

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE

**PRATIQUE ACTIVE
DE L'INFORMATIQUE
PAR L'ENFANT**

inrp

1981

SOMMAIRE

	Pages
— Avant-Propos, par J. Perriault	5
— Quelques considérations sur la conception et la réalisation de systèmes informatiques (langage et matériels) destinés aux jeunes enfants à des fins pédagogiques, par I. N'Gosso, et F. Robert	7
— L'outil graphique LOGO en classe de CM2, par G. Bossuet, J. Fournier, C. Leguyno, Ecole Aiguelongue, Montpellier, décembre 1979 à juin 1980	9
— Des enfants, des nombres et une tortue, par C. Berdonneau, R.-M. Dumas	15
— L'art et l'ordinateur : une démarche pour tous ? par P. Delannoy, A.D.A.O.	21
— Rapport de synthèse — Expérience LOGO du Lude, par A. Bois, avril 1981	25
— Expérience LOGO à l'Ecole normale de la Sarthe, par M. Aigle	29
— Résumé de l'expérience pratiquée à la S.E.S. de Maisons-Alfort, par F. Mathieu, S.E.S. de Maisons-Alfort et l'Université de Paris VIII, années scolaires 1977/1978, 1978/1979, 1979/1980 ...	33
— Programmation avec des enfants de sixième, par J.-C. Despland, I.R.E.M. d'Orléans	41
— Quelques formes de raisonnement en « géométrie de tortue », par des enfants de 10/12 ans, par F. Robert, I.N.R.P.	49
— Quel système d'édition pour une prise en compte fidèle des actions, des concepts et des méthodes mis en jeu par un jeune enfant en cours de réalisation d'un projet ? par I. N'Gosso, I.N.R.P.	59
— Analyses, par D. Blin Basset :	
I. The subjective computer, d'après l'étude et les conclusions de S. Turkle	65
II. Final Report of the Brookline LOGO Project	67

AVANT-PROPOS

Les recherches sur le système LOGO se poursuivent en France, à l'I.N.R.P. en particulier, depuis 1973.

Depuis 1980, l'I.N.R.P. héberge une recherche coopérative intitulée « Pratique Active de l'Informatique par l'Enfant ». Y sont associés, en dehors des chercheurs de l'I.N.R.P., diverses équipes d'universités, d'I.R.E.M. et d'Ecoles Normales. Le point de départ de cette opération réside dans l'intérêt qu'elles ont porté au système LOGO, conçu et développé par le Laboratoire d'Intelligence Artificielle du M.I.T. Un de ses promoteurs, Seymour PAPERT, ancien collaborateur de J. PIAGET, a défini un environnement dans lequel des enfants peuvent élaborer par eux-mêmes leurs connaissances (apprentissage sans instruction) en recourant aux services d'un ordinateur qui pilote des robots. Ceux-ci portent le nom évocateur — mais fallacieux dans la mesure où ces robots ne sont capables de faire qu'un acte à la fois : avancer puis tourner. Ils ne peuvent pas, à l'inverse des animaux, ou des voitures téléguidées, avancer en tournant — de tortues.

Sur un écran graphique évolue une « tortue » qui est représentée par un triangle isocèle. Ce peuvent être aussi des mobiles qui circulent sur le plancher. L'angle le plus aigu constitue sa tête. Si on écrit l'instruction AVANCE 10, la tortue avance de dix positions en ligne droite, dessinant ainsi un segment. Si on écrit maintenant, DROITE 90, elle s'oriente à 90 degrés. AVANCE 10 fait obtenir un nouveau segment perpendiculaire au précédent. Ainsi de suite, on obtient un carré, qu'on peut décrire par le programme suivant :

POUR CARRÉ
AVANCE 10
DROITE 90
CARRÉ

Ou bien
encore

POUR CARRÉ
RÉPÈTE 4 (AV 10 DR 90)
FIN

Les chercheurs du groupe français n'ont pas l'intention de se livrer à la simple reproduction d'un tel système, mais ils se devaient pour préciser leurs projets de refaire dans les conditions locales, scolaires et socioculturelles, un certain nombre d'essais pour mieux connaître le comportement des enfants (de six à douze ans) devant ce dispositif. La question qui se pose en effet est de savoir si dans ces tranches d'âge, il est possible que les enfants acquièrent la capacité d'écrire des programmes simples, non pas en vue de la seule maîtrise de l'informatique, mais pour élaborer par eux-mêmes un projet, le tester et en tirer ainsi une expérience modélisante. C'est précisément en quoi l'expérience LOGO fournit une piste intéressante.

Dans ce dossier rassemblé par Serge KELIF se trouvent des relations d'observation effectuées par diverses équipes, ainsi que quelques analyses de documents récents. Ces textes sont destinés à l'information des pédagogues et devraient aussi alimenter des discussions avec les chercheurs en psychologie et en pédagogie. Ils montrent qu'on peut insérer dans les activités pédagogiques habituelles le recours à un système

de type LOGO, aussi bien dans le cycle élémentaire que dans le premier cycle du secondaire. (Une préexpérience a aussi été faite en classe de maternelle et fait l'objet d'une présentation par P. BASTIDE dans la Revue Française de Pédagogie de septembre 1981).

L'ensemble des contributions s'attache à produire une analyse la plus fine possible des relations des enfants à la machine, tant il semble que la recherche sur les conditions psycho-pédagogiques de cet usage passe par l'exploitation et l'interprétation des résultats qu'elle fournit.

Le développement de l'emploi de ce type de méthodes est, entre autres subordonné, à la disponibilité d'un matériel adéquat. Le groupe de recherche dont les travaux sont présentés ici a préparé, sous contrat avec l'Agence de l'Informatique des propositions de langage-type qui pourrait faire l'objet d'une implantation sur les ordinateurs équipant les établissements scolaires, car, pour l'instant, en dehors de matériels étrangers, n'est disponible qu'une transcription provisoire réalisée par l'I.N.R.P.

Jacques PERRIAULT

Quelques références disponibles en librairie :

PAPERT (S.). — *Mindstorms. Children, Computers and Powerful Ideas*, Basic Books, 1980, à paraître en français sous le titre : Le Jaillissement de l'esprit, Ordinateurs et apprentissage, Flammarion.

SIMON (J.-C.). — *L'éducation et l'informatisation de la société*, Documentation Française, Paris, 1980, Annexes I et II (qui contiennent d'importantes contributions sur LOGO).

SCHWARTZ (B.). — *L'informatique et l'éducation*, La Documentation Française, Paris, 1981.

Quelques considérations sur la conception et la réalisation de systèmes informatiques (langage et matériels) destinés aux jeunes enfants à des fins pédagogiques

Les systèmes informatiques actuellement disponibles offrent peu de possibilités de mise en œuvre par des enfants et par toute personne non spécialisée dans l'informatique. Les travaux de recherche dans le domaine du langage et du matériel informatique ont le plus souvent pour objet d'améliorer la capacité de compréhension et de description de processus complexes, d'augmenter la puissance des outils informatiques. Inversement les ordinateurs mis à la disposition du grand public ne permettent qu'un dialogue écran-clavier très pauvre nécessitant par ailleurs des connaissances informatiques non négligeables.

Dans le contexte d'un projet pédagogique où l'ordinateur doit servir d'outil permettant à un enfant d'exprimer les concepts nécessaires dans la réalisation d'une tâche qu'il s'est assigné, un système informatique pour être accessible requiert un certain nombre de préalables :

1 Susciter l'intérêt par les possibilités d'actions disponibles et permettre d'obtenir rapidement des résultats intéressants (motivants), c'est-à-dire sans obliger l'utilisateur à l'acquisition préalable d'un sous-ensemble trop important de concepts et d'habiletés nécessaires à la maîtrise du système. Ceci implique que ces habiletés et concepts soient à la portée du public visé et que la finalité des activités ait un sens pour ce public. Les périphériques associés au système devraient offrir non seulement les possibilités d'écriture habituelles, mais aussi des terminaux graphiques, musicaux, des automates, etc. et des communications avec d'autres types d'appareils (audio-visuels par exemple).

2 Permettre une mise en œuvre progressive du système, c'est-à-dire que toute acquisition, construction, mise au point de concept nouveau, etc. devra être matérialisée sous la forme de la création d'un objet, d'une procédure, d'une règle, etc. et (ré) utilisable à un niveau ultérieur d'intégration, ce qui implique que cet élément est devenu un membre permanent et disponible (quoique modifiable) du système. Il paraît essentiel que le progrès ne consiste pas uniquement dans une meilleure utilisation du système et une manipulation plus aisée de ses outils et concepts, mais aussi dans la création parallèle d'objets et concepts nouveaux intégrés à l'ensemble en expansion.

3 Le langage qui sert à la communication avec le système doit donc être conçu pour permettre cette expansion : il doit décrire des actions et des états simples de manière compréhensible et non ambiguë pour des enfants, avec une syntaxe et des mots semblables à ceux du vocabulaire utilisé quotidiennement, et permettre la création de nouveaux vocables pour désigner les actions et objets construits par les utilisateurs.

4 De même, les réponses du système, que ce soit au niveau des actions réalisées ou des messages (surtout ceux d'erreur) renvoyés à l'utilisateur en commentaire des commandes et informations entrées doivent être formulées en langage clair et précis, ce qui n'est pas le cas dans la plupart des langages utilisés. Ces réponses doivent pouvoir être facilement modifiables par tout animateur qui voudrait les adapter à des utilisateurs particuliers.

5 Outre le langage, le système de communication proprement dit, c'est-à-dire l'entrée et l'affichage des commandes, des informations et des messages, doit être doté pour les informations écrites, d'un « éditeur » permettant aisément tous les repérages, toutes les corrections, les déplacements, les insertions, les positionnements diversifiés, etc. Plus généralement un tel système doit être conçu de manière à accueillir aisément plusieurs supports de communication tant du point de vue du logiciel que du matériel. Ainsi des périphériques d'entrée spécialisés tels les claviers spéciaux pour des handicapés, les crayons lumineux, les systèmes à carte, les tablettes graphiques, etc., voire la reconnaissance de la parole et les écrans sensibles, les éditeurs musicaux, doivent selon le contexte servir à la communication avec le système, sans nécessairement être simultanément disponibles.

6 Enfin, les outils mis à la disposition des enfants doivent être manipulables sans précaution particulière, c'est-à-dire non seulement robustes et fiables, mais d'un accès facile et simple, sans opérations compliquées de mise en route et de manipulation, indépendamment du fait même que des outils spécialisés puissent être conçus pour des utilisations particulières (pour handicapés par exemple).

Isidore N'GOSSO, Frédérique ROBERT,
juillet 1981

Ce texte est le regroupement des réflexions qui ont eu lieu depuis quelques années au sein de la SECTION INFORMATIQUE ET ENSEIGNEMENT. Ces quelques idées nous servent de cadre de référence pour la réalisation de matériels et de logiciels.

L'OUTIL GRAPHIQUE LOGO EN CLASSE DE CM2

Expérimentation menée par :
Gérard BOSSUET, Jeanne FOURNIER, Christlane LEGUYADER

A l'Ecole AIGUELONGUE, MONTPELLIER, de décembre 1979 à juin 1980

CONTEXTE : Pratique active de l'ordinateur comme outil-prétexte à la COMMUNICATION DIRECTE.

QUESTIONS : — Le groupe-classe, surtout dans les écoles où il n'existe qu'une seule classe par niveau, est un groupe structuré par un passé scolaire commun — parfois vieux de plus de 5 ans, en classe de CM2 —. Que devient ce groupe face à une technologie nouvelle ? Comment les enfants « étouffés » par ce groupe réagissent-ils lorsqu'une telle technologie tend à abolir ce passé ?

— Considérant les possibilités sensori-motrices du système LOGO, une expérimentation axée sur la communication directe permet-elle à l'enfant de mieux s'assumer comme ARTISAN de sa propre formation ?

QUELQUES « DANGERS » DE L'ORDINATEUR

Considéré comme moyen d'enseignement, outil pédagogique ou objet d'éducation — cf. rapport de Jean-Claude SIMON sur l'éducation et l'informatisation de la société, 1980 — la plupart des utilisateurs — enseignants, psychologues, pédagogues... — mettent l'accent sur la relation privilégiée Elève-Machine.

Comment le rôle de la communication est-il perçu ?

1. Le professeur communique un savoir ou un modèle à la machine, chargée ensuite de le transmettre à l'élève en l'adaptant à son propre rythme. La machine devient un « écran technologique » entre l'enseignant et l'élève.

2. Les élèves peuvent communiquer entre eux par technologie interposée — cf. Système PLATO. Ces deux types de communications occultent la communication directe entre les élèves, au profit d'une communication qui isole l'individu et présente des risques pathologiques. A ce sujet, il convient de distinguer entre individuel et individualisé, adjectifs souvent utilisés l'un pour l'autre. Dans « Eduquer et instruire », R. DOTRENS définit le travail individualisé comme « Le mode d'enseignement fondé sur la prise en considération du fait que les enfants sont tous différents les uns des autres, qu'ils présentent chacun des caractéristiques qui leur sont propres : degré et nature de leur intelligence, manifestation de leur tempérament et de leur caractère, etc. ». Et il ajoute « Nous distinguons tout de suite le travail individualisé du travail individuel ou personnel (...) l'obligation qu'a chaque élève (...) d'exécuter seul et pour son propre compte les exercices d'application indiqués par son maître, ces exercices étant les mêmes pour tous : forts et faibles, rapides et lents » (1).

L'approche LOGO, telle que vécue dans l'expérimentation présentée, est orientée vers une communication directe des enfants dans un but d'individualisation : s'accepter soi-même et accepter le « droit à la différence » des autres.

(1) Cf. G. MIALARET, Vocabulaire de l'éducation, Presses Universitaires de France, 1979, page 255.

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

1. LE CHOIX DE LA CLASSE

La classe de CM2 est une classe CHARNIÈRE, la dernière dans laquelle un enseignement de type GLOBAL doit amener les enfants à un certain degré de maturité intellectuelle leur permettant d'affronter un enseignement PAR MATIÈRES, dispensé par des enseignants spécialisés.

