

ÉTUDE COMPARATIVE DE DISPOSITIFS D'AIDE EN ALGORITHMIQUE ET PROGRAMMATION AU PRIMAIRE ET DE LEURS EFFETS SUR LES APPRENTISSAGES DE L'ÉLÈVE

Nicolas ROS

PRAG, docteur en mathématiques, INSPE Toulouse Occitanie Pyrénées
SFR AEF
nicolas.ros@univ-tlse2.fr

Anne CRUMIERE

MCF en didactique des mathématiques, INSPE Toulouse Occitanie Pyrénées
UMR-EFTS et SFR AEF
anne.crumiere@univ-tlse2.fr

Résumé

Les pratiques professorales pour enseigner l'algorithmique et la programmation en primaire semblent pouvoir être caractérisées par deux techniques : soit faire programmer l'élève sans initiation préalable à la pensée algorithmique, soit lui faire travailler l'algorithmique en mode débranché avant de le faire programmer. Notre étude se limite à la réalisation de la deuxième technique en classe de CE2 et s'appuie sur une activité de découverte d'un fichier élève dont l'objectif est : « comprendre et produire un algorithme simple afin de coder les déplacements d'un personnage ». Nous constatons des difficultés, notamment de codage/décodage de déplacements : quels types de dispositifs d'aide le professeur des écoles met-il en place ? Au-delà de leur fonction propre, en quoi ces dispositifs diffèrent-ils ? En particulier, nous analysons des dispositifs d'aide ponctuelle de l'élève : soit une simulation de contrôle dans un environnement de programmation ou dans l'espace sensible, soit la possible référence à une situation déjà vécue corporellement. Une analyse comparative de ces différents dispositifs d'aide et des effets sur les apprentissages de l'élève nous permet de formuler quelques réponses à ces questions.

I - INTRODUCTION

Pour le thème *Espace et géométrie*, le curriculum prescrit précise que « au cycle 2, les élèves acquièrent [...] des connaissances spatiales comme l'orientation et le repérage dans l'espace », d'abord dans l'espace sensible en résolvant des « problèmes visant à localiser des objets ou à décrire ou produire des déplacements dans l'espace réel ». L'apprentissage visé s'effectue de façon relative : par exemple, un des attendus de fin de cycle est « (Se) repérer et (se) déplacer en utilisant des repères et des représentations ». Le rapport à la spatialité n'est pas étranger au rapport à l'algorithmique et programmation. D'une part, les activités d'algorithmique et de programmation peuvent contribuer à cet apprentissage, en confrontant espace sensible et environnement de programmation : si dès le début du cycle 2, les élèves codent des déplacements en mode débranché (avec des flèches, « passage par le papier/crayon, par le corps en activité de motricité ») et « à l'aide d'un logiciel de programmation adapté », en fin de cycle, il est attendu qu'ils « comprennent et produisent des algorithmes simples pour la programmation des déplacements d'un robot ou ceux d'un personnage sur un écran » en continuant à « jouer physiquement ces situations dans l'espace concret » (MENJ, 2019a). D'autre part, les activités spatiales peuvent fournir des conditions de réalisation d'activités d'algorithmique et de programmation. En effet, pour décoder « un déplacement pour réaliser un déplacement dans un quadrillage » ou

comprendre et produire « un algorithme simple afin de coder les déplacements d'un robot ou d'un personnage sur un écran » (MENJ, 2019b), l'élève doit convoquer des repères spatiaux et des relations entre l'espace sensible et ses représentations. Par ailleurs, dans leur ouvrage *La psychomotricité au service de l'enfant* (1993), De Lièvre et Staes distinguent quatre paliers qui se chevauchent dans l'apprentissage de l'espace : l'élève vit progressivement l'espace subi, vécu corporellement, perçu de manière égocentrique lors du stade des rapports de nature topologique (dans, sous, entre, etc.) et connu par décentration de sa perception de l'espace lors du stade des rapports projectifs (par exemple, à droite puis à la droite d'autrui). Pour que l'élève apprenne les repères spatiaux et les relations entre l'espace sensible et ses représentations, ces auteurs proposent de lui faire travailler différents types de tâches sous contraintes : l'espace est vécu corporellement, il est perçu par manipulation ou connu au moyen de ses représentations.

Au cours de notre recherche, pour un enseignement en classe de CE2 (élèves de 8 à 9 ans) en algorithmique et programmation qui sollicite l'appui de connaissances spatiales, nous avons étudié trois dispositifs d'aide ; chacun d'eux est élaboré en prenant en compte l'une de ces trois contraintes relatives à l'espace. L'étude de ces trois dispositifs d'aide nous semble propice à apporter des éléments de réponse à la question : « Quelles sont les différences entre les dispositifs d'aide à l'élève qui pourraient être mis en place en classe de CE2 par le professeur lors d'un enseignement en algorithmique et programmation ? ».

II - CADRE THÉORIQUE

Nous commençons par présenter les éléments qui constituent notre cadre théorique de référence.

1 Praxéologie

Pour mener notre recherche, nous exploitons la théorie anthropologique du didactique (TAD) de Chevallard (1999). Dans ce cadre, toute activité humaine est décomposée en une succession de tâches de certains types. En outre, dans une institution, pour accomplir un *type de tâches*, la mise en œuvre d'une certaine *technique* est requise ; cette technique est justifiée par une *technologie*, discours rationnel qui permet de la penser – parfois aussi de la produire – et qui à son tour est justifiée par une *théorie*. Ainsi, en TAD, toute activité humaine peut être modélisée par un type de tâches, une technique, une technologie et une théorie conçus comme une entité, soit une *praxéologie*.

Dans une institution où un système didactique (système où une œuvre est étudiée par un collectif d'« étudiants » sous la direction de « directeurs d'étude » ou avec l'aide d'« aides à l'étude ») est observé, l'œuvre étudiée est modélisée par une praxéologie.

