

6 leçons de robotique pour les sciences

Ashwarya Arora¹, Julie Boulc’h¹, Céline Caza², Magali Gourvil³, Ikhlasse Karchaoui¹, Amandine Lemeunier³, Cécile Plaud⁴, Vincent Ribaud¹, Lisa Rolland¹, Noémie Schall¹, and Elsa Segalen¹

¹ Université de Bretagne Occidentale, Brest, France
`{Prénom.Nom}@etudiant.univ-brest.fr`

² Ecole Lucien-Guilbault, Montréal, Canada
`c.caza@lucien-guilbault.ca`

³ Académie de Rennes, France
`Prénom.Nom@ac-rennes.fr`

⁴ ENSTA Bretagne, Brest, France
`cecile.plaud@ensta-bretagne.fr`

Résumé « Les filles qui... » forment une communauté éducative qui enseigne la programmation en primaire autour de Brest. Pour appuyer l’enseignement des sciences, un cours de robotique avec Scratch, en six leçons, a été conçu, développé et évalué dans deux classes de cycle 3. Cet article présente, leçon par leçon, les enjeux, les liens avec le socle commun, les apports de la robotique éducative, et les difficultés rencontrées.

Keywords: Scratch · robotique éducative · modèle précurseur

1 Introduction

Le dispositif « les filles qui... » est un projet de communauté éducative. Son but principal est de montrer l’exemple de la programmation Scratch au féminin. « Les filles qui... » enseignent la programmation dans les écoles primaires sous le couvert d’une convention *Partenaires scientifiques pour la classe* établie entre l’inspection académique du Finistère et l’université de Bretagne occidentale.

Trois types de cours sont proposés : Scratch ou mBlock (robots mbot) du CE2 au CM2, Scratch Junior de la moyenne section au CE1. En 2018-2019, environ 70 filles de licence ont animé les cours pour 46 classes et près de 900 élèves. Lors des cours de robotique, nous avons pris conscience du potentiel de la robotique éducative pour l’enseignement des sciences. Ce cours a donc été complètement refondu en 6 leçons indépendantes, chacune destinée à l’acquisition de connaissances et de compétences d’éléments significatifs pour les sciences : mouvements (prélude aux forces), couleurs (vision et synthèse), musique (prélude aux ondes), capteur de son (caractéristiques, mesures), lumière (caractéristiques, seuil), trajectoires (géométrie, puissance des forces). Cet article expose, leçon par leçon, les enjeux, les liens avec les connaissances du socle commun, les apports de la robotique, les difficultés rencontrées. En conclusion, nous présentons les évaluations réalisées sur certaines leçons dans deux classes, une de CM1 en zone urbaine, et l’autre de CM2 en zone rurale.

2 La robotique à l'école primaire

Les robots utilisés dans les cours sont des robots mbot, programmés dans un environnement mBlock dérivé de Scratch. Les deux classes pilotes ont appris Scratch lors de 6 séances préalables aux cours de robotique, basées sur les concepts définis par Brennan et Resnick [2] dans leur cadre pour la pensée informatique : séquence, boucle, événement, parallélisme, conditionnelle, opérateurs, données. Cependant, les 6 leçons de robotique mobilisent une version simple des concepts ; les enjeux d'apprentissage portent peu sur ces concepts mais sur les phénomènes physiques mis en jeu et les situations scientifiques abordées.

2.1 Objectifs du socle commun et la robotique éducative

Les objectifs officiels (présentés en italique ci-dessous) de connaissances et de compétences liées à la robotique éducative font partie de trois domaines du socle commun. Le site eduscol propose des situations d'évaluation d'éléments signifiants (présentés en caractères droits ci-dessous) pour ces domaines.

Domaine 1 - Composante 3 : Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages mathématiques, scientifiques et informatiques. *L'élève effectue des calculs et modélise des situations. L'élève produit et utilise des représentations d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels.*

- 1.1 Utiliser les nombres entiers, décimaux et les fractions simples.
- 1.2 Reconnaître des solides usuels et des figures géométriques.
- 1.3 Se repérer et se déplacer.

Domaine 2 : Les méthodes et outils pour apprendre. *L'élève est amené à résoudre un problème, [...] effectuer une prestation ou produire des objets.*

- 2.1 Mobiliser des outils numériques pour apprendre, échanger, communiquer.