En CM2, il n'est pas encore, en principe, question de « détecter les bons en... », mais de développer, chez les enfants, une prise de conscience d'eux-mêmes vis-à-vis du groupe classe et de leur faire acquérir des modèles généraux de résolution de problèmes qu'ils puissent appliquer aussi bien dans les disciplines scientifiques que littéraires, artistiques...

Le groupe arrive en CM2 avec son PASSÉ (parfois cinq ans), sa STRUCTURE, sa « HIÉRARCHIE ». Maître et enfants se situent par rapport à ce passé, ce qui peut conditionner l'évolution et les progrès possibles de chaque enfant.

La classe de CM2 est donc la dernière classe dans laquelle un système de type LOGO puisse remettre grâce à l'impact technologique, tous les enfants à égalité, sans être lié à une matière précise. En supprimant le PASSÉ, il donne une chance à certains enfants étouffés par le groupe-classe, ou par le maître, de s'affirmer.

De plus, AUCUN enfant ne possède d'ordinateur. Pour l'instant le système est novateur, et donc peut stimuler l'intérêt et inciter chacun à faire des progrès. Il peut être un facteur de SOCIALISATION, obligeant les enfants à COMMUNIQUER.

Un système informatique de type LOGO représente aujourd'hui un aiguillon pédagogique jouable pour la majorité des enfants mais le matériel aura une durée de vie plus courte que les idées qu'il permet d'essayer. Une collaboration étroite devient nécessaire entre concepteurs de systèmes, pédagogues, enseignants, enfants...

2. LE NOMBRE DE POSTES DE TRAVAIL

Considérons le lieu où sont placés les postes de travail comme un atelier d'éveil. Leur nombre est important dans la conduite des projets définis par les enfants. Un seul poste ne favorise pas la communication directe dans l'atelier qu'il convient d'entretenir par des réunions de

groupe-classe entier. Les passages sur la machine doivent être échelonnés dans le temps, ce qui désorganise les activités communes du groupe-classe un maximum de temps. Communiquant à l'extérieur, les enfants auront tendance à définir des projets dont la principale caractéristique sera d'être « originale », différents des autres.

Plusieurs postes de travail favorisent la communication directe mais posent le double problème du partage du temps de la personne ressource, très sollicitée pendant certaines phases des projets, et de l'organisation matérielle de l'atelier, qui doit être suffisamment vaste pour que les enfants puissent avoir des activités sensori-motrices, mais peu bruyant. L'idéal serait un ensemble de salles communicantes, avec deux ou trois postes chacune. Les projets sont en général différents mais présentent des parties communes dues à la communication directe. Les idées échangées peuvent être immédiatement essayées et les projets sont plus « ambitieux » (cf. Arc et Senans).

OBJECTIFS DE L'EXPÉRIMENTATION

En plaçant un système LOGO dans une classe, pendant une période d'au moins six semaines, réparties sur sept mois, nous nous sommes fixés trois ensembles d'objectifs :

(i) POUR LES ENFANTS :

Toutes les expérimentations menées jusqu'à présent ont été orientées vers l'ÉVALUATION de l'évolution individuelle de l'enfant face à « SA » machine. Nous formulerons ici deux nouvelles hypothèses pour les enfants de moins de 12 ans :

1 - L'apprentissage de la COMMUNICATION joue un rôle au moins aussi important que l'apprentissage des CONNAISSANCES dans les processus de formation de l'individu. Un système de type LOGO, nécessitant l'association des schémas corporel et intellectuel de l'enfant (qui programme la machine tout en « étant » la machine) doit FAVORISER — au pire être prétexte à — la communication. Par l'enrichissement des relations physiques, culturelles et sociales, il doit lui permettre de mieux s'assumer comme ARTISAN de sa propre formation.

2 - La suppression du passé, des acquis communs au groupe-classe doit favoriser l'épanouissement de certains enfants, volontairement ou non, « étouffés » par le

groupe ou le maître. LOGO est à la fois une activité externe à la classe, de par la présence d'une ou deux personnes étrangères, et une activité interne. « CE QUI M'A DONNÉ UN PEU D'ESPOIR, C'EST QUE PEU APRÈS, J'AI RÉUSSI A FAIRE UN PROJET » (C).

(ii) POUR L'ENSEIGNEMENT :

- 1 - Appréhender les aides pédagogiques apportées par un système de type LOGO.
- 2 - Etudier, par rapport à lui-même et par rapport aux enfants, l'impact de l'introduction d'éléments étrangers — individus, machine — dans sa relation avec les élèves.
- 3 - Etudier l'impact du système sur l'emploi du temps et sur le rythme scolaire.

(iii) POUR L'EXPÉRIMENTATEUR :

- 1 - Tester le système actuel dans le contexte scolaire, en faire une étude critique.
- 2 - Etudier sa relation avec le groupe-classe et l'enseignant.
- 3 - Définir les protocoles expérimentaux pour une classe de CM2.
- 4 - Etudier la nécessité, la possibilité d'introduire un outil informatique à l'école élémentaire.

DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIMENTATION

L'expérimentation a été divisée en cinq phases et s'est déroulée sur quatre périodes.

PHASE 1 : décembre 1979 - 3 1/2 jours d'expérimentation.

La phase 1 est une INITIATION par groupes de 4 à 6 enfants. Les sessions durent de 30 à 45 minutes.

« JE N'AIMERAIS PAS QUE NOUS REFASSIONS DES GROUPES AUSSI GRANDS CAR CHACUN EST DANS L'ATTENTE QUE L'AUTRE AI FINI ».

Cette phase permet d'apprécier le degré d'APPROPRIATION IMMÉDIATE du système matériel, et des concepts de POSITION et de DIRECTION.

Chaque enfant écrit un texte relatant son premier contact avec LOGO, ce qu'il a fait, ce qu'il a pensé ou aimerait faire. La plupart des textes envisagent déjà des projets.

« REVENEZ AVEC LOGO ET JE SERAI CONTENTE ».

PHASE 2 : février/mars 1980 - 2 semaines - PROJETS LIBRES en groupes de 2 à 3 enfants - sessions de 45 minutes à une heure.

La phase 1 a permis de mettre en évidence différents niveaux de compréhension du système LOGO. Avec l'institutrice, nous constituons des « groupes de niveau ».

Chaque enfant reçoit un extrait du manuel LOGO modulaire en fonction de ce qu'il nous semble avoir acquis. Nous avons, à cette occasion, testé le rôle d'un manuel : il s'est révélé INUTILE jusqu'à ce que l'enfant possède une bonne maîtrise de l'outil (phase 5). Les jeunes enfants n'ont pas le degré de maturité suffisant pour chercher ailleurs que dans une communication orale les informations dont ils auraient besoin face à un système perçu comme complexe.

« MON PREMIER TRAVAIL AVEC LA MACHINE A ÉTÉ DE LA COMPRENDRE, DE POUVOIR TRAVAILLER AVEC ELLE ».

L'ordre de passage des groupes est déterminé par leur niveau de compréhension du système. D'abord ceux qui ont le mieux compris afin de favoriser une discussion au sein du groupe-classe et une « insémination » des autres groupes.

Pour les groupes ayant des difficultés, nous nous sommes attachés à obtenir un « produit fini » valorisant, sachant que les enfants changeraient ensuite de partenaires et trouveraient dans leur nouveau groupe (qui ne sera plus un groupe de niveau) un soutien leur permettant, nous l'espérons, d'atteindre le niveau de ce premier produit fini.

La phase 2 se termine par une présentation devant la classe des projets réalisés par chaque groupe pendant laquelle nous mettons bien en évidence la part que nous avons prise à ces projets afin de donner aux enfants une conscience plus réelle de leurs résultats.

PHASE 3 : mai 1980 - 1 semaine - CONTRATS - groupes de 2 à 3 enfants - séances de 25 à 45 minutes.

Le groupe-classe est réuni, pour définir avec nous un ensemble de contrats. Après discussion et proposition de projets mettant en jeu un assemblage de figures géométriques simples (soleil avec ses rayons, enveloppe, bonbon, bonhomme « allumette », ballons...), nous décidons de faire, dans l'ordre, un carré, un rectangle, un triangle, un rond (et non pas un cercle).

Outre notre présence sécurisante, notre rôle sera d'aider les enfants à formuler leurs problèmes, avant de retour-

ner vers le groupe-classe, lorsque le fait de s'exprimer ne les a pas déjà « débloqués ».

PHASE 4 : mai 1980 - 1 semaine - PROJETS LIBRES - groupes de 3 enfants - séances limitées à 30 minutes (film).

A l'initiative des enfants, de nouveaux groupes sont formés selon des affinités personnelles, ou à partir de projets proposés par l'un d'eux.

Chaque groupe soumet oralement son projet à la critique du groupe-classe, obligeant les enfants à un effort de clarification très profitable. Chaque matin, les « situations de blocage » sont exposées au groupe-classe qui les analyse. Le fait de formuler ses problèmes amène souvent le groupe à se « débloquent » seul.

PHASE 5 : juin 1980 - 2 semaines.

La machine, en « libre-service », est considérée comme un « atelier », au même titre que la peinture, le théâtre... Les enfants y ont accès pendant le temps réservé à ces activités. Certains enfants savent initialiser le système. Notre présence est réduite.

CONDITIONS DE TRAVAIL

Nous ne possédons qu'un seul poste de travail. Les groupes passeront donc les uns après les autres. Le groupe-classe sera « désorganisé » un maximum de temps, obligeant l'enseignant à adopter un autre « rythme ».

Pour ne pas trop perturber la classe, nous avons été obligés de fractionner l'expérimentation dans le temps.

Les risques de « pollution informatique » ont été minimisés en choisissant pour mener l'expérimentation une institutrice qui n'a jamais fait de programmation, laissant les enfants progresser à leur propre rythme, indépendamment de la puissance du système qu'un informaticien aurait cherché à exploiter.

POINT DE VUE DE L'INSTITUTRICE

Pendant la phase d'INITIATION, les élèves, d'abord très impressionnés, se familiarisent vite et s'intéressent TOUS. Avant les vacances de Noël, ils écrivent pour demander le retour de LOGO.

Pendant la phase 2, les enfants travaillent par groupes de 2 ou 3 et préparent un projet qu'ils essaient d'assumer par tâtonnement avec l'aide INDISPENSABLE des « expérimentateurs ».

— VIE DE LA CLASSE

De 8 h 30 à 10 h, nous observons ensemble les difficultés des exercices de Mathématiques, Français, etc., que les élèves doivent surmonter dans la journée. Nous vérifions les acquis de la veille.

Un contrat de travail scolaire minimum et obligatoire est établi pour la journée - Manipuler le LOGO est facultatif.

Les groupes se succèdent sur la machine de 10 h à 11 h 30 et de 14 h à 16 h 45. Tous les enfants désirent manipuler, demandent sans cesse d'y retourner, même pendant les récréations, les séances de sport ou de travaux manuels. C'est pour eux un jeu passionnant ; ils en parlent beaucoup entre eux, à la maison...

Pendant les phases 3 et 4, même organisation de la vie scolaire :

ÉTAPE 1 : Bilan et rappel EN COMMUN des différentes difficultés. Décision collective de CONTRATS : Carré, Rectangle, Triangle, Rond. Désormais, les élèves manipulent avec une aide réduite.

Si un groupe est arrêté par une difficulté, il demande l'aide d'un camarade ou de la classe. Ce qui entraîne des discussions, des mises au net pour des problèmes d'angles ou de longueurs profitables à tous.

ÉTAPE 2 : a) Chaque groupe élabore un projet, dont il fait la programmation. Les enfants doivent savoir :

- ce dont ils sont capables,
- s'ils détiennent toutes les données du problème posé.

b) Présentation de chaque projet au groupe-classe.

- Explications sur les programmations prévues.
- Observations, critiques sur quelques manipulations.
- Réflexions et compréhension pour tous.

c) Manipulation sur la machine qui doit donner la réponse.

- Le programme est-il exact ?
- Sinon, nouvelles recherches.

TOUS les projets sont profitables à TOUS par les réflexions qu'ils apportent.

Devant un problème, que l'élève de CM2 ne peut résoudre car il n'a pas les connaissances nécessaires, l'enfant imagine TOUJOURS une issue en MODIFIANT efficacement son projet ; c'est étonnant !

— APPORTS DE L'EXPÉRIENCE

Pour l'enfant :

1. **SOCIALISATION** : Les élèves de CM2 se sont retrouvés ÉGAUX devant la machine. Plus d'ACQUIS, plus de PASSÉ d'où échanges entre eux très nombreux et très riches.

- Des personnalités se sont affirmées peu à peu.
- D'autres enfants étouffés par le système scolaire, intéressés, motivés par la manipulation, se sont épanouis et les résultats scolaires se sont améliorés.
- Dans les groupes très renouvelés, les enfants ont découvert et approché de nouveaux copains, que la vie en classe n'avait pas permis de côtoyer.
- Enfin, ils ont appris à travailler en groupe, à ÉCOUTER, à RESPECTER un camarade, à COLLABORER, à PARTAGER un projet.

2. ACQUISITIONS INTELLECTUELLES

- Familiarisation avec l'informatique.
- Découverte de nouveaux codes.
- Utilisation d'un vocabulaire particulier.
- Manipulation des notions de POSITION, de DIRECTION.
- Notions de géométrie approfondies : angles intérieurs et extérieurs, triangles, etc.
- Notions de grandeurs, de proportions.

Pour le maître :

a) Découverte de l'enfant :

Cette expérience permet l'observation du comportement des enfants dans des situations très différentes de la classe. L'enfant, aidé par la machine, n'est jamais en situation d'échec, et, par des retouches successives, grâce à une certaine stratégie va toujours atteindre le projet initial.

