

EN QUOI LE ROBOT ALGOR CONSTITUE-T-IL UN OBJET DIDACTIQUE ORIGINAL ?

Éric GREFF

L'APPARITION DES ROBOTS DE PLANCHER

La tortue de sol est à l'origine même de la création de LOGO par **Seymour Papert**, **Marvin Minsky** et le M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) vers 1965. En France, elle a constitué un objet pédagogique central au début des années 80 à la suite du travail de la RCP LOGO à l'INRP.

Après l'expérience LOGO, sont apparus divers robots de plancher dont l'utilisation ou les objectifs étaient proches de ceux envisagés par **Seymour Papert**. Ces travaux développent et prolongent certains des aspects de LOGO et présentent, comme ce dernier, avantages et inconvénients.

Françoise Combes-Trithard relate, par exemple, « *qu'avec le Bigtrak, véhicule muni d'un microprocesseur, l'enfant apprend à maîtriser l'espace, mais surtout à anticiper, à se construire des images mentales, à ordonnancer, à analyser. Il apprend la rigueur d'un langage et celle d'actions successives, la nécessité d'une méthode, la mémorisation et la restitution. Il vit la richesse de la concertation, de l'entraide, de l'autonomie.* » [COM 84]. **Gérard Bossuet** décrit également tout l'intérêt qu'il porte au robot de sol : « *Le robot programmable est un nouvel objet de l'environnement de l'enfant. Il peut mémoriser une suite de commandes et les exécuter en séquence. Il permet à l'enfant d'explorer l'espace par technologie interposée.* » [BOS 86] et à son utilisation : « *Le promobile (ou le Bigtrak) est un objet orienté. L'enfant est amené à s'identifier à lui et à faire appel à la connaissance qu'il a de son propre corps et de son mouvement pour le commander. Nous demandons à l'enfant de simuler le promobile avant de lui donner des ordres : chercher le chemin, le décomposer en actions successives, le traduire en langage du promobile, suivre le tracé...* » [BOS 87]. L'intérêt de séquences pédagogiques autour d'un

robot de plancher n'est plus à démontrer. Cependant, dix ans après un engouement exceptionnel, les activités autour de LOGO et de la tortue de sol sont tombées en désuétude. Nous avons tenté d'analyser cette désaffection (cf. [DEL 92]) et avons proposé une activité intitulée le « jeu de l'enfant-robot » dans laquelle, c'est le jeune élève de l'école maternelle qui joue, pour un temps, le rôle du robot [GRE 96a] à la suite de ces travaux, nous avons élaboré, en collaboration avec le Laboratoire Informatique de l'Université du Maine, le projet de construction d'un véritable robot de plancher en accord avec notre méthode.

L'objet de cet article est, tout d'abord, de dresser un état des lieux sur l'existant en terme de robots de planchers (cf. [DEN 94]) puis de montrer, en étudiant les critères spécifiques qui nous semblent importants en quoi le robot que nous envisageons réunit les fonctionnalités pratiques et pédagogiques qui nous paraissent essentielles. Nous effectuerons donc succinctement, dans un premier temps, un descriptif technique des sept principaux robots de plancher ayant été commercialisés puis nous ferons, dans un second temps, point par point, l'évaluation des choix techniques qui ont présidé à leur fabrication. Je tiens à remercier ici Benoît Limbos¹ de m'avoir fourni de précieux éléments de documentation.

LES PRINCIPAUX ROBOTS DE PLANCHER

La « Tortue Jeulin »

On devrait plutôt parler des tortues Jeulin, car l'entreprise d'Évreux a développé deux modèles de robots dont les différences ne sont pas négligeables.

En effet, la tortue répondant au nom de code T2 possède une coque hémisphérique transparente autorisant de voir « comment c'est fait dedans » ; elle utilise un crayon central lui permettant de laisser une trace au sol et est reliée par un fil au boîtier de commande et d'alimentation.

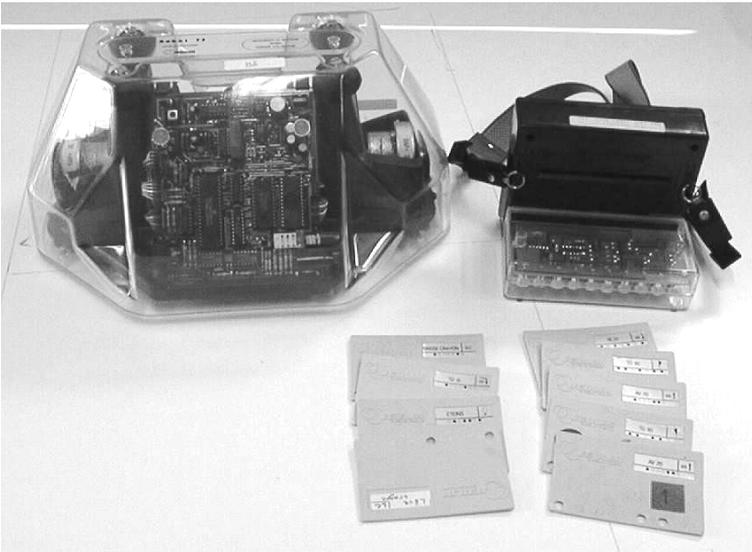
La tortue T3, quant à elle, possède une coque trapézoïdale tout aussi transparente, une alimentation embarquée utilisant des accumulateurs rechargeables. Un crayon de la tortue T3 est situé au niveau de l'axe des roues arrières et des capteurs de chocs lui permettant de détec

1. De l'Université Libre de Bruxelles.

ter la présence d'obstacles sur son parcours. Le robot est en relation avec le boîtier de commande grâce à un rayon infra-rouge.



