. (2014), le dispositif a permis d'améliorer l'équité en termes d'apprentissage, à la fin de l'expérimentation. Ce résultat est très intéressant, car la gestion de l'hétérogénéité au sein d'une classe est complexe à mettre en place par les enseignants sur le terrain. Nous n'observons pas de différence de performance en fonction des cartes de commandes pour ce type de compétences. Au niveau du développement des compétences dans une logique constructionniste, les études empiriques montrent qu'il ne suffit pas de laisser l'élève livré à lui-même dans un micromonde, pour observer un effet bénéfique d'apprentissage (Gurtner & Retschizki, 1991). C'est pourquoi nous avons intégré l'application Scratch Jr, dans un scénario pédagogique structuré, afin d'espérer atteindre un niveau d'apprentissage élevé. En l'absence de groupe contrôle, nous ne pouvons pas imputer directement la progression des élèves, à la simple réalisation des activités avec l'application Scratch Jr. Cependant, nous avons observé un apprentissage effectif aussi bien au point de vue de la compréhension, que de l'expression des prépositions spatiales. Toutefois, l'ampleur de ce dernier varie. Le gain relatif est en effet plus important au point de vue de l'expression que de la compréhension des prépositions spatiales. Comme l'ont montré Piérart et Costermans (1979), les enfants comprennent les prépositions spatiales plus vite qu'ils ne les expriment.

En termes de production et d'élaboration (Q3), nos résultats montrent qu'il est préférable de recourir aux cartes de commandes pour obtenir un gain d'apprentissage (34,48 %). Nos résultats corroborent l'étude de Komis & Misirli (2015). En effet, selon eux, les cartes de commandes permettent aux enfants de retourner plus facilement sur le programme par cartes, de détecter les erreurs et de les corriger sur l'objet tangible (par exemple, le Bee-bot ou dans notre cas, sur la tablette). De plus, l'hétérogénéité au sein des groupes utilisant les cartes de commandes diminue, alors qu'elle augmente pour les groupes ne les utilisant pas. Nous avons également validé l'hypothèse selon laquelle les groupes qui planifient au préalable leur programme à l'aide de cartes de commandes mettent plus de temps pour réaliser l'activité. Cela peut s'expliquer par le fait que les élèves effectuent une étape supplémentaire de planification, à l'aide de matériel concret qu'ils doivent manipuler avant de programmer. Nos résultats en termes d'interactions avec l'artefact sont intéressants. En effet, les cinq catégories du carré médiatique (Bernard, 2006) se répartissent globalement de la même manière pour les groupes qui utilisent à la fois les cartes de commandes associées à la tablette et les groupes qui utilisent uniquement la tablette. L'apport de matériel concret (cartes de commandes) en complément de l'outil technologique (tablette), n'a donc pas d'influence sur la dynamique interactionnelle au sein des groupes. Cependant, le nombre d'unités de sens par catégorie est plus élevé pour le groupe utilisant les cartes de commandes et la tablette. En effet, ce groupe s'exprime et agit davantage en raison de la manipulation supplémentaire d'un matériel concret. Nos résultats corroborent d'ailleurs l'étude de Bernard, Boulc'h & Arganini (2013) s'intéressant à l'appropriation de l'outil technologique (tablette-PC), dans une dynamique interactionnelle, chez des élèves du cycle 4. En effet, les catégories les plus riches qui mobilisent le plus de pôles différents sont les plus représentées. Toutefois nous observons que la part d'échanges centrés uniquement sur l'artefact et son fonctionnement n'est pas majoritaire comme dans l'étude de Bernard et al. (2013). En effet, ces catégories sont peu représentées et diminuent encore pour le groupe utilisant les cartes de commandes à la fin de la phase expérimentale. La phase de découverte a donc permis une appropriation des tablettes tactiles en tant qu'instrument, au sens où Rabardel (2005) l'entend et la phase expérimentale a renforcé cette appropriation. Ce constat corrobore les précédents travaux réalisés par Bernard & Baker (2009, 2010) sur l'appropriation d'un environnement informatique dans le cadre d'un apprentissage collaboratif à l'école. L'usage de cartes de commandes pour planifier son programme avant de l'encoder dans l'application Scratch Jr est pertinent, dans une dynamique de travail collaboratif.

Pour conclure, l'ensemble de nos résultats laisse présager que l'application Scratch Jr est un « amplificateur cognitif » comme le présentent Depover et al. (2007) dans le sens où les élèves retirent un bénéfice d'apprentissage. Nos résultats vont dans le sens de Flannery & al. (2013) sur l'importance de la planification par les élèves lors de situa-

tions de résolution de problèmes. L'utilisation de cartes de commandes pour planifier au préalable son programme peut apporter une plus-value à l'apprentissage et donne la possibilité de mieux gérer les interactions entre les différents personnages sur la scène (Papadakis et al., 2016). En effet la planification est selon Diane & Ellen (2002) « une activité cognitive d'ordre supérieur qui consiste à élaborer et coordonner une séquence d'actions visant l'atteinte d'un but ». La résolution de problèmes nouveaux dans des tâches de planifications d'itinéraires est possible chez les jeunes enfants et peut se développer tout au long de la scolarité. Dans le cadre de la formation des enseignants à l'apprentissage du code (Bean, Weese, & Feldhausen, 2016), il importe de documenter et de partager ces pratiques pour faciliter les apprentissages de leurs élèves dans ce domaine.