2 Systèmes didactiques principal et auxiliaire

Pour modéliser les dispositifs d'aide dans une institution, nous nous référons à la catégorisation des systèmes didactiques de Chevallard (1996). En l'occurrence, cet auteur détaille le fait que : dans une institution, « l'espace de l'étude » peut être décomposé en un ensemble de systèmes didactiques dits *principaux* (SDP) ; l'existence et le fonctionnement de chaque SDP suppose l'existence et le fonctionnement de systèmes didactiques associés dits *auxiliaires* (SDA) – qu'ils soient placés en amont, au cours, en aval du SDP, en classe ou hors la classe, etc. Concernant ces différents systèmes didactiques, Chevallard (2002a) précise que :

Une classe n'est pas elle-même un système didactique, mais une « sommation » de tels systèmes, les SDP : elle fournit le cadre dans lequel divers SDP peuvent vivre et fonctionner. D'autres dispositifs didactiques sont cependant nécessaires ; car, d'une manière générale, l'existence et le fonctionnement d'un système didactique S_0 supposent [sic] l'existence et le fonctionnement de tout un ensemble de systèmes didactiques, $A(S_0) = \{S_0, S_1, \dots, S_n\}$, que l'on dira associés à S_0 . Un SDP est ainsi une « tête de réseau » pilotant – dans une

certaine mesure – un ensemble de systèmes didactiques que nous dirons auxiliaires (SDA), qui vivent dans l'établissement ou hors de l'établissement.

Pour que l'élève étudie la praxéologie à l'étude en classe, le professeur peut choisir de mettre en place un « dispositif d'aide à l'élève » ; un tel dispositif constitue le cadre de vie et de fonctionnement d'un système didactique auxiliaire associé au système didactique principal. Ce dispositif a pour fonction de prendre en charge des difficultés du système didactique (Assude et al., 2016 ; Millon Fauré et al., 2018) – pour le travail de l'élève, les difficultés peuvent être relatives à l'élève¹, au professeur, à l'œuvre étudiée et aussi donc aux interactions entre eux – et de créer des conditions pour que l'élève apprenne. Dans la suite, nous abrégons « dispositif d'aide à l'élève » en *dispositif d'aide* (pour prendre en charge les difficultés d'un système didactique).

3 Mésogenèse, chronogenèse et topogenèse

Pour une classe de CE2 dans laquelle l'algorithmique et la programmation sont étudiées, afin de comparer les différents dispositifs d'aide étudiés, nous proposons de réaliser une analyse des fonctions didactiques de ceux-ci relativement au triplet des genèses (mésogenèse, chronogenèse, topogenèse). À l'instar de Weisser (2007), nous entendons par mésogenèse « l'évolution des objets meublant le milieu, et de leurs relations, par le biais d'interactions » entre l'élève et le professeur. Aussi, nous entendons par chronogenèse la « succession d'états d'un système d'objets culturels enseignés, marquant le temps didactique » ou temps de l'enseignement d'un savoir à enseigner, celui-ci étant propre à un système didactique. Le topos de l'élève ou celui du professeur désignant « l'ensemble des gestes d'étude que celui-ci aura à accomplir en autonomie didactique » (Chevallard, 2002b), la topogenèse témoigne de l'évolution des topos de l'élève et du professeur durant le temps didactique.

III - TERRAIN DE RECHERCHE ET PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

1 Ressource pour l'étude du système didactique principal

Pour réaliser notre recherche, nous avons choisi d'exploiter la ressource extraite du fichier *Opération Maths* (Peltier et al., 2018, p. 33) pour la classe de CE2 ; elle est reproduite en annexe 1. Cette ressource a été modifiée à la marge, en particulier les personnages ont été nommés ; le support distribué dans les trois classes observées est reproduit en annexe 2. En travaillant cette ressource, les élèves de CE2 étudient les praxéologies associées aux types de tâches T_1 : « comprendre un algorithme » au travers de la partie 1, T_2 : « produire un algorithme » au moyen des parties 2 et 3 et T_0 : « coder les déplacements d'un robot ou d'un personnage » (dans l'environnement papier-crayon puis sur un écran) qui en est une raison d'être. L'étude de ces praxéologies est en conformité avec les attendus du curriculum prescrit (MENJ, 2019b). En effet, du point de vue technique et technologique, la ressource permet essentiellement de faire travailler à l'élève l'orientation et le pivotement à gauche ou à droite pour les personnages Achille – orienté comme l'élève – et Agathe – de profil.

2 Difficultés repérées pour le système didactique principal

Avant de mettre en place le protocole expérimental de notre recherche, nous avons observé le travail de cette ressource par des élèves de CE2, dans une classe du sud toulousain. Nous avons ainsi pu repérer les difficultés suivantes de l'élève :

- Difficulté de décentration initiale : l'élève n'identifie pas correctement l'orientation initiale d'un personnage ;

¹ Dans cet article, nous écrivons « l'élève » (respectivement « le professeur ») afin de désigner « la position institutionnelle d'élève » (respectivement « la position institutionnelle de professeur des écoles »).

- difficulté de décentration intermédiaire : l'élève n'identifie pas correctement l'orientation d'un personnage ou ne fait pas pivoter un personnage correctement au cours de son déplacement – pour notre modélisation, une difficulté de décentration apparaissant après un ou plusieurs déplacements « avance d'une case » à partir de la position initiale relève de la décentration initiale ;
- difficulté liée à l'instruction « ramasser » : pour faire ramasser un objet à un personnage, l'élève se contente de positionner le personnage sur le lieu de l'objet ;
- difficulté liée à l'instruction « pivoter » : pour faire tourner un personnage, l'élève le fait avancer puis le fait pivoter ou le fait avancer puis le fait pivoter.

La difficulté de décentration initiale a été observée par Constans (2021) lors de son étude sur l'impact du travail en informatique débranchée sur le développement, le prolongement ou le renouvellement des compétences relatives aux compétences spatiales liées aux déplacements ; nous l'avons aussi observée au cours de notre recherche (voir la figure 3, par exemple).



Figure 3. Difficultés de décentration initiale pour le personnage Agathe

Par ailleurs, en amont et au cours de notre protocole expérimental, nous avons observé des traces écrites d'élèves (voir la figure 4, par exemple) témoignant du fait que l'élève ne repère pas l'orientation d'un personnage – occupant une position résultant d'une translation de la position initiale – ou lui applique une rotation en confondant sens horaire et sens antihoraire – le centre n'étant pas la position initiale.



Figure 4. Difficultés de décentrations initiale et intermédiaire pour le personnage Shiny

D'autre part, Constans et une autre professeure en école élémentaire nous ont fait part d'une difficulté de l'élève liée à l'instruction « pivoter » ; la professeure explique que lorsque l'élève est amené à faire tourner un personnage, il s'imaginer dans une voiture qui, pour tourner, avance puis prend un virage. Au début de notre recherche, nous avons repéré cette difficulté, en particulier lorsque des élèves écrivent « avancer à droite » plutôt que « pivoter à droite » (voir la figure 5, par exemple). Nous estimons que cette difficulté pourrait avoir peu d'occurrences dans notre recherche puisque nous avons sélectionné une ressource pour laquelle seul le verbe « pivoter » est employé et non « tourner » par exemple.



Figure 5. Difficultés liées à l'instruction « pivoter » pour le personnage Shiny

Enfin, nous avons observé que des élèves cherchent à mettre en œuvre un algorithme étudié pour déplacer un personnage jusqu'à ce que celui-ci et l'objet cible se superposent : l'élève semble rencontrer

une difficulté à faire en sorte que le personnage ramasse l'objet cible. Dans la suite, nous proposons d'étudier des dispositifs d'aide susceptibles de prendre en charge ces quatre types de difficultés du système didactique principal.

3 Terrain de recherche

Pour notre recherche, nous avons observé deux classes de CE2 de l'ouest toulousain : celle de la professeure Esther qui est composée de 22 élèves et celle de la professeure Manon qui comporte 27 élèves. Avant que nous réalisions nos observations, les élèves de ces professeures ont travaillé des activités algorithmiques en mode débranché. Dans l'environnement papier-crayon, un quadrillage et des vignettes « chien », « viande » et « niche » à positionner sur le quadrillage étant fournis, les professeures engagent les élèves à coder le « trajet pour que le chien aille sur la case de la viande puis dans sa niche » ou décoder « le chemin » d'un chien fourni sous forme de code et entourer la « case d'arrivée parmi les trois propositions » de l'activité (voir figure 6). Dans un premier temps, le code est à écrire sans contrainte de longueur avec les symboles $\uparrow$, $\downarrow$, $\rightarrow$ et $\leftarrow$; pour les élèves à l'aise avec ce codage/décodage, un code de longueur minimale est demandé ce qui conduit les élèves à utiliser en plus des symboles d'itération comme $2 \times \dots$ ou $4 \times \dots$.

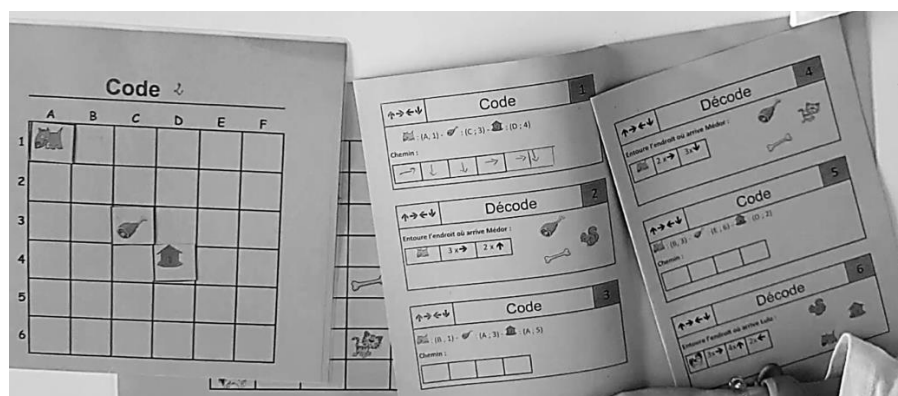


Figure 6. Ressource de codage-décodage exploitée dans les classes d'Esther et Manon

Du fait de ce travail réalisé par les élèves du terrain en amont de nos observations, nous n'avons pas cherché à analyser les difficultés de l'élève relatives à la lecture sur un plan d'un phénomène de l'espace ; nous avons cantonné notre recherche à l'analyse des quatre difficultés détaillées ci-avant. Par ailleurs, les élèves d'Esther et de Manon avaient aussi travaillé des activités de programmation sur le site « Heure de code »² et à l'aide des logiciels Scratch Junior et Scratch. La municipalité met à disposition de l'école observée une valise d'ordinateurs équipés en logiciels éducatifs ainsi que l'assistance d'un animateur informatique présent deux demi-journées par semaine. La consigne de la ressource nous semblant compréhensible par des élèves de CE2, les professeures ont eu toute liberté pour organiser et mettre en place l'étude exploitant cette ressource ; la présence de l'instruction « répéter 3 fois » dans la ressource nous a semblé pouvoir occasionner quelques difficultés supplémentaires pour l'élève mais, les élèves ayant précédemment travaillé des activités algorithmiques faisant rencontrer des boucles, il a été décidé de concert avec les professeures observées de ne pas modifier cet élément de la ressource existante.

Pour observer les différents dispositifs d'aide, nous avons successivement : présenté les objectifs de notre recherche aux professeures Esther et Manon ; mené un entretien antérieur à la mise en place en classe d'un dispositif d'aide pour la classe d'Esther (le SDA étudié vivant au cours du SDP observé) ou de Manon (le SDA étudié vivant en amont du SDP observé) ; réalisé les observations de la mise en place du dispositif en classe ; mené un entretien postérieur à la mise en place en classe du dispositif d'aide avec l'une ou

² Disponible depuis l'adresse : <https://hourofcode.com/fr/learn>

l'autre des professeurs. Concernant la professeure Manon, nous avons aussi réalisé des entretiens antérieur et postérieur à la réalisation du SDP observé.

4 Dispositif d'aide pour lequel l'espace est connu au moyen de ses représentations

Ce dispositif est mis en place dans la classe de la professeure Esther pour réaliser un SDA vivant au cours du SDP.

4.1 Présentation du dispositif d'aide mis en place dans la classe d'Esther

Dans un premier temps, individuellement, 12 élèves d'un groupe travaillent la ressource proposée, avec le logiciel Scratch à disposition ; l'autre groupe de 10 élèves travaille une autre ressource. Dans un second temps, les deux groupes sont permutés. Pour travailler la ressource étudiée, les élèves du dispositif d'aide disposent d'un environnement de programmation présentant une interface du logiciel Scratch et des instructions analogues à celles de la ressource (voir figure 7) ; ils peuvent solliciter un encadrant pour tout ce qui relève du fonctionnement du logiciel. Nous avons demandé à la professeure Esther de concevoir et de mettre en œuvre une ingénierie exploitant l'environnement de programmation fourni.

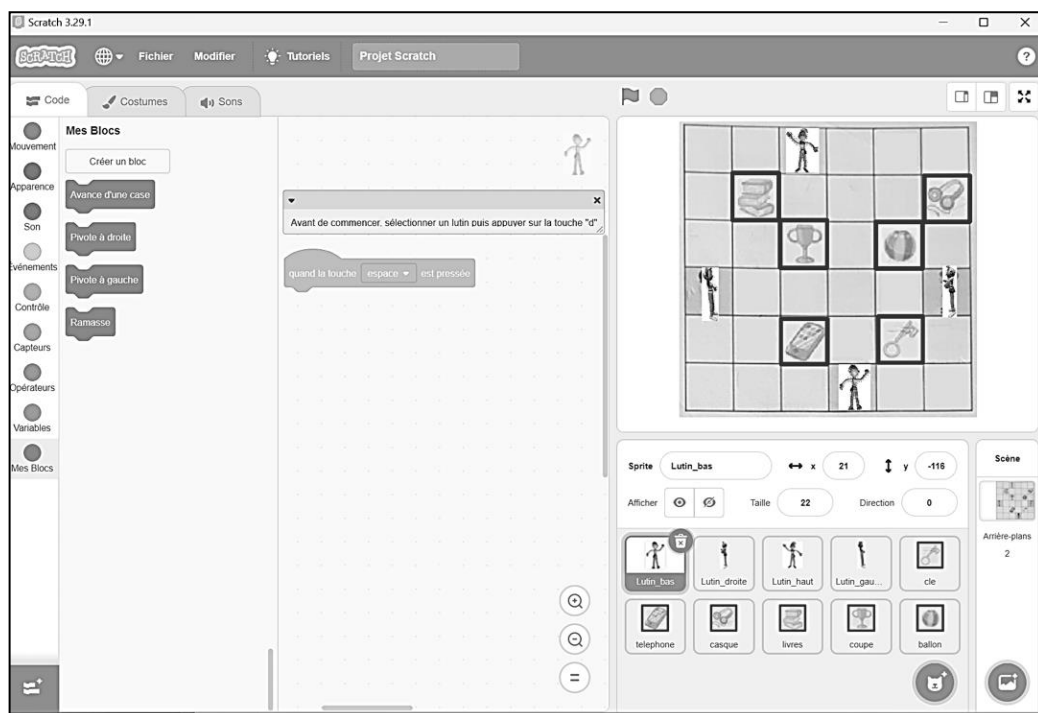


Figure 7. Environnement de programmation disponible dans le dispositif d'aide

4.2 Consigne pour le dispositif d'aide mis en place dans la classe d'Esther

Après avoir expliqué que « Pivoter, cela veut dire tourner, pivoter à droite, cela veut dire qu'il tourne à droite », la professeure demande à un élève de lire la consigne ; à sa suite, elle poursuit en disant :

Ce sont des instructions. [...] c'est vous qui allez les donner à un des personnages pour qu'il se déplace sur le quadrillage. [...] L'exercice que vous allez devoir faire dans un premier temps, vous vous servez avec le crayon à papier sur la feuille d'abord, vous allez devoir ramasser des objets qui sont sur le quadrillage en partant de ce personnage-là [la professeure désigne du doigt Achille] et en lui donnant ces instructions ici et ici [la professeure désigne du doigt les instructions puis celles propres à Achille], vous allez noter l'objet qu'il ramasse. [...] Une fois que vous avez fait ça sur le papier, sur la feuille, vous allez pouvoir vérifier avec votre ordinateur. [...]

Ainsi, la professeure explicite la consigne pour le travail de la partie 1. Elle demande aux élèves de produire une technique pour comprendre les deux algorithmes fournis dans l'environnement papier-crayon, des

éléments techniques de vérification étant à apporter dans l'environnement de programmation fourni. Pour le travail dans l'environnement de programmation, elle précise :

Là quand vous voulez vérifier [...], vous nous appelez pour que nous, on puisse sélectionner les lutins que vous souhaitez. Vous allez nous montrer le lutin que vous souhaitez sélectionner. Ensuite vous voyez ici [la professeure désigne du doigt les instructions sur la fenêtre vidéoprojetée du logiciel Scratch], vous avez les mêmes instructions que vous avez sur la feuille [...] Ces instructions-là, il va falloir venir les coller ici. Pour les coller ici, on va les prendre avec le clic droit, on reste appuyer, vous voyez il faut bien venir là, tac ! Cela va venir s'aimanter. Donc on suit toutes les instructions, on en met autant qu'on veut et on met ce que vous avez mis sur la feuille, pour vérifier votre trajet, d'accord ? On met ce qu'on veut et ensuite quand vous avez fini, pour le lancer, on va appuyer sur la barre espace [...] Avant de continuer sur le papier, vous nous appelez pour que nous on vienne supprimer ça, c'est nous qui le faisons le supprimer. Vous nous appelez une fois que vous avez lancé le programme, soit parce que vous voulez en faire un autre parce que cela ne convient pas ce que vous avez fait, soit vous voulez repasser sur le papier pour faire le deuxième exercice.

Puis la professeure procède de même pour le travail de la partie 2 :

Deuxième exercice [...]. Cette fois-ci, c'est à vous d'écrire le programme, d'écrire les instructions que doit faire le lutin. Ici, on veut que le lutin ramasse le casque, toujours sur le même quadrillage. Donc c'est à vous décrire les instructions, instructions qui sont ici : avance d'une case, pivote à droite, pivote à gauche, répète. Pareil vous écrivez les instructions pour ce lutin et vous allez le vérifier sur l'ordinateur toujours sur Scratch, vous nous appelez avant de faire le programme, une fois que c'est fini. OK ? Et pareil pour le deuxième. Vous le faites sur le papier, vous nous appelez, vous le faites sur l'ordinateur, vous vérifiez, vous nous appelez.

5 Dispositif d'aide pour lequel l'espace est vécu corporellement

Un autre dispositif est mis en place dans la classe de la professeure Manon pour réaliser un SDA vivant en amont du SDP.

5.1 Présentation du dispositif d'aide mis en place dans la classe de Manon

Nous avons demandé à la professeure Manon de concevoir et de mettre en œuvre une ingénierie dans l'espace sensible afin de proposer à un groupe d'élèves de sa classe un dispositif d'aide préventif. La professeure prévoit que : les élèves travaillent par binôme (un élève « programmeur » et un élève « robot ») ; un plot est assigné au binôme avec une couleur propre ; les élèves « programmeurs » sont positionnés sur le bord extérieur d'un quadrillage 10 × 12 tracé sur le sol de la cour de l'école et les élèves « robots » sont positionnés sur des cases du quadrillage définies par la professeure et orientés vers l'intérieur du quadrillage, parallèlement au bord ; l'élève « robot » change six fois de position initiale mais le plot assigné occupe une position fixe dans l'espace sensible, sur le quadrillage. La professeure a proposé à quatre élèves (les « programmeurs ») de produire et communiquer via une feuille de papier un algorithme permettant à quatre autres élèves (les « robots ») de ramasser « leur » plot de couleur. Les élèves « robots » peuvent fournir des rétroactions aux élèves « programmeurs » : par exemple, pour un binôme observé, l'élève « robot » pivote de lui-même en complétant l'oubli de l'élève « programmeur » (« avance de 4 cases, avance de 2 cases » est ainsi complété par l'élève « robot » en « avance de 4 cases, pivote à droite, avance de 2 cases » ; interrogée après, l'élève « programmeur » dit qu'elle a oublié un « pivote à droite » après « avance de 4 cases »).

5.2 Consigne pour le dispositif d'aide mis en place dans la classe de Manon

Avant d'explicitier la consigne, la professeure dit :

Il y a quatre déplacements possibles : "avancer", "pivoter à droite", "pivoter à gauche" et "ramasser". Quand je pivote, je tourne juste avec mes épaules. On peut pas demander de reculer, de se décaler à droite ou à gauche, ou aller en diagonale.

Puis, elle poursuit l'explicitation de la consigne. À l'aide de ces « commandes de déplacement possibles », chaque élève « programmeur » doit écrire sur une feuille les consignes pour que l'élève « robot » ramasse le plot assigné puis il communique la feuille des consignes à l'élève « robot » qui doit les exécuter. Il est

demandé aux élèves « programmeurs » de toujours rester au même endroit sur le bord du quadrillage et avec la même orientation pour permettre de travailler les orientations initiales et intermédiaires. Si l'élève « robot » parvient à ramasser le plot assigné, la feuille des consignes est validée sinon l'élève « programmeur » peut se déplacer sur le quadrillage pour modifier avec l'élève « robot » la feuille de consignes avant de lui communiquer de nouveau pour exécution. Dans un second temps, la professeure avait prévu que les élèves « programmeurs » et « robots » soient permutés au sein d'un même binôme pour une reprise de l'étude mais cette phase n'a pas pu avoir lieu faute de temps.

6 Dispositif d'aide pour lequel l'espace est perçu par manipulation

Pour notre recherche, nous avons proposé à un troisième professeur enseignant en classe de CE1-CE2 de mettre en place un autre dispositif d'aide pour réaliser un SDA vivant au cours du SDP. Dans le cadre de l'étude exploitant la ressource choisie, ce dispositif permet la réalisation par l'élève d'une simulation de contrôle avec un Playmobil® pouvant être déplacé sur un quadrillage 6 × 6 ; ce type de dispositif est connu (Brousseau, 1995, p. 18) et est parfois exploité³ pour des élèves à besoins éducatifs particuliers. Nous avons choisi de ne pas questionner davantage les observations réalisées au sein de ce dispositif. En effet, à partir de nos observations, ce dispositif d'aide permettrait à l'élève de surmonter la difficulté de décentration initiale mais pas nécessairement la difficulté liée à l'instruction « pivoter ». Mais les effets sur le dépassement de la difficulté de décentration intermédiaire n'ont pas été constatés. En outre, aucune difficulté liée à l'instruction « ramasser » n'a été observée. L'effectif de la classe observée étant faible, nous avons choisi de ne pas intégrer ces résultats à notre recherche. Des recherches davantage fouillées nous semblent nécessaires pour pouvoir apporter des éléments de réponse à notre question de recherche.

IV - ANALYSE

Dans la suite de cet article, à partir du modèle de référence précédemment introduit, nous présentons une analyse quantitative et une analyse qualitative pour comparer les différents dispositifs d'aide qu'un professeur pourrait mettre en place lors d'un enseignement en algorithmique et programmation, en cycle 2. Ce faisant, cette analyse comparative nous semble pouvoir apporter des éléments d'éclaircissement quant aux effets de la mise en place de dispositifs d'aide sur les apprentissages de l'élève en algorithmique et programmation, en cycle 2.

1 Analyse pour le dispositif d'aide avec environnement de programmation

1.1 Analyse quantitative pour le dispositif d'aide avec environnement de programmation

En se référant au dispositif d'aide mis en place dans la classe de la professeure Esther, nous présentons nos observations et l'analyse quantitative qu'elles nous permettent de dégager. Nous commençons par évaluer les productions des élèves observés, d'une part pour les deux tâches de décodage (partie 1, personnages Achille et Agathe) et d'autre part pour les deux tâches de codage (partie 2, personnage Shiny et personnage Milan).

Évaluation des productions des élèves

De cette évaluation des productions des élèves, en comptabilisant les tâches réussies, les tâches réussies après rétroaction, les tâches contenant des erreurs, les tâches non réalisées, nous déterminons un taux de rectification, rapport du nombre de tâches « réussies après rétroaction » du dispositif d'aide (environnement de programmation Scratch) par le nombre de tâches échouées (« erreur » et « non fait »).

³ Par exemple, voir le site : <https://autismeetecoleinclusive.com/elementaire/mathematiques/espace-et-geometrie/espace/quadrillage-deplacement/>

Nous présentons ci-dessous les résultats pour les deux tâches de décodage (partie 1, personnages Achille et Agathe) et les deux tâches de codage (partie 2, personnage Shiny et personnage Milan) :

	DECODER	CODER
Pourcentage de réussite en amont du dispositif d'aide	50%	10%
Pourcentage de réussite en aval du dispositif d'aide	88%	29%
Taux de rectification	76%	33%

Tableau 1. Taux de rectification en amont et en aval du dispositif d'aide

Cette vision globale nous paraît révéler des difficultés plus prégnantes pour les tâches de codage. Le dispositif a permis en moyenne à un tiers des élèves de s'autocorriger. On verra par la suite que ce taux se révèle bien plus élevé si on écarte les travaux non faits (copie blanche).

Évaluation des effets du dispositif d'aide

Nous analysons cela plus finement en nous appuyant sur deux courts épisodes observés.

Lors de la résolution de la seconde tâche de décodage, un élève a noté sur sa feuille que l'objet ramassé par Agathe est la coupe. Comme demandé par l'enseignante, cet élève appelle un encadrant pour la réalisation sur machine. Cet élève retranscrit avec facilité le programme sur Scratch et s'ensuit le court échange reproduit ci-dessous :

L'élève : Non ! C'est pas la coupe, c'est le téléphone.

L'encadrant : Comment cela se fait ?

L'élève : Car j'ai pas mis "pivote à droite".

L'interprétation de cet élève de l'instruction « pivoter à gauche » était en fait un pivotement à droite. Le SDA a permis à l'élève de prendre conscience de son erreur et de rectifier sur sa feuille.

Pour le deuxième épisode, nous avons observé le travail d'un élève au cours de la première tâche de codage. Cet élève a choisi de coder le chemin qu'on pourrait qualifier de « par le haut » pour ramasser le casque. En programmant, il constate que le lutin va « vers le bas » si on reprend ses mots. On a une difficulté de décentration initiale : le dispositif d'aide a permis à l'élève d'identifier l'importance de la décentration initiale du personnage.

Ce dispositif d'aide modifie certainement le rapport de l'élève à la praxéologie étudiée. Mais, ce rapport est-il stabilisé ? On peut en douter, en témoigne, le cas d'Ysabela

Le cas Ysabela

Pour certains élèves, il peut y avoir rectification de l'erreur sans qu'il y ait apprentissage. Nous avons reproduit les quatre travaux d'Ysabela (figure 8). À chaque tâche, celle-ci commet les mêmes erreurs, des erreurs notamment de décentralisation, initiale et intermédiaire. Pour chaque tâche, grâce au SDA, elle rectifie mais à la tâche suivante, elle réitère le même type d'erreur.

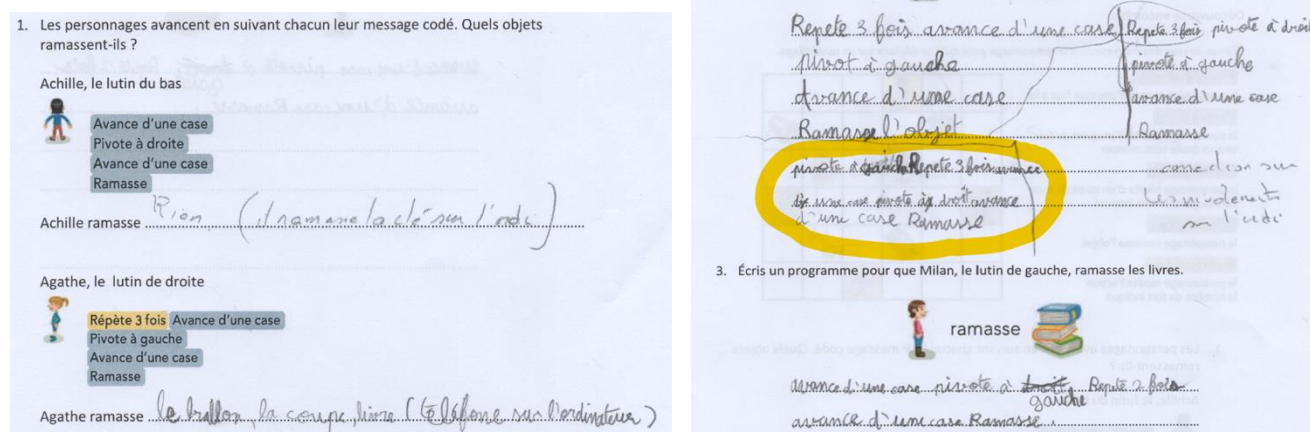


Figure 8. Feuille de travail d'Ysabela

Le taux de rectification, c'est-à-dire le rapport du nombre d'erreurs corrigées après programmation par le nombre d'erreurs constatées montre qu'en moyenne une erreur sur deux est corrigée quel que soit le type d'erreur comme on peut le constater dans le tableau 2.

	Décentration initiale	Décentration intermédiaire	Pivoter	Ramasser	Toute erreur confondue
Taux de rectification	58%	60%	57%	42%	56%

Tableau 2. Taux de rectification pour chaque type d'erreur

1.2 Analyse didactique pour le dispositif d'aide avec environnement de programmation

Après cette analyse quantitative, en référence aux éléments théoriques présentés dans la partie II.3, nous réalisons une analyse des fonctions didactiques de ce dispositif relativement au triplet des genèses.

Mésogenèse : L'élève dispose d'un milieu enrichi par les rétroactions fournies par l'environnement de programmation pour réaliser l'étude du SDP. Nous notons qu'il y a une suspension de l'étude dans l'environnement papier-crayon (SDP) et vérification ou contrôle dans l'environnement de programmation (SDA) de la technique élaborée dans le SDP par la mise à l'épreuve de la technique construite dans le SDP. En termes d'organisation de l'étude, le dispositif d'aide permet d'amorcer un épisode du moment exploratoire mais a priori ne fournit pas d'éléments pour le moment technologico-théorique (cas d'Ysabela).

Chronogenèse : Au sein du dispositif, l'élève dispose d'un moment pour accélérer la construction de la technique initiée dans le SDP, grâce aux rétroactions en termes d'erreurs et de succès de l'environnement de programmation, en mettant plusieurs fois à l'épreuve un algorithme.

Topogenèse : Grâce aux rétroactions de l'environnement de programmation, l'élève pourrait gagner davantage en autonomie didactique dans la construction de la technique. Ainsi, au cours d'un déplacement d'un personnage, s'il l'a fait pivoter à gauche par erreur, il a la possibilité de se rendre compte sans aide autre que celle du dispositif, qu'il faut le faire pivoter à droite.

2 Analyse quantitative pour le dispositif d'aide avec référence à l'espace sensible

2.1 Analyse quantitative pour le dispositif d'aide avec référence à l'espace sensible

En se référant au dispositif d'aide mis en place dans la classe de la professeure Manon, nous présentons nos observations et l'analyse quantitative qu'elles nous permettent de dégager. Pour rappel, une partie

de la classe a pris part à un dispositif d'aide préventif, une ingénierie dans l'espace sensible. Nous commençons par évaluer les productions des deux groupes d'élèves, ceux ayant pris part au dispositif d'aide et ceux ayant uniquement réalisé le SDP, d'une part pour les deux tâches de décodage (partie 1, personnages Achille et Agathe) et d'autre part pour les deux tâches de codage (partie 2, personnage Shiny et personnage Milan). Nous présentons dans le tableau 3, les pourcentages de réussite pour les deux tâches de décodage (partie 1, personnages Achille et Agathe) et les deux tâches de codage (partie 2, personnage Shiny et Milan) :

	DECODER	CODER	Pour les quatre tâches
Groupes d'élèves n'ayant pas participé au dispositif d'aide	94%	22%	59%
Groupes d'élèves ayant participé au dispositif d'aide	94%	81%	88%

Tableau 3. Pourcentage de réussite pour les tâches de décodage et de codage

Cette vision globale nous paraît révéler des difficultés plus prégnantes pour les tâches de codage comme pour le dispositif 1. Pour ces tâches, nous observons une différence significative selon si l'élève a participé ou pas au dispositif d'aide. Nous allons tenter de mettre en avant des éléments de réponses qui pourraient étayer une telle différence. Détaillons le cas de Kenza, une élève programmeur lors de l'ingénierie dans l'espace sensible, dont les quatre productions, pour chaque tâche du SDP, sont restituées figure 9.

