

ALGORITHMIQUE AU PRIMAIRE

PREMIERS RÉSULTATS D'UNE RECHERCHE EN COURS

Michèle Couderette

Enseignante chercheuse, UPEC
Laboratoire de didactique André Revuz
I IRL CRM-CNRS, Université de Montréal,
et Centre National de la Recherche Scientifique
michele.couderette@u-pec.fr

Marine VENISSE

Professeur des Ecoles, Education Nationale
EEA MOLIERE Le Mée sur Seine
marine.venisse@ac-creteil.fr

Xavier SAVY

Professeur des Ecoles Maître Formateur, Education Nationale
EEA MOLIERE Le Mée sur Seine/INSPE 77
xavier.savy@ac-creteil.fr

Clotilde ABOUT-CHEVROLIER

Directrice Ecole Application Maître formatrice, Education Nationale
EEA MOLIERE Le Mée sur Seine/INSPE 77
clotilde.chevrollier@ac-creteil.fr

Résumé

Alors qu'au cycle 4 la programmation est un thème d'étude à part entière, au primaire algorithmique et programmation sont inscrits dans le champ des mathématiques ou des sciences et technologies, au travers d'activités de codage, de repérage et déplacements dans l'espace. Dans notre communication, nous présentons les premiers résultats d'une recherche collaborative en cours engageant plusieurs professeurs d'écoles au cycle 2. Nous montrons des élèves tentant de programmer des robots de planchers pour résoudre deux situations-problèmes. Le réseau quadrillé, souvent introduit comme outil pour se repérer, devient ici objet d'étude. Nous mettons en évidence la manière dont les participants à la recherche collaborative dénouent les difficultés inhérentes à l'interdisciplinarité en élaborant un scénario autour d'un « pas de deux » (au sens gymnique du terme), les disciplines contribuant l'une à l'autre sans pour autant affaiblir les visées didactiques spécifiques à chacune.

Notre communication a porté sur un travail mené au sein d'une recherche collaborative. Celle-ci a engagé trois professeurs d'école et une chercheuse en didactique des mathématiques. Cette recherche a pour but de développer des compétences professionnelles par la recherche ainsi que de produire des ressources pour la classe. Dans ces actes, nous reprenons le plan de la communication telle que nous l'avons développée lors du colloque. Nous présentons le contexte de la recherche, puis le déroulement expérimental et enfin les situations. Nous revenons enfin sur les premiers observables lors de la mise en œuvre des situations.

I - CONTEXTE DE LA RECHERCHE COLLABORATIVE

Depuis la rentrée 2016, une initiation à la programmation informatique est inscrite dans les programmes d'école primaire. Si au cycle 4, la programmation est un thème d'étude à part entière, au primaire algorithmique et programmation sont désignés comme des objets transversaux pouvant être travaillés

dans le champ des mathématiques, des sciences et technologie, du langage, de la géographie... Le document *Initiation à la programmation aux cycles 2 et 3* (Éduscol) livre quelques précisions aux enseignants :

L'initiation à la programmation pourra être une opportunité pour des travaux interdisciplinaires : avec le champ questionner le monde au cycle 2, par exemple, autour de la question du repérage ou avec le français, dans le développement des usages du langage oral ou écrit, notamment en créant des histoires illustrées par de courtes animations créées par les élèves (MEN, 2016, p. 1)

Au-delà du fait que l'initiation à la programmation est ici pointée comme une *opportunité* favorisant l'interdisciplinarité et que les disciplines évoquées relèvent du français et des mathématiques, on peut s'interroger sur la réception de ces préconisations par des professeurs d'école. Les enseignants perçoivent-ils cette introduction dans les programmes comme l'enseignement apprentissage de concepts informatiques ou bien comme un prétexte à la consolidation d'apprentissages « fondamentaux » ? Plusieurs recherches (Vandeveldt & Fluckiger, 2020 ; Spach, 2017 ; Villemonteix, 2018) montrent que les professeurs d'école se tournent souvent vers des ressources clés en main, sans être en mesure d'identifier clairement les enjeux de savoir, privilégiant une « intention à produire chez les élèves un rapport à la découverte » (Villemonteix, 2018) ou recherchant « une compatibilité avec des enseignements légitimes » (*Ibid.*) D'autres recherches (Couderette, 2016 ; Devos-Prieur & Grandaty, 2011 ; Schubauer-Léoni, Leutenegger & Forget, 2007) montrent les difficultés à mener un projet d'enseignement sous couvert de plusieurs disciplines et ce d'autant plus s'il y a un déficit de formation dans l'une des disciplines, informatique en l'occurrence (Briant, 2013 ; Couderette, 2016).

Notre recherche s'inscrit donc dans le fil de ces constats — développer des connaissances théoriques, c'est-à-dire relevant de savoirs à enseigner et *pour* enseigner — mais ayant aussi pour ambition de produire des ressources pour la classe. Les dispositifs construits tout au long de la recherche ont été expérimentés dans deux classes d'une école se trouvant dans un réseau d'éducation prioritaire (REP). Une des classes est un cours double CP/CE1 dirigé par une enseignante débutante (moins de 8 d'ancienneté), l'autre est un CE2 dirigé par un enseignant chevronné (plus de trente ans d'ancienneté).

II - DÉROULEMENT EXPÉRIMENTAL

Le choix des participants à la recherche collaborative a été de suivre les préconisations institutionnelles en s'inscrivant dans le transversal : les situations proposées aux élèves s'adosent à plusieurs disciplines, principalement à l'informatique, aux sciences et aux mathématiques. Nous avons utilisé des robots de plancher, des Blue-Bots, pour les potentialités rétroactives lors de l'étude de l'objet technologique en lui-même, de l'introduction de concepts algorithmiques, de l'introduction du quadrillage comme outil modélisant les déplacements du robot.

Les deux premières séances (S1 et S2) ont porté sur l'étude de l'objet technologique et l'élaboration d'un codage des déplacements du robot commun à l'ensemble des élèves. Les deux séances suivantes (S3 et S4) ont mis les élèves en situation de résolution d'un problème « programmer un Blue-Bot pour qu'il traverse un tunnel ». Enfin la dernière séance (S5) demandait aux élèves de programmer le Blue-Bot pour qu'il suive une ligne polygonale. Bien que notre communication ait porté plus particulièrement sur les séances 3 et 4, nous présentons brièvement dans la section suivante les séances ante et post pour mieux appréhender la cohérence du dispositif. La figure 1 représente le déroulement temporel des expérimentations.

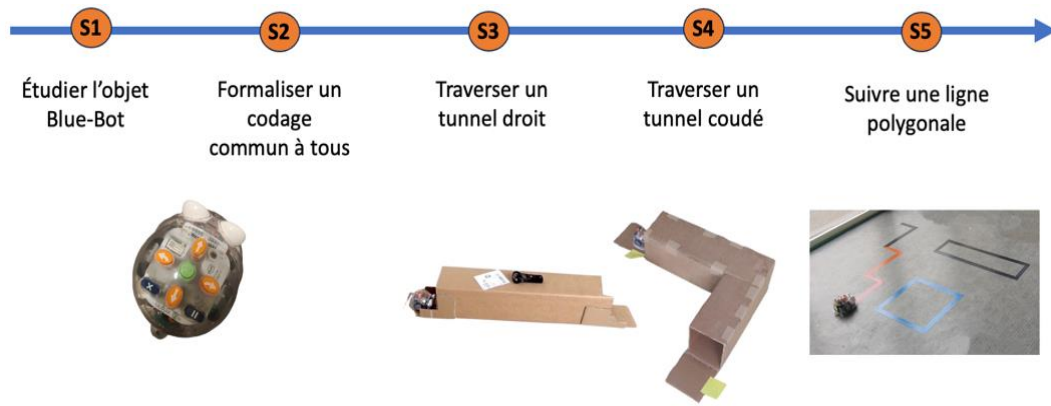


Figure 1. Déroulement temporel des expérimentations

III - PRÉSENTATION DU DISPOSITIF DIDACTIQUE

Nous avons demandé aux élèves de résoudre deux tâches, relevant d'une même situation « déplacer un robot d'un point A à un point B ». Les tâches consistaient à programmer un Blue-Bot pour qu'il traverse un tunnel droit (tâche 1) ou un tunnel coudé (tâche 2). Précisons que la visée est d'une part d'introduire des concepts informatiques, d'autre part de questionner la possibilité d'introduire une activité de modélisation au cycle 2. Dans un premier temps, une vidéo d'un métro automatique entrant dans un tunnel a été présentée aux élèves, vidéo montrant clairement l'absence de conducteur. Cette mise en contexte a permis aux élèves d'entrer plus rapidement dans la compréhension des tâches telles qu'elles ont été énoncées aux élèves :

On a créé en 1998 des lignes de métro automatiques. La ligne automatique, elle est programmée pour fonctionner toute seule : s'arrêter à une station, se déplacer dans un tunnel, et s'arrêter à une autre station. Regardez bien [figure 2a]. Il n'y a plus de conducteur, ça s'arrête tout seul. Votre mission, votre problème, c'est comment on programme une ligne de métro. Le métro automatique, c'est comme un robot.

Je vous présente le métro Blue-Bot [figure 2b]. Je ne peux pas creuser en souterrain pour faire un tunnel. Je vous propose... un tunnel de métro. On est bien d'accord que votre métro, enfin je veux dire le Blue-Bot, il va devoir partir de notre station, une station A, il va falloir qu'on le programme pour qu'il se déplace dans le tunnel et qu'il arrive pile à la station B. On ne veut pas qu'il arrive ailleurs que dans cette zone-là. Le petit problème, c'est qu'il ne faut pas notre Blue-Bot reste bloqué dans le tunnel. Donc il va falloir trouver quelque chose pour essayer en un seul essai d'arriver à la station B.

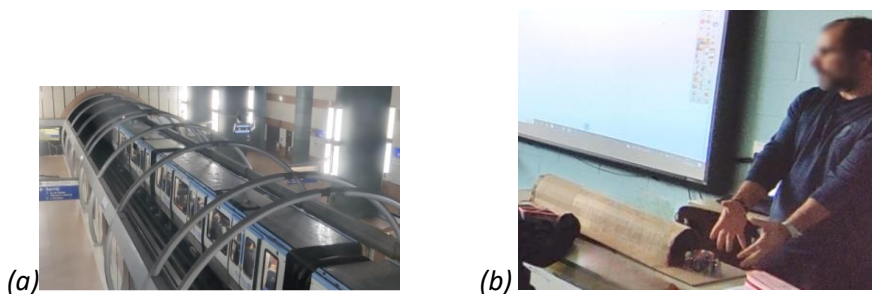


Figure 2. Extrait de la vidéo (a) et présentation du métro Blue-Bot (b)

Les tunnels proposés aux élèves ont été fabriqués de manière contraignante : (i) en carton sans la moindre marque pouvant indiquer leur longueur, (ii) suffisamment longs pour que les élèves ne puissent pas agir sur le Blue-Bot au cours de son déplacement. De ce fait, les élèves étaient amenés à anticiper les déplacements dans leur intégralité et donc à produire puis tester un programme complet. Ce faisant, ils répondaient à un premier principe au cœur de la programmation, l'anticipation.

Pour résoudre les deux problèmes, les élèves avaient à leur disposition des bandes ou plans quadrillés selon des unités de mesure différentes (figure 3). Seule une bande ou un plan permettait d'obtenir un programme correct.

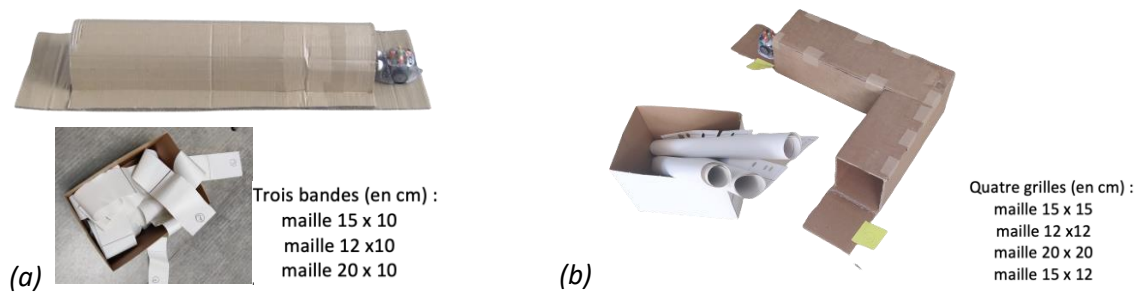


Figure 3. Tunnel droit et bandes graduée (a) ; tunnel coudé et plans quadrillés (b)

Les bandes et plans quadrillés ont été construits de telle façon qu'ils pouvaient tous convenir pour mesurer les tunnels. Ainsi, par exemple, pour la première tâche, toutes les bandes proposées aux élèves permettaient de mesurer les tunnels, mais une seule était en « pas Blue-Bot » ! L'opportunité d'un prêt de « robot-souris » en fin de séquence, d'un pas différent de celui du Blue-Bot, a montré que la mesure des tunnels dépendait de l'étalon choisi, et que cette donnée était particulièrement importante pour programmer les robots.

IV - PREMIERS OBSERVABLES LORS DES EXPÉRIMENTATIONS

1 Un objet se révélant problématique : le Blue-Bot !

Signalons tout d'abord que le Blue-Bot, bien que son nom sous-entende qu'il soit un robot, est un automate. Il réagit à la pression de touches positionnées sur le capot et non à des événements provenant de son environnement. Par commodité, nous garderons cette terminologie. La manipulation du Blue-Bot fait apparaître plusieurs sources potentielles de difficultés pour des élèves de cycle 2.

Les Blue-Bots sont des objets orientés ce qui demande à l'élève de *repérer chaque déplacement dans le repère du Blue-Bot* et non pas par rapport à lui-même.

Les déplacements sont commandés différemment selon que l'on change de direction ou pas : pour avancer et reculer, une seule commande suffit alors que tourner, deux sont nécessaires, l'une pour indiquer la direction (pivoter à droite ou à gauche) l'autre pour avancer.

Vider la mémoire s'opère par la touche « X ». Si la mémoire contient un premier programme, les nouvelles instructions se rajoutent à celles du programme initial. Or rien ne permet à l'élève de savoir si la mémoire est vide. Cet *aspect cumulatif de saisie des commandes* ne facilite ainsi pas l'interprétation des rétroactions du Blue-Bot.

Enfin, *la longueur du pas du Blue-Bot est très proche de sa taille* ce qui, nous le verrons par la suite, induira une technique non attendue de résolution du problème « traversée du tunnel droit ».

2 Vivre l'interdisciplinarité : quel dispositif mésogénétique ?

Dans cette section, nous décrivons les dispositifs didactiques et cherchons à préciser pour chacune des séances, l'enjeu principal ainsi que les disciplines contribuant à la construction des savoirs.

Les deux premières séances avaient pour but d'étudier l'objet technologique (séance 1) et de formaliser un code commun à tous pour décrire les déplacements du Blue-Bot (séance 2). Si la fonction des actionneurs pour avancer ou reculer est apparue évidente pour les élèves, celle pour pivoter à droite ou à gauche fut moins immédiate et celle du bouton permettant de vider la mémoire du robot plus difficile à comprendre. Or ces connaissances, et particulièrement celles relatives à la notion de mémoire

informatique, étaient nécessaires pour que les rétroactions du Blue-Bot soit interprétables. La communication entre élèves d'un programme demandait l'élaboration d'un langage commun à la classe. Ces deux séances ont de ce fait fourni les ingrédients nécessaires aux milieux didactiques des séances suivantes.

La tâche de la troisième séance consistait à programmer le robot pour qu'il se déplace d'une station A à une station B en traversant un tunnel droit. Si pour les élèves, il s'agissait d'agir sur le Blue-Bot et de le programmer, la visée didactique principale des enseignants était autre et s'inscrivait dans le champ des mathématiques, en particulier celui de la mesure : mesurer dans des systèmes non conventionnels et investiguer pour déterminer la bande utile à la programmation du robot (figure 4).



Figure 4. Recherche de la mesure des tunnels en pas Blue-Bot par les élèves

Nous avons observé des élèves prendre en compte l'ensemble du dispositif (quais et tunnel) pour ensuite se rendre compte que seule la mesure du tunnel importait, d'autres placent au hasard la bande sur le tunnel sans tenir compte du quadrillage, d'autres encore expliquent à leurs camarades les moments clés dans l'activité de mesure. La notion de mesure et d'étalon a pu être approchée (CP/ CE1) ou consolidée (CE2) : avec la bande A, le tunnel mesure 4, mais avec la bande B, il mesure 3 et avec la bande C, il mesure 5. Enfin, nous avons observé les élèves développer une démarche d'investigation par essai/erreur pour déterminer la bande adéquate. Ce faisant, en cherchant à résoudre une tâche de programmation simple, les élèves ont travaillé principalement des compétences et savoirs mathématiques, savoirs qu'ils ont pu réinvestir dans les séances suivantes. Dans la mesure où l'anticipation est un principe premier de la programmation informatique, nous aurions pu prolonger la séance en demandant aux élèves d'écrire un programme pour une traversée d'un tunnel de longueur n dans les mêmes conditions (Blue-Bot à l'entrée et la sortie du tunnel) et observer si les élèves auraient été capables de prévoir un déplacement de $n+1$ sans manipulation. Ce prolongement sera expérimenté lors de la poursuite de la recherche.

Lors de la quatrième séance, il s'agissait de programmer un robot pour qu'il se déplace d'une station A à une station B mais cette fois-ci en traversant un tunnel coudé. Les élèves avaient à leur disposition plusieurs plans quadrillés (figure 5). Si pour les élèves, la tâche restait identique — programmer le Blue-Bot —, les connaissances et compétences travaillées lors de la troisième séance ont permis de s'orienter vers des objectifs informatiques : notions de programme informatique, de codage, d'instruction, de mémoire. Nous avons observé des élèves réinvestir et améliorer les procédures de la séance précédente : (i) test des plans quadrillés par déplacement d'un Blue-Bot sur chacun, écriture du programme pour le quadrillage retenu puis test du programme dans le tunnel, d'autres plaçaient le plan sur ou sous le tunnel, écrivaient un programme pour chacun puis testaient avec le Blue-Bot, d'autres encore se contentaient de vérifier que les mailles du plan correspondaient sensiblement à la longueur du Blue-Bot pour déterminer le plan puis écrivaient un programme.



Figure 5. Recherche du programme en pas Blue-Bot pour la traversée du tunnel

Cette dernière procédure nous semble problématique (*cf.* section précédente). Ainsi que le fait remarquer un des participants à la recherche :

Certains élèves se servent de la taille du robot pour choisir la bande [quadrillage] quadrillée. Et comme leur taille correspond à leur déplacement, les élèves ont raison. Le problème c'est que le matériel risque de leur donner une mauvaise représentation de ce qui se joue ici : la taille du robot ne devrait avoir aucun rapport avec la longueur de son déplacement : un petit robot peut très bien faire un pas plus grand qu'un grand robot. (Ens1, mai 2023).