Domaine 4 : Les systèmes naturels et les systèmes techniques *L'élève sait mener une démarche d'investigation. [...] l'élève formule des hypothèses, les teste et les éprouve ; [...] procède par essais et erreurs ; l'élève modélise pour représenter une situation ; [...] L'élève résout des problèmes impliquant des grandeurs variées, en particulier des situations de proportionnalité.*

- 4.1 Mener une démarche scientifique, résoudre des problèmes simples.

2.2 Les apports de la robotique en primaire

Thymio Thymio est un robot éducatif qui possède plusieurs capteurs et actuateurs et se programme facilement dans l'environnement Aseba en programmation visuelle, Blockly ou textuelle. Thymio est généralement introduit en classe en demandant aux élèves d'observer son comportement puis en émettant des hypothèses qu'il s'agit de valider en les confrontant à la réalité. Grâce aux rétroactions données par le robot, cette méthode d'apprentissage par observation est complétée par un apprentissage par l'erreur, soit par simple mauvaise utilisation des fonctions, soit lorsqu'une erreur de codage provoque un fonctionnement inadéquat du robot : l'erreur doit être identifiée, analysée puis corrigée.

Lego Mindstorms Dans [1], Brandt et Colton mettent en avant les Lego Mindstorms comme robots éducatifs grâce à plusieurs bonnes caractéristiques. *Polyvalence* - les bricks Lego permettent aux élèves de concevoir, construire et tester facilement leurs programmes sans demander de talents d'assemblage; *attirance pour les élèves* - les élèves ont une satisfaction immédiate dès qu'ils et elles arrivent à construire un robot avec succès; *caractéristiques riches* - le kit de Lego Mindstorms contient tous les composants nécessaires pour construire une grande variété de robots.

Eléments de comparaison Dans [3], Chevalier et al. comparent les caractéristiques clés de 5 robots éducatifs : mbot, BeeBot, Finch, Thymio et EV3 (ex-LEGO Mindstorms). Sur la base d'un questionnaire rempli par 43 professeur.es, les auteurs - parties prenantes du projet Thymio à l'EPFL Lausanne - placent Thymio en tête pour l'offre capteurs-actuateurs, le temps d'apprentissage, les interactions d'entrée-sortie, la richesse de l'environnement de programmation. Les robots mbot - que nous avons choisi - ont le prix le plus bas et le meilleur look, une offre correcte en capteurs-actuateurs, mais sont évalués pauvrement pour les autres caractéristiques. Les professeur.es constatent l'intérêt de programmer un robot pour les mathématiques et les sciences, sans donner plus de détails.

2.3 Un cadre théorique

Ravanis propose un cadre théorique pour la construction du monde physique des 5-7 ans [7], articulés sur des concepts que nous reprenons pour les 7-11 ans.

Représentations. Les enfants se construisent dès la naissance et peuvent élaborer tout seuls des représentations scientifiques. Ces représentations sont généralement élaborées à partir des apparences plutôt qu'à partir de raisonnements logiques. Harlen [4] écrit : « Les idées des enfants tendent à différer notablement des idées scientifiques acceptées, et elles influencent fortement la signification que les enfants accordent aux activités qu'ils entreprennent. » Il s'agit donc de découvrir quels sont les idées des enfants, et de chercher à les modifier progressivement vers des représentations et des formes mentales explicatives.

Objectifs-obstacles. Selon Martinand, l'idée de la formulation des objectifs-obstacles est basée sur deux hypothèses fondamentales. La première est qu'il « est possible de trouver un nombre limité de progrès décisifs, non acquis spontanément mais qui ont une signification du point de vue de la pensée scientifique ou technologique, des attitudes et des capacités correspondantes » [6]. La seconde hypothèse est que dans une activité, il existe à un moment donné du parcours éducatif « un obstacle décisif, dont l'aspect dominant se situe dans une des grandes catégories d'objectifs, attitudes méthodes, connaissances, langages, savoir-faire » [6]. L'enjeu des leçons est donc le franchissement des obstacles.

Modèles-précurseurs. Le concept du modèle précurseur, proposé par Weil-Barais et Lemeignan [5], peut être fructueux pour le travail sur le progrès cognitif des enfants : « Le qualificatif précurseur associé au mot modèle signifie qu'il s'agit de modèles préparant l'élaboration d'autres modèles. En conséquence, les modèles précurseurs comportent un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent. » Ravanis propose d'utiliser le

modèle précurseur comme cadre de référence d'éléments stables et articulés au niveau cognitif, qui constituent un système relationnel et qui pourraient favoriser plus tard l'élaboration et la maîtrise des modèles scientifiques [7].

