
Le « jeu de l'enfant-robot » : une démarche et une réflexion en vue du développement de la pensée algorithmique chez les très jeunes enfants.

Éric Greff

*Professeur d'IUFM
Laboratoire d'Informatique
Fondamental
Université Paris VI
4, Place Jussieu
75252 Paris Cedex 05*

*Université du Maine
Laboratoire d'Informatique
de l'Université du Maine
Av. Olivier Messiaen
72085 Le Mans cedex 9*

RÉSUMÉ. *Peut-on introduire une pensée algorithmique auprès des très jeunes enfants (4-6 ans) ? Peut-on, en tout cas, développer avec eux une série d'activités homogènes qui les aidera plus tard dans leur approche de l'informatique ?*

Le jeu de l'enfant-robot est une progression que nous avons élaborée et dont les objectifs sont de faire découvrir, d'appréhender et d'intégrer des notions structurantes pour l'esprit. Elle n'a pas pour but l'apprentissage d'un langage informatique mais s'appuie cependant sur un langage de commande graphique simplifié. De plus, en étant tour à tour programmeur et programmé, concepteur et exécutant, l'élève s'imprègne peu à peu de notions difficiles et importantes. De manière plus large, il acquiert des compétences dans les domaines de la motricité, la latéralisation, la sémiologie de l'image, la communication, la rigueur, la résolution de problème, la représentation de parcours, le monde technologique...

ABSTRACT. *Can one introduce algorithmic thinking to very small children (4-6 year old) ? Can one, at the very least, create with them a serie of related activities which help them later in their approach to computers ?*

The child-robot simulation game is a method which we have developed. The goal is to help the child to discover, learn and become familiar with ideas which the futur man needs to know. The goal is not to teach a computer language but the method is based on a simplified graphic command language. In being one after the other programmer or programmed, creator and performer, the student little by little learns important ideas. As concerns the larger picture, the child develops various skills including motor skills, lateralization, the system of images, communication skills, discipline, problem solving, road mapping and introduction to the world of technology...

MOTS-CLÉS : *algorithmique, programmation, informatique, robot, école maternelle, structuration, représentation de parcours, latéralisation*

KEY WORDS : *algorithmic, programming, computer science, robot, nursery school, structuration, road mapping, lateralization.*

1. Introduction

Notre but était de mettre en place une série d'activités, en accord avec les « orientations pour l'École Maternelle » faisant travailler des notions fondamentales telles que la rigueur, la latéralisation ou la construction de l'espace et du temps... bref les « apprentissages premiers ».

L'École Maternelle dispose déjà d'exercices répondant à ces objectifs (remise en ordre d'images séquentielles, motricité...). Les mathématiques, par exemple, auraient pu constituer une réponse à nos préoccupations mais c'est la science informatique qui nous a constamment guidés dans le choix des activités que nous avons mises en place. En effet, notre ambition était d'élaborer une progression originale prenant également en compte des fondamentaux de l'informatique.

Nous avons donc créé, non pas un langage informatique, mais un environnement conceptuellement rigoureux permettant l'utilisation des structures algorithmiques de base, environnement que nous avons intitulé le « jeu de l'enfant-robot ». Les possibilités d'activités développées à l'École Maternelle étant riches et variées, nous nous sommes attachés à relier notre dispositif aux autres notions essentielles, habituellement abordées avec les très jeunes enfants dans le cadre scolaire (la latéralisation, la construction de l'espace et du temps, la représentation de l'espace, la signalétique, le codage...).

L'apprentissage de l'algorithmique et de la programmation ne constitue pas le cœur de notre travail mais les réflexions s'y rapportant ont été en permanence les moteurs et les référents de cette progression. La programmation impérative, en tant qu'activité structurante pour la pensée, constitue l'un de ses points d'ancrage théorique fort. De plus, au niveau des détails de la mise en œuvre, lorsque certains choix se sont révélés difficiles à faire (comment doit-on traiter la structure itérative ?, par exemple), le recours aux fondamentaux de l'informatique nous a toujours été précieux.

Réflexions

En prenant en compte toutes ces réflexions, nous avons élaboré une progression, destinée à de jeunes élèves ne sachant pas encore lire, conçue pour fonctionner à faible coût dans la classe et sans utiliser ni ordinateur, ni machine d'aucune sorte. Gardant toujours en mémoire que les Écoles Maternelles sont dotées de peu d'argent, d'enseignants dynamiques mais peu (ou pas) formés à l'informatique et d'élèves pleins de bonne volonté mais en cours d'acquisition des « apprentissages premiers », nous nous sommes attachés à créer et à utiliser un environnement à la fois simple et homogène. En janvier 1995, nous avons publié un ouvrage intitulé « Logique et Algorithme avec les 5/6 ans » [GRE 95a]. Celui-ci, librement inspiré des expériences menées sur la tortue de sol [PAP 81], [HEN 85], [PER 87], se veut une progression pédagogique à destination des enseignants de Moyenne et Grande Section de l'École Maternelle ainsi que de ceux du Cours Préparatoire (CP) afin qu'ils puissent initier facilement leurs élèves au « jeu de l'enfant-robot ».