1. Les personnages avancent en suivant chacun leur message codé. Quels objets ramassent-ils ?

Achille, le lutin du bas

Avance d'une case
Pivote à droite
Avance d'une case
Ramasse

Achille ramasse la coupe

Agathe, le lutin de droite

Répète 3 fois Avance d'une case
Pivote à gauche
Avance d'une case
Ramasse

Agathe ramasse le téléphone

2. Écris un programme pour que Shiny, le lutin du haut, ramasse le casque.

ramasse

avance d'une case
pivote à droite gauche
avance des cases
ramasse



Figure 9. Feuille de travail de Kenza

On peut noter que Kenza s'autocorrige pour le personnage Agathe, elle explicite les raisons de son erreur à l'encadrant :

Kenza : *En fait, il y avait Achille, il fallait ramasser un objet, il pouvait avancer d'une case, pivoter à droite, pivoter à gauche, ramasser un objet [...] Il y a Achille, il y avait écrit ici [en désignant avec son stylo l'algorithme suivi par Achille] les instructions. On a fait. Cela a donné un objet quand on a écrit ramasse il fallait écrire l'objet qu'il a trouvé*

L'encadrant : *au départ pour Agathe, vous aviez mis la coupe et après le téléphone ?*

Kenza : *Oui parce que je me suis trompée vers la droite et la gauche.*

L'encadrant : *D'accord, tu t'es trompée entre droite et gauche. Tu connais ta droite et ta gauche ?*

Kenza : *Oui.*

L'encadrant : *Alors pourquoi tu t'es trompé ?*

Kenza : *Parce qu'au début, j'étais comme ça (Kenza se lève et se tourne dos face à l'encadrant) et donc la gauche était par ici et en fait il fallait se mettre comme ça (en se tournant face à l'encadrant).*

Kenza a su verbaliser les raisons de son erreur en se référant à son vécu dans l'espace sensible, une décentralisation initiale. Mais pour la réalisation de la tâche suivante, on remarque qu'elle se heurte encore à une difficulté de décentration initiale. Il n'y a pas stabilisation des apprentissages à ce moment-là. Lors de la correction en fin de séance, Kenza demande la parole pour la correction de la tâche de codage

concernant le personnage de Shiny. Comme nous venons de le souligner, Kenza a commis une erreur, elle n'avait certainement pas pris en considération l'orientation de départ du personnage. Mais lors de la correction comme en atteste la retranscription ci-dessous, Kenza choisit un autre chemin que celui suivi sur sa feuille et cette fois-ci ne se trompe pas sur l'orientation de départ du personnage.

La professeure : *Il y avait plusieurs façons de faire, alors Kenza on écoute ta proposition. On part toujours de Shiny, je suis toujours dans le même sens que Shiny. Qu'est-ce que tu fais toi ?*

Kenza : *Pivote à gauche.*

La professeure : *Donc toi, tu fais pivoter directement, tu veux me faire aller par-là, c'est ça [en indiquant la direction gauche en tendant son bras gauche] ? [L'élève acquiesce.] Donc pivote à gauche, avance de trois cases...*

2.2 Analyse didactique pour le dispositif d'aide avec environnement de programmation

Mésogenèse : L'élève dispose d'un milieu enrichi dans le SDP puisqu'il a déjà rencontré le type de tâches dans l'espace sensible et avec la possibilité de se référer à l'espace sensible qui lui fournit des rétroactions possibles. Il y a donc suspension de l'étude dans l'espace sensible et anticipation de sa poursuite dans le cadre du SDP car les déplacements sont certes réalisés dans l'espace sensible mais il faut les coder dans l'environnement papier-crayon avec l'appui éventuel des rétroactions de l'espace sensible. En bref, le type de tâches est rencontré dans le SDA mais la technique diffère de celle construite dans le SDP. Ainsi en termes d'organisation de l'étude, le dispositif d'aide permet de réaliser un épisode du moment de première rencontre et possiblement le début du moment exploratoire. Et surtout par rapport au dispositif précédent, il permet d'initier des éléments pour le moment technologico-théorique (cas de Kenza).

Chronogenèse : Le temps didactique débute avant le début de l'étude du SDP. Au sein du dispositif, l'élève met en œuvre un algorithme en tentant de le comprendre (élève « robot ») ou d'en produire un (élève « programmeur ») : il rencontre le type de tâches à l'étude au sein du SDA. L'élève construit ainsi une technique soit pour coder, soit pour décoder des déplacements dans l'espace sensible. Il s'agit d'éléments infrastructurels, à partir desquels il pourrait construire une technique dans le cadre du SDP.

Topogenèse : Grâce aux rétroactions de l'espace sensible, l'élève pourrait gagner davantage en autonomie didactique dans la construction de la technique en se référant éventuellement à l'espace sensible.

3 Comparaison quantitative des taux de réussite entre les deux dispositifs d'aide

Pour conclure cette étude, nous sommes amenés à comparer les taux de réussite suivant le dispositif suivi par l'élève (tableau 4). Le résultat est sans équivoque, le dispositif d'aide préventif a permis à plus des trois quarts des élèves d'appréhender correctement les deux tâches de codage, le taux de réussite reste faible pour le groupe ayant suivi le dispositif d'aide avec environnement de programmation. Et on peut aller plus loin en comparant le taux de réussite de notre groupe témoin (c'est-à-dire des élèves n'ayant suivi aucun SDA) au groupe programmation, la différence est faible puisque nous avons un taux de réussite de 22% pour le groupe témoin.