3 Les concepts des 6 leçons de robotique

L'attrait des élèves pour des séances de robotique est indéniable mais il faut se concentrer sur ce que Harlen appelle la "dimension questionnante" c'est-à-dire la conception que se font les enfants de l'attente du professeur.e [4]. Harlen postule que bien des questions que se posent les enfants ne sont pas des points de départ efficaces pour la science et que ce sont les questions de l'enseignant.e qui déclenchent l'activité scientifique. Il s'agit donc de travailler à partir de questions *fécondes* et nous avons donc reconstruit les leçons de robotique dans cet esprit. Toutes les leçons sont sous licence libre CC-BY-SA à l'url <http://lesfillesqui.org/>

3.1 Mouvements

L'objectif de la séance est d'effectuer des séquences et des répétitions de déplacements en distance ou angulaire ainsi que d'appréhender la notion de mouvement avec un ou deux moteurs, un préalable aux concepts de force.

Symétrie. Dans l'exercice *Promenade*, les enfants doivent modifier un programme pour que le robot revienne d'où il est parti en marche arrière. L'objectif-obstacle est d'utiliser des opérations de symétrie : avancer doit être remplacé par reculer, tourner à gauche par tourner à droite et inversement. Peu d'enfants y arrivent sans aide. Un modèle précurseur possible serait de regarder le déplacement du robot dans un miroir et de faire énumérer les mouvements réalisés.

Déplacements angulaires. Les déplacements angulaires du robot se font en paramétrant un temps de rotation, et ce temps varie en fonction de l'usure des piles. Même si un enfant a trouvé expérimentalement le temps pour faire un tour complet et peut en déduire le temps pour un quart de tour, l'enfant n'a aucune garantie que ce soit le même temps pour un autre robot, ni même pour le sien à un autre moment. Deux objectifs-obstacles sont à franchir : penser systématiquement à l'étalonnage du temps d'un tour ; établir la relation entre la rotation demandée et le temps nécessaire. Comme modèle-précurseur possible, nous présentons dans la section 3.6 un tableau de proportionnalité.

3.2 LED

L'objectif de la séance est de découvrir les LED, d'expérimenter la synthèse des et de programmer des petites applications lumineuses et sonores.

Synthèse de couleurs. Le robot a 2 diodes électroluminescentes appelées LED (*light-emitting diode*). Chaque LED est composée d'une diode Rouge, d'une diode Verte et d'une diode Bleue. Dans l'exercice *La couleur orange*, les enfants doivent utiliser le bloc qui permet de régler l'intensité des 3 diodes et déterminer comment produire les couleurs orange, jaune et blanc, une introduction à

la synthèse additive. Dans l'exercice *Palette de couleurs*, la palette de la synthèse additive est présentée puis l'enfant doit écrire un programme qui allume successivement les couleurs de l'arc-en-ciel, les intensités RVB de chacune des 6 couleurs étant données dans un tableau. Certains enfants font bien la relation entre la palette, les intensités RVB et la couleur attendue ; d'autres ne la font pas. La synthèse soustractive est la synthèse apprise à l'école, nous ne savons pas si cette représentation entre en collision avec celle de la synthèse soustractive qu'il faut comprendre (ou tout au moins appliquer) ou bien si la nature abstraite des nombres associés à l'intensité RVB est un objectif-obstacle à la compréhension.

Gérer deux actuateurs simultanément. Dans les exercices *Un feu tricolore* et *Un feu tricolore et sonore*, on emploie une boucle infinie. La difficulté est de comprendre comment Scratch temporise les actions. C'est assez simple dans le premier exercice où la séquence répétée indéfiniment est : allumer le vert - temporiser, allumer l'orange - temporiser, allumer le rouge - temporiser. Dans le deuxième exercice (un feu pour mal-voyant.es), le robot doit jouer une séquence de sons plus ou moins rapide pendant l'allumage du vert et du orange, rien pendant le rouge. Beaucoup d'enfants n'y arrivent pas sans aide et ne comprennent pas qu'on peut remplacer la temporisation par une suite d'actions dont la somme des durées a la même durée que la durée prévue pour la couleur. Les enfants n'ont pas de représentation du temps qui leur permet de franchir l'objectif-obstacle qu'est le parallélisme d'exécution des actuateurs. Lorsque cette notion de temporisation a été introduite par les accompagnatrices, peu d'enfants sont capables de calculer combien il faut de notes d'une certaine durée pour obtenir la durée totale allouée à la couleur. La démarche par essai-erreur ne fonctionne pas bien ici car l'observation fait appel à deux sens simultanés. On envisage l'utilisation d'une frise temporelle avec plusieurs couloirs comme modèle-précurseur.