Ce travail doit beaucoup à LOGO dont nous avons conservé les notions, à notre sens, les plus intéressantes. En effet, LOGO ayant été largement expérimenté autrefois dans les classes primaires, il existe de nombreux comptes rendus de pratiques pédagogiques [BEA 85], [HEN 85], [BOU 88] ainsi que des articles de fond [BOS 83], [COM 84], [REG 83] qui permettent d'en isoler l'intérêt tout en rejetant les aspects indésirables.

Le développement moteur apparaît essentiel pour la structuration de la pensée. En effet, c'est au cours de ses premières expériences sensori-motrices que l'enfant commence à appréhender le monde et, en particulier, à mettre en place les concepts de temps et d'espace qui sont des éléments essentiels dans la construction de tout individu.

La connaissance de l'espace est également importante pour l'élaboration des mouvements de l'enfant. Il appréhende l'espace de deux manières :

- une connaissance directe par la pratique quotidienne de déplacements exploratoires et de manipulations d'objets,
- une connaissance indirecte, transmise par l'entourage, qui consiste principalement dans la dénomination des objets et des lieux.

C'est très tôt que ces deux sources de connaissance - pratique et verbale - interfèrent. Les adultes indiquent des lieux où aller, où retrouver un jouet, où ranger un objet... Ils commentent les activités de déplacements des tout-petits. Ces interactions liant les lieux et les mouvements physiques sont primordiales pour le développement de l'enfant. Ainsi, le milieu socio-culturel dans lequel l'enfant évolue influe sur la richesse et la variété des espaces à explorer et des interactions verbales avec autrui.

L'enfant va « s'approprier » l'espace dans lequel il vit par son expérience sensori-motrice qui parallèlement et conjointement au développement de ses structures mentales, de son langage, mais aussi de ses interactions avec ses pairs et les adultes va le conduire à sa propre représentation. Cependant, il va organiser ses différentes perceptions par rapport au point de repère principal que constitue son corps.

« La motricité intervient à tous les niveaux dans le développement des fonctions cognitives : de la perception aux schèmes sensori-moteurs, de ceux-ci à cette représentation intériorisée qu'est l'image mentale, des représentations préopératoires aux opérations elles-mêmes » [PIA 56].

Le « jeu de l'enfant-robot » fait travailler la latéralisation et le repérage dans le plan, apprentissages premiers profitables à tous ceux qui auront besoin de savoir se repérer dans le plan, que ce soit celui de la ville... ou de l'écran. De plus, le passage du plan horizontal au plan vertical (constituant une difficulté pédagogique reconnue qu'il convient de travailler) y est constant.

La méthode que nous développons utilise abondamment les parcours et leurs représentations. Savoir se situer et se repérer dans le territoire d'Algor, dans sa classe, dans son école et dans son quartier en sont des objectifs forts. Le jeu de l'enfant-robot est un jeu de parcours. Toute l'activité consiste à construire, à verbaliser, à expliciter des programmes faisant effectuer des parcours à l'enfant-

robot ou à Algor. L'élève y acquiert des connaissances solides sur la représentation et l'explicitation de chemins.

À l'École Maternelle, il n'y a pas, à proprement parler, d'enseignement disciplinaire mais une pratique d'activités d'imprégnation qui y préparent. Par exemple, il n'y a pas de cours de mathématiques mais une série de travaux mettant en œuvre rigueur, logique ou numération qui favoriseront, plus tard, l'acquisition de notions mathématiques plus formelles. De la même façon, nous travaillons sur des activités dont nous pensons qu'elles favoriseront, entre autres apprentissages, la formation d'esprits rigoureux et structurés.

Les élèves de Maternelle sont en pleine période de développement. Il serait impensable de les limiter à des activités qui négligeraient l'acquisition de compétences diverses et transversales telles que la motricité ou la latéralisation.

De plus, un des rôles essentiels de l'école consiste à former les citoyens de demain. Donner à nos jeunes élèves une idée précise du fonctionnement de certaines techniques, c'est à la fois leur apporter des connaissances et leur donner les moyens de réfléchir sur le monde qui les entoure. Être informé précisément de certains fonctionnements, c'est déjà pouvoir les contrôler et, en tout cas, ne pas en être esclave. Les robots sont très présents dans le monde des jeunes enfants à travers les albums, les jouets et les dessins animés. L'image qui leur en est donnée est extrêmement lointaine de la réalité. En fournir une vision plus exacte est également l'un de nos buts (le robot est un objet animé, fonctionnant avec de l'électricité, ne faisant que ce que le programmeur lui demande...).

3. Présentation du jeu de l'enfant-robot

Les notions informatiques abordées dans ce travail sont directement inspirées de LOGO en général et de sa composante « tortue de sol » en particulier. L'informatique de l'enfant-robot est du type « papier-crayon » puisqu'elle n'utilise ni ordinateur ni robot de plancher. Elle se veut économique et facilement réalisable.