	DECODER	CODER	Pour les quatre tâches
Groupe Programmation	88%	29%	59%
Groupe Espace Sensible	94%	81%	88%

Tableau 4. Comparaison quantitative des taux de réussite entre les deux dispositifs d'aide

V - CONCLUSION

À partir des observations réalisées dans le cadre de cette recherche, nous avons mis en avant que le dispositif d'aide préventif dans l'espace sensible créé des conditions davantage favorables aux apprentissages des élèves de CE2 en algorithmique et programmation que le dispositif d'aide intégré avec environnement de programmation. En l'occurrence, le dispositif d'aide préventif permet de mieux prendre en compte les difficultés (de décentration et relatives à l'action de pivoter) propres à l'orientation d'un personnage. En pouvant se référer à l'expérience vécue, l'élève a la possibilité de produire le chemin qu'un personnage doit emprunter, soit mentalement, soit physiquement comme nous avons pu le constater plusieurs fois lorsque les élèves pivotent sur leur chaise ou se lèvent pour « jouer » le personnage. Certes le dispositif auxiliaire avec la programmation proposé permet de corriger ponctuellement une erreur ce qui se révèle fort utile pour réaliser une tâche de décodage mais moins pour une tâche de codage. En particulier, ce dispositif d'aide intégré ne permet pas à l'élève de rencontrer les éléments technologico-théoriques – dont l'orientation initiale d'un personnage – qui lui permettront de travailler la tâche de codage avec plus d'aise. Des recherches ultérieures pourraient être menées afin d'étudier si une telle conclusion demeure lorsque la tâche à réaliser relève de la correction ou de la complétion d'un programme en fin de cycle 3. En effet, dans ce cas, les difficultés que nous avons repérées pourraient être directement en lien avec les tâches à accomplir. Enfin, si les dispositifs d'aide pour lesquels l'espace est perçu par manipulation sont connus, notre recherche gagnerait à être prolongée en confrontant de tels dispositifs au dispositif d'aide préventif que nous avons présenté.

VI - BIBLIOGRAPHIE

- Assude, T., Koudogbo, J., Million-Faure, K., Tambone, J., Theis, L. et Morin, M.-P. (2016). *Mise à l'épreuve d'un dispositif d'aide aux difficultés d'un système didactique*. Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, 16(1), 64 - 76.
- Brousseau, G. (1995). *Actividades matemáticas extraídas des Informe annual (Bilan) de la Escuela J. Michelet de Talence. Curso escolar 1994/1995. Nivel : Maternal Ps1 y Ms2*. Castellón de la Plana : Université Jaume I.
- Chevallard, Y. (1996). La fonction professorale : esquisse d'un modèle didactique. Dans Noirfalise, R. et Perrin-Glorian, M.-J. (Éds.), *Actes de la VIII^e école d'été de didactique des mathématiques* (83 - 122). Clermont-Ferrand : IREM de Clermont-Ferrand.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221 - 266.
- Chevallard, Y. (2002a). Nouveaux dispositifs didactiques au collège et au lycée : raison d'être, fonctions, devenir. *Actes des Journées de la commission inter-IREM Didactique* (1 - 26). Dijon : IREM.
- Chevallard, Y. (2002b). Organiser l'étude. 1. Structures et fonctions. Dans Dorier, J.-L., Artaud, M., Berthelot, R. et Floris, R. (Éds.), *Actes de la XI^e école d'été de didactique des mathématiques* (3 - 32). Grenoble : La pensée sauvage.
- Constans, L. (2021). *Informatique débranchée et compétences spatiales au CE2*. Mémoire de recherche. Toulouse : Université Toulouse 2.
- Lièvre, B. de et Staes, L. (1993). *La psychomotricité au service de l'enfant : notions et applications pédagogiques* (2^e éd.). Paris : Belin.
- Millon Fauré, K., Theis, L., Tambone, J., Koudogbo, J., Assude, T. et Hamel, V. (2018). Appropriation par un enseignant d'un dispositif d'aide pour l'enseignement des mathématiques. *Spirale - Revue de Recherches en Éducation, Supplément électronique au n°61*, 41 - 56.
- Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse. (2019a). *Repères annuels de progression en mathématiques au cycle 2*. Bulletin officiel n°22 du 29 mai 2019 (ressource en ligne). Consultée le 06/11/2023, Url : <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo22/MENE1913283N.htm>

Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse. (2019b). *Attendus de fin d'année en mathématiques au CE2*. Bulletin officiel n°22 du 29 mai 2019 (ressource en ligne). Consultée le 06/11/2023, Url : <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo22/MENE1913283N.htm>

Peltier, M.-L., Briand, J., Sampo, M. et Vergnes, D. (2018). *Opération Maths CE2. Cahier d'activités*. Paris : Hatier.

Weisser, M. (2007). Méthodes d'analyse des interactions verbales au service d'une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, 158, 103 - 115.

ANNEXE 1 EXTRAIT DU FICHER OPÉRATIONS MATHS

DÉCOUVRONS ENSEMBLE

Tu vas donner des instructions à un personnage pour qu'il se déplace sur un quadrillage.

Avance d'une case
le personnage avance d'une case face à lui

Pivote à droite
le personnage pivote d'un quart de tour vers sa droite sans avancer

Pivote à gauche
le personnage pivote d'un quart de tour vers sa gauche sans avancer

Ramasse l'objet
le personnage ramasse l'objet

Répète fois
le personnage répète l'action le nombre de fois indiqué

🚩 Départ ● Fin

1 Les personnages avancent en suivant chacun leur message codé. Quels objets ramassent-ils ?

🚩 **Avance d'une case**
Pivote à droite
Avance d'une case
Ramasse
●

Le personnage ramasse

🚩 **Répète 3 fois** **Avance d'une case**
Pivote à gauche
Avance d'une case
Ramasse
●

Le personnage ramasse

2 Écris un programme pour que

🚩 ramasse 🏆

.....

.....

.....

.....

.....

3 Écris un programme pour que

🚩 ramasse 📚

.....

.....

.....

.....

.....

ANNEXE 2 SUPPORT DU SDP

NOM :

PRÉNOM :

Programmation

Programmer des déplacements sur un quadrillage

Découvrons ensemble

Tu vas donner des instructions à un personnage pour qu'il se déplace sur un quadrillage.

Avance d'une case

le personnage avance d'une case face à lui

Pivote à droite

le personnage pivote d'un quart de tour vers sa droite sans avancer

Pivote à gauche

le personnage pivote d'un quart de tour vers sa gauche sans avancer

Ramasse l'objet

le personnage ramasse l'objet

Répète fois

le personnage répète l'action le nombre de fois indiqué



1. Les personnages avancent en suivant chacun leur message codé. Quels objets ramassent-ils ?

Achille, le lutin du bas



Avance d'une case

Pivote à droite

Avance d'une case

Ramasse

Achille ramasse

Agathe, le lutin de droite



Répète 3 fois Avance d'une case

Pivote à gauche

Avance d'une case

Ramasse

Agathe ramasse

2. Écris un programme pour que Shiny, le lutin du haut, ramasse le casque.



ramasse



.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Écris un programme pour que Milan, le lutin de gauche, ramasse les livres.



ramasse



.....

.....

.....

.....

.....

.....