Programmation continue d'un arc-en-ciel Dans l'exercice *Un arc-en-ciel*, il faut utiliser trois variables ROUGE, VERT, BLEU et incrémenter et/ou décrémenter les variables pour passer d'une couleur à l'autre. On donne à expérimenter un programme qui passe du rouge au jaune en incrémentant le VERT. L'application demandée est de passer du jaune au vert en décrémentant le ROUGE, la moitié des enfants n'y arrivent pas sans aide. On donne ensuite à expérimenter un programme qui passe du vert au bleu en décrémentant le VERT et en incrémentant le BLEU. L'application demandée est de passer du bleu au rouge sans autre indication (il faut décrémenter le BLEU et incrémenter le ROUGE), très peu d'enfants y arrivent sans aide. Nous ne savons pas s'il s'agit de difficultés venant de la programmation (incrémenter et décrémenter des variables dans une boucle répéter jusqu'à) ou de difficultés de représentation d'un continuum de couleurs.

3.3 En musique

L'objectif de la séance est de comprendre les notions de hauteur et de durée des notes, de découvrir que certains sons (les ultrasons) ne s'entendent pas, de comprendre la relation entre le son réfléchi et la distance et de programmer des petites applications utilisant le capteur ultrason et produisant des sons.

Durée et vitesse. Dans l'exercice *Au clair de la lune*, les enfants programment une suite de blocs jouant la mélodie. On leur demande ensuite de jouer l'air deux fois plus vite ou deux fois plus lentement, à quoi elles et ils arrivent par essai-erreur. Peu d'enfants font la relation entre la vitesse de la mélodie et la durée des notes. Généralement les enfants multiplient la durée (au lieu de la diviser) pour aller plus vite et la divisent (au lieu de la multiplier) pour aller plus lentement. La proportionnalité inverse est une notion de cycle 4 mais par l'expérimentation, les élèves l'appréhendent. Un modèle-précurseur serait de leur faire construire un tableau à deux lignes avec la vitesse qui croît sur une ligne et le temps sous forme de fraction qui décroît sur l'autre ligne.

Capteur ultrasons. Le "look" du robot mbot fait penser aux enfants que les deux cylindres en face avant sont ses "yeux". Cependant, les enfants connaissent assez bien la manière dont les chauve-souris se repèrent et il est facile de donner une représentation du capteur ultrason par analogie. Bien que le capteur mesure un temps d'aller-retour du son, le bloc mettant en œuvre ce capteur le présente comme une distance *distance mesurée sur le capteur ultrasons*. Comme cette distance est proportionnelle au temps, les enfants ne sont pas surpris par la mesure. Dans l'exercice *Le capteur ultrasons*, le robot doit avancer jusqu'à être près d'un obstacle et l'obstacle provient plutôt du concept de boucle (répéter jusqu'à) que de compréhension du fonctionnement du capteur. Dans l'exercice *Éviter les obstacles*, on introduit pour la première fois la notion d'algorithme de comportement du robot qui doit tourner quand un obstacle est trop près. La plupart des enfants arrivent à traduire l'algorithme en blocs Scratch sans aide.

Répéter indéfiniment

Si distance mesurée par le capteur ultrasons du port 3 < 10 alors

 Tourner à gauche (ou à droite)

 Sinon

 Avancer

Fin répéter indéfiniment

Le thérémine est un instrument composé d'un boîtier électronique équipé de deux antennes. La main droite commande la hauteur de la note, en faisant varier sa distance à l'antenne verticale. Dans l'exercice *Programmer le robot comme thérémine*, on simule l'antenne verticale avec le capteur ultrasons. L'obstacle vient de la programmation avec des si alors sinon imbriqués pour détecter dans quelle plage de distance est située la main qui arrête l'ultrason. Malgré l'exemple des deux premières notes, la programmation imbriquée est trop difficile. Le modèle envisagé est un organigramme et la simulation pas-à-pas du fonctionnement.

3.4 Capteurs

L'objectif de la séance est d'introduire un nouveau capteur qui mesure l'intensité d'un son, de comprendre la notion de mesure et de seuil, d'appréhender la différence entre fréquence et intensité d'un son et de programmer une petite application qui enregistre une suite de mesures d'intensité de sons (cet exercice s'est révélé trop ambitieux).