La progression [GRE 95a] emploie un matériel simple, c'est-à-dire un certain nombre de cartes conçues pour être montrées aux enfants lorsqu'ils jouent le rôle du robot, afin qu'ils exécutent des actions (Avance, Pivote à droite, Chante...). Il existe trois manières principales d'utiliser ces cartes :

- En groupe : le maître montre les cartes à un groupe d'élèves qui agit en fonction des cartes qui lui sont montrées.
- En trio : un enfant montre les cartes à un autre qui exécute les instructions correspondantes. Le troisième enfant joue le rôle de contrôleur, d'arbitre.
- En solo : l'enfant travaille avec son paquet de cartes. Il dépile ses instructions une à une et les exécute au fur et à mesure.

Un paquet de cartes détermine un parcours précis et constitue donc un « programme » dont chaque carte représente une instruction. À partir de ces éléments de base, se développent plusieurs types d'activités :

- constituer des programmes,
- les faire exécuter par un autre et veiller à leur bonne exécution,

- exécuter un programme soi-même en défilant son paquet de cartes,
- coder et décoder un parcours précis,
- ...

L'enfant est donc, tour à tour, programmeur et programmé. Dans le premier cas, il assemble les cartes, dans le bon ordre, afin que le robot exécute son parcours-programme. Dans le second cas, il agit à la manière d'un robot et ne se meut qu'en fonction des cartes qui lui sont présentées. Dès le début de l'activité, l'enfant vit les parcours avec son corps sans avoir recours à un objet transitionnel de type « tortue ». Ceci constitue une composante forte de notre travail.

Le jeu de l'enfant-robot utilise principalement trois supports différents de représentations :

- Comme nous venons de le préciser, l'enfant vit le jeu avec son corps en exécutant lui-même (à la place du robot) les différents mouvements que les cartes lui imposent. Précisons que l'on doit exploiter cette possibilité en toute occasion. car « *en cas de difficulté, on a la ressource de jouer à être soi-même la tortue* » [PAP 81].
- L'enfant fait évoluer, sur une maquette (en 3 dimensions) quadrillée, une figurine volumique orientée qu'il déplace en fonction des cartes-instruction rencontrées. Il doit alors se mettre « à la place » de la figurine afin de lui faire exécuter le mouvement adéquat.
- L'enfant fait évoluer, sur une feuille quadrillée, une figurine plane orientée qu'il déplace en fonction des cartes-instructions rencontrées. Il est alors confronté à une représentation en 2 dimensions dans laquelle espace et personnage sont schématisés, ce qui constitue pour lui un réel travail d'abstraction (cf. § 3.2).

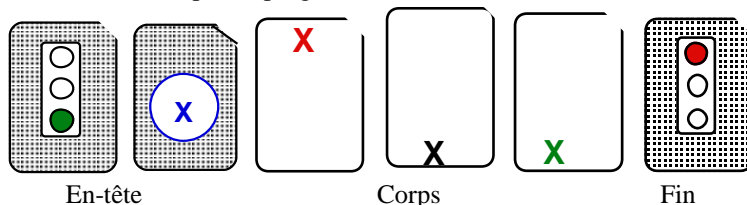
3.1. Des cartes pour programmer

Dans la pratique, c'est un paquet de cartes qui est montré aux élèves. Ils n'en voient qu'une à la fois, celle qui est sur le dessus du paquet. Lorsque l'instruction courante est exécutée, la carte du dessus est mise sous la pile pour la ranger et pour faire apparaître l'instruction suivante.

Il convient de différencier les cartes « délimiteurs », (comme les feux et la base qui ont un statut bien particulier et qui sont utilisées par souci structurel), des cartes « actions », qu'elles soient ou non des cartes de déplacements.

Grâce aux cartes structurelles, tout programme, dans le langage que nous développons, commence par les cartes « Feu Vert » et « Base » et se termine par la carte « Feu Rouge ». On distingue alors convenablement l'en-tête, le corps et la fin du programme.

Voici un exemple de programme :



3.1.1. Cartes de déplacements

Les quatre principales cartes de déplacements sont les cartes : « Avance d'un pas », « Recule d'un pas », « Pivote à droite », « Pivote à gauche » (d'un quart de tour).

Des couleurs distinctes ont été attribuées aux flèches afin d'offrir aux enfants un repère visuel supplémentaire (noir pour avancer, rouge pour reculer, vert pour pivoter à droite, bleu pour pivoter à gauche).

Dans ce type d'activité, tout nouveau déplacement se fait par rapport à la position (et l'orientation) antérieure. Nous tenons donc à ce que la position initiale (avant de commencer le mouvement) du robot soit symbolisée sur la carte (en l'occurrence par une croix).

Tous les déplacements commencent et se terminent pieds joints. Ainsi l'état physique initial (d'un déplacement) est identique à l'état physique final de telle sorte que l'enfant-robot puisse enchaîner l'exécution d'une nouvelle instruction. Tout comme en LOGO, l'état de l'enfant-robot (de la tortue) n'est pas constitué uniquement de sa position mais aussi de son orientation et même, éventuellement, d'autres critères comme l'état du crayon ou la position par rapport aux murs...

Une fois expliquée la symbolisation des flèches tournantes, en insistant bien sur le fait qu'il s'agit d'un pivotement, on exige, toujours pour les mêmes raisons, que le mouvement débute et s'achève pieds joints. En pratique, il est facilitant de commencer cette activité dans une pièce rectangulaire avec comme nouvelle consigne que l'enfant doit toujours être bien en face de l'un des murs. Il apparaît, en outre, qu'il est plus explicite de pouvoir nommer ces murs (mur de la fenêtre, mur de la porte, mur jaune...).