Révélation pour l'observateur (donc le maître) des capacités de chaque enfant, de sa perception de l'espace, de sa façon d'approcher, de décomposer, ou de détourner les difficultés pour essayer de les résoudre. Cette observation est très enrichissante et très surprenante.

b) Travail en groupe :

« Grâce à une collaboration étroite, et de nombreuses discussions je n'ai plus été toute l'année seule devant 28 élèves de ma classe : nous étions trois. Je suis persuadée que mon comportement en classe, que ma réflexion vis-à-vis des 28 individus qui composent ma classe, ont été sans cesse remis en question. J'ai pu être plus ouverte, plus attentive envers mes élèves. Pour conclure, cette expérience s'est déroulée dans un excellent climat et a été très riche pour tous. »

APRÈS L'EXPÉRIMENTATION

Les problèmes d'évaluation et de validation des résultats sont, dans l'approche LOGO, les mêmes que ceux des pédagogies de type FREINET : les outils pour le faire n'existent pas, n'ont aucun rapport avec les outils d'évaluation actuels. La prise de conscience des enfants vis-à-vis d'eux-mêmes et des autres est difficilement mesurable. Les principaux résultats se situent au niveau de déblocages, qui ne peuvent être observés, et dont la description passe par le « filtre » de l'expérimentation et est difficilement interprétable en dehors du vécu des enfants, de la classe, du contexte familial et social. Chaque enfant est un individu en apprentissage dans un univers intellectuel et matériel particulier.

Que faut-il donc conclure d'une telle expérimentation ? Que l'ordinateur est un outil suffisamment « puissant », suffisamment motivant pour que l'enseignant ou les enfants puissent toujours en tirer profit. Le problème reste de savoir dans quel sens. Lorsque le but est clair, il est pratiquement toujours atteint. Ainsi, en CM2, notre but était de favoriser la communication directe, en utilisant un système informatique comme DEWEY utilise la mécanique automobile, FREINET l'imprimerie... Notre moyen : Travail en groupe par alternance de projets libres et de contrats ; A NOUVEAU PROJET, NOUVEAU GROUPE. Ce qui nous a permis de constater la « hiérarchie » du groupe-classe, de mettre en valeur la manière dont les enfants se situaient les uns par rapport aux autres — Cf. « Le rôle de leader » (2) — et dans une certaine mesure, de détruire cette hiérarchie.

Dans toute expérimentation mettant en jeu l'ordinateur, le problème de fond réside dans la question : Qui va, qui peut s'approprier le matériel, le savoir-faire et surtout DANS QUEL BUT ? Dans un but d'auto-structu-

(2) L'ordinateur à l'école, P.U.F. 1981.

ration ou d'hétéro-structuration (3) ? Pour renforcer un pouvoir ou au contraire permettre aux enfants de s'accepter eux-mêmes, comprendre et assumer leurs différences avec les autres ? Autant de questions qui montrent l'importance du choix d'une pédagogie par l'enseignant qui, par son statut social, est source et ressource de savoir et de savoir-faire pour les individus en formation qui lui sont confiés. Comprendre et apprendre demandent des actes de découverte et d'innovation, de la part de l'élève. A PARTIR de ses propres connaissances. Le vécu de l'enfant brouille les pistes que les théoriciens en pédagogie s'efforcent de tracer pour préparer à chaque individu une case bien étiquetée où il sera facile de le placer. Il ne faut cependant pas tomber dans le piège qui consisterait à croire que l'enfant construit LE

SAVOIR, le re-découvre seul ou avec l'aide du maître — Cf. la définition de l'auto-socio-construction du savoir du Groupe Français d'Education nouvelle (4). Le rôle de l'adulte est déterminant.

En conclusion, il ne s'agit pas de considérer l'utilisation d'un système de type LOGO comme une nouvelle pédagogie. C'est, tout au plus, un nouvel outil dont l'utilisation dépend du contexte de la classe dans laquelle un tel système est placé et surtout de l'enseignant qui l'utilise. Le principal apport d'une approche de type LOGO se situe dans le décalage entre les illusions que l'on se fait avant son utilisation et le vécu de l'expérimentation, riche pour le maître et les enfants, qui ne va pas toujours dans le sens des a-priori des participants.

Gérard BOSSUET
Jean FOURNIER
Claude LEGUYNO

(3) Louis NOT, Les pédagogies de la Connaissance, Privat 1980, page 18.

(4) Gaston MIALARET, Les vocabulaires de l'éducation, P.U.F. 1979, page 35.

DES ENFANTS, DES NOMBRES ET UNE TORTUE

I - CADRE DE L'EXPÉRIMENTATION

L'école où nous avons conduit cette expérimentation est située dans un quartier de Paris en cours de rénovation : c'est une bâtisse relativement ancienne, sans aménagement particulier. Toutefois, nous avons pu disposer, pour installer le micro-ordinateur, d'une petite salle, communiquant avec la salle de classe habituelle des élèves : notre « salle informatique » sert aussi de salle de documentation, de serre... ; elle est donc un domaine familier des élèves.

Cette classe de CM2 est d'un niveau scolaire moyen, assez jeune (16 élèves sur 20 sont de l'âge normal, 1 a un an d'avance, 2 un an de retard, et 1 trois ans de retard) ; le niveau socio-culturel des familles est très dispersé, décalé plutôt vers le haut de l'échelle (un tiers des élèves a des parents exerçant des professions telles que ingénieur, médecin, enseignant de l'enseignement supérieur).

Nous retrouvons ces élèves une fois par semaine, le mardi après-midi ; l'effectif — relativement faible — de vingt élèves nous a permis de les répartir en quatre groupes de cinq élèves ; la constitution des groupes avait été effectuée avant le début de l'expérience, en grande partie suivant les affinités des élèves. Très peu de modifications ont été apportées, ultérieurement, à cette répartition.

Chaque élève a été muni d'un cahier particulier, exclusivement réservé aux activités liées à l'ordinateur : préparation durant la semaine (chez soi, ou pendant quelques plages dégagées par la maîtresse à cet effet), notes prises pendant la séance, compte-rendu rappelant les événements essentiels de cette période dans la salle de l'ordinateur. Pour faciliter le repérage, les cahiers des élèves d'un même groupe ont la même couverture, et nous avons ainsi une équipe bleue, une verte, une rouge et une jaune.

Outre quelques objectifs concernant les élèves (centrés soit sur des contenus spécifiques, soit sur des méthodes

générales), nous avons essentiellement en vue l'observation de la vie des groupes, et l'appropriation par les élèves de cet objet nouveau pour eux qu'était l'ordinateur. Aussi nous avons essayé de nous montrer aussi peu directives que possible quant à l'approche que pouvaient proposer les élèves pour cette découverte.

Compte tenu du matériel dont nous disposions, et en particulier de l'existence d'un écran graphique dynamique d'une qualité incomparablement meilleure qu'un moniteur ordinaire, nous avons commencé l'apprentissage par des primitifs graphiques. Mais une fois passée la période de familiarisation, nous avons demandé aux élèves de réaliser des projets pour lesquels nous acceptions toute suggestion.

Il importe de souligner qu'aucun didacticiel, aucun programme d'enseignement au sens informatique de ce terme, n'a été utilisé. Les élèves ont pu explorer librement les domaines qui les intéressaient, notre apport se limitant — outre l'observation :

- à accélérer par moments la découverte du terme adéquat, compréhensible pour la machine, lorsque le concept était clairement mis en place par les élèves (par exemple : fournir le terme correct pour un primitif nouveau, ou : indiquer la forme qui permet à la machine d'identifier un paramètre...), ou
- à leur « parachuter » un primitif susceptible de leur faciliter la résolution d'un problème résistant (mais en leur laissant la tâche de découvrir la signification de ce primitif).

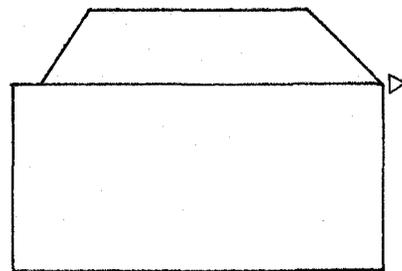
II - LES PREMIERS PAS

Rappelons brièvement que sur l'écran graphique se trouve un triangle lumineux, la « tortue », susceptible de se déplacer en laissant ou non une trace. Les premiers ordres (primitifs) qui permettent de faire se mouvoir cette tortue sont AVANCE (en abrégé AV), RECULE (RE), DROITE (DR), GAUCHE (GA). Ces quatre ordres nécessitent la donnée d'un nombre de pas dont la tortue doit se déplacer, dans les deux premiers cas, nombre

de degrés dont elle doit pivoter, pour les deux derniers ordres. Avec les ordres LEVEPLUME (LP) qui permet de changer de position sans laisser de trace, et DESCENDPLUME (1) (DP) qui provoque à nouveau une trace, les possibilités d'explorations graphiques sont déjà très grandes.

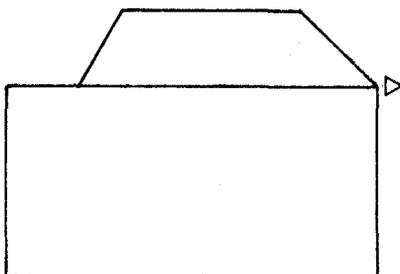
Les premières séances ont été consacrées à une familiarisation des élèves avec ces ordres, et ont permis les premières confrontations avec l'absence de sens de l'adaptation de la machine : si AV10 est compris, AV10 N'EXISTE PAS ; de même AV tout seul attire la réponse : AV A BESOIN DE PLUS D'INPUT(S) (2).

Le projet initial de chaque groupe est le dessin d'une maison : les formes différent, les stratégies aussi. On voit déjà apparaître une méthode par approximations successives pour installer un toit d'une taille appropriée au corps de la maison.



? POUR MAISON

1 DR 45
 2 AV 30 DR 45 AV 80 DR 45 AV 30 DR 45 AV 90
 3 DR 90 AV 140 DR 90 AV 90 DR 90 AV 140
 FIN

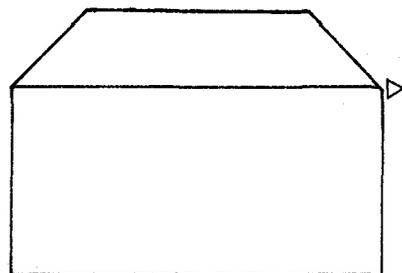


? ED MAISON

EDL 2
 2 AVANCE 30 DROITE 45 AVANCE 90 DROITE
 45 AVANCE 30 DROITE 45 AVANCE 90
 0
 FIN

(1^{re} étape)

(2^e étape)



? ED MAISON

EDL 2
 2 AVANCE 30 DROITE 45 AVANCE 95 DROITE 45
 AVANCE 30 DROITE 45 AVANCE 9
 0
 FIN

(3^e étape)

(1) Sic ! L'orthographe de la machine est assez étonnante !

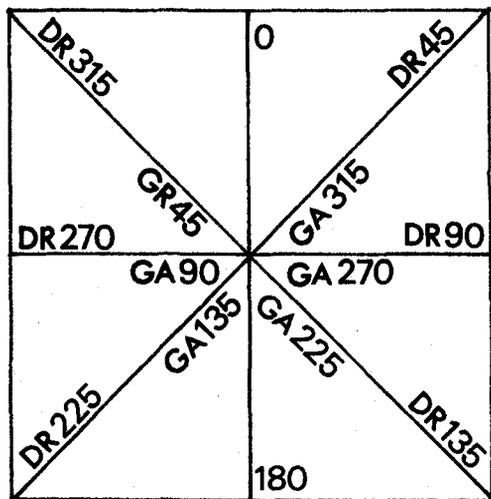
(2) Input est alors aussitôt « traduit » par les élèves par : information, renseignement.

Les ordres de grandeur sont longs à maîtriser, et les premiers calculs font appel à des techniques empiriques, par exemple le comptage des carreaux du cahier : sur les directions des rayures, cela donne de bons résultats : par exemple Christophe donne comme échelle : 100 pour cinq carreaux ; Didier trouve comme conséquence 10 pour un demi-carreau et 60 pour trois carreaux.

Tous les élèves d'un groupe ne progressent bien sûr pas à la même vitesse ; dans le cas précédent, Fanny annonce alors 50 pour deux carreaux et demi, propriété que Christophe avait annoncée tout de suite.

Par contre, aucun élève n'a retenu (3) que sur des directions autres que celles du quadrillage cette technique manque de précision : ils utilisent très rarement la règle graduée — et presque jamais pour mesurer ! Là non plus nous n'intervenons pas, et les laissons effectuer d'eux-mêmes les « réparations » nécessaires.

La notion d'ordre de grandeur a été assez longue à se mettre en place : nous, adultes, sommes souvent étonnés de l'absence de concordance entre les longueurs prévues et les valeurs essayées pour les réaliser. Mais une fréquentation répétée de ces translations et de ces



(3) Nous avions eu en début d'année un dessin avec une « diagonale » calculée ($\sqrt{2} = 1,4$), faite à la maison... et par un père d'élève, avons nous su dès la première demande d'explication !

rotations a permis une maturation certaine, et des argumentations telles que « Mais non ! tu ne peux pas mettre DR 70, c'est un angle obtus ; il faut plus que 90 ! ».

Les instruments habituels, règle, équerre et rapporteur semblent avoir paru inadéquats aux élèves. L'un d'eux a conçu une « équerre à tortue » en papier, qui permet un repérage beaucoup plus rapide des valeurs de rotation : d'abord gradué sur la droite et sur la gauche de 0 à 180, l'outil a été amélioré avec une double graduation complète.

A - La découverte des nombres relatifs

Au bout de quelques mois où tous les projets concernaient du graphique, certains groupes ont comme pris du recul par rapport au clavier, qu'ils commençaient à manipuler avec une dextérité bien plus grande, et se sont mis à « voir » ce clavier, ses touches, et à vouloir explorer les touches qu'ils n'avaient pas encore eu l'occasion d'utiliser.