S'appropriation des outils et des méthodes. L'emploi d'un capteur pour résoudre un problème travaille la compétence "s'appropriation des outils et des méthodes". On donne la documentation du capteur de son dans un tableau (cf. table 1) et on demande de faire "dire" au robot si le son est calme ou bruyant. Sans aide, les enfants ont beaucoup de difficultés de passer du tableau à un programme. L'objectif-obstacle est l'emploi de la conditionnelle; la représentation algorithmique ne convient pas, il faudrait un organigramme. Dans la même veine, on donne les fréquences des notes de la gamme dans un tableau et on demande aux enfants d'utiliser une variable **FREQUENCE** dans un programme qui joue le début de « Au clair de la lune » (Do – Do – Do – Ré – Mi – Ré) et sans aide, le passage du tableau à la suite de notes est difficile.

TABLE 1. Documentation du capteur de son et du capteur de lumière

Son ambiant	Valeur mesurée		Lumière ambiante	Luminosité - Valeur mesurée
Calme	De 0 à 499		Sombre	De 0 à 499
Bruyant	500 et plus		Clair	500 et plus

Caractéristiques du son. Dans l'exercice *Un robot musicien*, l'enfant mesure avec le capteur de son les différentes notes d'une gamme montante et doit répondre s'il est vrai que l'intensité est plus forte quand la note est plus haute ou bien que l'intensité est plus forte quand la note est plus basse. Les enfants ont généralement du mal à se représenter qu'il n'y a pas de rapport entre la fréquence du son (de grave à aigu) et l'intensité du son (de calme à bruyant). En cycle 3, il est préconisé de présenter le son comme une vibration. En représentant le son comme une vague, on dispose d'un modèle-précurseur où on peut donner du sens aux mots. Le nombre de vagues par seconde est la fréquence des vagues, un son grave a peu de vagues, un son aigu a beaucoup de vagues. La taille des vagues est l'amplitude, l'intensité, le volume sonore, un son fort a une grande taille de vague, un son faible a une petite taille de vague. Ce sont des notions fragiles car il y a beaucoup de mots voisins (amplitude, intensité, volume) qui perturbent la mémorisation des concepts, il faut donc faire attention à la cohérence du vocabulaire employé pour les différents capteurs.

3.5 Lumière

L'objectif de la séance est d'introduire un nouveau capteur qui mesure l'intensité de la lumière, de retravailler la notion de mesure et de seuil, et d'utiliser un tableau de LED pour programmer de petites animations.

Vocabulaire scientifique. Le capteur de son utilise le bloc *son mesuré sur le port x* pour obtenir l'intensité du son alors que la notion équivalente avec le capteur de lumière utilise le bloc *luminosité mesurée sur le port x*. La science emploie des termes (intensité, volume, amplitude, luminosité, etc.) reliés entre eux par des relations de synonymie, de hiérarchie et d'association. Établir une carte de concepts permet d'évaluer comment la classe se représente ces termes.

Fonctionnement "générique" d'un capteur. On donne la documentation du capteur de lumière dans un tableau similaire à celui du capteur de son (cf. table 1) et on demande de faire "dire" au robot si la luminosité ambiante est claire ou sombre. Certains enfants font la relation avec le programme du capteur de son et réutilisent ce programme sans aide. Se représenter que la lumière est une vague (une onde) comparable au son permettrait d'établir des parallèles fructueux entre l'amplitude, l'intensité d'un son et la luminosité. De même la fréquence d'une note pourrait être fructueusement comparée à la couleur.



FIGURE 1. Programme Scratch de trajectoire polygonale

3.6 Trajectoire

L'objectif de la séance est de comprendre la relation entre la vitesse des mouvements du robot et le temps, de programmer le robot pour qu'il effectue des trajectoires polygonales ou en suivant une ligne ou le modèle d'une lettre.

TABLE 2. Tableau à remplir sur les trajectoires polygonales

Nombre de côtés	3	4	5	6	8
Nom	Triangle	Carré	Pentagone	Hexagone	Octogone
Angle intérieur	60	90	108	120	135
Angle extérieur	120	90	72	60	45

Trajectoire, vitesse et temps. Les enfants doivent programmer un tour complet du robot et donner le temps nécessaire. Dans l'ensemble, les enfants ont beaucoup de patience pour arriver à obtenir le temps d'un tour. Un exemple de programme exploitant le temps d'un tour dans une variable leur est donné pour que le robot fasse un angle de 60 degrés puis on leur demande que le robot suive une trajectoire en triangle équilatéral. On explore ensuite les différentes polygones avec le programme de la figure 1. L'objectif-obstacle est de comprendre la relation entre l'angle intérieur de la figure et l'angle extérieur du déplacement du robot. Peu d'enfants sont capables de faire la relation entre le nombre de côtés et la valeur affectée par l'expression $360/\text{réponse}$. Cependant, en expérimentant le programme de la figure 1, la plupart des enfants arrivent à remplir correctement le tableau demandé (cf. tableau 2).