RÉFÉRENCES

- Bean, N., Weese, J., Feldhausen, R., & Bell, R. S. (2015). Starting from scratch: Developing a pre-service teacher training program in computational thinking. In *Frontiers in Education Conference (FIE)*, (pp. 1-8). IEEE.
- Bernard, F.-X. (2006). *L'impact cognitif des dispositifs médiatiques sur les enfants d'âge préscolaire en situation d'apprentissage avec un adulte: Étude d'un cas de simulateur informatique dans le contexte d'une exposition scientifique*. Thèse de doctorat, Université Paris 5, France.
- Bernard, F.-X., & Baker, M. (2009). Une analyse des processus d'appropriation d'un environnement informatique pour l'apprentissage collaboratif dans la classe. In E. Delozanne, A. Tricot & P. Leroux (Eds.), *Actes de la 4ème Conférence EIAH2009* (pp. 101-108). Lyon: INRP.
- Bernard, F.-X., & Baker, M. (2010). Débats instrumentés sur les questions socialement vives au lycée : L'étude longitudinale de l'appropriation d'outils technopédagogiques. In *Actes du Congrès international de l'AREF « Actualité de la recherche en éducation et en formation »*. Genève: Unige. Retrieved from <https://plone2.unige.ch/aref2010/communications-orales/premiers-auteurs-en-b/Debats%20instrumentes.pdf/view>.
- Bernard, F.-X., Boulc'h, L., & Arganini, G. (2013). Utilisation de tablettes numériques à l'école. Une analyse du processus d'appropriation pour l'apprentissage, *Revue STICEF*, 20. Retrieved from http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2013/03-bernard-atame/sticef_2013_NS_bernard_03.htm.
- Bers, M. U. (2018). Coding and computational thinking in early childhood: The impact of Scratch Jr in Europe. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 08.
- Béziat, J. (2012). *Les TIC à l'école primaire en France : Informatique et programmation*. Équipe FRED, Université de Limoges, France. Retrieved from <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1311d.htm>.
- Bruillard, É. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris: Éditions Hermès.
- Bruner, J. (1983). *Le développement de l'enfant : Savoir-faire, savoir dire*. Paris: PUF.
- Courant, J. (2010). *Le vocabulaire spatial en production chez les enfants présentant des pathologies du langage écrit*. Mémoire, Unité de Formation et de Recherche Université de Nantes, France.
- Crahay, M. (1987). LOGO, un environnement propice à la pensée procédurale. *Revue Française de Pédagogie*, 80, 37-56.
- D'Hainaut, L. (1975). *Concepts et méthodes de la statistique* (Vol. 1). Bruxelles: Labor.
- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). *Enseigner avec les technologies*. Québec: Presses de l'Université du Québec.

- Diane S.-L., & Ellen, M. (2002). Le développement de la planification : Influence d'une activité conjointe. *Enfance*, 54, 341-361.
- Flannery, L.-P., Kazakoff, E.-R., Bontá, P., Silverman, B., Bers, M.-U., & Resnick, M. (2013). Designing Scratch Jr: Support for early childhood learning through computer programming. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 1-10). New York, USA: ACM.
- 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. *Hermes*, 5(1), 47-61.
- Gurtner, J.-L., & Retschitzki, J. (1991). *LOGO et apprentissages*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- 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 G.-L. Baron, E. Bruillard & V. Komis (Éds.), *Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques* (pp. 271-281). Athènes, Grèce : New Technologies Éditions.
- 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.
- Lai, A., & Yang, S. (2011). The learning effect of visualized programming learning on 6th graders' problem solving and logical reasoning abilities. In *International Conference on Electrical and Control Engineering*, (6, pp. 940- 944), Yichang, China: ICECE.
- Leroyer, L. (2005). S'approprier le vocabulaire spatial et temporel par « le faire et le dire ». *Grand N*, 75, 31-43.
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2016). Developing fundamental programming concepts and computational thinking with Scratch Jr in preschool education: A case study. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 10(3), 187-202.
- Pekarova, J. (2008). Using a programmable toy at preschool age: Why and how? In *Workshop Proceedings of SIMPAR 2008, International Conference on simulation, modeling and programming for autonomous robots* (pp. 112-121). Italia: Springer.
- Piérart, B., & Costermans, J. (1979). A multi-dimensional analysis of some French prepositions of space localization. *International Journal of Psycho-Linguistics*, 6(2), 45-57.
- Portelance, D.J., Strawhacker, A. L., & Bers, M. U. (2015). Constructing the Scratch Jr programming language in the early childhood classroom. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(4), 489-504.
- Rabardel, P. (2005). Instrument, activité et développement du pouvoir d'agir. In P. Lorino & R. Theulier (Eds.), *Activité, Connaissance, Organisation* (pp. 251-265). Paris, France: La Découverte.
- Robert, F. (1985). L'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement primaire : L'exemple de la France. *Enfance*, 38(1), 19-30.
- Robin, F. (2002). Production et coordination des termes spatiaux entre 6 et 9 ans. *Enfance*, 54, 363-379.
- Temperman, G., Anthoos, C., De Lièvre, B., & De Stercke, J. (2014). Tâches de programmation avec Scratch à l'école primaire : Observation et analyse du développement des compétences en mathématique. *Frantice*, 9, 94-105.