3.1.2. Délimiteurs ou cartes structurelles

Ce que nous nommons « délimiteurs » ou « cartes structurelles » sont des cartes nécessaires à la cohésion de notre travail et à la rigueur informatique du langage.

Tout programme comporte un début et une fin. Il faut donc une carte qui marque le commencement du programme et une carte qui en marque le terme. Le feu vert est un avertissement du type « Attention, ça va démarrer ! » alors que le feu rouge indique la fin du travail. Ces cartes constituent, en outre, un signal pour l'enfant afin qu'il puisse bien distinguer le moment où il passe de l'état d'enfant à l'état de robot (feu vert) et réciproquement (feu rouge). Ce repère est particulièrement indispensable dans la mesure où enfant et robot de notre activité émanent de la

même entité physique. D'autre part, du fait de la règle imposée « mettre la carte exécutée dessous », le paquet d'instructions constitue une liste circulaire qui pourrait être déroulée indéfiniment. Le feu rouge intervient alors également pour indiquer que toutes les cartes ont été montrées et exécutées afin d'éviter d'entamer un second tour.

Lorsque l'on lance l'interprète LOGO sur un ordinateur, la tortue apparaît immédiatement au centre de l'écran, orientée vers le haut. De surcroît, les instructions « Vide Écran » ou « Centre » permettent de ramener, à tout instant, la tortue dans son état initial. À partir du moment où il faut parfois recommencer l'exécution d'un programme ou « repartir à zéro », se pose le problème de pouvoir redémarrer le programme dans le même état que lors de la précédente exécution, c'est-à-dire du même endroit et avec la même orientation. On peut ainsi vérifier le côté déterministe du programme (les mêmes causes produisent les mêmes effets). Il nous a semblé intéressant que notre langage possède une telle instruction. et nous avons donc créé la carte « Base ». Cette base doit exister réellement au sol, matérialisée par un cerceau ou un trait à la craie avec la flèche qui indique l'orientation initiale. Lorsque l'enfant voit cette carte, il doit se rendre dans le cercle, se tenir les pieds joints et regarder dans la direction indiquée.

Nous nous sommes interrogés sur le statut de cette carte « Base ». En effet, supposons que nous considérons cette carte comme une carte ordinaire de déplacement (comme « Avance d'un pas », par exemple) ; dans ce cas, lors de son exécution, l'enfant qui joue le rôle du robot ne serait plus un « enfant-robot » : il devrait déterminer - lui-même - son parcours pour rejoindre la base et il serait, en outre, peu probable qu'il utilise alors des « pas de robots ». Là encore, c'est le référent informatique qui nous a conduits à la considérer comme une carte structurelle (proche du Begin du PASCAL) et non comme une carte de déplacement. C'est pourquoi, nous avons décidé de n'utiliser cette carte qu'en en-tête de programme.

3.1.3. *Quadrillage*

Afin de disposer d'une norme commune pour valider, comparer ou recommencer des parcours, l'utilisation d'un quadrillage au sol se révèle être un auxiliaire indispensable. Grâce à lui, l'instruction « Avance d'un pas » équivaut, pour le robot, à se rendre dans la case immédiatement devant lui. Ce type de support constitue rapidement un outil essentiel.

3.2. *La représentation sur papier : Algor le robot*

Le besoin de préparer un projet, de le communiquer ou de garder trace d'une réalisation est apparu rapidement. De telles activités [BOU 88] entraînent la nécessité d'une représentation écrite.

L'idée est donc apparue de dessiner un quadrillage et d'y faire évoluer une « tortue » qui se déplace en obéissant aux mêmes cartes que l'enfant-robot, une instruction Avance (ou Recule) correspondant à un changement de case. Ce mobile devait, de plus, être orienté. Ainsi naquit Algor avec ses yeux ronds et son nez pointu.



La création d'Algor avait deux objectifs :

- permettre un nouveau type de travail de repérage et d'orientation dans le plan ;
- faire le lien avec le jeu physique de l'enfant-robot et observer les rapports entre la représentation spatiale et la représentation plane d'exercices analogues.

Elle permet en outre :

- d'avoir la possibilité de construire un lien biunivoque indispensable entre le travail corporel et celui concernant la représentation symbolique.
- à un demi-groupe de travailler de manière autonome sur un support papier tandis que l'autre pratique physiquement le jeu de l'enfant-robot ;
- de donner un autre sens et un nouvel intérêt au jeu lui-même en le retrouvant, le compliquant et l'agrémentant sous une forme inédite.

Algor avait comme seules contraintes d'être orienté et facilement dessinable. Les élèves l'ont adopté sans difficulté.