Suivi de ligne et tracé de lettres. Le robot mbot dispose d'un mode pré-programmé de suivi de lignes. Ce programme utilise le capteur appelé suiveur de ligne qui est composé de deux capteurs parallèles de couleur. Ces deux capteurs permettent de déterminer si le robot est sur une ligne noire, sorti de la ligne à gauche, sorti de la ligne à droite ou sur du blanc ; la mesure de cette situation s'obtient avec le bloc *état du suiveur de ligne* et peut aussi être vérifiée visuellement grâce à deux petites LED qui s'allument sur du blanc et s'éteignent sur du noir. L'objectif est que les enfants arrivent à programmer le même comportement que le programme pré-programmé : le suivi d'une ligne noire en forme de 8. La programmation se fait par étapes inductives ; (i) observer les quatre situations, l'état des petites LED et la valeur renvoyée par le bloc ; (ii) comprendre sur un dessin le comportement attendu du robot dans chaque situation (cf. figure 2) ; (iii) observer le mode pré-programmé du robot mbot ; (iv) remplir le tableau représentant l'algorithme du robot (cf. figure 3) ; (v) compléter l'ossature du programme de suivi de lignes.

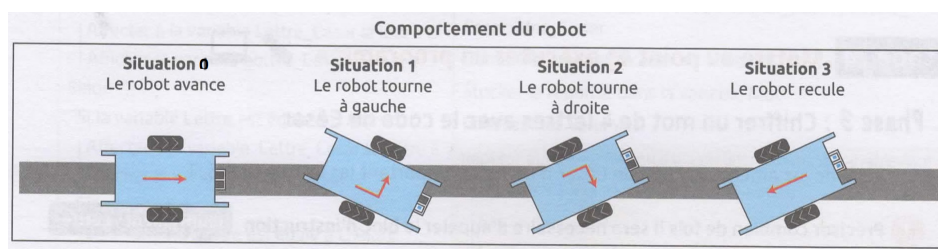


FIGURE 2. Actions à effectuer par le robot dans chaque situation

Dans une première version de cet exercice, on présentait un algorithme plus compliqué de suivi de ligne que les enfants devaient traduire en Scratch. L'algorithme étant présenté de manière déductive et descendante, il s'est avéré que l'algorithme restait abstrait et la traduction constituait un objectif-obstacle hors de portée des enfants. L'objectif-obstacle a été remédié grâce au schéma inductif exposé plus haut, et dans l'ensemble, les enfants viennent à bout de ce travail avec un besoin d'aide très variable.

Dans l'exercice où on demande que le robot trace une lettre, chaque segment de la lettre est numéroté et on demande aux enfants de compléter (avant de programmer) un programme "à trous", ce qui fonctionne bien en général.

Gauche et droit sur noir	Gauche sur noir et droit sur blanc	Gauche sur blanc et droit sur noir	Gauche et droit sur blanc
0	1	2	3
si SuiveurLigne = [] alors à la vitesse []	si SuiveurLigne = [] alors à la vitesse []	si SuiveurLigne = [] alors à la vitesse []	si SuiveurLigne = [] alors à la vitesse []

FIGURE 3. Actions à effectuer par le robot dans chaque situation

3.7 Synthèse

Les leçons ont été conçues, réalisées et testées au fil de l'eau en mai-juin 2019. La rédaction de cet article et les suggestions judicieuses des relecteurs et relectrices placent les exercices dans le cadre théorique présenté en section 2.3.

Un.e professeur. des écoles expérimenté.e, même sans connaissances en didactique de l'informatique, identifie rapidement les objectifs-obstacles d'une leçon et les classe facilement en difficulté. Cependant, à notre avis, ce n'est pas la difficulté de l'objectif-obstacle qui impacte le plus sur la capacité de réussite des élèves mais c'est plutôt la pertinence et l'ergonomie des modèles-précurseurs proposés, s'ils existent, qui conditionnera le succès. Par exemple, après une activité guidée d'étalonnage du robot et la construction d'un tableau de proportionnalité entre les rotations angulaires et le temps nécessaire, les enfants arrivent à programmer une trajectoire polygonale du robot. Par contre, comme nous n'avons pas su fournir un modèle pour représenter l'activité lumineuse et l'activité sonore en parallèle, la plupart des enfants n'ont pas su passer d'un programme de feu tricolore à un programme de feu tricolore et sonore.