Les premières expériences ont eu pour but d'explorer les opérations et les nombres : ils ont ainsi testé l'aptitude de la machine à calculer des sommes et des différences, sur des entiers d'abord, puis sur des nombres décimaux (la diffusion de plus en plus large des calculatrices amène très vite les enfants à essayer le point décimal, à la place de la virgule, certains se demandant même dès la première tentative si cette machine comprend les virgules ou s'il faut écrire les nombres avec un point).

L'un des élèves, dans son compte rendu, appelait ces nombres des « nombres bizarres » (sic).

A l'occasion d'une question sur ce qu'il voulait dire par là, il expliqua : « ce sont des nombres à point, enfin, à virgule, c'est-à-dire des décimaux ».

Si l'addition n'apporte pas de nouveauté, la soustraction réserve des surprises : les premières tentatives sont prudentes 13-7, ou 25-18, puis on tape à tour de rôle, ou on adopte la première suggestion venue, ce qui amène des calculs du type 3-15 : là les réactions anticipatrices sont variées, allant du « on ne peut pas » ou « on n'a pas le droit », au calcul simplificateur effectué dans le « bon » sens — c'est-à-dire où l'on retranche le plus petit nombre du plus grand, sans s'occuper de l'ordre dans lequel ont été fournis les termes de cette différence —, en passant par la poussée de la curiosité : « essaie, on va voir ce qu'elle va faire ! ». La lecture de la réponse est parfois faite en omettant le signe, ce qui provoque un moment de rengorgement de celui qui avait annoncé le résultat en valeur absolue (et s'était fait rabrouer par

les copains), mais il est bien rare qu'il n'y ait pas au moins un élève qui remarque ce signe, en particulier à la relecture.

Vient alors la période de contrôle du fonctionnement de cette « nouvelle opération », sur des exemples du même modèle $A - B$ avec $A < B$. Les élèves prévoient le résultat avant de le demander à la machine ; plusieurs essais s'étant révélés concluants, ils admettent explicitement le mode de calcul suivant : on effectue $B - A$ et on met le signe $-$. Certains proposent des illustrations sur la vie courante (perte d'argent, montée des températures...).

Quelques uns ont essayé des soustractions successives $A - B - C$, mais à ce stade le signe $-$ du résultat semble plus une convention pour indiquer dans quel sens a été effectuée l'opération (distinguer $3 - 7$ de $7 - 3$), et non la marque d'un nombre d'une nouvelle espèce : le recul est encore insuffisant pour concevoir -4 comme un nombre, un objet à soi tout seul, et il est nettement trop tôt pour voir apparaître des calculs du type $-3 + 7$, ou $-3 + (-4)$, et a fortiori $-3 - (-7)$.

IV - LIAISON GRAPHIQUE ET NUMÉRIQUE

Après avoir découvert les opérations sur les nombres, un groupe a voulu essayer de combiner cela avec les ordres graphiques : ils ont donc tapé tout d'abord $AV\ 13 + 20$, et d'autres exemples du même modèle, en vérifiant ensuite par un RECULE approprié (ici $RE\ 33$) que cela revenait au même que la succession de deux AVANCE partiels — avec en plus l'avantage qu'il n'y a pas de point de raccordement (4). La deuxième étape a consisté en des tentatives similaires à l'aide d'une soustraction « normale » (dont le premier terme est supérieur au second), et à confirmer que le RECULE qui ramène la tortue à l'origine doit porter sur la différence effectuée.

Le développement suivant amenait à utiliser la « nouvelle » soustraction, et les élèves ont été sidérés de voir la tortue... reculer : il leur a fallu la confirmation de plusieurs tentatives, entrecoupées de retour aux situations déjà connues, pour se convaincre qu'il s'agissait bien là du comportement normal de la tortue.

A ce moment, un pas nouveau est franchi en essayant directement $AV - 30$, et en vérifiant que cet ordre est équivalent à $RE\ 30$. C'est alors qu'intervient une propo-

(4) Le trait obtenu par $AV\ 13\ AV\ 20$ met en évidence la jointure qui est un point un peu plus lumineux, qui paraît donc plus gros.

sition — pour nous inattendue — de taper $AV + 30$; les élèves se sont montrés très divisés sur le résultat à prévoir : allait-elle avancer de 30 pas ou de 60 ? C'est ainsi que s'est mis en place spontanément l'isomorphisme entre Z^+ et N .

Arrivés à ce stade, une idée a fusé : « Mais alors, $DR - 30$ ça va faire la même chose que $GA\ 30$! ». Vérification pour confirmer cette intuition, et complément pour l'identification de $DR + 30$ et $DR\ 30$.

$+ \acute{e} = AV - = RE$
 $AV - 10$ nous fait reculé de 10
 $AV - 10$ peu renplacé par 10
 $RE + 10 = AV\ 10$
 $AV + 10$ nous fait avenser de 10
 $AV + 10$ peu être remplacer par $AV\ 10$
 $RE - 10$ nous fait avancer
 $RE - 10$ peu être remplacer par $AV\ 10$
 $GA + 20$ nous a fait tourné de 20 sur la $GA = (GA\ 20)$
 $GA - 20$ nous fait revenir au poin de départ
 $GA - 20$ nous fait revenir vert la droit de 20

Tous ces résultats ont été récapitulés par le groupe dans le tableau suivant :

	peut être remplacé par
$RE + 10$	$RE\ 10$
$GA - 10$	$GA\ 10$
$DR + 10$	$DR\ 10$

	peut être remplacé par
$AV - 10$	$RE\ 10$
$AV + 10$	$AV\ 10$
$RE - 10$	$AV\ 10$
$GA + 10$	$GA - 10$
$GA - 20$	$DR\ 20$

Une autre utilisation du numérique dans le graphique a été trouvée lors de l'approche du tracé du cercle. L'idée de dessiner un « rond » a été proposée très tôt dans chacun des groupes. Le seul moyen à leur disposition, alors, était de taper ROND ou bien CERCLE dans l'espoir que la tortue obtempérerait et dessinerait effectivement un rond ou un cercle. Refus catégorique :

ROND N'EXISTE PAS

CERCLE N'EXISTE PAS

Devant un tel manque de coopération de la part de la tortue, les élèves durent repousser leur ambition à une date ultérieure.

Ces projets ont réapparu en cours d'année, à un moment où les élèves étaient mieux armés pour y faire face. Les premières approximations ont été des hexagones ou plus fréquemment des octogones. La maturation insensible et implicite de la notion d'approximation polygonale d'un cercle a amené les élèves à l'idée qu'il fallait avancer un petit peu, et tourner un petit peu, et à nouveau avancer un petit peu et tourner un petit peu, et ainsi de suite.

De là ont pris naissance deux recherches : l'une qui a conduit à la notion de paramétrage, l'autre aboutissant à déterminer une méthode pour arriver à fermer le rond. Le paramétrage s'est imposé pour répondre à un désir des élèves : lorsqu'ils tapaient à la suite un grand nombre de AV 5 DR 10, ou de AV 15 DR 5, ils n'arrivaient pas à prévoir la taille du rond finalement tracé. Or c'est très long, quand on n'a pas à sa disposition ni une procédure RÉPÈTE, ni un primitif de boucle, ni la récursivité (5), de taper AV 5 DR 10 un grand nombre de fois. Et si, à l'exécution, on constate que le rond obtenu a une taille absolument incompatible avec le projet en cours, la déception est très forte. Aussi le souhait a-t-il été exprimé clairement que « ça serait bien si on pouvait décider après la taille du rond ». Selon les groupes, le paramétrage a porté uniquement sur l'input de AVANCE, ou celui de DROITE (ou GAUCHE) ou sur les deux. Dans le cas d'un paramétrage portant sur la rotation, la procédure, suivant les valeurs attribuées au paramètre, produit un arc qui peut ou non se refermer. Ce problème a fait l'objet d'une deuxième étude, tant par un groupe

ayant utilisé la notion de paramètre que par un groupe qui n'avait pas eu cette idée. L'observation du CAP de la tortue (repéré en degrés par rapport à sa position initiale) après chaque étape AV... DR... a guidé les élèves vers ce résultat fondamental :

EN TOUT ELLE AURA TOURNÉ DE 360 (6)

Une séance de réflexion, au dialogue très animé entre les élèves, a abouti à formuler que si l'on veut savoir combien de fois il faut taper AV... DR n, il n'y a qu'à diviser 360 par n. A la séance suivante, une semaine plus tard, seule la « recette » de la division était restée présente dans les mémoires, ce qui conduisit à cette discussion :

— Pour avoir un rond à 10 côtés (7) je divise 360 par 10... je trouve 36... 36... Donc DR 36... Alors AV 10 DR 36, et je le tape dix fois.

— Pourquoi AV 10 (question d'un autre élève).

— Parce que 360 divisé par 10.

— Mais non, c'est pas parce qu'il a dix côtés, on peut le faire de la taille qu'on veut : AV 5 DR 36 ou AV 15 DR 36 (d'un ton sans réplique).

— (Pas convaincu) Tu crois ? (Reste très inquiet jusqu'à la réalisation à l'écran graphique) Ouf ! ça se ferme ! L'honneur est sauf !

Catherine BERDONNEAU
Rose-Marie DUMAS

(5) Aucune de ces trois idées n'ayant été formulées par les élèves, nous n'avons pas voulu leur proposer de nous-même.

(6) Ce résultat est souvent désigné sous le nom de Théorème du trajet total de la tortue, en abrégé TTTT.

(7) Sic ! La formulation « rond à n côtés » est d'ailleurs restée !

L'ART ET L'ORDINATEUR

Une démarche pour tous ?

Lors de la création en 1975 d'un I.R.E.M. (Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques) à l'Université de Dijon, j'avais déjà rencontré dans des équipes de professeurs de mathématiques un questionnaire sur l'utilisation pédagogique d'une table traçante, et quelques collègues de Dijon, Christian Lalitte en particulier, voulaient s'intégrer au groupe inter-I.R.E.M. qui se créait sur ce sujet.

Nous avons donc ensemble, et très vite avec le renfort de Robert Racca, assistant à l'Université, entrepris un échange d'informations, et l'achat d'une table traçante couplée à un micro-ordinateur, qui dans cette génération ne « parle » pas Basic, mais un langage proche de l'assembleur, en fait celui des calculatrices programmables utilisées elles aussi par les professeurs de l'I.R.E.M., et achetées en même temps.

Dans nos premières rencontres nous avons constaté que nous pouvions faire montrer un objet mathématique sous des angles insolites, voire esthétiques. Les essais sur les « jolygones » et les courbes fermées d'André DELEDICQ nous avaient mis « l'eau à la bouche » !

Nous nous sommes donc très vite posé la question de savoir si nous saurions créer et mettre à disposition des enseignants et des enfants des algorithmes et des logiciels de « dessin ». La petite taille du calculateur, l'aspect mathématique de la recherche menée à l'I.R.E.M., nos propres goûts, nous ont poussé dans cette voie, en éliminant a priori l'approche par mémorisation d'image ; pourtant, on le verra, celle-ci s'est réintroduite par la suite.

La « production » des logiciels, qui sont rapidement décrits ci-dessous, s'est étalée sur trois années, et continue à l'heure actuelle. Ces logiciels ont été primés au Concours Micro 1979, et nous ont permis de produire une bande vidéo primée au Concours Création Artistique et informatique 1980. Un de nos dessins a reçu le 3^e prix de la Convention informatique en 1979. Des dessins ont été reproduits et diffusés grâce au soutien du constructeur de notre matériel.

D'un point de vue pédagogique nous avons là un outil « à double tranchant » :

- l'un mathématique et algorithmique par l'approche différenciée et enrichie des objets que permet l'abord d'une notion géométrique à l'aide de l'outil table traçante,
- l'autre ludique et artistique par la possibilité de création à l'aide d'un outil interactif de conception de dessin.

On utilise souvent en art graphique, pour l'analyse d'un dessin, d'une part la distinction entre abstrait et figuratif, d'autre part les trois notions de base que sont la couleur, la valeur et la composition.

Pour nous, la couleur reste un procédé artisanal et manuel qui permet souvent une approche plus facile de notre machine aux non-initiés. Pour la valeur, nous ne pouvons jouer que sur le nombre de traits que nous faisons effectuer au crayon dans une unité de longueur ou de surface fixe, et nous avons là déjà l'approche d'une activité de mesure. Pour la composition enfin, nos programmes vont d'une réalisation totalement contrôlée par l'utilisateur (composition « humaine ») à une réalisation entièrement laissée « au hasard » (composition « par la machine »).

DESSIN « FIGURATIF »

Le problème posé est de décrire le graphisme que l'on veut faire réaliser par la calculatrice dans un langage mathématique.

La solution la plus simple est universellement utilisée ; elle correspond à la notion d'ensemble fini de points décrits par exemple par leurs coordonnées cartésiennes dans une échelle donnée. Le dessin est ainsi approché par une ligne brisée qui joint ces points.

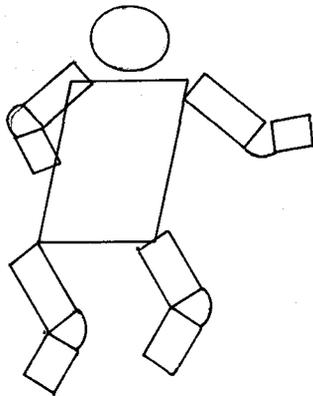
On peut tenter une approche plus globale en recherchant un modèle adéquat pour différents éléments du dessin à réaliser. Ces modèles seront mis dans la mémoire du calculateur sous forme de sous programmes. Chaque

module pourra dépendre de paramètres numériques qui permettront certaines transformations de ces modules, et l'on pourra aussi jouer sur leurs positions respectives.

Un bonhomme sera ainsi réalisé avec trois sous-programmes :

- un parallélogramme donnera le corps, les membres ;
- un secteur circulaire donnera les articulations ;
- une ellipse donnera la tête.

On peut enrichir un tel modèle très faiblement, en ajoutant des sous-programmes.



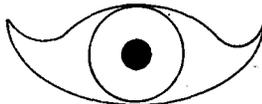
COMMENT TROUVER UN TEL MODÈLE ?