3.3. L'aspect représentationnel

Afin de construire sa représentation de l'espace, l'utilisation des quadrillages-papier et des représentations s'avère indispensable au travail individuel des enfants. Les exercices que l'on peut leur proposer sont alors de trois types :

- Décodages de parcours : une représentation séquentielle des cartes-instruction ainsi que la position de départ de la figurine étant fournies, l'enfant devra indiquer la position finale de celle-ci, en consignant ou non les étapes intermédiaires.
- Codages de parcours : les positions de départ et d'arrivée de la figurine étant fixées (les étapes intermédiaires étant ou n'étant pas précisées), l'enfant doit reconstituer, sous forme séquentielle, un ensemble des cartes-instruction ayant permis à la figurine de se rendre du début à la fin du parcours. On peut même introduire des « programmes à trous », partiellement écrits, que l'élève doit compléter avec le même type de consignes.
- Découverte d'un des trajets parmi « les plus courts » : à partir des positions initiale et finale de la figurine, l'enfant doit fournir, sous forme séquentielle, le programme utilisant le moins de cartes-instruction possible et répondant au problème de codage du chemin.

4. Expérimentation

4.1. Méthode de validation

Pour que ce projet devienne réalité, il fallait qu'il soit expérimenté dans les classes. Aussi, depuis 1993, 10 institutrices de la région de Versailles collaborent à ce travail.

La validation de cette activité [GRE 96b] s'est faite par :

- des tests collectifs que les institutrices ont soumis à leur classe entière, sur papier et qu'elles ont corrigés,
- des tests individuels que des professeurs des écoles stagiaires (élèves de l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres), ont fait passer.

Ces tests individuels ont été soumis, en deux fois, à 380 élèves de Versailles et du Chesnay dont certains connaissaient le jeu de l'enfant-robot et d'autres non. Une quarantaine de Professeurs d'École stagiaires de l'IUFM de Versailles ont mené les entretiens individuels.

Nous avons fait en sorte de faire passer les mêmes tests à des classes-témoins relevant d'une « population » socialement comparable pour les Moyenne et Grande Sections. Notons cependant que nous comparons systématiquement les élèves en classe d'Adaptation et Intégration Scolaire (AIS) avec ceux de Cours Préparatoire (CP) puisqu'ils ont le même âge. Néanmoins, les élèves d'AIS sont des enfants de CP en grande difficulté qui sont « extraits » régulièrement de leur classe afin de travailler en petits groupes avec une institutrice spécialisée qui utilise le jeu de l'enfant-robot. Nous confrontons donc des élèves en difficulté connaissant Algor à des élèves « classiques » ne le connaissant pas.

Le nombre d'enfants testés et la formation spécifique que nous avons apporté aux « testeurs » permettent de penser que l'étude statistique est fiable. Il convient cependant de prendre en compte le très jeune âge (affectif, émotivité, moment du test dans la matinée...) des enfants et les diverses personnalités des « testeurs ».

Bien entendu, les tests sont volontairement « loin » de l'enfant-robot et d'Algor. Nous désirons mesurer le réinvestissement et la transposition de nos activités.

4.2. Résultats concernant les apprentissages premiers

Dans les paragraphes suivants, nous présentons une partie des résultats que nous avons obtenus. Il est possible de trouver l'intégralité dans [GRE 96 b].

Afin de mesurer en quoi notre progression favorise une meilleure acquisition de certains apprentissages premiers, nous avons présenté aux élèves des exercices de validation qui sont des exercices classiques de l'École Maternelle.

4.2.1. Quelques résultats

Images séquentielles

Nous proposons aux élèves un exercice classique de remise en ordre d'images représentant une histoire. Nous avons volontairement choisi, pour toutes les classes,

le même récit comportant huit illustrations, correspondant à un bon niveau de fin de Grande Section afin de pouvoir faire de réelles comparaisons. Nous ne considérons comme réussis que les travaux où toutes les images ont été remises dans le bon ordre.

Nous avons alors pu constater que le travail effectué avec le jeu de l'enfant-robot favorise la construction de la représentation du temps et de l'espace (apprentissage premier). Plus spécifiquement, le travail sur la séquentialité des tâches (sous-jacent à cet exercice) étudié dans notre progression semble donc être transposable. Remarquons tout de même que les élèves d'Algor ne réussissent pas cet exercice (29 % de succès seulement) à cause, sans doute, du trop grand nombre d'images proposées à ces jeunes dont la capacité de concentration est réduite.

Reproduction de quadrillage

Cet exercice est également un « classique » de l'École Maternelle. Il s'agit de repérer des éléments sur un quadrillage et de les reporter sur une matrice ne comportant que quelques éléments de référence. Les enfants de Moyenne Section (MS) connaissant Algor obtiennent un score double de la classe-témoin correspondante et, ce qui est peut-être encore plus encourageant, le groupe AIS obtient une excellente note (9,36), tout à fait comparable à la moyenne des autres CP (9,58), ce qui est très encourageant

Nos élèves ont donc acquis des compétences sur les apprentissages premiers concernant la latéralité et le repérage dans le plan.

Plan de quartier

Les exercices concernant l'étude de plans de la classe ou du quartier sont courants à l'École Maternelle. Nous présentons aux élèves un plan du quartier. Après une brève explication sur la signification du plan, nous leur demandons de décrire gestuellement certains trajets. La plupart des élèves, qu'ils connaissent ou non le jeu de l'enfant-robot savent montrer un parcours sur un plan.