4 Évaluations

Nous avons voulu évaluer la capacité des élèves à se représenter le comportement des robots suivant un programme donné ainsi que les connaissances de sciences acquises dans les leçons de robotique. Les résultats donnés dans cette section sont ceux de tests réalisés sans l'aide du robot, donc conceptuels.

4.1 Première évaluation : mouvements

Cette évaluation est composée de 4 exercices composé d'une situation et de questions. L'enfant peut répondre vrai, faux ou qu'elle ou il ne peut pas décider. Dans l'exercice 1, le robot est représenté vu de côté et on indique que les roues tournent dans le même sens et à la même vitesse. L'enfant doit répondre si le robot avance, recule, tourne. Dans l'exercice 2, le robot est représenté vu de côté et on indique qu'une seule roue tourne et dans quel sens. L'enfant doit répondre si le robot tourne, recule, tourne vers nous. Dans l'exercice 3, le robot est représenté vu de dessus et on indique que les roues tournent dans le même sens et à la même vitesse. L'enfant doit répondre si le robot avance, recule, tourne à gauche, tourne à droite. Dans l'exercice 4, le robot est représenté vu de dessus et on indique que les roues tournent dans des sens inverses et à des vitesses inconnues. L'enfant doit répondre si le robot avance, recule, tourne à gauche, tourne à droite, tourne autour d'une de ses roues.

La première évaluation a été réalisée entre les leçons 1 - Mouvement et 2 - LED dans deux classes, une classe de CM1 à Guipavas en zone ruraine (14 filles et 14 garçons), et l'autre classe de CM2 à Loperhet en zone rurale (12 filles et 13 garçons). Les résultats des tests pour la classe entière sont donnés dans la table 3 et la ventilation filles/garçons dans la table 4.

TABLE 3. Tests sur les mouvements : classe

Ecole / Exercice	1	2	3	4	Total
Guipavas (28 CM1)	65%	57%	61%	45%	55%
Loperhet (25 CM2)	80%	75%	85%	38%	59%

Les résultats sont très satisfaisants. Le modèle-précurseur de forces, sur lequel les enfants ont raisonné, consiste en un robot vu de côté ou de dessus et des flèches de sens de rotation des roues. Avec ce modèle, les enfants anticipent correctement le déplacement du robot. L'exercice 4 est beaucoup moins bien réussi car les vitesses sont inconnues et l'élève ne dispose pas d'une représentation des forces permettant de raisonner. Les tests ont été réalisés en toute fin d'année scolaire, et nous supposons que la plus grande réussite de la classe de CM2 est le reflet de la maturité d'enfants qui s'apprentent à quitter l'école élémentaire.

TABLE 4. Tests sur les mouvements : filles / garçons

Ecole / Ex.	1		2		3		4		Total	
	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G
Guipavas	69%	62%	51%	54%	52%	73%	38%	45%	51%	57%
Loperhet	82%	77%	73%	77%	85%	75%	38%	36%	66%	63%

D'après le tableau ci-dessus, en CM2 les filles ont mieux réussi que les garçons et en CM1 c'est l'inverse. Il n'a pas été constaté, lors des leçons, de différences significatives selon le genre, nous imputons le décalage à la procédure de test.

4.2 Deuxième évaluation : LED et son

Cette évaluation est composée de 4 exercices composés d'une situation et de questions. L'enfant peut répondre vrai ou faux. Dans l'exercice 1, les palettes des deux systèmes de synthèse (additive et soustractive) sont présentées. L'enfant doit répondre à des questions de compréhension sur ces systèmes. Dans l'exercice 2, le spectre des ondes électromagnétiques est donné. L'enfant doit répondre à des questions sur l'effet du bloc *régler la LED de la carte en composantes RVB* et à des questions de compréhension sur la lumière. Dans l'exercice 3, l'enfant doit répondre à des questions comparant les sons produits (hauteur et durée) par deux blocs *jouer la note en fréquence et en durée*. Dans l'exercice 4, on donne 4 programmes utilisant soit le capteur de son, soit le capteur ultrason pour afficher un seuil ou une distance. L'enfant doit répondre si les programmes sont corrects.