La principale difficulté des élèves pour programmer le Blue-Bot s'est située au niveau du pivotement. Sur quelle case prévoir le pivotement ? Mettre le tunnel sur le quadrillage ou du côté intérieur du tunnel ne les a pas dépatés : le Blue-Bot entrain en collision dans le tunnel... Une solution est venue d'un groupe d'élèves qui a proposé de placer le quadrillage sur le tunnel. L'utilisation du côté d'un quadrillage comme d'une bande déplacée le long du tunnel du côté extérieur a ensuite permis de dénouer cette difficulté (figure 6).



Figure 6. Déplacement d'un plan sur le côté extérieur du tunnel

La cinquième séance était tournée vers des objectifs informatiques : il s'agissait de simuler une instruction « répéter » en utilisant la mémoire de la Blue-Bot. Nous avons proposé aux élèves de programmer un robot pour qu'il suive des lignes polygonales. Afin d'aider les élèves à repérer les récurrences, deux lignes polygonales étaient tricolores et non fermées et deux autres représentaient un rectangle et un carré de couleur noire. Les élèves avaient à disposition des bandes quadrillées dans le pas du robot (figure 7).

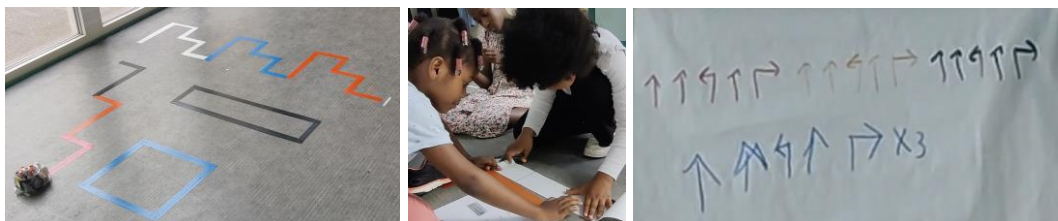


Figure 7. Programmation de motifs récurrents

Seule la classe de CP/ CE1 a eu le temps d'expérimenter. La plupart des élèves ont parcouru les parcours colorés. Deux binômes de CE1 ont réussi les quatre parcours en tenant compte des instructions se

répétant pour programmer les circuits carrés et rectangulaires : les élèves ont appuyé sur la touche GO pour effectuer la répétition des instructions. Cette manière de faire a permis d'affiner la compréhension de la notion de mémoire informatique qui demeurerait encore obscure pour beaucoup d'élèves. En effet, lors des séances précédentes, ainsi que l'observe les enseignants, « les élèves [appuient] systématiquement [sur la touche « croix »] *sans forcément réfléchir à l'utilité de garder un programme en mémoire pour tester les bandes* ».

Finalement, au terme de la séquence, plusieurs disciplines ont été convoquées : mathématiques, informatique, technologie et langage. Le tableau 1 résume les notions et concepts travaillés.

Mathématiques	Grandeurs et mesures, démarche d'investigation Utiliser une bande graduée : quelle unité de mesure ? Utiliser un quadrillage : quel système de lignes et pourquoi ? Mesurer dans un système non conventionnel.
Informatique	Anticipation. Algorithme : écriture en langage naturel du déplacement visé. Programme : écriture dans le langage du robot du déplacement visé. Mémoire informatique. Itération.
Technologie	Fonctionnement des robots. Fonction des actionneurs.
Langage	Codage

Tableau 1. Enjeux de savoir visés pour chacune des disciplines

V - BRÈVE CONCLUSION

Dans cette communication, nous avons cherché comment, tout en restant dans l'esprit du programme, dénouer les difficultés inhérentes à un projet engageant plusieurs disciplines. La figure conclusive (figure 8) précise les disciplines engagées dans chacune des séances ainsi que, en gras, la discipline principale en termes de savoirs visés. Nous montrons ainsi la manière dont nous avons construit le scénario pour que, d'une séance à la suivante, chacune des disciplines fournisse à la suivante les éléments nécessaires à la construction de savoirs, que ceux-ci soient mathématique ou informatique.