Nous leur demandons ensuite de décrire verbalement le trajet et nous sommes attentifs au vocabulaire de « description de parcours » employé. Les élèves qui connaissent Algor sont plus aptes que leurs homologues à expliciter ce parcours (réussite supérieure de 15 à 25 %). L'explicitation de parcours est une activité très difficile pour ces jeunes élèves nécessitant une bonne précision de langage et les élèves pratiquant le jeu de l'enfant ont acquis un vocabulaire plus rigoureux que leurs homologues. Le groupe Algor exprime notamment souvent la notion de droite/gauche alors qu'elle n'est que peu utilisée par leurs camarades.

4.2.2. Bilan concernant les apprentissages premiers

Les activités que nous proposons sont centrées sur des déplacements de l'enfant. À travers elles, l'enfant apprend à maîtriser ses gestes, à accomplir des mouvements précis. Il construit également sa latéralisation mais aussi sa représentation de l'espace et du temps. Il prévoit des parcours, les décompose, les exécute. Il est donc obligé d'anticiper, d'imaginer, de se projeter dans l'espace et dans le temps.

Il doit effectuer des mouvements contraignants, se déplacer dans un quadrillage, distinguer sa droite de sa gauche... bref, il doit exécuter de nombreux exercices de maîtrise du geste et de motricité. Le jeu de l'enfant-robot portant essentiellement sur des parcours et leur représentation, les enfants acquièrent des compétences sur la lecture et l'interprétation de plans et sur l'explicitation de parcours qui leur seront toujours utiles.

5. Résultats de l'expérimentation concernant les acquis culturels

5.1. Quelques résultats

Reconnaissance et discrimination de pictogrammes

Nous présentons aux enfants quatre séries différentes de pictogrammes. Pour chacune d'entre elles, l'enfant doit exprimer à quelle famille de référence elle appartient, les lieux où l'on peut la rencontrer ainsi que la signification de chacun de ses éléments. Les élèves ayant expérimenté le jeu de l'enfant-robot obtiennent des résultats bien meilleurs (+25 %) que leurs homologues. Les élèves de Grande Section (GS) connaissant Algor sont même meilleurs que les CP non Algor. Le fait que cette signalétique concerne les repérages de lieux n'y est sûrement pas étranger.

En ce qui concerne la discrimination de pictogrammes, citons l'exemple de deux pictogrammes se distinguant l'un de l'autre par la présence d'un minuscule fusil qui transforme un skieur de fond en un biathloneur. Nous constatons que la discrimination de cet élément augmente avec l'âge des enfants et que les enfants connaissant Algor distinguent ce détail avec une réussite supérieure de 30 % à celle de leurs homologues.

5.1.1 Bilan concernant les acquis culturels

En leur offrant, au plus tôt, un « langage iconique », nos élèves ont acquis des compétences concernant la reconnaissance et la discrimination de pictogrammes

De plus, cette série d'activité fait jouer à l'enfant le rôle du robot. En programmant ou en étant parfois lui même l'automate, l'enfant peut appréhender la réalité de la machine qui ne doit faire que ce que le programmeur lui propose. Savoir que c'est rarement « l'ordinateur qui se trompe » mais plutôt le logiciel qui s'avère inopérant ou l'opérateur inefficace contribue à une meilleure connaissance de la réalité informatique.

5.2. Résultats de l'expérimentation concernant l'algorithmique

Nous avons également étudié ce que la pratique du jeu de l'enfant-robot peut apporter pour la connaissance des structures algorithmiques.

5.2.1. Quelques résultats

L'itération

Nous demandons aux enfants d'effectuer un certain nombre d'actions répétitives simples afin de mesurer leur capacité d'itération. Ils doivent, par exemple, taper sur la table 4 fois, se lever puis s'asseoir 3 fois de suite... Les résultats sont globalement très bons (plus de 70 % de réussite) et varient corrélativement à l'âge des enfants.

Cependant, lorsque les structures itératives se compliquent, soit parce que l'action à répéter est multiple, soit parce que le nombre d'itérations est important, des différences dans les résultats apparaissent. Si l'on compare l'ensemble des élèves de Grande Section avec leurs homologues ayant étudié le jeu de l'enfant-robot, on constate que ces derniers obtiennent des scores supérieurs de 10 à 30 points sur ces derniers items. L'écart le plus flagrant (+30 %) concerne une action double à répéter 3 fois qui obtient un excellent score (79 %) pour les élèves de Grande Section (GS) connaissant Algor, les plaçant même devant les CP ne le connaissant pas (73 %).

Les choix

En jouant au jeu de l'enfant-robot l'enfant est confronté aux structures conditionnelles (« Si tu es un garçon, alors avance d'un pas », « Si tu as un bonnet bleu, alors pivote à droite »...). Il y est également sensibilisé lors des argumentations concernant ses programmes (« Si tu montre cette carte, alors le robot sort du territoire »...).

Afin de mesurer ce qu'apporte la pratique du jeu de l'enfant-robot pour la connaissance concernant les choix, nous avons posé, dans nos tests, quelques questions auxquelles les élèves (ayant ou n'ayant pas pratiqué le jeu de l'enfant-robots) devaient répondre uniquement par l'affirmative ou la négative.