La deuxième évaluation a été réalisée après les leçons 2 - LED et 3 - En musique et avant la leçon 4 - Capteurs. Faute de temps, cette évaluation n'a pas été réalisée à Loperhet. Les résultats des tests pour la classe de Guipavas sont donnés dans la table 5 et la ventilation fille/garçons dans la table 6.

Les résultats sont aussi très satisfaisants. Les blocs Scratch *régler la LED de la carte en (composantes RVB)* et *jouer la note (hauteur) et (durée)*, qui sont des

TABLE 5. Tests sur les LED et son : classe

Ecole / Exercice	1	2	3	4	Total
Guipavas (28 CM1)	71%	61%	76%	38%	62%

TABLE 6. Tests sur les LED et son : filles / garçons

Ecole / Ex.	1		2		3		4		Total	
	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G
Guipavas	64%	79%	55%	71%	59%	93%	41%	51%	53%	72%

abstractions du comportement lumineux ou sonore du robot, sont bien assimilés par les enfants. L'exercice 4 utilise deux capteurs différents et deux types de mesure; c'est donc un exercice compliqué qui a eu moins de succès.

5 Conclusion et perspectives

Pour appuyer l'enseignement des sciences, un cours de robotique avec Scratch, en six leçons, a été conçu, développé et évalué dans deux classes de cycle 3. Les séances ont eu un grand succès. Cependant, comme le remarque Harlen, les questions que se posent les enfants ne sont pas des points de départ efficaces pour la science [4] et il s'agit donc de provoquer et de travailler avec des représentations *fécondes* et d'identifier les objectifs-obstacles à franchir. Ceci permet de construire ou d'utiliser des modèles-précurseurs fournissant des pistes de résolution de problèmes à la portée des enfants.

Nous avons constaté que certains enfants, identifiés en difficulté par leur professeure des écoles, pouvaient réussir seul.e ou avec l'aide de camarades. La programmation des robots est une activité où il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses immédiates; où on expérimente, on peut se tromper, on tâtonne et on y arrive. Cette gratification rapide, motivante pour les enfants, doit être inscrite dans des tentatives à plus long terme, un effort qui peut être devenu hors de portée de certains enfants.

En partenariat avec l'école Lucien Guilbault à Montréal (école pour enfants avec des grandes difficultés d'apprentissage) et quelques classes de Brest et ses environs dont une unité localisée pour l'inclusion scolaire (ULIS), nous développons un dispositif de Robolympiades à partir des exercices bien réussis par tous les enfants. Au cours de cette année scolaire, les élèves s'entraînent à maîtriser des "figures" comme *avancer le robot d'un mètre* ou *passer du vert à l'orange* ou encore *détecter un obstacle à moins de 10 cm*. Pendant les entraînements, animés à Montréal par la professeure d'informatique de l'école Lucien Guilbault et en France par les filles qui..., les enfants ont l'objectif de réussir les figures afin d'être qualifiés pour les Robolympiades. La Robolympiade aura lieu en fin d'année scolaire sous la forme d'une compétition entre équipes de deux enfants. Les équipes devront réaliser des figures imposées qui seront notées par un jury. Une cérémonie de remise des prix couronnera les efforts et les réussites des enfants. Nous espérons vous raconter la suite dans un prochain Didapro!

Références

1. Brandt, A.M., Colton, M.B. : Toys in the classroom : Lego mindstorms as an educational haptics platform. In : 2008 symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems. pp. 389–395. IEEE (2008)
2. Brennan, K., Resnick, M. : New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In : Proceedings of the 2012 annual meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, Canada. pp. 1–25 (2012)
3. Chevalier, M., Riedo, F., Mondada, F. : Pedagogical uses of thymio ii : How do teachers perceive educational robots in formal education ? IEEE Robotics & Automation Magazine **23**(2), 16–23 (2016)
4. Harlen, W., Elstgeest, J., Jelly, S. : Enseigner les sciences : comment faire ? Le Pommier, Paris (2004)
5. Lemeignan, G., Weil-Barais, A. : Construire des concepts en physique : l'enseignement de la mécanique. Hachette, Paris (1993)
6. Martinand, J.L. : Connaître et transformer la matière. Peter Lang, Berne (1986)
7. Ravanis, K. : Représentations, modèles précurseurs, objectifs-obstacles et médiation-tutelle : concepts-clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5-7 ans. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias **5**(2) (2010)