

Le jeu du robot : analyse d'une activité d'informatique débranchée sous la perspective de la cognition incarnée

MARGARIDA ROMERO¹, MARIE DUFLLOT², THIERRY VIÉVILLE¹

¹Laboratoire d'Innovation et Numérique pour l'Éducation
Université Côte d'Azur
France
margarida.romero@unice.fr
Thierry.Vieville@inria.fr

²CNRS, Inria, LORIA
Université de Lorraine
France

ABSTRACT

Unplugged computing activities became popular at the same time as the introduction of computer science learning at school. In this article we analyze the educational opportunities yielded by computer unplugged activities from the perspective of educational sciences. Theories related to embodied cognition are used here as a framework to analyse unplugged activities such as the robot game, where a student acts as a programmer and the other as a programmable object, such as a robot. This robot game allows us to discuss the potential of unplugged computing activities in connection with the learning of orientation in space, including the transformation from the plane to the three-dimensional space, taking the embodied cognition potential into account.

KEYWORDS

Programming, unplugged computing activity, algorithm, embodied cognition, Robotics

RÉSUMÉ

Les activités d'informatique débranchée se sont popularisées en même temps que l'introduction de l'apprentissage de l'informatique à l'école. Dans cet article nous analysons le potentiel pédagogique d'activités d'informatique débranchée sous

la perspective des sciences de l'éducation. Les théories en lien avec la cognition incarnée nous servent de cadre d'analyse d'activités d'informatique débranchée comme le jeu du robot, où l'une ou l'un des participant-e-s joue par exemple le rôle d'une programmeuse et l'autre d'un objet programmable comme un robot. Ce jeu du robot nous permettra de discuter le potentiel des activités d'informatique débranchée en lien avec les repères dans l'espace, y compris le besoin de transposition du plan à l'espace, en tenant compte du potentiel de la cognition incarnée.

MOTS-CLÉS

Programmation, Informatique débranchée, algorithme, cognition incarnée, Robotique

APPRENDRE AVEC DES ACTIVITÉS D'INFORMATIQUE DÉBRANCHÉE

Il est courant de dire qu'il faut limiter le temps d'exposition des écrans (Saunders & Vallance, 2017), éviter la passivité numérique (Karsenti, 2018) et développer la pensée critique face au numérique. Dans le cadre de l'apprentissage de la programmation, il est habituel d'évoquer des usages de logiciels comme Scratch ou encore des objets connectés, tels des robots (Misirli & Komis, 2014) ; cependant, il existe un paradigme complémentaire qui ne requiert pas de technologie matérielle ou logicielle : l'informatique débranchée ou unplugged computing (Bell, Witten, & Fellows, 1998; Bell, Alexander, Freeman, & Grimley, 2009; Drot-Delange, 2014). Les activités débranchées ne font pas usage de l'ordinateur ou d'autres technologies numériques. Au cours de ces activités, les élèves apprennent de manière ludique par le biais d'activités "débranchées" les notions au cœur de l'informatique, y compris la robotique. Par exemple, il est possible d'apprendre ce qu'est un algorithme ou encore comment coder et transmettre une information. Cela permet d'aborder la pensée informatique (Wing, 2011) comme démarche de résolution de problèmes pour laquelle l'informatique n'est pas une fin en soi ; les apprenants peuvent prendre du recul, tout en incarnant (embodiment, Tsarava et al., 2017) les apprentissages réalisées par le biais de ces activités en mouvement. Cette approche de l'apprentissage de l'informatique est aussi en cohérence avec une attitude qui dépasse la technophilie et la technophobie comme positions binaires et opposées. Il s'agit plutôt de développer une approche sociocritique par laquelle la personne apprenante et citoyenne développe un rapport critique et créatif au numérique tout en s'appropriant, en utilisant son esprit et son corps, des concepts et des processus de la pensée informatique. Dans ce sens, diverses études sur la robotique pédagogique (Highfield, Mulligan, & Hedberg, 2008; Misirli & Komis, 2016) pointent l'intérêt de la relation spatiale humain-robot comme moyen de faire apprendre les repères dans l'espace.

Depuis plus de vingt ans, des chercheurs néozélandais (Bell et al., 1998) ont mis en place un programme d'enseignement des fondements de l'informatique sans ordinateur. Leur document dont une version française est disponible sous le titre «L'informatique sans ordinateur » (https://interstices.info/upload/csunplugged/CSUnplugged_fr.pdf) décrit avec précision la philosophie de cette démarche et propose toute une série d'activités pour les élèves à partir de l'école primaire. Drot-Delange (2014) fait une révision de différents programmes scolaires et parascolaires qui intègrent différents types d'activités débranchés, avec une attention particulière à l'apprentissage de la représentation de l'information en binaire. De manière expérimentale, Brackmann et ses collègues (2017) étudient l'impact des activités débranchées sur deux classes avec groupe témoin ; ils ont observé une amélioration statistiquement significative des performances des enfants en matière de d'utilisation de la pensée informatique comme la décomposition de problèmes en sous problèmes ou la création d'algorithmes.

Les activités d'informatique débranchée présentent tout d'abord l'avantage de ne pas avoir besoin de matériel coûteux ou nécessitant une certaine compétence pour l'utiliser (Curzon, Dorling, Ng, Selby, & Woollard, 2014). Mais ce grand avantage sur le plan de la viabilité et l'accessibilité ne serait pas suffisant si ces activités ne présentaient aussi, et surtout, un grand potentiel pédagogique pour appréhender autrement les concepts et les processus informatiques. Dans cet article nous analysons ces activités sous la perspective de la cognition incarnée (Wilson, 2002), comme manière d'apprendre avec son corps et dans un contexte particulier. Nous finirons par discuter l'expérience ludique vécue avec des activités d'apprentissage débranchées.

POTENTIEL PÉDAGOGIQUE DES ACTIVITÉS DÉBRANCHÉES

Les travaux de Greff (1998) présentent des activités débranchées pour jouer à l' « enfant-robot » afin de développer la pensée algorithmique. Les activités de Greff sont un but en soi pour le développement de la pensée algorithmique ; mais les activités débranchées peuvent être envisagées également comme une amorce aux activités branchées. Démarrer une séance par des activités débranchées peut offrir plusieurs avantages pédagogiques. En premier lieu, la gestion de l'attention est plus facile dans les activités d'informatique débranchée. Ainsi, les activités débranchées ne requièrent pas d'apprendre par le biais d'un outil informatique tandis qu'avec les activités branchées, il est nécessaire de faire usage d'outils logiciels, ce qui demande un apprentissage technique non négligeable et intègre une charge cognitive importante (Chandler & Sweller, 1996). Utiliser des outils technologiques impose une charge cognitive qui peut limiter la réflexion au cours de la démarche de programmation tandis que le mouvement souvent associé aux activités débranchées, est lié à une meilleure capacité de concentration et autres fonctions cognitives chez les élèves (Tompsonski, Davis,

Miller, & Naglieri, 2008). D'autre part, certains élèves présentent des difficultés à écouter les consignes ou à interagir entre eux quand ils travaillent sur ordinateur, tant l'écran peut focaliser leur attention, ce qui renforce l'intérêt de proposer aux élèves d'apprendre l'informatique de manière débranchée des écrans, et en mouvement.

En deuxième lieu et par rapport à des activités branchées, l'informatique débranchée peut simplifier le travail en groupe ou en classe entière tout en évitant les problèmes techniques qui peuvent advenir quand il y a des activités avec des outils techniques.

En troisième lieu, une activité d'informatique débranchée est plus familière pour les élèves et les enseignants, car de telles activités ludiques sont pratiquées par ailleurs dans d'autres matières, par exemple en mathématiques, ou encore pour des objectifs transversaux comme la capacité d'autorégulation.

En quatrième lieu, les activités débranchées peuvent ensuite être complétées par des activités branchées car l'usage éclairé de l'ordinateur reste l'une des principales raisons d'être de l'apprentissage de l'informatique. Il pourrait même être frustrant de réaliser des activités présentées comme étant de l'informatique mais n'utilisant jamais d'ordinateur ; il faudra donc permettre d'assurer une transposition branchée des activités réalisées dans un premier temps de manière débranchée.

En cinquième lieu, un autre intérêt pédagogique est lié à la construction ou la mise en place des objets du quotidien qui vont permettre de faire l'activité ; par exemple, organiser les chaises pour faire un labyrinthe au robot, ou construire un graphe sur lequel on se promènera au gré d'un algorithme. Il est très intéressant d'engager les élèves dans cette étape pour les rendre acteurs de leur propre apprentissage, puis ensuite envisager d'animer l'activité dans une démarche d'apprentissage entre pairs (Topping, 2005). Réaliser des activités débranchées avec du matériel disponible en classe permet de déployer de tels leviers pédagogiques facilement. Cette idée est en lien avec une démarche permettant aussi de se demander où et quand l'usage de l'informatique est pertinent (ou pas) dans notre quotidien d'aujourd'hui.

UTILISER SON CORPS POUR APPRENDRE

Comme êtres vivants nous développons nos apprentissages à partir d'un support biologique : notre corps. Si pour les chercheurs en neurosciences le lien entre la nature biologique et la cognition est une évidence (Gallagher, 2006), le corps a tendance à être oublié, voir soumis à une inactivité forcée dans les formes scolaires qui placent l'enfant dans un position passive en classe tant sur le plan de la posture corporelle que de la démarche transmissive des apprentissages. Il existe des représentations sociales historiques qui dissocient les activités cognitives des activités physiques, et malgré l'existence d'un corpus grandissant de recherche qui fait état des bénéfices de l'usage du corps, et notamment du mouvement, pour apprendre (Wilson, 2002), cette pratique

reste rare dans les écoles. Le lien entre éducation et cognition incarnée est pourtant bien établi (Kiefer et al., 2015) .

Nous pouvons distinguer deux types d'étude de l'intégration du corps dans les apprentissages. Au premier niveau, l'activité physique est considérée comme une activité qui, développée, en dehors de l'activité cognitive, peut bénéficier à celle-ci. Par exemple, l'étude de Van Dijk et collègues (2014) sur l'impact de l'activité physique sur les résultats académiques parmi 255 adolescents néerlandais pointe les bénéfices d'une activité physique modérée. D'autre part, l'augmentation du temps passé devant des écrans est corrélé avec des résultats scolaires plus faibles comme observent Corder et ses collègues (2015) en Angleterre.

Au deuxième niveau d'étude de l'intégration du corps dans les apprentissages, le corps est considéré comme un support d'apprentissage intégré. Les études autour de la cognition incarnée (*embodied cognition*) considèrent que "le cerveau existe dans un corps, qui lui-même est situé dans un environnement avec lequel il va interagir, ce qui apporte une vision différente de l'apprentissage" (Bara & Tricot, 2017, p. 5). Ainsi, "la cognition se construirait à partir des interactions sensori-motrices avec l'environnement qui ne servent pas uniquement de base aux processus cognitifs d'apprentissage mais qui en sont la structure" (Bara & Tricot, 2017, p. 4).

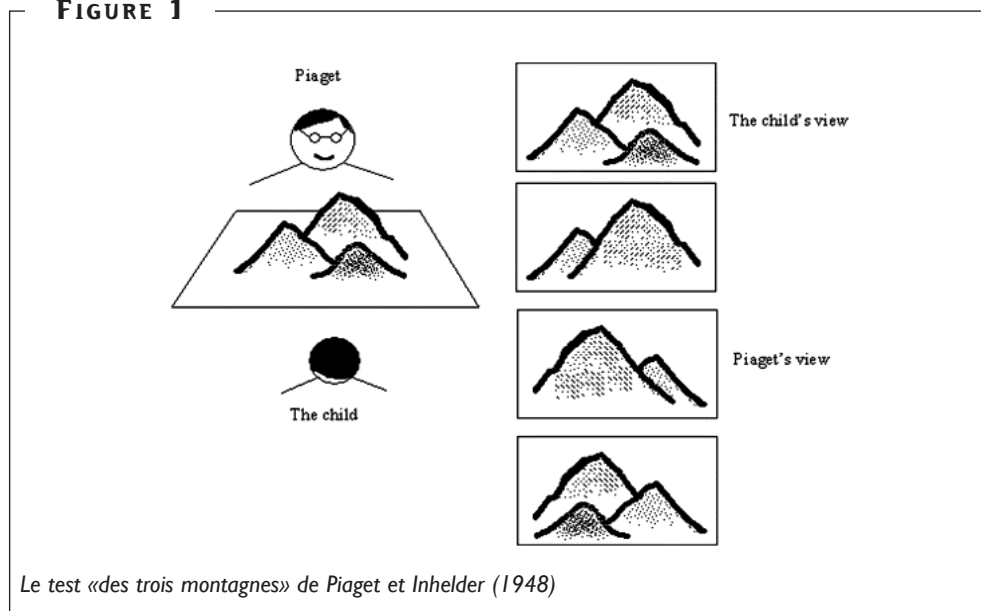
L'usage des doigts comme outil de support cognitif pour compter a été très étudié au cours des dernières années avec des résultats qui pointent à l'intérêt d'utiliser les doigts comme support cognitif (Bender & Beller, 2012). Mais les doigts ne sont pas le seul support cognitif du corps et dans les travaux de Moeller et ses collègues (2012) la numération est soutenue par d'autres "incarnations" corporelles (*embodiments*) comme la marche en lien à la linéarité des nombres. En programmation, différents concepts et procédés peuvent être incarnés par le mouvement et position dans l'espace du corps. Par exemple, les pas de l'enfant peuvent représenter des unités, et des mouvements itérés peuvent aider à comprendre des boucles. Les enfants peuvent recréer un réseau informatique dans laquelle une enveloppe peut être transmise pour faire comprendre la transmission d'informations. Ces activités pilotes ont été développées dans le cadre des formations Class'Code en France (Alayrangues, Peltier, & Signac, 2017) et dans le cadre du projet CoCreaTIC au Québec (Romero, Lille, & Patino, 2017). Les activités réalisés en mode pilote se sont centrés sur le déplacement des enfants à partir des consignes donnés par un autre enfant ou un adulte.

RÉFLÉCHIR DEPUIS SON CORPS, DES AVANTAGES ET DES DIFFICULTÉS

La cognition incarnée fait donc état du lien entre le corps et la pensée (Kiefer et al., 2015). La compréhension des liens entre le support corporel et la cognition peut

permettre d'améliorer les activités d'apprentissages en s'appuyant sur les mécanismes facilitant la cognition incarnée. Nous devons également considérer les limites de notre condition d'être qui apprend avec son corps pour tenir compte des difficultés qui sont posées par cette incarnation. Par exemple, notre perception égocentrée nous pose peu de problèmes quand nous devons nous repérer dans l'espace en lien à nos propres repères. Mais elle pose une difficulté plus importante au moment de se mettre dans la perspective d'un être ou objet autrui (Rigal, 1996; Romero, Dupont, & Pazgon, 2016). Si nous demandons à un enfant d'avancer de trois pas et de tourner à droite d'un quart de tour, il va simplement se situer par rapport à sa propre position dans l'espace. Si nous demandons au même enfant de donner des instructions à un enfant en face de lui, il risque d'avoir plus de difficultés car il lui faut se représenter l'espace de manière décentrée, en tenant compte de la situation dans l'espace de l'autre enfant. Cette capacité de prise de perspective visuelle fait l'objet de recherches depuis le test dite « des trois montagnes » de Piaget et Inhelder (1948) dans lequel les élèves sont engagés à décrire ce que la personne devant eux visualise depuis sa perspective.

FIGURE 1



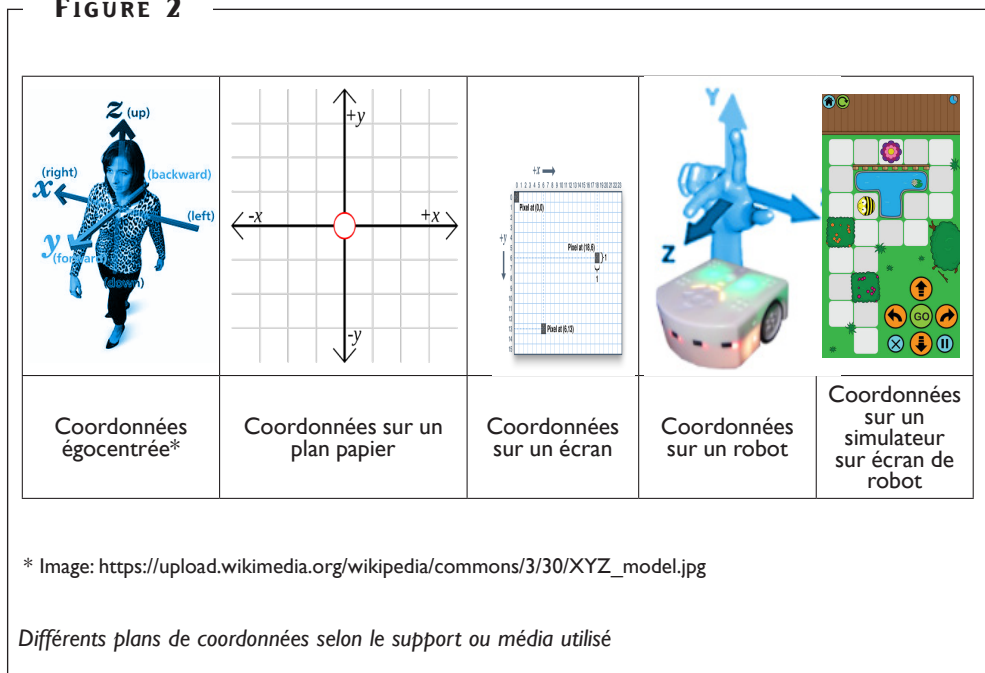
Le test « des trois montagnes », représenté Figure 1, a été à l'origine de nombreuses recherches relatives à la décentration spatiale (Inagaki et al., 2002). Cette capacité de prise de perspective gauche-droite décentrée se développe progressivement avec une importante variabilité inter-individuelle. L'étude de Rigal (1996) observe que la moitié des enfants de onze ans continue à présenter des difficultés pour identifier correctement la gauche et la droite depuis une perspective externe. Cependant, nous pouvons observer

des individus qui présentent des capacités très variables jusqu'à l'âge adulte sur leur capacité et leur rapidité à identifier la gauche et la droite de manière décentrée.

DIFFICULTÉS DE LA DÉCENTRATION DES REPÈRES DANS L'ESPACE

Face à un écran, les difficultés sont encore différentes car il n'agit pas de se représenter les repères dans l'espace d'un autre humain comme nous, mais de se repérer face à un plan, ici une surface de pixels dotée d'un système de coordonnées avec -par exemple- comme origine la zone en haut à gauche de l'écran (Figure 2).

FIGURE 2



Comme le montre la Figure 2, ces repères sont différents. Ils sont certes reliés entre eux par une relation mathématique simple (translation et rotation) mais avec une complexité supplémentaire : ce sont des repères le plus souvent mobiles. Au niveau du cerveau, cela relève d'une complexe intégration multi-sensorielle (visuelle, auditive, proprioceptive et vestibulaire) et au niveau neurologique les mécanismes calculatoires de transformation de système de référence, par exemple entre la vision, rétinotopique, et les centres de l'équilibre, craniotopiques ont été finement étudiés (Berthoz & Viaud-Delmon, 1999).

À un niveau plus cognitif, notre système de repère dans l'espace est relatif à notre regard, devant, derrière, à gauche ou à droite font référence, dès notre enfance, à notre

propre positionnement dans l'espace. Les travaux en mathématiques de Bazzini (2001) soulignent que "la perception et le mouvement humain et, plus généralement, l'interaction avec l'espace et le temps, sont d'une importance cruciale pour l'apprentissage et la pratique des mathématiques" (p. 260). À partir de notre corps, nous développons notre capacité à se repérer dans l'espace, dès le suivi des objets en mouvement à un an et demi à la capacité à distinguer leur gauche de leur droite dès l'âge de trois ans (Lovett, Kitterick, Huang, & Summerfield, 2012). Mais cette capacité à identifier leur propre gauche et droite est différente de la capacité d'identifier la droite ou la gauche d'un objet externe ou d'une autre personne. Ainsi, après avoir développé notre propre repère dans l'espace, nous devons développer une *perspective décentrée*. Nous devons ainsi apprendre à imaginer la perspective spatiale décentrée en lien à un autre être vivant (par exemple, un autre ami) ou un objet (par exemple, un robot pédagogique).

APPRENDRE À SE REPÉRER DANS L'ESPACE : DU PROPRE CORPS À LA PERSPECTIVE DE VISION DÉCENTRÉE

À l'école, nous apprenons le plan cartésien, principalement sur papier. Cet apprentissage a été étudié en profondeur dans le cadre de différents travaux. Arcavi (2003) souligne l'importance de la représentation graphique pour comprendre les concepts algébriques. Pour faciliter l'appréhension des coordonnées x et y , des enseignants ont opté pour utiliser le sol comme espace de représentation des coordonnées à partir desquelles faire déplacer leurs élèves comme moyen de faire "vivre" le mouvement dans les coordonnées x et y . De cette manière, les élèves bougent dans l'espace du carrelage de la classe ou tout autre repère au sol pour pouvoir appréhender de manière multisensorielle leurs repères dans l'espace tant dans une perspective centrée (sur leur propre corps) qu'ensuite décentrée (sur papier) (Figure 3).

FIGURE 3



Élèves du primaire sur un plan cartésien de l'échelle du sol de la classe

À l'écran, nous devons développer encore une représentation spatiale différente sur un plan vertical et non horizontal. Dans ce contexte, plusieurs registres de représentation sont invoqués simultanément (Duval, 1993), ce qui n'est peut-être pas une difficulté pour l'enseignant adulte mais peut l'être pour les élèves qui apprennent encore à se repérer sur les différents plans de représentation. Romero, Dupont et Pazgon (2016) étudient la prise de perspective décentrée gauche/droite des élèves du primaire par le biais d'une activité d'évaluation diagnostique de la capacité d'identification de la gauche et de la droite. Ensuite, les élèves sont engagés dans une activité de programmation débranchée en lien avec l'activité. En troisième lieu, les élèves réalisent une activité de robotique pédagogique qui engage les élèves dans la planification d'un déplacement qui requiert d'identifier si le robot doit tourner à droite ou à gauche. Dans la première étude de perspective décentrée gauche/droite, les élèves d'entre 6 et 7 ans (n=22 élèves), dont une majorité de droitiers et deux gauchers ont participé aux activités d'évaluation de la capacité de décentration gauche/droite par le biais de ces activités. Les résultats de la capacité d'identification décentrée de la gauche et de la droite sont de 60% en prétest et de 62% en posttest ne permettent pas d'observer d'impact de l'activité de robotique mais permettent d'identifier le même type de difficultés, dans l'ensemble des modalités, que ceux observés par Rigal (1996) sur la difficulté des enfants sur la décentration gauche/droite. Dans l'étude de Rigal, un tiers des enfants présentent cette difficulté.

ANALYSE DE L'ACTIVITÉ "LE JEU DU ROBOT"

L'activité débranchée "le jeu du robot" a pour objectif d'initier les apprenants à la notion d'instruction à la base des programmes informatiques. C'est une activité d'introduction à l'algorithmique et aux instructions de programmation sans outils technologiques. Dans ce type d'activités, un élève joue le rôle d'un robot qui doit suivre les instructions de déplacement que deux autres élèves vont lui donner de manière verbale et par le biais de pictogrammes correspondant à des instructions de programmation de déplacement (avancer, reculer, tourner à droite, tourner à gauche). Par ce type d'activités il est possible d'introduire les concepts de programmation et de robotique pédagogique tout en travaillant les compétences liées à la capacité des élèves à se repérer dans l'espace (Romero & Vallerand, 2016). La chercheuse Dufлот (<https://members.loria.fr/MDufлот/>) identifie dans l'activité du jeu du robot le potentiel de travailler les concepts et processus de programmation, d'algorithmes, de numération, de repérage dans l'espace, déplacement (absolus et relatifs) sur un quadrillage et de latéralisation (Figure 4).

FIGURE 4



Collégiennes en train de jouer au jeu du robot

JOUER AU JEU DU ROBOT OU LA PLACE DE L'EXPÉRIENCE LUDIQUE DANS L'INFORMATIQUE DÉBRANCHÉE

Dans l'activité proposée par Duflot (2016) (<https://pixees.fr/dis-maman-ou-papa-cest-quoi-un-algorithme-dans-ce-monde-numerique-%E2%80%A8/>), avant de commencer à programmer, les facilitateurs (enseignants ou médiateurs scientifiques) mettent en place l'environnement dans lequel va évoluer l'élève qui va jouer le robot. L'utilisation d'un drap peut faciliter la mise en place d'un paysage ou décor car il permet à la fois de rajouter des obstacles réels (chaises, tables...) ou dessiner des obstacles symboliques sur le drap. L'avantage de cette dernière méthode est également, de pouvoir préciser (avec des points ou un quadrillage) la distance précise correspondant à un pas et de permettre des quarts de tours précis (Figure 5).

Dans cet environnement on précise bien les endroits où l'enfant jouant le rôle du robot peut ou ne peut pas marcher, ainsi que les commandes qu'il sait exécuter. Dans un premier temps, il est possible de travailler les déplacements absolus en fixant l'orientation de l'élève qui joue le robot et en ne lui faisant faire que des translations sans aucune rotation (Figure 6).

Dans un deuxième temps on peut changer le langage en utilisant des déplacements et des rotations, afin de travailler les déplacements relatifs et ainsi la perspective décentrée. Pour les élèves qui jouent les programmeurs, le programme peut être réalisé comme une suite de flèches, ce qui le rend accessible même aux enfants qui ne sont pas encore entrés dans la lecture. Une fois que les élèves ont compris le principe d'écrire une suite

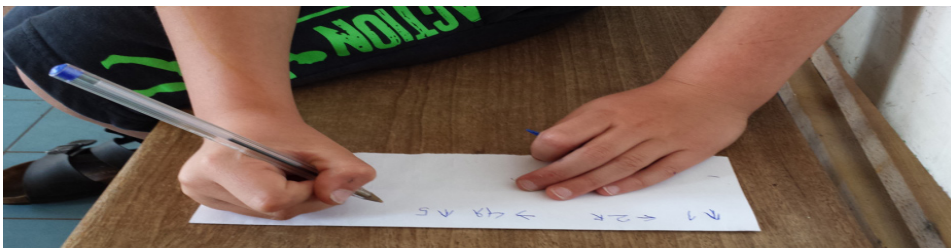
d'instructions et de les transmettre à l'élève qui joue le robot, il est possible d'intégrer des défis complémentaires (traverser la rivière, aller jusqu'à la forêt...). On peut, afin de varier l'activité, déposer des objets sur certains points du paysage et ajouter une instruction qui permet de ramasser tous les objets qui sont à ses pieds (Figure 7).

FIGURE 5



Jeu du robot sur un paysage créé avec un drap

FIGURE 6



Séquence de déplacements réalisée par des flèches

FIGURE 7



Conception de programmes pour le robot

Pour aller plus loin dans les objectifs pédagogiques, il est possible de glisser dans les programmes proposés des bogues pour tirer profit des erreurs productives (Kapur, 2008). Dans un premier temps, les élèves doivent décrire le programme qui a été effectué par le robot, ensuite ils doivent corriger les bogues du programme pour arriver à l'objectif. Il est également intéressant de travailler la traduction d'un programme d'un langage dans l'autre en passant de déplacements absolus aux déplacements relatifs, et vice versa.

DISCUSSION

Face aux enjeux d'introduction de la programmation informatique à l'école primaire dans un contexte de ressources technologiques et humaines limitées, l'informatique débranchée présente des avantages non seulement sur les ressources qu'elle engage mais aussi sur la mobilisation de plusieurs principes de cognition incarnée. L'utilisation de son propre corps comme moyen de représentation de l'objet permet de situer dans une perspective centrée sur l'apprenant la situation dans l'espace d'un robot mobile comme objet programmable pouvant se déplacer dans l'espace. Cette appréhension à la première personne de la perspective du robot, tout comme la perception externe des élèves qui donnent un programme aux autres élèves jouant au robot, sont des activités d'amorce qui peuvent par la suite permettre de travailler le repérage dans un plan cartésien papier ou encore dans un plan cartésien écran, et si possible, dans un plan au sol d'un robot mobile comme Thymio (Riedo, Chevalier, Magnenat, & Mondada, 2013). Dans la multiplicité de ces perspectives peut se construire une compréhension démultipliée qui permet d'approcher la réalité des repères dans l'espace d'une manière plus riche, à la fois centrée et décentrée, qu'elle ne le serait avec l'approche traditionnelle consistant à faire travailler uniquement sur papier des élèves qui restent assis à leur bureau en classe. Apprendre à se repérer dans l'espace de tout son corps permet mobiliser certains mécanismes ayant été étudiés dans les travaux en cognition incarnée tout en faisant prendre conscience de la difficulté à développer des repères décentrés. Au-delà, des études complémentaires doivent pouvoir envisager l'étude des transferts entre les activités branchées et débranchées et ainsi contribuer à enrichir la conception d'activités didactiques pour l'apprentissage de l'informatique.

RÉFÉRENCES

- Alayrangues, S., Peltier, S., & Signac, L. (2017). Informatique débranchée: Construire sa pensée informatique sans ordinateur. In *Colloque Mathématiques en Cycle 3 IREM de Poitiers*. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01868132>.
- Arcavi, A. (2003). The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 52(3), 215-241.

- Bara, F., & Tricot, A. (2017). Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques: Apports des théories de la cognition incarnée et de la charge cognitive. *Recherches sur la Philosophie et le Langage*. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01628840>.
- Bazzini, L. (2001). From grounding metaphors to technological devices: A call for legitimacy in school mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 47(3), 259-271.
- Bell, T., Witten, I. H., & Fellows, M. (1998). *Computer Science unplugged: Off-line activities and games for all ages*. Retrieved from <https://classic.csunplugged.org/wp-content/uploads/2015/01/unplugged-book-v1.pdf>.
- Bell, T., Alexander, J., Freeman, I., & Grimley, M. (2009). Computer Science unplugged: School students doing real computing without computers. *The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology*, 13(1), 20-29.
- Bender, A., & Beller, S. (2012). Nature and culture of finger counting: Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition*, 124(2), 156-182.
- Berthoz, A., & Viaud-Delmon, I. (1999). Multisensory integration in spatial orientation. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 708-712.
- Brackmann, C. P., Román-González, M., Robles, G., Moreno-León, J., Casali, A., & Barone, D. (2017). Development of computational thinking skills through unplugged activities in primary school. In *Proceedings of the 12th Workshop on Primary and Secondary Computing Education* (pp. 65-72). NY, USA: ACM.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10(2), 151-170.
- Corder, K., Atkin, A. J., Bamber, D. J., Brage, S., Dunn, V. J., Ekelund, U., ... Goodyer, I. M. (2015). Revising on the run or studying on the sofa: Prospective associations between physical activity, sedentary behaviour, and exam results in British adolescents. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12(1), 106.
- Curzon, P., Dorling, M., Ng, T., Selby, C., & Woollard, J. (2014). *Developing computational thinking in the classroom: a framework*. Retrieved from <https://eprints.soton.ac.uk/369594/>.
- Drot-Delange, B. (2014). Littératie informatique: quels ancrages théoriques pour quels apprentissages? *Spirale - Revue de Recherches en Éducation*, 53(1), 121-132.
- Duflot, M. (2016). *Jouer à «robot-idiote» pour s'initier aux algorithmes*. Pixees. Retrieved from <https://pixees.fr/dis-maman-ou-papa-cest-quoi-un-algorithme-dans-ce-monde-numerique-%E2%80%A8/>.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Gallagher, S. (2006). *How the body shapes the mind*. New York: Clarendon Press.
- Greff, É. (1998). Le «jeu de l'enfant-robot»: Une démarche et une réflexion en vue du développement de la pensée algorithmique chez les très jeunes enfants. *Sciences et Techniques Éducatives*, 5(1), 47-61.
- Highfield, K., Mulligan, J., & Hedberg, J. (2008). Early mathematics learning through exploration with programmable toys. In *Proceedings of the Joint Meeting of PME* (Vol. 32, pp. 169-176). Citeseer.
- Inagaki, H., Meguro, K., Shimada, M., Ishizaki, J., Okuzumi, H., & Yamadori, A. (2002). Discrepancy between mental rotation and perspective-taking abilities in normal aging assessed by Piaget's three-mountain task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(1), 18-25.

- Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379-424.
- Karsenti, T. (2018). *17 pistes pédagogiques pour vaincre la passivité numérique*. CRIFPE. Retrieved from <http://www.karsenti.ca/17passivite.pdf>.
- Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015). Handwriting or typewriting? The influence of pen-or keyboard-based writing training on reading and writing performance in preschool children. *Advances in Cognitive Psychology*, 11(4), 136.
- Lovett, R. E. S., Kitterick, P.T., Huang, S., & Summerfield, A. Q. (2012). The developmental trajectory of spatial listening skills in normal-hearing children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55(3), 865-878.
- 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.
- Misirli, A., & Komis, V. (2016). Construire les notions de l'orientation et de la direction à l'aide des jouets programmables: Une étude de cas dans des écoles maternelles en Grèce. In F. Villemonteix, G.-L. Baron & J. Béziat (Éds.), *L'École primaire et les technologies informatisées: Des enseignants face aux TICE* (pp. 17-28). France: Presses Universitaires du Septentrion.
- Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2012). Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive Processing*, 13(1), 271-274.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. (Vol. 4). Montréal: Presses Universitaires de France.
- Riedo, F., Chevalier, M., Magnenat, S., & Mondada, F. (2013). Thymio II, a robot that grows wiser with children. In *2013 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts* (pp. 187-193). IEEE.
- Rigal, R. (1996). Right-left orientation, mental rotation, and perspective-taking: When can children imagine what people see from their own viewpoint? *Perceptual and Motor Skills*, 83(3), 831-842.
- Romero, M., & Vallerand, V. (2016). *Guide d'activités technocréatives pour les enfants du 21^e siècle* (Vol. 1). Québec, QC: Livres en ligne du CRIRES. Retrieved from http://lel.crires.ulaval.ca/public/guidev1._guide_dactivites_technocreatives-romero-vallerand-2016.pdf
- Romero, M., Dupont, V., & Pazgon, E. (2016). À gauche ou à droite du robot? Test de perspective décentrée gauche-droite par le biais d'une activité sur papier et d'une activité de robotique pédagogique. In *Actes Du Colloque CIRTA 2016 «Dépassons nos frontières»* (pp. 52-53). Québec: CIRTA.
- Romero, M., Lille, B., & Patino, A. (Éds.) (2017). *Usages créatifs du numérique pour l'apprentissage au XXI^e siècle* (Vol. 1). Québec: Presses de l'Université du Québec.
- Saunders, T. J., & Vallance, J. K. (2017). Screen time and health indicators among children and youth: current evidence, limitations and future directions. *Applied Health Economics and Health Policy*, 15(3), 323-331.
- Tompsonowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Review*, 20(2), 111-131.
- Topping, K. J. (2005). Trends in peer learning. *Educational Psychology*, 25(6), 631-645.
- Tsarava, K., Moeller, K., Pinkwart, N., Butz, M., Trautwein, U., & Ninaus, M. (2017). Training computational thinking: Game-based unplugged and plugged-in activities in primary school. In

European Conference on Games Based Learning (pp. 687-695). Academic Conferences International Limited.

- Van Dijk, M. L., De Groot, R. H., Savelberg, H. H., Van Acker, F., & Kirschner, P.A. (2014). The association between objectively measured physical activity and academic achievement in Dutch adolescents: findings from the GOALS study. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36(5), 460-473.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636.
- Wing, J. M. (2011). Computational thinking. In *IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)* (p. 33). Pittsburgh, USA: IEEE.