Les questions simples sont parfaitement réussies par tous les enfants qui affirment « *qu'ils ne sont pas des chats* » et que « *leur maîtresse ne s'appelle pas Gertrude* ». Cependant à la question double : « *Est-ce que tu es dans une école à Paris ?* » alors que nous sommes effectivement dans une école mais à Versailles ou au Chesnay, les taux de réussite sont supérieurs de 20 % pour les élèves pratiquant le jeu de l'enfant-robot.

De même, un certain nombre d'affirmations sont soumises aux enfants. Ceux-ci doivent déterminer si elles sont vraies ou fausses. Lorsque ces affirmations sont simples (« *Ta maîtresse s'appelle Isabelle* ») les résultats sont unanimement bons. Cependant lorsque les propositions deviennent doubles (« *Tu as 2 mains et une bouche* »), voire négatives (« *Ceci n'est pas un rond rouge* »), les taux de réussite sont supérieurs de 7 à 24 % pour les élèves pratiquant le jeu de l'enfant-robot. Notons qu'il n'a pas été très facile d'obtenir de l'ensemble des enfants qu'ils répondent par « vrai » ou par « faux ». 25 à 35 % des élèves de Grande Section se cantonnent à une réponse de type « oui / non ».

Les actions conditionnelles

Afin de tester leur aisance avec les structures conditionnelles, nous demandons aux enfants de n'exécuter des actions que si la condition préliminaire exprimée est

réalisée (« *Si tu t'appelles Arthur, lève-toi* »). Les conditions utilisées peuvent être simples (« *Si je suis une fille...* »), doubles (« *Si tu as un pull-over rouge et des lunettes...* »), voire négatives (« *Si je ne suis pas un garçon...* »). Nous n'avons pas constaté de différences significatives entre les groupes d'élèves testés. Notons que la présence du mot-clé « alors » ne semble pas avoir d'influence particulière sur l'exécution.

Nous observons également que l'élève a beaucoup de mal à ne « rien faire » lorsque la condition préliminaire n'est pas remplie. De plus, pour les structures du type « Si... Alors... Sinon », l'élève a tendance à se précipiter sur la première action énoncée sans être attentif à la fin de la phrase. Nous avons déjà remarqué cette difficulté auprès d'élèves bien plus âgés (DEUG) et l'étude de ce cas constitue, à nos yeux, un axe de recherche qu'il faudra explorer pour les très jeunes enfants en se posant notamment la question de la maîtrise de ce niveau de langage.

5.2.2. *Bilan concernant les acquisitions algorithmiques*

Comme nous l'avons annoncé, il ne s'agit, en aucun cas, d'aborder avec les jeunes élèves auxquels nous nous adressons un quelconque langage de programmation ni même les notions de variable informatique ou d'affectation. Là encore, notre but est plutôt de favoriser des activités confrontant, sans le dire, l'enfant aux notions de rigueur, de séquentialité, de déterminisme, bref d'algorithme. Nous évoquons également les notions d'alternative, d'itération.

Décomposer un parcours en une succession d'instructions, mettre les cartes dans « le bon ordre », attendre qu'une instruction soit effectuée pour s'intéresser à la suivante constituent probablement une bonne initiation à l'algorithmique. Ajouter, sur une carte-instruction, un petit papier auto-collant indiquant le nombre de fois où l'action doit être répétée, exécuter l'instruction uniquement si une condition simple est remplie (par exemple, « si on est un garçon »), dessiner le parcours d'Algor au fur et à mesure de son exécution... constituent des approches volontairement modestes mais formatrices de l'algorithmique.

6. Conclusion

Cette expérience est née comme un défi : celui de travailler des activités logiques et structurantes avec de très jeunes enfants. Puis l'expérience s'est façonnée pour devenir une véritable progression [GRE 95a]. L'expérimentation en classe a été extrêmement enrichissante. Quelques erreurs ou oublis de conception ont pu être gommés mais de nombreuses possibilités de travaux connexes et de voies de recherche se sont ouvertes.

Les enseignants de l'École Maternelle mettent en avant que le « jeu de l'enfant-robot » leur permet de travailler, de manière homogène, les notions de rigueur, de séquentialité, de repérage dans l'espace et dans le temps, de représentation, de motricité, de latéralité... bref, tous les domaines qui sont au cœur de l'École Maternelle. Il intervient également dans des travaux concernant la sémiologie de l'image, le codage par signe ou la réalité du robot... Les enseignants affirment

également l'enthousiasme des enfants pour cette activité et l'étonnante durée des séances qu'ils peuvent mener. Ils déclarent les enfants plus concentrés et notent des progrès globaux concernant la qualité de l'écoute, la rigueur, la logique.

Nous regrettons de ne pas avoir encore pu poursuivre l'expérience convenablement au CP et au delà. Nous aurions également souhaité disposer d'un véritable robot de plancher fonctionnant avec des cartes analogues à celles de nos activités. L'avenir nous permettra peut-être de combler ces lacunes.

Lors de la conception de notre progression, nous avons souvent été aidés par les sous-jacents informatiques qui lui sont inhérents (robotique, algorithmique, langages de programmation impératifs). Nous sommes restés vigilants à la rigueur de notre propos. Cette façon de procéder a imposé quelques contraintes initiales mais a permis, par la suite, d'éviter bien des écueils.