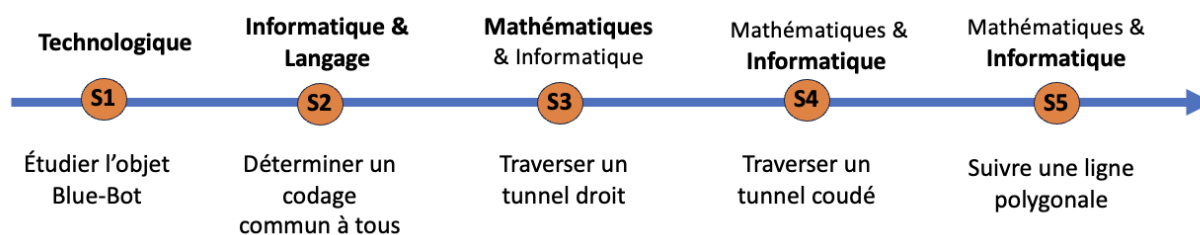


Figure 8. Scénario global de la séquence

Pour conclure, nos résultats rejoignent ceux de travaux récents (Mari, 2022 ; Mari et al., 2022 ; Mari, 2023) montrant qu'un « entrelacement » entre savoirs instrumentaux, savoirs mathématiques et savoirs informatiques en permettant une autre approche, favorisent la construction de savoirs et compétences dans le domaine de la géométrie spatiale.

VI - BIBLIOGRAPHIE

Briant N., (2013). Étude didactique de la reprise de l'algèbre par l'introduction de l'algorithmique au niveau de la classe de seconde du lycée français. Thèse de doctorat. Université Montpellier 2.

Couderette M. (2016). Enseignement de l'algorithmique en classe de seconde : une introduction curriculaire problématique, Annales de didactiques et de sciences cognitives, 21, 267-296

Mari, E. (2022). Potentialités de la robotique pédagogique pour le développement de connaissances spatiales à l'école. Education. Aix Marseille Université (AMU), Marseille, FRA. (NNT :). (tel-03872631)

Mari, E., Millon-Faure, K., & Assude, T. (2022). Programmable Floor Robots and Spatial Knowledge with 6-7-year-old Students. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, 29(2), pp. 87-96. [Catégorie SJR : Computational Theory and Mathematics]

Mari, E. (2023). Robotique et connaissances spatiales. Dans Guille-Biel Winder C., Assude T. (coord.) *Articulations espace sensible, espace graphique, espace géométrique. Ressources, pratiques et formation* (pp.129-138). Londres : ISTE Science Publishing.

Devos, O., Grandaty, M. (2011). Les retombées de la formation continue : étude comparée des contenus enseignés en EPS et en ML chez un PEMF et un PE. 2^e Colloque international de l'ARCD " Les contenus disciplinaires", Lille 3, 20-22 Janvier

Schubauer-Leoni, M.L., Leutenegger, F. , Forget, A. (2007). L'accès aux pratiques de fabrication de traces scripturales convenues aux commencements de la forme scolaire : interrogations théoriques et épistémologiques. *Éducation & didactique*, 1(2), 7-35

Spach M. (2017). Activités robotiques à l'école primaire et apprentissage de concepts informatiques : quelle place du scénario pédagogique ? Les limites du co-apprentissage. Université Sorbonne Paris Cité, 2017. Français.

Vandeveldel I., Fluckiger C. (2020). L'informatique prescrite à l'école primaire. Analyse de programmes, ouvrages d'enseignement et discours institutionnels. Colloque Didapro-Didastic 8, Lille, France.

Villemonteix F. (2018). Entre savoir-faire et devoir-faire, quelle légitimation des pratiques pédagogiques de l'informatique à l'école primaire ? 5^e colloque international en éducation. Symposium « Enseignement et apprentissage de l'informatique à l'école primaire », Montréal, Canada.