La Tortue Jeulin T2



La Tortue Jeulin T3

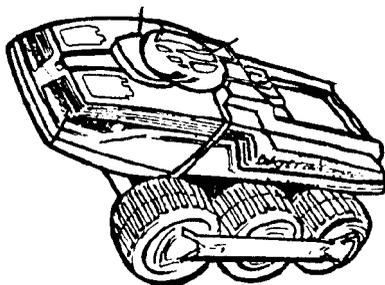
Les boîtiers de commande des deux modèles utilisent des cartes de plastique perforées qui peuvent être introduites, une à une : l'exécution d'une carte-instruction est alors immédiate.

Les tortues Jeulin® ne sont plus construites ni distribuées à ce jour. Elles étaient chères (environ 6 500 F) et donc presque inaccessibles pour le budget moyen d'une école. On les retrouve surtout dans les Écoles normales devenues aujourd'hui IUFM. Dotées de moteurs pas à pas, elles offrent une bonne précision des déplacements. Cependant, elles tombent trop souvent en panne (alimentation, moteurs pas à pas) pour constituer un outil de travail fiable.

« Bigtrak® »

À l'origine, le Bigtrak® est un jouet ayant l'aspect d'un véhicule lunaire. C'est aussi un robot de sol bon marché (moins de 500 F), distribué en France par la société MB® et qui peut être considéré comme un excellent outil pédagogique dès la maternelle. Il se programme à l'aide d'un clavier situé sur sa coque et connaît, en plus des chiffres de 0 à 9, les ordres suivants :

AVANCE	
RECULE	
PIVOTE À DROITE	
PIVOTE À GAUCHE	
ÉMISSION D'ÉCLAIRS	

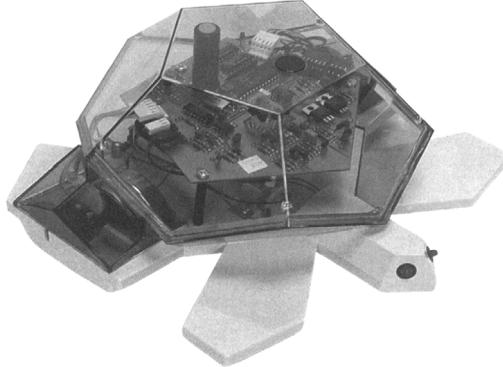


-  permet d'effacer la mémoire de Bigtrak afin d'enregistrer les ordres (16 au maximum).
-  permet d'effacer la dernière instruction rentrée.
-  permet de lancer le programme qui a été au préalable mémorisé après l'instruction CM.
-  suivi d'un nombre n permet de doubler les n dernières instructions.

En France, le Bigtrak a manifestement constitué (il n'est hélas plus fabriqué) une alternative à la tortue Jeulin. On pouvait, grâce à lui, exploiter dans les classes un matériel de robotique pécutiairement abordable, autonome (pas de fils) et facilement programmable. Il permettait notamment de faire un travail très intéressant en utilisant simultanément (vu leur faible coût) deux Bigtrak. Il était alors judicieux de faire déplacer les mobiles en parallèle, en poursuite ou de prévoir leur croisement...

Les produits Valiant

La société anglaise Valiant a développé deux types distincts de robots de plancher pédagogiques.



La tortue Valiant

Cette « tortue » repose sur un socle rappelant explicitement une tortue dont la carapace serait transparente, laissant ainsi voir l'électronique embarquée. Ce robot est piloté exclusivement à l'aide d'un ordinateur qui lui transmet ses instructions par l'intermédiaire d'un rayon infra-rouge. Il possède un crayon lui permettant de laisser une trace au sol, lors de ses déplacements.

Bien que la publicité vante que « *Seymour Papert describe the Valiant Tortul as "the best robot I've ever seen"* », ce produit n'a été essentiellement distribué qu'en Angleterre.

Elle coûte 275 £ (≈ 2 640 FF).

Le robot Valiant

Ce robot a l'apparence d'une sphère aplatie qui, à l'origine, est trop symétrique pour montrer l'orientation du robot mais qui peut être librement décoré (grâce à des « kits d'habillement » distribués par le fabricant), ce qui permet à la fois de l'orienter et de le personnaliser. Sur sa



face supérieure, il possède un clavier souple dont les touches correspondent à des instructions. Celles-ci permettent la programmation du robot qui pourra ainsi se déplacer, pivoter, faire de la musique, temporiser et également mémoriser des procédures. Un certain nombre de modules additionnels sont proposés par le fabricant tels une console de contrôle, un module de dessin permettant au robot de laisser une trace au sol, un kit d'éclairage ou de capteurs... Notons que le terme employé par le fabricant pour désigner ce produit est « Roamer », ce qu'on pourrait traduire par « randonneur »...

Le robot Valiant est commercialisé pour 94 £ (≈ 900 FF).

Les produits Swallow

La firme anglaise Swallow développe deux produits de robotique pédagogique. L'un, réduit à sa plus simple expression : « Pixie » et l'autre, plus élaboré : « Pip ».

« Pixie »

Le robot « Pixie » se présente sous la forme d'un petit parallélépipède rectangle (11×9,4×6,5 cm). C'est plutôt un « robot de table » qu'un robot de plancher. Il ne possède, sur sa face supérieure, que 7 boutons :

AVANCE D'UN PAS



RECULE D'UN PAS



PIVOTE À DROITE DE 90



PIVOTE À GAUCHE DE 90



permet d'attendre 1 seconde avant l'instruction suivante.



permet d'effacer la mémoire de Pixie.

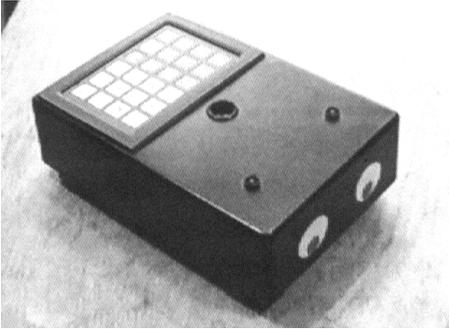


permet de lancer le programme.



Le robot « Pixie » coûte 100 £ (≈ 1 000 FF)

« Pip »



Le robot « Pip » se présente sous la forme d'un parallélépipède rectangle (9×15×22,5 cm) à l'aspect robuste. La moitié de sa face supérieure est occupée par un clavier constitué de chiffres et d'instructions codées :

AVANCE 

RECULE 

PIVOTE À DROITE 

PIVOTE À GAUCHE 

 permet d'effacer la mémoire de Pip.

 permet d'effacer la dernière instruction rentrée.

 permet de lancer le programme.

 permet de répéter (jusqu'à 99 fois) une instruction (3 niveaux d'imbrications).

 envoie un flash.

 joue une note de musique.

L'autre moitié de la face supérieure est laissée libre et permet une personnalisation par l'élève de ce boîtier, *a priori*, un peu austère. Pip peut également être muni d'un crayon, en réalité une mine aimantée qui, à l'utilisation, se révèle d'une précision moyenne.

Pip est vendu pour environ 200 £ (≈ 1 900 FF).

Le jeu de l'enfant-robot

L'état des lieux que nous dressons n'est pas sans intention. En effet, nous avons mis au point et expérimenté une ingénierie éducative intitulée « le jeu de l'enfant-robot » [GRE 96a].

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 dépilant 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.

Depuis 1997, nous réfléchissons, en collaboration avec le Laboratoire d'Informatique de l'Université du Mans (LIUM), à la construction d'un robot de plancher prototype dénommé Algor, à destination des élèves de l'école maternelle, qui conserverait, de manière étroite, les fondements du jeu de l'enfant-robot en utilisant notamment les mêmes paquets de cartes instructions.

COMPARAISON DES DIFFÉRENTS ROBOTS

Après la succincte description des robots existants établie ci-dessus, nous tentons, dans ce chapitre, de comparer les différentes positions des constructeurs sur les critères qui nous semblent importants et nous évoquerons nos choix en ce qui concerne le cahier des charges de notre futur robot Algor.

Aspect extérieur

Forme

Les formes des robots sont essentiellement parallélépipédiques (Bigtrack, Pixie, Pip) ou hémisphériques (T2, Tortue V, Robot V). La première peut être considérée comme favorisant l'orientation du robot et l'analogie avec un véhicule automobile, la seconde nuit parfois à l'orientation (T2, Robot V non décoré) mais le caractère symétrique du disque permet une « conservation globale » de la position du robot lors des pivotements. Seul le robot T3 possède une forme trapézoïdale étonnante.

Taille

La taille des robots varie de 9,4 cm (Pip) à 35 cm (T2). Cette taille est généralement liée aux contraintes techniques consistant à « embarquer » un clavier, de la mécanique ou de l'électronique plus ou moins complexe. Le robot le plus petit (Pixie) est également le moins sophistiqué.

	T2	T3	Bigtrak	Tortue V	Robot V	Pixie	Pip	Moyenne
Longueur	35 cm	33 cm	34 cm	25 cm	30 cm	11 cm	22,5 cm	26 cm
Largeur	35 cm	20 cm	21 cm	23 cm	30 cm	9,4 cm	15 cm	22 cm
Hauteur	21 cm	14 cm	15 cm	14,5 cm	11 cm	6,5 cm	9 cm	12,7 cm
Poids			1 kg	2 kg	0.9 kg	0,6 kg	1,5 kg	

Matière

La moitié des robots (T2, T3, Tortue Valiant) possède une coque transparente permettant de voir la mécanique et l'électronique internes. C'est une idée intéressante qui permet la démythification de l'objet cybernétique. D'autres, (Bigtrak, Pixie) ont un aspect opaque et n'autorisent pas la personnalisation qui est possible avec Pip et le robot Valiant. L'idée de la personnalisation du robot par l'enfant est à retenir afin de favoriser l'implication affective de l'enfant dans cette activité, à condition que celle-ci ne cache pas la réalité électro-mécanique du robot.

Les choix pour Algor



Algor, le personnage que nous utilisons dans la progression [GRE 95] du jeu de l'enfant-robot, possède une forme quasi circulaire mais fortement orientée qui nous semble être primordiale ; c'est pourquoi, et par soucis d'homogénéité avec notre méthode, nous adopterons volontiers, pour notre robot Algor, une coque amovible quasi hémisphérique orientée.

Celle-ci sera amovible et fabriquée dans une matière pouvant être décorée facilement par de très jeunes enfants (carton moulé, par exemple). Son caractère amovible permettra aux élèves de voir les composants électroniques et d'appréhender ainsi la réalité technologique de leur robot. La décoration de la coque permettra une personnalisation de l'objet et favorisera la relation affective de l'enfant envers le robot. Ainsi, nous serons dans la situation courante de l'enfant qui joue [PIA 72], qui **sait** que son robot n'est qu'un objet de plastique et de métal mais qui peut, durant un temps, lui attribuer sentiments et émotions. Cette phase d'appropriation personnelle du robot nous paraît devoir être encouragée.

La technologie actuelle de la miniaturisation permettrait probablement de concevoir un robot Algor de très petite taille mais nous pensons, d'une part, que pour des raisons pratiques de coût et surtout de solidité et de fiabilité, il est préférable de construire un robot de taille moyenne (20×30×15 cm). D'autre part nous avons opté pour une alimen

tation et un lecteur de paquets de cartes embarqué, ce qui représente déjà un volume obligé conséquent. De plus, pour des raisons pédagogiques, nous ferons faire au robot des pas correspondant à ceux d'un jeune enfant (40 cm) et nous aurons à présenter à la classe un mobile, visible par tous, d'une taille en harmonie avec ses déplacements (un pas correspond à un déplacement de notre propre encombrement).

Rapport au monde

Alimentation

Parmi les robots étudiés, seule la tortue T2 de Jeulin utilise un fil d'alimentation relié à un transformateur électrique. Les autres mobiles emploient des batteries rechargeables.

Lumières et sons

Nous ne traiterons dans ce paragraphe que des indicateurs sonores et lumineux permettant, par programme, d'agrémenter le robot. Nous réservons ceux liés au contrôle syntaxique de la programmation au chapitre concerné.

Pas de lumière, ni de son, pour Pixie et la tortue Valiant qui ferme les yeux au fur et à mesure de l'usure de sa batterie. Le robot Valiant « chante » seulement et le Bigtrak s'allume uniquement. Les tortues Jeulin et Pip peuvent, quant à elles, émettre, par programme, sons et lumières.

Trace

Les robots de notre comparatif (sauf Bigtrak, Pixie et Tortue Valiant) ont, en majorité, la possibilité de laisser une trace au sol par l'intermédiaire d'un crayon. Sur les tortues Jeulin, le crayon peut monter (pas de trace) ou descendre (trace) par programme. Sur Pip et Robot Valiant, il est fixe, voire optionnel.

Système de commande

Le boîtier de commande du T2 est également relié à sa tortue par un fil empruntant la même gaine que l'alimentation électrique, ce qui peut provoquer un certain nombre de confusions quant à la fonctionnalité de « ce » fil (à deux fonctionnalités) qui « entre » dans le robot.

Les tortues Valiant et Jeulin T3 ont adopté un système de commande à infrarouge permettant de les libérer de tout fil. Cependant, la tortue Valiant est pilotée par l'intermédiaire d'un clavier d'ordinateur par lequel transite l'information alors que les robots Jeulin sont dirigés

par des cartes perforées en plastique épais qui sont introduites, une à une, dans un boîtier émetteur.

Les quatre autres mobiles (Bigtrak, les deux Swallows, le robot Valiant) utilisent un clavier embarqué sur le robot qui permet de saisir les instructions avant de lancer le programme...! GO

Capteurs

Les mobiles T3 Jeulin, Tortue Valiant, Bigtrak et Pixie n'ont pas de capteurs les renseignant sur leur environnement.

Le robot T2 possède des capteurs de chocs et des cartes-instructions permettant leur gestion.

On trouve des capteurs, en option, sur le robot Valiant (un détecteur de lumière, un détecteur de son et deux capteurs de chocs) et sur Pip (trois capteurs de chocs).

Les choix pour Algor

Par souci d'autonomie, nous avons choisi pour notre robot Algor une alimentation et un système de commandes embarqués. Ce dernier possède comme originalité d'être un lecteur de paquets de cartes-instructions. En effet, lorsqu'il joue à l'enfant-robot, l'élève manipule un paquet de cartes sur lesquelles sont représentées graphiquement les instructions. C'est ce MÊME paquet de cartes que l'enfant va introduire dans la carapace du robot Algor afin qu'il l'exécute. Algor possède donc un système de commandes inédit avec la possibilité optionnelle (non encore développée) de substituer un clavier au boîtier de commande pour faire de la programmation pas à pas ou des tests

Algor aura la possibilité d'émettre des sons et de la lumière.

Nous n'avons pas, à ce jour, retenu l'idée des capteurs quoiqu'elle nous semble judicieuse et en accord avec la réalité de la robotique dans son aspect « relation avec l'environnement extérieur ». Cette possibilité pourra être envisagée ultérieurement.

En ce qui concerne le crayon, la notion de trace nous semble importante, notamment parce qu'elle permet de conserver une représentation du parcours réellement effectué et constitue ainsi un référent permettant notamment de corriger l'écart entre le programme prévu et celui exécuté. Pour cette notion de trace, nous avons retenu la solution la plus sophistiquée, celle utilisée par Jeulin, du crayon qui monte ou descend par programme. Nous tenons cependant à préciser que nous concevons Algor comme un robot « objet pour penser avec » [PAP 81] et non comme une

table traçante. Nous attendons de ce mobile qu'il aide les élèves à résoudre des problèmes et non qu'il dessine.

Programmation et déplacements

La programmation utilisée permet essentiellement les déplacements du robot et, lorsque cela est prévu, l'écriture de trace, l'allumage de lampes, l'émission de sons, la gestion des capteurs.

Le système de commande retenu par les différents fabricants que nous étudions a, bien sûr, une influence sur le mode programmation utilisé... à moins que... ce ne soit le mode de programmation souhaité qui ait infléchi la solution technique adoptée.

Robots à clavier

Le système de programmation des robots « à clavier étendu » (Bigtrak, Pip, le robot Valiant) consiste en une instruction de déplacement suivie d'un nombre à un ou deux chiffres indiquant une mesure pour l'exécution de l'ordre. Par exemple :



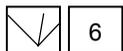
pour lequel :



indique qu'il faut avancer de 3 pas (1 pas vaut 1cm, sauf dans le cas du Bigtrak où il équivaut à 1 pied, soit 33 cm).



indique qu'il faut pivoter de 15° à droite sauf dans le cas du Bigtrak qui devra faire un quart de tour à droite ! En effet, la référence de comptage de Bigtrak en matière d'angle est la minute (!). Un tour complet correspond à 60 minutes.



permet d'envoyer 6 éclairs.

Lorsqu'on lance le programme par , une petite musique caractérise le début et la fin du programme.

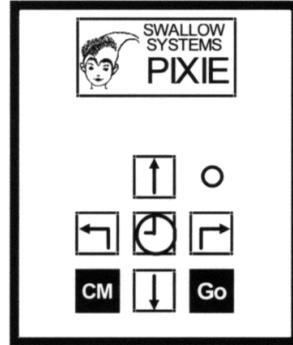
Excepté Bigtrak (cf. ci-dessus), les longueurs sont exprimées en centimètres et les angles en degrés. Pour Pip, un astucieux système permet, si on le souhaite, de travailler avec une unité de longueur de 10 cm (ou même 22,5 cm) et une unité d'angle de 90° (ou même 10° ou 22,5°).

Pixie (« robot à clavier restreint ») qui ne possède que des flèches de déplacement (et pas de chiffre) sur son clavier a une programmation très simple. On notera cependant que son pas peut également être prédéterminé.

miné. Il peut être réglé, à l'avance, dans un intervalle de 1 à 50 cm. De même, l'angle de pivotement, généralement fixé à 90°, peut prendre comme valeur un multiple de 5 compris entre 5° et 360°. Une fois leur valeur déterminée, les touches de déplacement s'utilisent sans être associées à des nombres.



Clavier de Pip



Clavier de Pixie

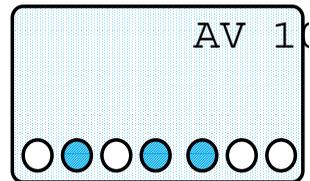
Robots à cartes

Les tortues Jeulin sont associées à des lecteurs de cartes. On introduit dans ce boîtier des cartes-instructions en plastique rigides pré-perforées, une par une, de manière séquentielle ; à chaque introduction de carte, l'instruction correspondante est effectuée par le robot mobile.

Les instructions possibles sont :

Avance 10, Avance 20, Avance n pas,
 Recule 50, Recule 10, Recule n pas,
 Tourne à droite de 45°, Tourne à droite de 90°,
 Tourne à droite de x°, Tourne à gauche de 60°,
 Tourne à gauche de 30°, Tourne à gauche de x°

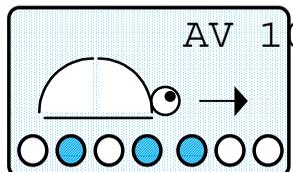
Lève le crayon, Baisse le crayon, Émet un bruit



Les tortues Jeulin acceptent des cartes correspondant à des instructions (trop ?) variées qui se distinguent les unes des autres par leur couleur, leur perforation ainsi que l'ordre associé écrit sur une étiquette collée sur la carte. Il est à noter que les cartes sont livrées « non perforées », que c'est généralement le maître qui les code et qu'il peut choisir, parmi les 128 combinaisons possibles de restreindre son codage à quelques instructions primaires (Avance de 10, Tourne à droite de 90°...). Cependant, même trouées, les cartes se « ressemblent » toutes et ne sont

pas directement « lisibles » par un enfant de maternelle. Il faut encore souvent leur adjoindre un dessin supplémentaire pour les rendre significatives.

La tortue Jeulin n'accepte les cartes-instructions qu'une par une, séquentiellement. Lorsque la tortue lit la carte-instruction, elle l'exécute et se déplace. On ne peut donc pas lui fournir un programme dans son entier, en une seule fois, mais seulement carte par carte, avec tous les problèmes de saisie et de relecture du programme que cela suppose. Notons cependant que la tortue Jeulin peut « apprendre » des procédures et les réutiliser.



Robots à ordinateurs

Parmi les robots étudiés, seule la tortue Valiant est directement commandée par un ordinateur. Si l'interface de programmation est entièrement graphique² ou si le maître a pré-programmé un certain nombre de touches du clavier, les associant à des procédures, alors, cette méthode de commande du robot n'est pas dénuée d'intérêts. En effet, elle permet notamment la relecture et l'impression du programme. Elle permet, en outre, un nombre d'instructions très important et un transfert de programmes d'une machine à l'autre ; on peut donc travailler en différé, prévoir ce que l'on va « faire faire » à la machine (donc se décentrer), le conserver et vérifier ensuite. On peut également travailler de manière inverse en montrant un parcours à l'élève, en lui demandant de reconstituer le programme correspondant et en le comparant à l'original. La conservation globale du programme soumis au robot est un outil essentiel ouvrant de nombreuses pistes d'applications didactiques.

Précisons également que le robot Valiant et Pip peuvent être reliés optionnellement à un ordinateur de type PC et échanger des programmes avec lui.

Contrôle syntaxique

Les tortues Jeulin, auxquelles les instructions sont envoyées (en mode direct) carte par carte n'exercent pas de contrôle syntaxique puisque ce qui leur est fourni n'est pas un programme mais une succession d'ordres qui peuvent passer pour indépendants. Il n'y a pas de syntaxe

2. ce qui à ma connaissance n'existe que pour le robot Valiant.

particulière à respecter, donc pas de contrôle. Seul, le sens d'introduction de la carte dans le boîtier (c'est-à-dire sa possibilité de lecture) est vérifié.

Pour les « robots à clavier », l'utilisateur doit taper le programme en entier avant d'appuyer sur la touche .

Le robot peut donc vérifier, au fur et à mesure de la frappe, que la syntaxe sommaire, consistant, en général, à associer une instruction de déplacement à un nombre, est bien respectée.

Chaque fois qu'on tape sur une flèche, puis sur un nombre, le Bigtrak émet un son, pour approuver la syntaxe. Lorsqu'on appuie sur les touches de Pip, celui-ci renvoie un « bip » de satisfaction ou un grognement de désapprobation en cas de mauvaise manipulation ; par exemple

  engendrera un grognement.

Déplacements

	T2	T3	Bigtrak	Tortue V	Robot V	Pixie	Pip
Longueur d'un pas	1 cm	1 cm	33 cm	1 cm	1 cm	11 cm	1 cm
angle de rotation	1°	1°	1 min	1°	1°	90°	1°
pause	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s
étaonnage possible	non	non	non	non	non	non	oui

Les choix pour Algor

La programmation par l'intermédiaire du clavier est facile à appréhender. Il convient de taper l'intégralité du programme avant de le lancer, une correction syntaxique (cf. ci-dessus) intervenant en cours de frappe. L'inconvénient majeur de cette façon de procéder réside dans l'impossibilité de relire le programme qui a été saisi dans la machine. A-t-on fait une erreur de touche ? Quelle partie du programme a-t-on déjà enregistrée ?...

Ce même écueil existe avec la programmation « carte à carte » (tortues Jeulin). Celle-ci doit être très rigoureuse afin de ne pas confondre ni malencontreusement mélanger les cartes « déjà lues » et les cartes « à lire ». De plus, lorsqu'on travaille en mode direct (non procédural), ce qui est le plus plausible avec de très jeunes enfants, le fait que la saisie d'une instruction se fasse alternativement avec son exécution ouvre la possibilité de modifier le programme « en cours de route ». En effet, lorsque l'on s'aperçoit que le robot n'a pas été aussi loin que prévu, la tentation d'intercaler, immédiatement, une instruction « Avance de 5 » supplémentaire est grande...

Nous pensons qu'il est pédagogiquement essentiel que l'élève puisse programmer le robot Algor avec les mêmes cartes que celles qu'il utilise habituellement. En outre, il nous semble que ce qui est typique de la programmation informatique, c'est l'exécution globale d'un programme entièrement saisi et la possibilité de relecture de celui-ci. C'est pourquoi nous avons opté pour un système en deux temps.

Dans un premier temps, le robot lit le programme qui lui est fourni globalement par le paquet de cartes (c'est à ce niveau que se situe l'analyse syntaxique). Une fois accepté, le programme reste dans la mémoire du robot, même si l'on ôte le paquet de cartes. La saisie des instructions est donc simple et « transparente » pour l'enfant : « le robot Algor a lu et retenu le paquet de cartes ! ».

Dans un second temps, un bouton de type VA lance l'exécution du programme, autant de fois qu'on le désire. On peut donc voir en parallèle le programme étalé au sol (par exemple) et le robot se déplacer. On peut également mettre un paquet de cartes dans le robot, le faire fonctionner puis demander aux enfants quelles sont les instructions que le robot a lues pour exécuter son parcours. La validation des réponses est alors immédiate : il suffit de sortir le paquet de cartes du robot, de l'étaler sur le sol et de le comparer avec celui de l'élève. Aucun des robots existants ne permet une telle activité.

Dans le jeu de l'enfant robot, nous avons volontairement restreint les cartes-instructions aux ordres suivants : « Avance, Recule, Pivote à droite de 90°, Pivote à Gauche de 90° ». Notre robot ne saura donc exécuter que ces instructions de déplacements qui sont suffisantes pour les applications pédagogiques que nous envisageons. Nous avons prévu un réglage possible (par switches) de la longueur des pas du robot Algor (10 cm minimum) et nous limitons les rotations aux quarts de tour. Pour nous en effet, des instructions du type « Pivote à droite de 15° » (cf. Tortue Jeulin) n'ont que peu de sens pour un élève de l'école maternelle. De même, la mesure des angles exprimée en minutes (Bigtrak) introduit trop de difficultés. D'une part, les enfants de maternelle ne savent pas lire l'heure, d'autre part, il peut y avoir confusion entre la position de l'aiguille et l'orientation du robot. En effet, une instruction du type « tourne à gauche de 3/4 de tour » ← 4 5 me semble poser de sérieux problèmes dans la mesure où l'aiguille de la pendule à laquelle on fait référence tourne, quant à elle, toujours dans le même sens, vers la droite.

Le robot Algor pourra, par programme, émettre des sons, allumer des lumières et même faire varier le nombre de « billes » situées dans son sac (simulation de variable numérique).

De plus, les programmes fournis au robot Algor possèdent un en-tête et une fin et peuvent utiliser deux structures de contrôle fondamentales (le test et la répétition indiquée d'un bloc d'instructions). Une vérification précise s'exerce donc sur le programme fourni et le robot ne peut s'élancer que si celui-ci est syntaxiquement convenable.

D'autres choix pour Algor

Dans notre cahier des charges initial, nous proposons de fabriquer un robot Algor pécuniairement accessible aux écoles maternelles, soit environ 1 000 FF. Nous préconisons un mobile fiable et précis. En effet, les utilisateurs du Bigtrak regrettaient que les rotations soient imprécises et que l'angle droit ne le soit pas : « *Malheureusement, si pour certains Bigtrak, cette programmation est rigoureuse, pour d'autres les résultats sont très fantaisistes et changent avec l'usure des piles.* » [COM 84]

Il est certain qu'un robot à mode de commandes multiples (paquet de cartes, clavier intégré, ordinateur) réunirait les avantages pré-cités. Notre prototype utilisera un boîtier de lecture de paquet de cartes mais nous avons d'ores et déjà, envisagé à la possibilité de pouvoir échanger celui-ci contre un « boîtier clavier » ou un boîtier « interface-micro »... plus tard.

ASPECTS DIDACTIQUES

L'intérêt pédagogique et didactique d'utiliser un robot de plancher comme médium entre le déplacement corporel de l'individu et la représentation plane abstraite du parcours n'est plus à démontrer.

Nous avons tenu à faire le point sur les « tortues de sol » existant ou ayant existé sur le marché afin d'analyser le choix de chaque constructeur et de réfléchir sur les meilleures options possibles. Nous avons constaté qu'aucun des mobiles ne cumulait tous les avantages souhaités mais que chacun offrait parfois d'une solution originale, pour telle ou telle fonctionnalité, qu'il serait judicieux de conserver.

Cependant, la partie centrale de notre travail consiste à intégrer un robot de plancher dans une progression extrêmement homogène où « l'enfant-robot » et le personnage Algor (que l'on retrouve pour les représentations « papier-crayon ») utilisent systématiquement les mêmes cartes-instructions. L'impératif imposant au futur robot Algor d'utiliser également ces mêmes cartes-instructions nous a conduit à retenir une solution exclusive de lecture de « paquets de cartes-instructions » qui favorisera, à notre sens, la mise en place de nouvelles activités didacti-

ques. En effet, le lien symétrique permanent qui pourra être fait entre le programme en son entier et son exécution ouvre de multiples possibilités qu'il nous restera à explorer... une fois le prototype élaboré.

Activités didactiques parallèles au jeu de l'enfant robot

Activités de parcours

Notre projet, une fois le robot réalisé, est, bien entendu, de le présenter aux élèves afin de l'utiliser dans diverses situations d'apprentissages. Il s'agira pour les enfants de lui faire exécuter des parcours précis consistant à se rendre d'une position de départ à une position d'arrivée en évitant éventuellement des obstacles, de sortir d'un labyrinthe, etc. Ils pourront également utiliser le robot de plancher pour lui « faire faire » des parcours qu'eux-mêmes auront expérimentés avec leurs corps. Nous envisagerons aussi des situations inverses où le robot exécute un parcours et où les enfants doivent reconstituer le programme qu'il a lu en décomposant le parcours effectué en autant d'instructions. Vous trouverez un grand nombre d'exploitations pédagogiques dans [GRE 96b]. Il s'agit là de mettre le robot à la place de l'enfant-robot.

Le robot de sol ne créera pas, dans ce cas, de situations d'apprentissages originales. Il offrira surtout l'exclusivité d'un médium indépendant de l'enfant, ce que ne permet ni l'enfant-robot qui est l'élève lui-même, ni Algor que l'élève pousse avec son propre doigt. En cela, le mobile favorisera la construction conceptuelle de représentation de l'espace et fournira un « juge-arbitre » impartial et indépendant pour la validation des parcours. Nous vérifierons qu'un programme est ou non correct par rapport au problème posé en le faisant exécuter par la machine ; elle donnera alors du sens au « bug », permettra la réflexion et la correction des programmes.

Le fait que l'enfant-robot, Algor et le robot de sol utilisent strictement les mêmes cartes-instructions constitue le point d'encrage primordial de cette recherche.

Structures de contrôle

La répétition d'un paquet de cartes, dans le jeu de l'enfant-robot entraîne de nombreuses contraintes de manipulation. En effet, lorsqu'on s'intéresse à l'itération, il convient de délaissier, pour un temps, les cartes précédant le bloc d'instruction à itérer et les cartes le suivant. Il semble difficile de poser au sol les cartes qui ne constituent pas le bloc d'instructions à itérer puisque l'on risque de se déplacer et de ne pas pouvoir les

ramasser. L'usage des poches devient alors indispensable... à condition de reprendre les cartes, dans le bon ordre, à la suite de l'itération !

La carte indiquant le nombre d'itération d'un paquet a un statut particulier. Ce n'est pas, à proprement parler, une instruction. C'est un délimiteur structurel qui indique à la fois l'existence de la répétition et son nombre d'occurrences.

Lors de l'écriture et de l'exécution d'un programme, nous avons utilisé, pour le jeu de l'enfant robot, un élastique comme moyen de marquer la fin du bloc à itérer et de faire apparaître « matériellement » cette notion de « groupe d'instructions ».

De même, lorsque l'enfant exécute une partie de programme correspondant à une condition réalisée, il ne sait que faire des autres cartes en attente.

De manière générale, les structures de contrôle essentielles en informatique (tests, itérations) qui sont très difficiles à manipuler par l'enfant avec les cartes pour des raisons pratiques (qui ne sont pas étrangères aux difficultés structurelles) sont plus facilement utilisables avec le robot de plancher dans la mesure où c'est le processeur et non l'enfant qui gère les attentes et les itérations. Nous souhaitons vérifier que le robot permet des activités difficilement réalisable au travers du jeu de l'enfant-robot, qu'il permet notamment, par exemple, plus simplement, l'utilisation des structures répétitives

Comparaison avec des résultats antérieurs

Nous avons déjà pu mesurer que l'utilisation des structures algorithmiques, qui sont sous-jacentes au jeu de l'enfant-robot, induit des progrès dans d'autres domaines comme ceux de la construction de l'espace et du temps, la latéralisation. Les connaissances acquises lors de ces activités sont transférables à d'autres comme celles du repérage sur plan de quartier ou de l'explicitation de trajets. Vous trouverez, à ce titre, des éléments de réponses dans [GRE 96b] et nous escomptons étudier de quelle manière s'opère ces transferts avec l'utilisation du robot de sol.

Activités didactiques distinctes du jeu de l'enfant robot

Nous souhaitons également étudier ce que peuvent apporter aux *apprentissages premiers* les activités centrées autour de l'utilisation d'un véritable robot de plancher et qui permettraient d'en utiliser l'originalité spécifique.

Les apprentissages premiers évoqués sont ceux définis dans les programmes officiels de 1995³. Il s'agira pour nous de favoriser plus particulièrement ceux concernant :

- la structuration de l'espace (repérage dans le plan, latéralisation, représentation de trajets...);
- la structuration du temps (chronologie, séquentialité, anticipation...);
- la construction du nombre (estimation, comparaison de distances, fonction du nombre...);
- l'action dans le monde (conduite motrice, prise de repères, acceptation et respect de règles du jeu...);
- la communication (lexicale, syntaxique, structurelle, graphique...).

Le champ d'étude est, on le voit, très important.

Dans un premier temps, nous souhaitons utiliser le robot de plancher dans des activités ayant trait à la construction du nombre et à l'estimation des longueurs.

Dans un second temps, nous voulons tester si l'utilisation du robot permet de mettre en œuvre des situations développant, et de quelle manière, la coopération, l'argumentation et le raisonnement hypothético-déductif chez les enfant de Grande Section de maternelle.

CONCLUSION

Les choix techniques que nous avons retenus, à partir de l'étude des robots de plancher existants et en fonction des objectifs didactiques qui nous préoccupent, nous conduisent à avancer qu'un tel robot Algor constituera un objet didactique réellement original dans la mesure où :

- il travaillera avec un langage graphique nouveau et adapté à sa fonctionnalité. Notre méthode (jeu de l'enfant-robot) a déjà permis d'aborder le thème de la sémiologie de l'image et de préparer les élèves aux interfaces iconiques de plus en plus présentes sur nos ordinateurs. L'utilisation des mêmes cartes avec le robot de plancher ne pourra que renforcer l'analogie introduite qui associe une image à une action à effectuer ;
- l'utilisation d'un véritable robot de plancher n'intervient qu'après avoir fait jouer à l'enfant le rôle d'un robot. Le robot de plancher va

3. Bulletin officiel de l'Éducation nationale n° 5 du 9 mars 1995.

permettre à l'enfant de programmer une véritable machine informatique possédant bon nombre de fonctionnalités standard (contrôle syntaxique, répétitions, tests...) et de se confronter aux réalités de la programmation (rigueur, séquentialité, ordre des instructions, déterminisme...). Auparavant, le jeu de l'enfant-robot avait mis, entre autre, l'élève dans la situation d'être lui-même programmé lorsqu'il jouait le rôle du robot. Ce faisant, il a déjà abordé la programmation sous l'angle peu répandu de l'exécutant. À travers cette expérience originale il a appréhendé des contraintes « du point de vue de la machine », situation dans laquelle peu de programmeurs se sont trouvés ;

- le robot Algor s'adresse à de très jeunes enfants ne sachant pas lire et souvent tenus éloignés de l'informatique. En faisant pénétrer l'informatique à l'École maternelle, auprès d'enfants très jeunes, nous espérons ouvrir une brèche par laquelle d'autres pourront se risquer, et nous avançons que certaines structures de pensées, liées à l'informatique, peuvent être mises en place dès le plus jeune âge et que l'informatique n'est pas forcément pécutiairement coûteuse si l'on s'attache à ses fondamentaux. En proposant, en plus d'une méthode « papier-crayon », un robot de plancher d'utilisation simple et pécutiairement abordable pour une école, nous permettons aux enseignant et aux enfants d'aborder l'informatique dans des conditions réalisables.

Ce projet de recherche offre, en outre, l'avantage de mettre en contact la Maternelle et l'Université, ce qui nous semble être un défi fort intéressant à relever.

Éric GREFF

Enseignant à l'IUFM de Versailles
Chercheur au Laboratoire d'Informatique
de l'Université du Mans (LIUM)
Docteur en Didactique de l'Informatique

BIBLIOGRAPHIE

- [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.
- [BOS 86] BOSSUET Gérard, *L'accord LOGO, Vol. 2*, Université Paris VI, 1986.
- [BOS 87] BOSSUET Gérard, *L'accord LOGO, Vol. 3*, Université Paris VI, 1987.
- [BOU 88] BOULE François, *L'informatique, l'enfant, l'école*, Armand Colin-Bourrelier, 1988.
- [CAL 85] CALMY-GUYOT Gisèle, *Informaticiens en herbe*, École La Fontaine, Meudon, 1985.
- [COM 84] COMBES-TRITHARD Françoise, *Enregistrer, lire, programmer à l'école maternelle*, Armand Colin-Bourrelier, 1984.
- [DEL 92] DELANNOY Paul, « Les "Mathémocrates" ont-ils tué le Langage LOGO ? Les "Technocrates" le sauveront-ils ? », *Revue de l'EPI* n° 66, Juin 1992.
- [DEN 94] DENIS Brigitte, *Agir avec la tortue LOGO, agir avec l'ordinateur à l'École Maternelle*, Centre technique de l'Enseignement de la Communauté française, Frameries, Belgique, 1994.
- [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'IUFM de l'Académie de Versailles*, 1995.
- [GRE 96a] 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.
- [GRE 96b] 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.
- [HEN 85] HENAFF Françoise, BASTIDE Anne, *Informaticiens en herbe*, École maternelle Jean de la Fontaine, Meudon, 1985.
- [LEG 85] LE GUYADER-BOSSUET Christiane, *La pédagogie LOGO en maternelle : camions et spatio-globe*, Université Paris VI, 1985.
- [LET 86] LE TIRILLY Marc, *Quelques visées éducatives : l'enfant programmeur*, CNDP, CRDP de Marseille, 1986.
- [MEY 84] MEYER Bertrand, BAUDOIN Claude, *Méthodes de programmation*, Eyrolles, 1984.
- [PAP 81] PAPERT Seymour, *Jaillissement de l'esprit*, Flammarion, 1981.
- [PER 85] PERES Jacques, *Recherches en didactique sur l'utilisation de la tortue de sol. Compte rendu d'une préexpérimentation*, Université de Bordeaux, 1985.
- [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.

[PIA 72] PIAGET Jean, « La formation du symbole chez l'enfant », *Actualités pédagogiques et psychologiques*, Delachaux et Niestlé, 1972.

[PIL 84] PILLOT Jacqueline et Christian, *L'ordinateur à l'école maternelle*, Armand Colin-Bourrelier, 1984.