Les mathématiques (et la résolution de problème en général) peuvent également faire travailler l'organisation, la rigueur... mais l'informatique nous a offert le formalisme et la précision que nous souhaitions.

Notre progression participe de manière indéniable à l'acquisition des apprentissages premiers de l'École Maternelle et nous voudrions offrir à la réflexion de tous le point de vue initié par Jean-Pierre Peyrin¹ :

« Si, à l'École Maternelle on a besoin, pour éduquer nos jeunes élèves, de pratiquer des activités diverses contribuant à la formation d'un esprit clair, logique et structuré, des activités inculquant rigueur du raisonnement et précision du vocabulaire...

alors, l'enseignement de l'informatique est une réponse éclatante à cette attente et le jeu de l'enfant-robot pourrait en être une des composantes ».

¹ Communication personnelle

7. Bibliographie

- [ARS 70] **ARSAC Jacques**, *La science informatique*, Dunod, 1970
- [BAS 81] **BASTIDE Pierre, LE TOUZÉ Jean-Claude**, *Prototype d'un dispositif autonome programmable par de jeunes enfants*, Revue Française de pédagogie n° 56, INRP, 1981
- [BEA 85] **BEAU DE MOULIN S.**, *Tortue de sol et apprentissage de symboles en grande section de maternelle*, Colloque "l'enfant et l'ordinateur". Rouen, 1985
- [BOS 83] **BOSSUET Gérard**, *L'ordinateur à l'école*, L'éducateur, PUF, 1983
- [BOU 88] **BOULE François**, *L'informatique, l'enfant, l'école*, Armand Colin-Bourrelier, 1988
- [COM 84] **COMBES-TRITHARD Françoise**, *Enregistrer, lire, programmer à l'école maternelle*, Armand Colin-Bourrelier, 1984
- [GRE 95a] **GREFF Éric**, *Une année de logique et algorithmes avec les 5/6 ans*, Nathan Éducation, 1995
- [GRE 95b] **GREFF Éric**, *Comment introduire la pensée algorithmique auprès de jeunes enfants à travers le jeu de l'enfant-robot*, Journée sur la recherche à l'UFR de l'Académie de Versailles, 1995
- [GRE 96a] **GREFF Éric**, *Les apports du jeu de l'enfant-robot à la didactique de l'informatique*, Actes du 5^{ème} Colloque Francophone de Didactique de l'Informatique, Monastir, 1996
- [GRE 96b] **GREFF Éric**, *Le jeu de l'enfant-robot : une démarche et une réflexion en vue du développement de la pensée algorithmique chez les très jeunes enfants*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris VII, Juin 1996
- [HEN 85] **HENAFF Françoise, BASTIDE Anne**, *Informaticiens en herbe*, École Maternelle Jean de la Fontaine, Meudon, 1985
- [LUR 82] **LURÇAT Liliane**, *Espace vécu et espace connu à l'école maternelle*, Sciences de l'éducation, ESF, 1982
- [PAP 81] **PAPERT Seymour**, *Jaillissement de l'esprit*, Flammarion, 1981
- [PEC 90] **PECHEUX Marie-Germaine**, *Le développement des rapports de l'enfant à l'espace*, Psychologie, Nathan Université, 1990.
- [PER 87] **PERES Jacques**, *Recherches menées à l'IREM de Bordeaux sur l'utilisation de la tortue de sol LOGO à l'École Maternelle*, Université de Bordeaux, 1987
- [PEY 88] **PEYRIN Jean-Pierre, GUÉRAUD Viviane**, *Un jeu de rôles pour l'enseignement de la programmation*, Actes du 1^{er} Colloque Francophone de Didactique de l'Informatique, Paris, 1988
- [PEY 94] **PEYRIN Jean-Pierre**, *Enseigner la programmation : quoi ?, pourquoi ?, comment ?*, Actes du 4^{ème} Colloque Francophone de Didactique de l'Informatique, Québec, 1994
- [PIA 48] **PIAGET Jean, INHELDER B.**, *La représentation de l'espace chez l'enfant*, PUF, 1948
- [PIA 56] **PIAGET Jean**, in *Enfance* n°2, 1956, page 14
- [PIA 69] **PIAGET Jean**, *Six études de psychologie*. Médiations, Gonthier, 1969

[REG 83] REGINNI Henry, *LOGO, des ailes pour l'esprit*, Cedic, Nathan, 1983

[ROB 79] ROBERT F., N'GOSSO I., SALANA N., LE TOUZÉ J.C., *Apports d'un environnement informatique dans le processus d'apprentissage : projet LOGO*, INRP, 1979

[ROG 87a] ROGALSKI Janine, *Acquisition et didactique des structures conditionnelles en programmation informatique*, Psychologie française, tome 32-4, 1987, page 275 à 300

[ROG 87b] ROGALSKI Janine, VERGNAUD Gérard, *Didactique de l'informatique et acquisitions cognitives en programmation*, Psychologie française, tome 32-4, 1987, page 267 à 273

Eric Greff est professeur à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres de Versailles.

Après avoir obtenu sa thèse de Didactique de l'Informatique au Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Paris VI, il est actuellement membre du Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine.