

Résumé | Nous nous intéressons à l'acquisition des connaissances spatiales chez des élèves de cycle 3 (10 ans) utilisant un robot de sol, en France. Nous choisissons de mettre en œuvre une situation didactique dans une classe, dont certains élèves rencontrent des difficultés d'apprentissage durables. Notre étude exploratoire organisée en ingénierie coopérative va nous permettre d'analyser ces premières mises en œuvre et de concevoir des situations accessibles à tous les élèves.

Mots-clés : robot de sol, programmation, pratiques inclusives, connaissances spatiales, ingénierie coopérative.

Abstract | This paper focuses on the acquisition of spatial knowledge by cycle 3 students (10 years old) using a floor robot, in France. We have chosen to implement a didactic situation in two classes, some of whose students have long-standing learning difficulties. Our cooperative engineering exploratory study will allow us to analyze these first implementations and to design situations accessible to all students.

Keywords: floor robots, programming, inclusive practices, spatial knowledge, cooperative engineering.

I. INTRODUCTION

En France, depuis la rentrée 2016, l'algorithmique et la programmation (MEN, 2020) font désormais partie des programmes scolaires de mathématiques. La programmation est envisagée en lien avec des connaissances en géométrie « (Se) repérer et (se) déplacer en utilisant des repères et des représentations : programmer les déplacements d'un robot ou ceux d'un personnage sur un écran » (MEN, 2020, p. 62). Elle se poursuit au cycle 3 par l'action de « programmer les déplacements d'un robot ou ceux d'un personnage sur un écran en utilisant un logiciel de programmation » (MEN, 2023, p. 107). Mari (2022) établit des liens étroits possibles entre la programmation des robots et le développement des connaissances spatiales précédemment travaillées par Berthelot et Salin (1992). Elle explique que l'articulation entre les activités « papier-crayon et robot » semble être la plus pertinente pour développer le maximum de connaissances spatiales.

Par ailleurs, dans la perspective d'une école inclusive, nous envisageons de concevoir des situations didactiques, qui puissent être accessibles à tous les élèves (Suau et Assude, 2016 ; Assude et al., 2014), en nous appuyant sur l'accessibilité didactique, à savoir « l'ensemble des conditions permettant aux élèves d'accéder à l'étude des savoirs » (Assude et al., 2014, p. 36). Nous choisissons de mettre en œuvre une situation didactique dans une classe de CM2 (élèves âgés de 10 ans), dont certains élèves bénéficient du dispositif ULIS (Unité Localisée pour l'inclusion scolaire), en tant qu'« une des modalités de mise en œuvre de l'accessibilité pédagogique » (Circulaire n° 2015-129 du 21-8-2015). Cette structure permet aux élèves reconnus institutionnellement handicapés (ERIH) d'avoir une scolarité dans une classe ordinaire tout en bénéficiant d'un dispositif de soutien à cette scolarisation.

Pour concevoir des situations accessibles à tous les élèves, nous organisons une ingénierie coopérative (voir paragraphe II.2). Dans le cadre de cette communication, nous présentons la première année de cette ingénierie coopérative, comme étant une étude exploratoire. Nous allons décrire et analyser ce qui se passe en classe, en orientant notre attention sur des élèves, dont certains bénéficient

* ELLIADD – France – francine.athias@univ-fcomte.fr

** CREAD – France – aurelie.vergon-dartois@univ-fcomte.fr

*** CREAD – France – caroline.perraud@inspe-bretagne.fr

du dispositif ULIS, et sur la professeure, de manière à mettre en évidence les moments qui nécessitent une attention particulière, que ce soit au niveau de la situation et des contenus ou au niveau des échanges entre la professeure et l'élève. Cette attention nous conduira à modifier ou à adapter la mise en œuvre pour l'année scolaire suivante, dans un mouvement itératif caractéristique de l'ingénierie didactique coopérative telle que nous la concevons.

II. CADRE THÉORIQUE ET ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

1. *Théorie de l'action conjointe en didactique*

Sur le plan épistémologique, nous nous inscrivons dans une perspective pragmatique et systémique. Dans cette perspective, un premier objet de notre étude est de comprendre comment les instances professeur, élèves et savoir interagissent et comment se coordonnent leurs interactions dans le contexte institutionnel qui les fonde. L'action sera modélisée par des éléments de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD, Sensevy, 2011 ; CDpE, 2019).

Différents moments dans le déroulement de l'action sont modélisés par la notion de jeux d'apprentissage successifs. Chaque jeu d'apprentissage est caractérisé par un nouvel enjeu de savoir. Pour décrire un jeu d'« apprentissage », il est nécessaire de décrire les habitudes d'action et de connaissances déjà-là, modélisés par la notion de contrat didactique (Brousseau, 1998 ; CDpE, 2019). C'est à partir de ce déjà-là que le professeur et les élèves vont agir pour résoudre ce qui fait problème. C'est en résolvant le problème que les élèves vont apprendre ce qui est à apprendre. Dans ce modèle, le milieu est vu comme la structure du problème, qu'il nous faut décrire de façon dynamique (Brousseau, 1998 ; CDpE, 2019). Nous choisissons de modéliser les différents moments en appui sur les concepts de contrat et de milieu didactiques (sans revenir au concept de jeu d'apprentissage).

2. *Ingénierie coopérative*

Pour concevoir des situations accessibles à tous les élèves et pour les mettre en œuvre, nous organisons une ingénierie coopérative (CDpE, 2024) qui réunit un collectif de professeurs et de chercheurs (Sensevy et al., 2013 ; CDpE, 2024). L'ingénierie coopérative est une ingénierie dont le but est la production conjointe par des professeurs et des chercheurs (qui s'intéressent à la pratique de professeurs) de dispositifs : il s'agit d'agencer un instrument (ici un instrument numérique tel que le robot de sol), une logistique (ici, l'usage de ce robot de sol dans la classe), des gestes d'enseignement (ici, prendre du temps avec chaque élève) et enfin une séquence d'enseignement-apprentissage (ici une séquence intégrant un robot de sol) (CDpE, 2024), permettant à tous les élèves (dont les élèves à besoins éducatifs particuliers) d'apprendre.

3. *Connaissances en jeu*

La robotique pédagogique se situe au carrefour de deux approches : les activités de manipulation des objets tangibles (robots) pour créer un environnement d'apprentissage, un micro-monde (Balacheff, 2017). L'activité de robotique consiste donc principalement à piloter le robot à l'aide d'un langage de programmation. Le robot programmable mémorise une suite de commandes et les exécute séquentiellement. Il peut permettre ainsi à l'élève d'explorer l'espace par l'intermédiaire de la technologie. La bluebot est un objet programmable (cf figure 1). Elle est contrôlée par une interface tangible, qui est sur la partie supérieure du robot (cf figure 2).



Figure 1 – La bluebot, vue de face



Figure 2 – La bluebot, vue de dessus

Les quatre boutons orange (sur la vue du dessus, cf fig.2) permettent de programmer l'orientation du robot (avancer d'un pas, reculer d'un pas, pivoter à droite, pivoter à gauche). Le bouton vert sert à exécuter les instructions ainsi programmées (« go »). Les deux boutons bleus organisent le contrôle de l'exécution du programme : « II » ou pause est une instruction d'interruption momentanée de l'exécution du programme ; « X » ou Clear est un effacement des commandes systématiquement enregistrées en mémoire. La manipulation de ces boutons doit amener les élèves à développer des connaissances liées à la programmation.

Dans le même temps, l'usage de la bluebot permet le travail des connaissances spatiales, en particulier le déplacement d'un objet extérieur à soi : il s'agit de s'approprier la notion de déplacement relatif (celui du robot, sachant que les yeux du robot donnent la direction du déplacement du robot) et de déplacement absolu (celui du robot en comparaison avec des éléments extérieurs au robot, par exemple le robot se déplace du « côté de la fenêtre »).

En appui sur ces éléments théoriques, nous cherchons à montrer ce qui se passe en classe lorsque des robots de sol sont utilisés dans le cadre d'une séquence élaborée au sein de l'ingénierie coopérative. Il s'agit également de mettre en évidence la place des élèves ayant des besoins éducatifs particuliers. En particulier, nous voulons montrer qu'à certains moments, il nous faudra envisager des adaptations pour permettre à chacun de pouvoir bénéficier des apports de connaissances spatiales, technologiques et algorithmiques.

4. Éléments méthodologiques

Pour tenter de répondre à notre questionnement, nous filmons les séances de classe sachant que nous organisons ces situations en classes ordinaires, dans lesquelles des élèves ont des troubles d'apprentissage reconnus. Nous établissons des tableaux synoptiques, à partir desquels nous dégageons des moments. Ces derniers concernent le déroulement de la classe, des actions d'un élève et du professeur ou des actions d'un élève à besoins éducatifs particuliers.

III. SITUATIONS DE CLASSE

1. La séquence

Le collectif d'ingénierie coopérative compte deux chercheuses, deux professeures qui enseignent en CE1 (deuxième année), deux professeurs de CM2 (cinquième année) qui interviennent ensemble en classe avec le coordonnateur de la classe ULIS. Nous envisageons le même plan de séquence pour tous les élèves. Dans le cadre de cet article, nous nous intéressons plus spécifiquement à une classe de CM2.

Nous présentons le plan de la séquence et nous proposons l'étude de deux moments spécifiques dans cette classe de CM2 (cf tableau 1).

Tableau 1

Séances	Objets
Séance 1	Découverte des robots
Séance 2	Codage simple du déplacement d'un robot
Séance 3	Décodage d'un programme simple (c'est au cours de cette séance que nous développerons quelques moments)
Séance 4	Codage complexe du déplacement d'un robot
Séance 5	Décodage d'un programme complexe
Séance 6	Évaluation

2. Un moment

Dans cette partie, nous allons d'abord présenter le problème posé aux élèves, puis proposer une analyse *a priori*. Nous décrirons l'action de deux élèves et nous l'analyserons.

Ce moment se situe au cours de la séance 3. L'élève dispose d'une feuille de route : une feuille de papier sur laquelle est écrit le programme, la position et l'orientation du robot sur un quadrillage réduit (cf fig.3).

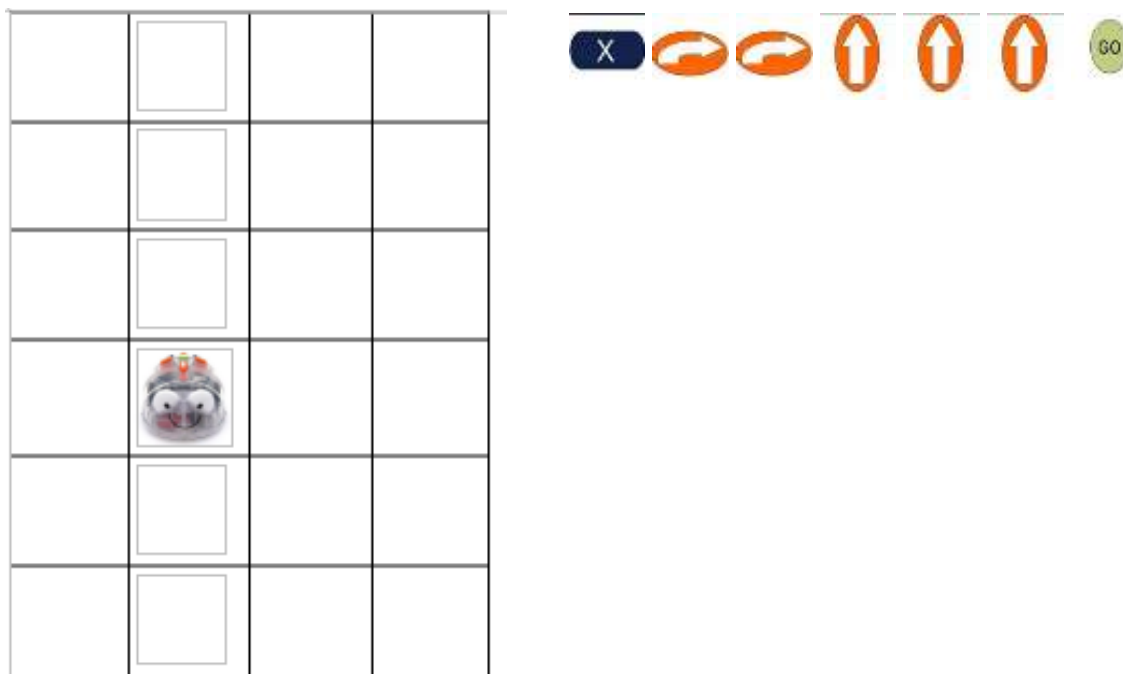


Figure 3 – Une feuille de route

Sur la table de travail, l'élève doit décoder puis tracer le chemin qui sera parcouru par la bluebot et noter la case d'arrivée sur la feuille de route. Lorsque l'élève a terminé, il se déplace vers le quadrillage sur lequel va se déplacer la bluebot. Puis, sur ce quadrillage en vraie grandeur, l'élève va placer le robot

comme indiqué sur la feuille de route, en respectant la position et l'orientation. Il place un objet (cube Lego) dans la case qui devrait être atteinte par le robot. Il programme le robot pour vérifier qu'il atteint la case proposée (matérialisée par un cube Lego).

Nous allons maintenant présenter une analyse *a priori* de ce qui est attendu de l'élève. Pour placer le robot sur le quadrillage réel, l'élève peut prendre des indices sur le quadrillage réduit (par exemple troisième ligne à partir du « bas »). Ces indices peuvent être repris sur le quadrillage réel, car les quadrillages sont les mêmes dans les deux espaces (micro-espace et méso-espace). Nous ne reviendrons pas sur le placement initial, car tous les élèves y parviennent. Le robot est placé de sorte que les yeux soient vers « le bas ». Il se trouve dans le sens opposé à l'élève (qui se place souvent face au quadrillage réel). Le programme à décoder est le même (croix, pivoter à droite, pivoter à droite, avancer, avancer, avancer, go). La position du robot n'est pas la même (quatrième colonne et deuxième colonne, cf fig 4 et 5). L'orientation du robot est la même (face à l'élève). Autrement dit, nous allons considérer que ces feuilles de route sont très proches et représentent les mêmes enjeux de savoir. Le double pivot (qu'il soit à droite ou à gauche) permet au robot de se mettre dans le même sens que l'élève. La flèche « avancer » conduit à un déplacement « en avant » par rapport à l'élève. Cette analyse rapide nous permet de dire que le décodage de programme est aisé : le double pivot permet de placer le robot dans le même sens que l'élève, l'avance de trois pas dans une telle position est facile.

Nous décrivons maintenant l'action de deux élèves, Enzo et Stan. Nous n'avons pas vu les élèves travailler sur la table (la professeure était ailleurs). Lorsqu'ils arrivent sur le quadrillage réel, ils ont dessiné le chemin¹, par un trait (pour Enzo) ou par trois flèches (pour Stan) (cf fig. 4 et 5).

Enzo place le robot au bon endroit. Il place le cube Lego indiquant l'arrivée. Il programme le robot, il appuie alors sur la touche « go » du robot. Il regarde le robot atteindre la case visée. Il prend le robot et s'en va.

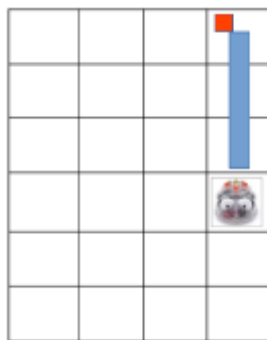


Figure 4 – La feuille de l'élève Stan

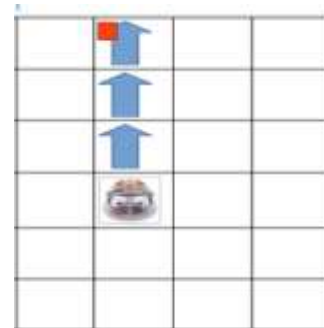
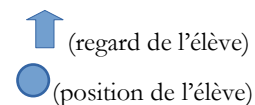


Figure 5 – La feuille de l'élève Enzo



Nous nous intéressons maintenant à ce qui se passe avec Stan. Comme Enzo, l'élève a déterminé le chemin en étant sur la table (cf fig.4). Il pose la bluebot au bon endroit. Sur le quadrillage en vraie

¹ Les feuilles des élèves ont été reproduites pour être plus lisibles.

grandeur. Contrairement à ce qui s'est passé avec Enzo, la professeure qui est présente depuis le début, intervient. Elle demande à l'élève d'expliquer (cf tableau 2).

Tableau 2

– P : Qu'est-ce que le robot va faire d'abord ? – S : Il va pivoter à droite (<i>il montre le robot et pointe la touche pivoter à gauche, en utilisant sa main gauche. Puis il ajoute</i> euh à gauche, euh à droite, je ne sais plus.	
– P : Là c'est vers la gauche ? (L'élève pointe la touche pivoter à gauche, en utilisant sa main droite)	
– P : Et là c'est quoi comme flèche ? (En montrant la feuille de route)	
– P : C'est celle-là ou celle-là (en montrant les touches de changement de directions du robot). – E : C'est celle-là parce qu'elle est à l'envers	

Puis, l'élève place le cube dans une des cases du quadrillage. Il programme le robot. Il regarde le robot atteindre le cube.

Nous allons maintenant analyser ces deux moments, en appui sur les éléments théoriques que nous avons esquissés et en appui sur notre questionnement concernant les pratiques inclusives. Les deux élèves, Enzo et Stan, ont produit un chemin qui correspond à ce qui est attendu. Le milieu didactique, en tant que ce qu'il y a à faire, organisé entre la feuille de route (micro-espace) et le quadrillage réel (més-espace) est facilement accessible pour les deux élèves. Anticiper le chemin que la bluebot va réaliser lorsque le programme sera effectué est possible pour ces deux élèves. La feuille de route atteste de cette réussite. Les deux élèves connaissent la signification de la touche « avancer », lorsque le robot se trouve dans la même orientation qu'eux. Nous pouvons le voir sur les deux feuilles de route (avec une flèche ou avec un trait). Concernant la touche « pivoter », nous pouvons dire que l'effet de la touche pivoter deux fois correspond à un demi-tour et que les deux élèves semblent avoir compris que le double pivot vers la gauche ou vers la droite permet au robot de réaliser un demi-tour et de se placer dans le même axe qu'eux.

Une différence dans la relation didactique est notable : dans le premier cas, l'élève agit sans intervention de la professeure. Dans le deuxième cas, l'élève ne peut pas agir, car la professeure lui demande d'explicitier d'abord ce qu'il y a à faire. Les demandes de verbalisation de la professeure mettent en évidence les difficultés de l'élève : lorsque le robot est « en face de lui », l'élève a du mal à repérer la droite et la gauche. C'est donc la question de la professeure qui amène une difficulté, qui n'aurait pas été visible sans l'intervention de la professeure. C'est donc la question de la professeure qui rend visible le problème. Autrement dit, le milieu verbal (les questions de la professeure) vient densifier le milieu, qui devient alors inaccessible.

Une question se pose pour la professeure. Les deux élèves ont produit la même feuille de route. Pourquoi Stan doit-il expliciter ce qu'il fait ? Suite aux échanges avec la professeure, nous savons qu'elle veut vérifier si Stan a compris car Stan fait partie du dispositif ULIS (Enzo n'a pas de problème d'apprentissage particulier). En faisant cette demande, elle a une attention particulière pour Stan, ce qui n'est pas le cas avec Enzo. Elle nous a expliqué qu'elle ne s'attendait pas à à mettre Stan en difficulté. Nous savons que le rôle du langage permet de définir les objets et les propriétés (Vergnaud, 1991) et de développer un « jargon » (Sensevy et al., 2021) : un des enjeux dans l'usage de robot de sol est de parler un même jargon pour exprimer des connaissances spatiales dans des situations de programmation. En faisant cela, la professeure met en difficulté l'élève.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Un des enjeux de notre travail dans le collectif d'ingénierie coopérative consiste donc à mettre en évidence des moments pour lesquels les pratiques inclusives pourraient être documentées. Nous ne pouvons pas en rester à de tels constats. Permettre aux élèves bénéficiant du dispositif ULIS de développer de nouvelles connaissances doit nous conduire, professeurs et chercheurs, à aménager les situations de manière à ce qu'elles soient réellement plus accessibles. Le travail que nous avons présenté ici fait partie des premiers échanges dans le collectif. La professeure choisit de demander une explicitation à un élève et non à un autre. Cette demande de verbalisation est nécessaire (nous voyons que l'élève peut agir, mais qu'il ne sait pas expliquer). Dans le même temps, elle place l'élève dans une situation impossible. Et à ce moment, ni l'élève ni la professeure n'a les moyens de faire autrement. Une nouvelle piste est explorée dans les nouvelles mises en œuvre : il s'agit de permettre aux élèves de programmer le robot et de faire verbaliser les actions au fur et à mesure du déplacement du robot.

RÉFÉRENCES

- Assude, T., Perez, J.-M., Suau, G., Tambone, J. et Vérillon, A. (2014). Accessibilité didactique et dynamique topogénétique : une étude de cas. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 34(1), 33-57.
- Berthelot, R. et Salin, M. H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire* [Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies – Bordeaux I]. HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-00414065/>
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques. Didactique des mathématiques 1970-1990* (Textes rassemblés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland et V. Warfield). La pensée sauvage.
- Balacheff, N. (2017). Seymour Papert (1928-2016). Aux sources d'une pensée innovante et engagée. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 37(2/3), 383-396.
- Collectif Didactique pour enseigner. (2019). *Didactique pour enseigner*. Presses universitaires de Rennes.
- Collectif Didactique pour enseigner. (2024). *Un art de faire ensemble*. Presses universitaires de Rennes.

- Mari, E. (2022). *Potentialités de la robotique pédagogique pour le développement de connaissances spatiales à l'école* [Thèse de doctorat, Université Aix Marseille]. <https://amu.hal.science/tel-03872631/>
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2020, 30 juillet). Programme d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2). *Bulletin Officiel*, (31). <https://www.education.gouv.fr/bo/20/Hebdo31/MENE2018714A.htm>
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2023, 22 juin). Programme d'enseignement du cycle de consolidation (cycle 3). *Bulletin Officiel*, (25). <https://www.education.gouv.fr/bo/2023/Hebdo25>
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir : éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. De Boeck.
- Sensevy, G., Forest, D., Quilio, S. et Morales, G. (2013). Cooperative engineering as a specific design-based research. *ZDM*, 45(7), Article 7. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0532-4>
- Sensevy, G., Le Henaff, C., Bloor, T., Joffredo-Le brun, S. et Gruson, B. (2021). La TACD et le langage : la notion de jargon, ses sources, ses raisons d'être et ses affinités. Dans M.-J. Gremmo (dir.), *Actes du 2^e Congrès TACD « Pour une reconstruction de la forme scolaire »* (Vol. 2, p. 221-240).
- Suau, G. et Assude, T. (2016). Pratiques inclusives en milieu ordinaire : accessibilité didactique et régulations. *Carrefours de l'éducation*, 42(2), 155-169. <https://doi.org/10.3917/cdle.042.0155>
- Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3), 133-169.