Nous parlerons ici de l'exemple de l'œil humain que vous pouvez voir dans certains de nos dessins.

a) Rechercher les éléments caractéristiques.

Pour dessiner un œil, retenons :

- le sourcil,
- le bord inférieur,
- l'iris,
- la pupille.



b) Modèles et test de leur validité.

- La pupille est vite réalisée comme un disque plein, en utilisant les fonctions trigonométriques par exemple.
- Le bord inférieur et le sourcil sont des lignes courbes. Une première tentative faite pour les réaliser par des arcs de sinussoïde s'est révélée frustrante, ce que nous aurions pu prévoir en affinant le modèle : les courbes recherchées doivent avoir une concavité constante, ce

qui restreint l'arc de sinussoïde utilisable à un intervalle entre deux points d'inflexion et ne permet plus beaucoup de déformations par les paramètres d'amplitude et de période.

Le second essai avec des paraboles s'est révélé être le bon, en jouant sur la position de leur sommet et sur leur aplatissement.

- L'iris se présente comme une couronne de couleur dont nous voulions faire ressortir le caractère non uniforme par une répartition aléatoire de zones claires et sombres.

Nous avons réalisé cela par un modèle de rayons successifs tracés dans cette couronne.

Un choix aléatoire des rayons à tracer amène à des temps de tracé très longs (pour chaque rayon : tirage de la position, tracé, puis déplacement, éventuellement long jusqu'à la position suivante) et nous avons préféré tracer de proche en proche et le problème posé est : déterminer une série de points successifs sur la circonférence d'un cercle sans donner l'impression de points bien ordonnés.

Ceci est réalisé actuellement par une progression géométrique de l'angle polaire du rayon, portant sur trois tours, calculée pour laisser des zones de valeur différentes et créer des interférences.

c) Paramètres à fixer, paramètres à laisser libres.

Outre les paramètres des paraboles, de la série géométrique, et la taille relative de l'iris par rapport à la pupille, qui sont internes à chacun des trois modèles des éléments choisis, il faut étudier ceux qui décrivent leurs positions respectives, leurs tailles respectives, la position et la taille du dessin final dans la feuille, etc.

DESSIN ABSTRAIT

C'est ici beaucoup plus que l'activité artistique enrichit le plus clairement l'enseignement et la compréhension des mathématiques.

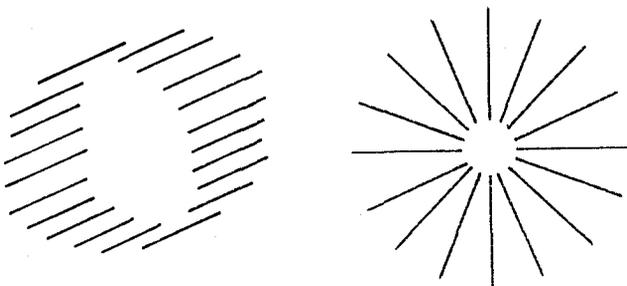
Le problème est ici « Comment regarder un objet mathématique pour en faire un dessin ou un élément de dessin ? ».

- Le premier élément sur une telle route a sans doute été donné par A. DELÉDICQ de l'I.R.E.M. de Paris lorsqu'il remarquait qu'une « courbe », lorsqu'on la trace, est en fait décrite comme un ensemble de points muni d'un ordre, et que le même ensemble de points avec des ordres

différents donne des résultats étonnants. (Nous avons réalisé un film sur ce sujet qui est disponible à l'I.R.E.M. de Dijon, dans lequel on voit les changements graduels d'une courbe lorsque l'ordre change.) Lorsque la courbe est fermée et définie par un paramètre angulaire, mesuré en degrés par des nombres entiers (ensemble de 360 points) les ordres différents de tracés sont définis entièrement par un entier si celui-ci est un nombre premier avec 360.

Cette façon de « regarder » la courbe et de l'utiliser pour le dessin n'est pas la seule. Nous pouvons essayer le « tube » qui consiste à tracer non plus un point, mais un segment ($Ax Ay$) dont l'extrémité est un point de l'ensemble. Et nous pouvons faire « tourner » ce segment sur lui-même pendant le tracé.

Par exemple :



Cercle en « tube » défini par 16 points. Le même en faisant tourner le segment d'un tour par tour sur le cercle.

Nous pouvons également tracer le segment qui joint deux points successifs en le prolongeant jusqu'aux bords de la feuille (« à l'infini »!).

Ce moyen permet d'observer des moirages intéressants, ressemblant souvent à un coucher de soleil.

Nous pouvons tracer l'ensemble ordonné plusieurs fois dans des échelles variables, ce que nous appelons « per-

spective ». En utilisant le compteur du nombre de tracés à faire, et en annulant les valeurs de variation d'échelle, ce procédé revient facilement à tracer une famille de courbes paramètres.

Une dernière façon de voir cette famille de courbes est de considérer, alors que l'on trace les points dans une échelle donnée, la position qu'ils auront dans la future échelle : quelles sont les coordonnées dans l'échelle actuelle du point qui aura les mêmes coordonnées dans l'échelle suivante ? Ce procédé, qui nous amène à parler de « grille » donne de très jolis résultats avec des courbes du troisième degré.

• Notre collègue, Christian Lalitte, nous a offert un bel exemple d'objet mathématique utilisable en art graphique.

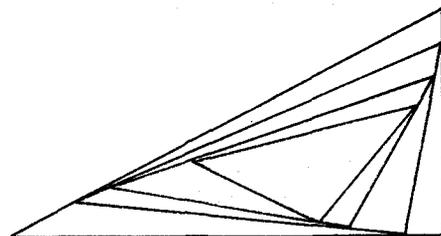
Nous connaissons tous les dessins de surface dans l'espace ou projetés sur un plan, tels ceux de Vasarely. L'important dans un tel objet, pour l'enseigner, est de mettre en évidence ses invariants : un point, un cercle, un rectangle... Une transformation qui a un rectangle invariant est une chose rare, mais fort intéressante pour notre table traçante. Christian en a trouvé une famille dans son concours de recrutement comme professeur. Et si nous regardons ces transformations comme opérant sur un quadrillage, nous pouvons obtenir des résultats étonnants.

• Une façon de faire fonctionner les fonctions trigonométriques, et d'étudier leurs pulsations et leurs déphasages, est de les utiliser comme vitesse de progression de deux points sur les bords de la feuille, que l'on joint. Deux séries de segments ainsi tracés donneront des moirés dans toute la feuille.

• Nous pourrions citer encore de nombreux objets que nous utilisons, enrichis par l'idée d'en faire des objets graphiques, dans nos programmes. Je me contenterai de parler de la métamorphose d'un polygone qui se produit lorsqu'on lui applique le procédé suivant, illustré ici sur un triangle :

A partir du premier polygone P on en calcule un dit rP , $0 < r < 1$ en divisant chaque côté dans le rapport r , et l'on recommence à partir de rP .

Ce procédé a été imaginé, au cours d'un travail réalisé à l'I.R.E.M. de Paris Nord par Pierette SÉRANO, par une classe d'élèves de terminale.



L'ASPECT ART GRAPHIQUE

L'abord de l'outil utilisé étant d'une part facilité par l'attraction du dessin, mais d'autre part mythifié par son intervention dans le domaine de la « création », nous n'avons guère mené d'expérience lourde en milieu scolaire « pur » : l'une avec les élèves de l'Ecole Normale de Dijon, deux autres dans des terminales de Dijon et Nevers, une enfin en classe de TS à Mâcon, l'aspect dessin suivant toujours dans ces cas-là l'aspect mathématique.

Nous avons par contre fait de nombreuses actions dans les maisons de la culture, les musées, les centres culturels, où nous rencontrons les enfants de tous âges qui venaient voir nos « expositions créations », en liaison avec les C.D.D.P. et C.D.I. Nous avons reçu 2 000 enfants à Mâcon en 1976 et 1978, 1 000 au Creusot en 1978, 6 à 700 à Albi en février 1978, 1 000 à Bamalo en avril 1979 par exemple.

D'autres rencontres ont eu lieu à l'Université ou parallèlement aux expositions avec des instituteurs, des professeurs de dessin.

De ces rencontres et de ce travail nous avons retiré trois grands enseignements, que nous avons d'ailleurs pu recouper avec les conclusions proposées par d'autres équipes sur le graphique, sur l'utilisation pédagogique de l'ordinateur et sur la conception assistée.

La présence de la machine a une grande influence sur le rapport élève-maître, et dans ce domaine-là nous avons rencontré la situation décrite dans l'approche « LOGO » de « l'apprenant » et du « facilitateur ». Cette rencontre nous a amené : d'une part à simplifier par nos programmes l'approche de l'espace plan par coordonnées cartésiennes imposé par la table traçante ; d'autre part (pour les plus « novices » et les plus jeunes) à simuler une tortue LOGO sur notre micro-ordinateur (c'est très simple si l'on se contente de simuler la tortue), de la présenter dans nos expositions, d'abord par un film, plus tard avec le système LOGO de l'Université de Dijon.

L'approche algorithmique d'une activité de dessin permet d'illustrer précisément l'importance du visuel dans la découverte d'une nouvelle notion et d'un objet comme l'ordinateur : les phénomènes de « ras-le-bol » ou d'abandon du type « je ne saurai jamais faire » sont re-

poussés dans le temps, et souvent très atténués par la motivation « repartir avec son dessin ».

Les algorithmes proposés dans nos logiciels ont tous une ouverture « infinie » : il s'agit de procédés de dessin dont les possibilités laissent à l'utilisateur la libre « composition » de leur résultat, le feed back, la superposition, le mélange avec une construction qui se déroule sous les yeux du groupe.

En ce sens nous rejoignons la conception d'outil graphique à la disposition du créateur, préconisée par les concepteurs de systèmes comme J.-F. COLONNA (LACTAMME, Ecole Polytechnique), même si ce créateur est un Monsieur JOURDAIN de l'informatique ; nous avons conforté notre idée qu'une approche du problème de l'informatique à l'école suivant la démarche appelée par S. PAPERT « L'ordinateur comme crayon » ; c'est-à-dire aussi banalisé et aussi facile d'accès qu'un crayon d'une part, mais aussi riche d'activité d'éveil de l'enfant d'autre part, qu'un crayon.

Notre démarche permet une activité ludique et créative qui peut aider l'enseignement parce qu'elle replace les mathématiques dans un contexte opérationnel, qu'elle permet d'aborder des problèmes lorsqu'ils se posent à l'utilisateur, qui est alors très motivé pour les résoudre, sans pourtant fixer de limites aux connaissances, ni en étendue, ni en profondeur.

Il existe de nombreuses autres manières de rendre l'informatique vivante et active, l'avantage et l'originalité de celle-ci est de ne pas opposer créativité et logique.

Nous pouvons affirmer que lors de l'utilisation de systèmes informatiques à possibilités graphiques étendues, comme LOGO par exemple, l'intérêt des utilisateurs pour les réalisations graphiques à toujours été prépondérant et constitue un moyen efficace pour les pousser à un approfondissement de leurs connaissances mathématiques ; c'est donc un bon moyen pour « apprendre à apprendre ».

Un dernier mot pour signaler que les illustrations manquent dans cet exposé, mais qu'on peut se procurer des copies de dessins réalisés par notre groupe à l'A.D.A.O., 97, boulevard Mansard, 21100 DIJON - FRANCE.

Paul DELANNOY

RAPPORT DE SYNTHÈSE

EXPÉRIENCE LOGO DU LUDE - AVRIL 1981

En premier lieu, il est nécessaire de signaler que l'ordinateur LOGO a été mis à la disposition du Collège du LUDE pendant seulement 8 semaines, ce qui a permis à chaque enfant en moyenne 6 passages de 15 minutes au clavier par groupe de 3.

Cette mise au point étant faite, nous allons tenter en quelques pages de résumer :

- 1) notre préparation de l'expérience et nos attentes ;
- 2) l'expérience en situation ;
- 3) les moyens mis au point pour analyser les travaux d'élève ainsi que l'impact psychologique lié à l'introduction d'un outil informatique dans une classe.

Remarque : Le C.E.S. du LUDE est un C.E.S. ~~600~~ situé en milieu rural. La proportion d'enfants d'agriculteurs dans la classe de C.P.P.N. est de 50 % et dans les autres classes (30 à 40 %).

Adresse : Collège des 4 Vents, 72800 LE LUDE.
Professeur responsable : M. A. BOIS.

1. PRÉPARATION DE L'EXPÉRIENCE

Dès le début de l'année, nous avons prévu le passage de LOGO au LUDE à partir du mois de décembre. Cette période avait été choisie selon 2 critères :

- 1) Nous avons besoin de préparer des programmes en dehors du contact des élèves et le groupe EN devait terminer l'analyse de ses résultats de l'année précédente.
- 2) Nous avons prévu dans les 2 classes de 6^e concernées par l'expérience, la progression suivante :
 - révision de calcul ;
 - mesures de longueur : bases ;
 - dessin géométrique - géoplan → LOGO (aucune approche de la mesure des angles).

En ce qui concerne l'utilisation de LOGO, nous avons travaillé dans les domaines suivants :

- 1) Compréhension du programme élaboré par M. AIGLE sur la saisie automatique des travaux d'élève.
- 2) Programme de démonstration sur les possibilités de l'ordinateur.
- 3) Programme d'initiation à la compréhension de la mesure des angles en degrés.
- 4) Programme de test du labyrinthe.
- 5) Progression du travail sur LOGO.

Dans le rapport détaillé de l'expérience, nous indiquerons les difficultés rencontrées pour réaliser tout ce que nous avons prévu.

2. L'EXPÉRIENCE EN SITUATION

21. Les classes concernées :

Nous avons implanté l'ordinateur dans 4 classes. (La description précise de l'attitude de ces élèves fera l'objet d'un rapport détaillé ultérieur) :

- 2 classes de sixième indifférenciée (2 × 27 élèves).
- 1 classe de cinquième d'élèves ayant déjà utilisés pour la plupart LOGO.
- 1 classe de C.P.P.N. d'élèves en difficulté scolaire.

Nous avons utilisé LOGO en dehors de la R.C.P. dans les classes de professeurs volontaires (en mathématiques mais aussi en E.A.O. en Anglais) ainsi que dans un CM2.

22. Planning d'utilisation :

Dans les classes de 6^e et 5^e, les élèves travaillaient une heure par semaine pendant une heure de soutien ou une heure d'étude, par groupes de 9 séparés en sous-groupes de 3 au maximum (certains élèves surtout en 5^e désiraient travailler seul). Chaque groupe, chaque semaine ne passait que 10 à 15 minutes au clavier. J'essayais d'inter-

venir le moins possible. Il est à noter que les élèves en difficulté ressentait la nécessité de se presser pour laisser la place aux autres. (Nous allons essayer d'analyser leur ressenti par l'intermédiaire d'un questionnaire préparé avec l'aide des psychologues du centre d'information et d'orientation de LA FLECHE.)

En ce qui concerne la classe de C.P.P.N., nous avons pu travailler par classe entière (16 élèves) pendant 2 heures chaque semaine et il semble que cette disposition soit plus favorable à condition de baisser l'effectif à 10.

23. L'utilisation de LOGO :

231. Avec les élèves n'ayant jamais utilisé LOGO (6^e)

a) En premier lieu, nous avons présenté les éléments constituant LOGO : le clavier, les écrans, le lecteur de disquettes, puis, nous avons présenté des réalisations en LOGO, d'élèves de l'année précédente sans insister.

b) à la 2^e séance nous avons laissé chaque groupe d'enfants devant le clavier et nous leur avons demandé de faire déplacer la tortue écran.

Ils ont écrit bouge, change, avance...

Le primitif AVANCE suivi d'un nombre a été trouvé ; nous avons fourni RECULE et les abréviations.

Puis nous avons mis en marche notre programme d'initiation à la rotation de la tortue. Nous voulions voir si les enfants pouvaient par une rotation animée comprendre la notion de mesure d'angle. Mais nous pouvons dire que ce fut un échec et la notion d'angle et de mesure a dû être abordée d'une autre façon.

Ensuite, les enfants ont essayé de « faire partir » la tortue de l'écran avec « va-t'en ! pars !.. ; par la revoir : reviens, réapparais...

c) à partir des primitifs connus lors de la 2^e séance, nous avons demandé à chaque enfant de fournir pour la prochaine fois une « suite de primitifs » permettant de réaliser sur l'écran un dessin qu'ils avaient produit sur un cahier. Les enfants ressentaient 2 difficultés :

— correspondance longueur en mm - longueur en lignes d'écran ;

— droite - gauche et valeur de l'angle.

Malgré cela les projets étaient pour la plupart très ambitieux.

La plupart des élèves ont pendant la durée du stage gardé cette idée de pilotage de la tortue.

Quelques élèves intéressés par des dessins présentant une certaine structure (symétrie - assemblage) ont pu utiliser la notion de procédures (cercle - polygone régulier — dessin composé). Nous leur avons fourni les primitifs « POUR » FIN et le numérotage des lignes.

232. Avec des élèves ayant déjà utilisé LOGO

(5^e pendant environ 20 séances).

Il existe encore beaucoup d'élèves qui utilisent l'ordinateur pour piloter la tortue. Nous avons noté parmi les réalisations utilisant la notion du SS programme les projets originaux suivants :

— bougie avec flamme clignotante, cette dernière étant représentée par la tortue ;

— montre et ses 2 aiguilles tournant à des vitesses proportionnelles aux vitesses réelles ;

— carrés emboîtés ;

— cercles et rayons ;

— carré - losanges et triangles assemblés ;

— sur le modèle de programmes élaborés en classe sur TI 57 - transcription de ces programmes en LOGO (interrogation sur les P.G.C.D. - P.P.C.M.) utilisation de l'imprimante (cette idée est venue après l'utilisation de LOGO en E.A.O.).

233. Avec des élèves en difficulté (C.P.P.N.)

Nous avons laissé les enfants libres de leur projet et nous avons eu une demande :

— dessin d'un terrain de foot avec les joueurs (goal - mur - tireur - balle).

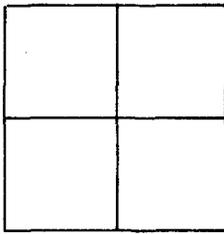
Mon intervention a été de fournir ex-abrupto le programme du cercle. Puis me ravisant, nous avons en classe étudié les programmes de constructions du carré, de l'hexagone...

Les enfants ensuite ont à partir de ce programme « cercle » construit seul le programme homme puis mur puis goal (homme penché) et là je crois qu'il y a une idée à creuser dans les années prochaines.

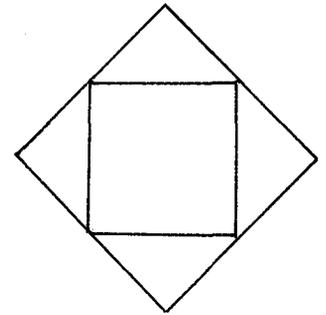
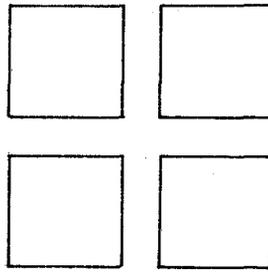
Construction d'une figure complexe à partir de structures * simples données par le professeur ou élaborées avec les enfants.

(*) Le mot structure est pris dans son acception architecturale.

Exemple :



ou



Les autres groupes d'enfants ont agi dans 3 directions différentes :

— construction de figures complexes à partir de figures simples : carrés emboîtés dans un cercle (j'ai élaboré avec eux le programme cercle) ;

— construction de sigles des groupes de ROCK (A.C.D.C. - TRUST...). Là les enfants ont constitués des sous-groupes (construction du A du C du D du C) puis assemblage des lettres avec des « Lève-Plume ». Le groupe des filles a eu deux projets « torsade et maison » en liaison avec l'E.M.T. mais n'ont plus voulu s'intégrer aux groupes-garçons.

Tous les enfants sont passés au clavier et au test du labyrinthe, ils s'en faisaient une grande joie parce que le test était chronométré pour ceux qui le voulaient.

Un élève n'a pas pu faire déplacer la tortue, il n'avait aucune idée sur gauche et droite et je me suis aperçu qu'il ne connaissait pas plus devant, derrière, dessus, dessous et avant, après.

— LOGO ou pédagogie différenciée —

Cet enfant a fait depuis des progrès dans la communication avec autrui. Une remarque affective d'un enfant.

« Monsieur, si LOGO revient l'an prochain, je partirai de l'école après 16 ans, j'attendrai 1 ou 2 mois. »

LOGO a permis aussi de découvrir qu'un enfant faisait en dehors de la classe des dessins très élaborés de roses et d'étoiles.

3. LES MOYENS DE L'ANALYSE

En ce moment, à raison de 4 heures par semaine (l'ordinateur n'est disponible que le mercredi après-midi), nous

analysons les travaux des élèves saisis directement par le programme de M. AIGLE (Professeur E.N.I. - LE MANS). Nous l'avons modifié pour permettre la saisie des « bugs-systèmes » pour chaque enfant et nous avons ajouté l'analyse des « bugs-élèves » liés aux connaissances des enfants.

(Ex : confusion entre mesure d'angle et de longueur. Un enfant tape GA 90 AV 90.) Cette analyse va se continuer au cours des mois de mai et juin (nous aurons alors accès à l'ordinateur plus souvent).

Déjà, elle nous a permis de modifier notre analyse « insitu » qui était altérée par un caractère affectif (énervement - connaissance de l'enfant en classe...) Ainsi, un élève qui m'avait semblé très lent au clavier avait quand même dès la 1^{re} séance intégré des notions complexes (GA 270 - enlève 1. correction rapide du pilotage...)

Nous allons rechercher les fréquences des « bugs-système » et des « bugs-mathématiques ».

A partir de ces résultats nous pourrions cerner les notions mal acquises par l'enfant à son arrivée en 6^e et nous pourrions rechercher les moyens d'éviter ces écueils. Il est très visible que la notion de proportionnalité est très liée à l'utilisation de LOGO.

Une deuxième étude est en cours avec l'aide du C.I.O. de LA FLÈCHE ; un questionnaire va être fourni aux enfants afin de cerner les notions suivantes :

LOGO - angoisse/plaisir.

LOGO - travail en groupe - travail solitaire.

LOGO ↔ mathématique ou pas ?

LOGO - pouvoir $\begin{cases} \nearrow \text{professeur} \\ \searrow \text{élève} \end{cases}$

L'analyse des résultats et leur présentation ne pourra se faire qu'au cours du 1^{er} trimestre de l'année scolaire 1981-1982.

En ce qui concerne le rapport définitif nous pouvons fournir le planning suivant :

— **Mai 1981** : description détaillée de l'expérience en 1980-1981 (en annexe l'expérience I.R.E.M. 80). Nous

fournirons des rapports détaillés de certains travaux d'enfants ainsi que nos méthodes d'analyse psychologique.

— **Juin 1981** : analyse des « bugs-système » et des « bugs-connaissance ».

— **Octobre 1981** : analyse de l'impact psychologique de l'ordinateur LOGO.

Alain BOIS

EXPÉRIENCE LOGO

ÉCOLE NORMALE DE LA SARTHE

Lorsque nous voulons étudier les processus d'apprentissage ou de résolution de problèmes, il est nécessaire de confronter sans cesse des théories et des faits d'observation. Pour recueillir les données expérimentales permettant de vérifier les hypothèses, un protocole précis doit être établi et sa mise en œuvre nécessite l'emploi d'un certain nombre d'instruments : grilles d'observation, magnétophones, magnétoscopes..., etc. Dans la plupart des cas, l'ordinateur n'est utilisé que lorsque les études statistiques doivent être menées à partir d'un grand nombre de données.

Pour notre recherche, à l'École Normale du Mans, sans pour autant négliger d'autres moyens, nous avons donné un rôle prépondérant à l'ordinateur et ceci tout au long de notre expérience disposant, en effet, d'un ordinateur LOGO de la Société Tortue nous avons pu exploiter au maximum toutes les ressources d'un logiciel adapté à l'observation de l'enfant au travers d'un apprentissage autonome. Il s'agissait ici d'étudier dans quelles conditions un enfant peut surmonter les difficultés d'orientation dans l'espace pour guider convenablement la « tortue » LOGO, alors même que son développement intellectuel ne lui permet pas encore de se décentrer aisément.

I - LE THÈME DE L'EXPÉRIENCE

Nous nous sommes attachés à l'analyse des progrès dans l'apprentissage des notions spatiales et des concepts numériques nécessaires au guidage de la « tortue ».

Pour situer les problèmes étudiés, il convient de détailler d'abord les éléments de géométrie mis en œuvre sur LOGO et qui ont été au centre de toute notre expérience.

I-A. Le guidage de la « tortue » LOGO

Pour guider correctement la « tortue » il est nécessaire de savoir caractériser à tout moment :

- la position actuelle de la « tortue » ;
- le mouvement à entreprendre ;
- les commandes à donner.

I-A.a) La position actuelle de la « tortue »

Elle est déterminée par deux éléments :

- la situation du point traceur (également centre de rotation) ;
- l'orientation de la « tortue » (direction de l'axe du traçage de la « tortue » sur cet axe).

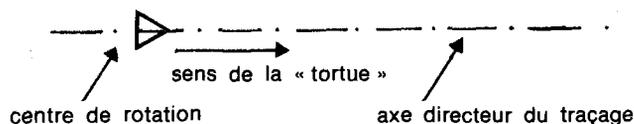


Fig. 1

I-A.b) Le mouvement

Il se ramène à l'un ou l'autre des deux cas suivants :

Situation S1 :

L'axe directeur contient le point visé. Il suffit alors de commander une translation. Deux questions sont associées à ce mouvement :

- dans quel sens dois-je avancer ? (notion spatiale),
- de combien ? (concept de nombre appliqué aux longueurs).

Situation S2 :

— L'axe directeur ne contient pas le point visé. Il faut alors décomposer le mouvement en deux parties (cf. fig. 2).

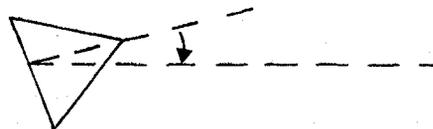


Fig. 2

Une **rotation** à laquelle sont associées les deux questions suivantes :

- dans quel sens dois-je tourner ? (notion spatiale),
- de combien ? (concept numérique appliqué aux angles).

Une **translation** lorsque la « tortue » est revenue à une situation du type S1.

I-A.c) Les commandes à donner

Pour une translation, la commande AVance (AV) suivie du nombre de pas est d'utilisation aisée. La commande REcule (RE), elle, possède un caractère de correction, qui lui confère, auprès des enfants un rôle plus proche de celui de la commande ENLÈVE que de celui de la commande AVance.

Pour la rotation, les commandes GAuche (GA) et DRoite (DR) doivent être données par référence à un repère lié à la « tortue » et non à un repère lié à l'écran. La plus grande partie de notre étude porte sur ces deux commandes dont l'utilisation demande à l'enfant de surmonter les difficultés de décentration (égocentrisme) pour envisager le point de vue de la « tortue », et les obstacles linguistiques puisque les mots DRoite et GAuche ont un sens précis pour lui, différent de celui qu'il convient de leur attribuer ici.

Il est donc clair que les erreurs jalonnent l'apprentissage du rôle de ces commandes.

I-B. Les difficultés particulières au guidage de la « tortue »

Ceci est l'objet essentiel de notre étude. Il s'agit en effet de savoir comment l'enfant apprend progressivement à utiliser les commandes LOGO, et met en œuvre les notions et concepts nécessaires au guidage de la « tortue ».

Les caractéristiques des mouvements de la « tortue » — énoncées plus haut permettent de recenser les difficultés que les enfants peuvent rencontrer dans cet apprentissage.

Nous avons déjà cité les difficultés de **décentration**. Etroitement associées à celles-ci, nous pouvons citer aussi les difficultés liées à la **décomposition des mouvements en termes de rotation-translation** et qui se manifestent, par exemple, par l'utilisation de la commande « AVance » pour obtenir une translation globale de la « tortue » (cf. fig. 3).

Par ailleurs, dans la détermination des caractéristiques géométriques de chacun des mouvements, les enfants doivent surmonter d'autres obstacles :

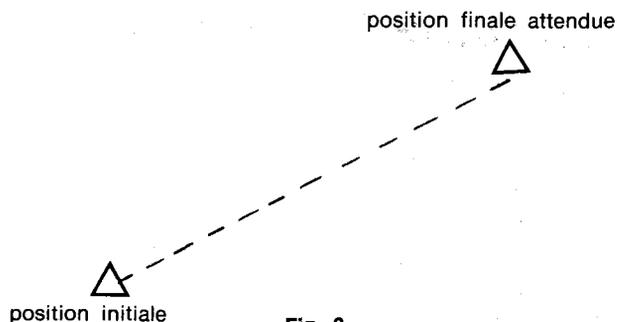


Fig. 3

— connaissance confuse de la rotation (non-détermination du **centre de rotation**, mauvaise connaissance de la notion **d'angle**) ;

— problèmes de discrimination perceptive dans la **détermination de l'orientation de l'axe directeur**.

Notre étude vise à décrire le comportement des enfants face à ces difficultés et notamment à déterminer le rôle des erreurs dans l'apprentissage des commandes.

I-C. Le rôle des erreurs dans l'apprentissage

Il est clair que la différence entre l'effet attendu par l'enfant et l'effet obtenu (lorsqu'elle est caractérisée) est un indicateur précieux pour l'expérimentateur. Il s'agit de savoir si c'est aussi un indicateur pour l'enfant, c'est-à-dire si l'erreur est formatrice, et dans quelle mesure. Pour cela nous devons distinguer, dans les comportements face à l'erreur, trois niveaux différents :

— **niveau 1** : l'enfant ne sait pas ce qui est faux dans l'ordre donné. Dans ce cas l'erreur est inopérante.

— **niveau 2** : l'enfant attribue à l'erreur une raison qui n'est pas la bonne. Là encore l'effet sur l'apprentissage risque d'être nul ;

— **niveau 3** : l'enfant arrive à déterminer la vraie raison de son erreur. Dans ce cas l'effet peut être positif et il convient alors de vérifier que cette erreur disparaît ensuite.

C'est à partir du comportement de l'enfant face aux erreurs que nous pourrions décrire l'apprentissage : en effet, les erreurs, et surtout les variations dans la fréquence de leur apparition pour chaque type de problème sont des indicateurs objectifs des progrès de l'enfant.

Après cette description sommaire du thème de notre recherche, il convient de préciser les conditions de l'expérience et les moyens mis en œuvre pour recueillir les données.

II - LES CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE

II-a) La population

Nous avons choisi d'implanter l'ordinateur LOGO, support de notre étude, dans un cours élémentaire 2^e année. Les enfants de ce niveau n'ont pas encore acquis complètement les notions spatiales mises en jeu, mais sont néanmoins susceptibles de progrès observables dans un laps de temps assez court.

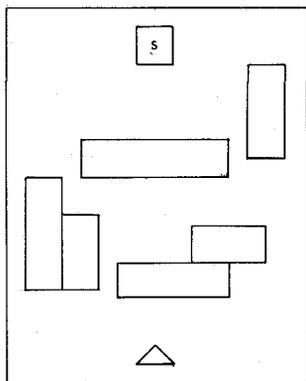
L'expérimentation a eu lieu dans la classe de M^{me} AIGLE (28 enfants de 8 à 11 ans), à l'école Gué Bernisson II au Mans située dans la Z.U.P. des SABLONS. Les enfants viennent d'un quartier de type grand ensemble et d'une zone pavillonnaire proche.

II-b) Les conditions de l'expérience

L'ordinateur a été placé au fond de la classe, en fonction des disponibilités du matériel (du 12 au 18 octobre 1979, du 31 janvier au 12 février 1980, du 19 au 26 juin 1980). Chaque enfant a travaillé seul, les autres continuant à mener avec l'institutrice des activités quasi-normales. Accidentellement, l'enfant au clavier a pu interroger la maîtresse, ou l'observateur présent, mais le rôle de celle-ci étant très limité : rappeler le rôle de la commande ENLÈVE (pour corriger les erreurs) ou préciser que les nombres suivants DR ou GA devaient se terminer par zéro (ceci pour faciliter leur tâche dans la détermination des angles). Toutes les interventions étaient notées scrupuleusement.

II-c) Les exercices posés

Pour étudier l'évolution de l'enfant, il nous a fallu trouver des exercices gradués dans leurs difficultés et permettant le réinvestissement des connaissances. Nous avons ainsi posé trois types de problèmes :

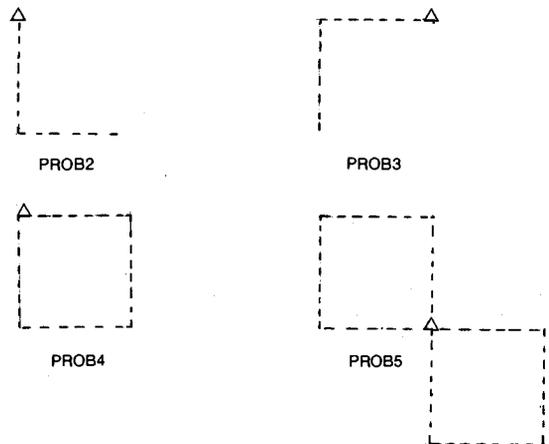


II-c-1) Parcours avec obstacles (PROB1)

Il permettait à l'enfant de prendre contact avec la machine et de découvrir quelques éléments caractéristiques des mouvements. Par contre, il ne nécessitait pas la détermination du centre de rotation, ce qui facilitait grandement la tâche de l'enfant.

II-c-2) Tracés en pointillés

Nous avons posé 5 problèmes différents de ce type. Toutes les figures avaient des éléments semblables : les traits mesuraient 80 pas et les angles mesuraient 90°.



II-c-3) Exécution de dessins

Il s'agissait de formes composées à l'aide de carrés et de rectangles. Tous ces exercices, nécessairement contraignants pour l'enfant, ont été choisis de façon à faciliter l'exploitation ultérieure. Il nous fallait en effet de connaître à tout moment le projet de l'enfant. Faute de quoi, il nous serait impossible de déterminer la différence entre l'effet attendu et l'effet obtenu, même à l'aide d'une observation rigoureuse.

III - L'OBSERVATION

Toute observation étant très contraignante, en particulier au niveau des disponibilités des observateurs, nous avons mis au point des programmes permettant la saisie sur fichier des commandes tapées par les enfants. Dès lors, ils ont pu travailler seuls, ce qui les libérait d'une observation directe quelquefois intimidante. Par contre, une observation discrète a pu être mise en place avec une grande souplesse : les seules notes prises étant relatives aux différentes interventions.

III-a) La saisie sur fichier

Rendue possible grâce au matériel dont nous disposons, elle a été fondamentale dans notre étude. Elle nous a permis de recueillir toutes sortes de données à chaque passage des enfants :

- la date ;
- l'heure du début de séance.

Puis à chaque commande, et sur une même ligne :

- le temps écoulé depuis la dernière commande ;
- le temps écoulé depuis le début de la séance ;
- la commande tapée ;
- les erreurs éventuelles.

A la fin, lorsque l'enfant tapait AU REVOIR, le programme élaboré permettait d'inscrire sur le fichier le nombre de commandes tapées et la moyenne des durées séparant deux commandes successives.

IV - L'EXPLOITATION DES DONNÉES

Ici encore l'ordinateur a eu une importance capitale : les données enregistrées sur disquettes souples ont pu être traitées aisément, notamment sur le plan statistique : histogrammes des durées, diagrammes représentant la longueur des séquences de commandes visant un objectif particulier (exemple : DR 20, DR 20, DR 10, DR 20, DR 20, GA 10 (est une séquence de longueur 6 pour une rotation de 90 degrés).

Mais ce qui nous a été le plus utile reste la possibilité de ré-exécuter en temps différé toutes les commandes des enfants et de retrouver ainsi les conditions de production des erreurs.

Grâce à ces programmes de ré-exécution nous avons pu visualiser pas à pas le cheminement de l'enfant et comparer à chaque fois l'effet attendu et l'effet obtenu.

De telles conditions ne peuvent que favoriser une étude fine du comportement de l'enfant dans une phase d'apprentissage.

V - LES RÉSULTATS

Nous ne pouvons présenter ici l'ensemble des résultats obtenus : en effet ceux-ci valent beaucoup plus par la description des démarches que par les conclusions générales, et leur exposé fait l'objet d'un document assez

volumineux *. Cependant, nous pouvons signaler les deux attitudes extrêmes entre lesquelles se situent les enfants, et que nous décrirons très grossièrement de la façon suivante :

- La première attitude, de type empirique, se manifeste par le nombre des erreurs commises et la non disparition des longues suites de commandes données le plus souvent sans tenir compte des caractères croissant et additif des mesures. L'enfant, à ce niveau, reste confronté à des problèmes de décentration, et les difficultés rencontrées pour les rotations ne sont guère surmontées. S'il apprend progressivement, ce n'est qu'en se repérant par rapport à deux situations différentes : la situation S1 décrite plus haut et une situation moins élaborée que S2, dans laquelle l'enfant utilise des commandes de rotation parce qu'il sait qu'il ne peut pas utiliser des commandes de translation, et non en raison d'une compréhension profonde de la notion d'angle et de la mesure associée. Dans ces conditions nous constatons la subsistance de séquences de commandes de rotation données de façon quasi-aléatoire et comportant de nombreuses erreurs dans la détermination du primitif (GA ou DR). Nous constatons aussi la ré-apparition occasionnelle d'erreurs de décomposition des mouvements dès que surgit une difficulté inattendue (erreur de syntaxe par exemple).

A l'opposé, la seconde attitude, de type analytique, se caractérise par un petit nombre d'erreurs et une progression rapide dans l'apprentissage. Deux situations semblables sont reconnues comme telles et les séquences visant un objectif donné se réduisent très vite à une seule commande. Ce type d'attitude se rencontre chez les enfants qui, dès le départ, sont capables d'analyser correctement les mouvements de la tortue.

Cependant, l'intérêt de cette expérience se situe moins dans la possibilité de fournir des conclusions sur les niveaux atteints que dans la mise en évidence de la progression de l'enfant. En effet, la transparence des comportements observés a fait dire à l'une des institutrices concernées par l'expérience menée en 1980-1981 que « la pensée de l'enfant est mise à nu complètement » à l'intérieur de cette activité. Cela prouve que, sous certaines conditions, l'ordinateur peut devenir un incomparable outil dans la formation des maîtres.

Michel AIGLE

* Consulter : Analyse des progrès dans l'apprentissage des notions et concepts nécessaires au guidage d'un objet orienté, mobile dans un plan vertical. (Equipe du MANS : M. AIGLE, M^{lle} DEMARS, M. HERPEUX).

RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIENCE (*) PRATIQUEE A LA S.E.S. DE MAISONS-ALFORT

(Années scolaires 1977-1978, 1978-1979, 1979-1980)

Cette expérience d'apprentissage autonome basée sur l'utilisation de machines informatiques a porté sur deux groupes d'une douzaine d'enfants.

Elle s'est poursuivie durant une année scolaire pour le premier groupe d'enfants, puis durant deux années scolaires consécutives pour le second groupe.

1. SITUATION DES ÉLÈVES CONCERNÉS

Les S.E.S., ou sections d'éducation spécialisées, regroupent des enfants présentant de gros retards scolaires et incapables de suivre le cursus des classes traditionnelles de l'enseignement secondaire.

Ces classes, bien qu'administrativement rattachées à un C.E.S., fonctionnent sur le modèle des classes primaires, animées par un instituteur polyvalent qui, sans programme bien défini, doit adapter son enseignement aux niveaux en général très hétérogènes de ses élèves.

Les enfants que l'on trouve dans ces classes, issus en majeure partie de milieux sociaux culturels défavorisés, ont souvent échoué dès l'apprentissage de la lecture au cours préparatoire. Ils ont ensuite été orientés vers les classes de perfectionnement du cycle primaire (d'où sentiment de mise à l'écart) ou bien sont parvenus jusqu'à la fin du cycle primaire en redoublant fréquemment (d'où perte de confiance en leurs possibilités).

Ce sont donc des enfants fragiles, traumatisés par leurs échecs successifs, persuadés d'être « bêtes », voire « débiles » et, quoiqu'ils fassent, de ne pouvoir arriver à rien.

Il est en général très difficile pour l'enseignant de les faire progresser durablement, car toute activité intellectuelle étant devenue pour eux synonyme d'échec, ils

refusent de s'y engager et préfèrent la sécurité d'exercices traditionnels (dictées, opérations...) ne mettant en jeu que l'application de mécanismes ou de savoir-faire, à l'insécurité liée à l'éventualité d'un échec que représenterait toute activité nécessitant initiatives et réflexions autonomes.

La fonction de l'enseignant est donc avant toute chose d'essayer de les aider à vaincre leurs blocages en leur redonnant confiance en eux-mêmes, pour arriver à obtenir de leur part un engagement intellectuel plus efficace.

Il est d'usage habituellement dans ce type de classe de travailler par séquences courtes, en variant souvent les activités, en ne proposant que des exercices simples, facteurs de réussite, en encourageant et en soutenant à tous les instants.

2. RAPPORTS DES ENFANTS AVEC L'OUTIL INFORMATIQUE

Les activités informatiques ont été introduites comme une stimulation, une aide, pour obtenir de l'élève une participation plus active à son enseignement et un engagement dans les activités intellectuelles plus profond et plus durable que jusqu'alors.

Tous les enfants sont attirés par l'ordinateur et aucun ne refuse de s'en servir. Il a d'abord l'attrait de la nouveauté ; aucun souvenir d'échec ne lui est relié. De plus, c'est un objet qui appartient au monde des adultes, donc son emploi est valorisant. D'autant plus valorisant que cet emploi est reconnu par la société. L'ordinateur est donc dès le départ crédité d'une charge affective positive.

Ce sentiment positif est immédiatement renforcé par les premiers succès. Car le succès est inévitable. Il est toujours possible de faire tourner un programme correct, il suffit qu'il soit assez simple (cf. le dessin d'un carré, d'une maison...).

(*) : Expérience menée conjointement par F. MATHIEU, D. PEROLAT, H. WERTZ.

Mais quelle que soit la simplicité du programme ou de la suite d'instructions, l'enfant qui a la satisfaction de voir l'ordinateur exécuter ses ordres acquiert un sentiment de puissance et a l'impression de participer à une activité de haut niveau intellectuel. Le reste n'est plus qu'une question de temps.

Chaque programme, si modeste soit-il, peut servir de base pour l'élaboration d'un autre programme légèrement plus complexe et ainsi de suite jusqu'à l'obtention, plusieurs mois plus tard, d'un programme mettant en jeu des processus intellectuels et des notions de résolutions de problèmes (pensée procédurale, notion de variable, de récursivité, comparaison et généralisation) dépassant largement les espérances de départ de l'enseignant.

3. EXEMPLES CONCRETS

Après quelques séances d'initialisation pour se familiariser avec le maniement de la machine et les instructions de base, les enfants se lancent dans la réalisation de projets personnels. Bien que le choix des réalisations soit laissé totalement libre aux enfants, nous ne parlerons ici que de réalisations collectives de l'ensemble de la classe en précisant seulement que cette collectivité s'est toujours instaurée spontanément. En effet, la plupart des enfants préfèrent travailler en groupe. Ainsi, ils se soutiennent et se complètent mutuellement et partagent les responsabilités. De plus, le programme exécuté par un enfant ou un groupe d'enfants est souvent repris par d'autres pour être continué, amélioré ou transformé. Parfois c'est une idée lancée par un enfant qui, jugée intéressante par les autres, est reprise par eux et finit par être adoptée par l'ensemble du groupe-classe.

a) La série des polygones

Lorsqu'un enfant s'initie en mode pilotage aux termes de base du graphisme LOGO, presque inévitablement le premier ou l'un des premiers dessins produit sera celui du carré. C'est pratiquement la figure finie la plus simple à réaliser, utilisant le seul angle en général connu par les enfants, l'angle droit. Malgré sa simplicité de réalisation, le carré ne manque pourtant pas d'intérêt pédagogique, car il va permettre d'introduire deux notions essentielles : la notion de procédure et la notion de variable.

On obtient donc comme suit une définition de la fonction CARRÉ :

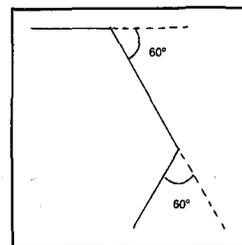
(DE CARRÉ (X)	
(AVance X)	
(DRoite 90)	
(AVance X)	
(DRoite 90)	
(AVance X)	
(DRoite 90))	

Cette fonction CARRÉ permet d'obtenir ensuite le dessin d'un carré de dimension variable. (Par exemple, l'ordre (CARRÉ 10) entraînera l'exécution du dessin d'un carré de dix pas de côté).

Le dernier ordre (DR 90), non indispensable à la construction du carré, est pourtant automatiquement rajouté par les enfants, moins sans doute par réflexe de symétrie que par précaution de ne pas se perdre dans l'espace. Précaution qui consiste à remettre en fin de dessin la tortue dans la position initiale de départ afin de ne pas se créer de complications pour le dessin suivant.

Immanquablement vient ensuite le désir de réaliser une fonction triangle (équilatéral).

Et les choses se compliquent car l'angle est ici inconnu. Une enquête serrée permet de découvrir qu'un triangle équilatéral possède trois angles de 60° . Mais après avoir fait exécuter par la machine trois fois les ordres (AV N) (DR 60), quelle n'est pas la surprise des enfants de constater que le dessin exécuté ne ressemble en rien à ce qu'ils attendaient, mais plutôt à ceci :



Tandis que certains enfants plus curieux que rigoureux vont abandonner le projet initial pour explorer les possibilités offertes par le hasard en continuant le couple d'ordres (AV N) (DR 60) pour voir « à quoi cela va aboutir », appliquant en ceci le mode de travail en « pilotage » (cf. chapitre Wertz), d'autres, plus conséquents, vont s'interroger sur les causes d'erreur.

Il faut alors que l'enseignant leur propose de se mettre eux-mêmes en position de tortue et leur fasse mimer

les ordres donnés à la machine en traçant derrière eux, à la craie sur le sol, le chemin parcouru pour qu'ils s'aperçoivent que la tortue a effectué l'angle extérieur du triangle alors que leur information de 60° concernait l'angle intérieur. Cette découverte soulève une difficulté de taille. Les enfants n'ont pas suffisamment de connaissances en géométrie pour calculer l'angle extérieur et vont procéder par tâtonnement et expérimentation pour arriver au résultat souhaité (ces connaissances ne seront apportées qu'ultérieurement par l'enseignant pour compléter et renforcer ce qu'ils auront découvert seuls par expérimentation) et obtenir enfin la fonction désirée :

```
( DE TRIA (long)
  (AV long) (DR 120)
  (AV long) (DR 120)
  (AV long) (DR 120)
```

Parallèlement, la poursuite de la figure de triangle incorrecte l'a transformée en une figure d'hexagone correct. Mais il a fallu pour cela récrire 6 fois le même couple d'ordres. Les enfants ont grande envie de le récrire sous forme de fonction pour pouvoir le réutiliser, mais rechignent à un travail de copie qu'ils trouvent fastidieux. Ils ont l'intuition qu'il doit être possible que la machine fasse ce travail à leur place.

Après avoir écrit :

```
( DE HEXA (long)
  (AV long) (DR 60)...
```

ils s'arrêtent pour réfléchir sur « Comment lui dire de refaire la même chose ». Un enfant finit par proposer de lui dire de « refaire HEXA ». Ce qui est une très bonne idée, indiquant la compréhension intuitive d'une notion algorithmique aussi fondamentale que la répétition ou même son incarnation sous forme d'un appel récursif. L'enseignant ayant manifesté son approbation, l'enfant propose :

```
(DE HEXA (long)
  (AV long) (DR 60)
  (HEXA long))
```

L'idée de l'enseignant est de laisser les enfants tester cette fonction sur machine, car c'est une fonction qui

« boucle » (c'est-à-dire qui ne s'arrête pas), afin de leur faire découvrir la nécessité du test d'arrêt. Mais les enfants ne tombent pas dans le piège. Ils hésitent à taper cette fonction sur le clavier. Intuitivement encore une fois, ils sentent qu'il manque quelque chose. Tel quel ce programme ne les satisfait pas. L'un d'eux finit par poser la question : « Mais comment dire qu'il ne faut le faire que 6 fois ? ».

C'est l'instant d'abandonner la pratique pour un peu de théorie et d'explicitier les notions de base que sont la répétition et le test d'arrêt.

Tout nouvel apport théorique n'est introduit et expliqué que lorsqu'un enfant a formulé la demande implicite. Lorsqu'un enfant parvient à exprimer qu'il aurait besoin d'une fonction qui fasse ceci ou cela, si cette fonction existe en langage LISP, elle est alors fournie par l'enseignant. L'enfant comprendra immédiatement sa pratique puisqu'il en a besoin pour réaliser son programme, alors que cette même notion expliquée à froid au cours d'une leçon théorique n'aurait vraisemblablement pas été comprise.

Avec l'aide d'un enseignant, notre hexagone devient alors :

```
(DE HEXA (long compt)
  ((IF (= compt 0) NIL
    (AV long) (DR 60)
    (HEXA long (- compt 1))))
```

Il suffit ensuite de donner l'ordre (HEXA 10 6), par exemple, pour obtenir le dessin sur l'écran d'un hexagone de 10 pas de côté. La variable compteur initialisée avec 6 comme valeur, se décrémente de 1 à chaque répétition et le programme s'arrête lorsqu'elle est parvenue à zéro.

Une fois ces trois programmes (carré, triangle, hexagone) en possession de tous les enfants, l'enseignant va les aiguiller sur la voie des comparaisons et des généralisations. Il suffit en effet de leur suggérer d'additionner, pour chaque programme, le total des angles exécutés. Les enfants s'aperçoivent qu'ils obtiennent chaque fois 360 comme total, et après un temps de recherche et de réflexion autonome, arrivent à formuler l'hypothèse que quel que soit le polygone :

$$\text{Nombre de côtés} \quad * \quad \text{angle} = 360^\circ$$

donc, inversement, qu'il suffit de diviser 360 par le nombre de côtés du polygone pour obtenir l'angle correct à faire exécuter.

Les enfants sont ravis de découvrir qu'ils peuvent faire exécuter par l'ordinateur des figures qu'ils sont incapables d'exécuter eux-mêmes. En effet, ils s'avouent incapables de dessiner, par exemple, un polygone de 9 côtés, et ignorant encore à ce stade la technique opératoire de la division, ne peuvent calculer eux-mêmes l'angle nécessaire,

Après vérification en mode pilotage de leurs hypothèses et généralisation supplémentaire, ils vont arriver à l'écriture du programme final de la série des polygones, celui, à la fois le plus simple et le plus complexe, qui va leur permettre d'obtenir le dessin de n'importe quel polygone, du triangle au cercle, sans nécessité du moindre calcul de leur part.

```
(DE POLY (long NC compt)
  (IF (= compt 0) NIL
    (AV long)
    (DR (/360 NC))
    (POLY long NC (- compt 1))))
```

Remarquons ici la nécessité de représenter deux fois par deux variables différentes le nombre de côtés du polygone. Bien qu'il faille leur attribuer même valeur à chaque appel de fonction, elles sont cependant indispensables toutes deux, car si la variable compt (compteur) va se décrémenter à chaque passage récursif pour entraîner lors de son arrivée à zéro la fin d'exécution du programme, la variable NC (pour nombre de côtés) elle, doit rester fixe pour que l'angle exécuté reste constant.

Comme toutes les autres, cette dernière difficulté ne fut résolue qu'après moult expérimentations malheureuses.

Parallèlement, une version transitoire de ce même programme de la forme :

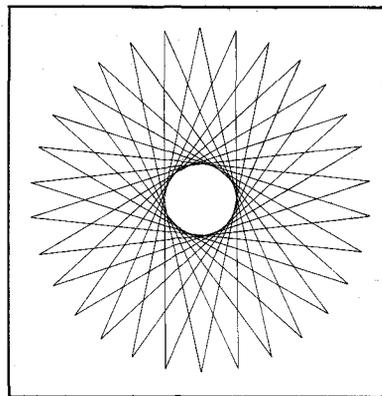
```
(DE POLY (long Angle compt)
  (IF (= compt 0) NIL
    (AV long) (DR angle)
    (POLY long angle (- compt 1))))
```

plus rudimentaire parce que l'angle devait y être déterminé d'avance, fut conservée et fréquemment utilisée par les enfants sous le nom de fonction ÉTOILE parce que son expérimentation avait permis de lui découvrir des possibilités d'utilisation tout autres que celles prévues au départ, en lui attribuant des valeurs d'angle ici au contraire strictement aléatoires.

Ainsi l'appel :

```
(ÉTOILE 100 150 180)
```

dessine une étoile à branches multiples



b) L'alphabet

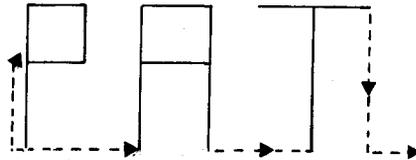
A. a décidé d'écrire un programme lui permettant d'écrire son nom sur l'écran. Ce projet s'étend peu à peu à l'ensemble de la classe et plutôt que de travailler chacun dans leur coin, les enfants décident de programmer toutes les lettres de l'alphabet en se partageant les tâches. Chaque programme de lettre écrit puis vérifié sur machine est recopié par tous les enfants pour enrichir le bagage collectif.

En testant les premières lettres les enfants découvrent une difficulté à laquelle ils n'avaient pas songé :

Faire exécuter le dessin d'une lettre n'est rien, le problème est d'arriver à placer correctement deux lettres côte à côte (cf. chapitre Wertz).

Ils découvrent qu'ils n'avaient prévu que la moitié du travail et qu'il est nécessaire d'allonger le programme de chaque lettre d'une partie en mode invisible dont la fonction sera de prévoir le positionnement correct de la lettre suivante. [Le mode invisible est le mode déplacement du point sur l'écran sans laisser de trace. Il est déclenché par l'instruction (INV) et doit être annulé ensuite par l'instruction (VIS)].

Exemple :

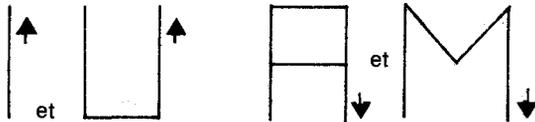


Toutes les parties en pointillés doivent être prévues en mode invisible dans le programme. Ceci rallonge considérablement l'écriture de chaque programme de lettre et, la copie devenant fastidieuse, incite les enfants à se demander s'il ne serait pas possible de simplifier.

Ils vont donc arrêter provisoirement les expérimentations pour s'accorder un second temps de réflexion et abandonner leur point de vue fonctionnel du problème (la lettre) pour le globaliser (l'alphabet).

Ils n'ont pas été sans remarquer des analogies entre les programmes des différentes lettres. B contient A et A contient P. De plus, la partie du programme en mode invisible est semblable pour toutes les lettres se finissant en mode visible dans la même direction.

Exemple :

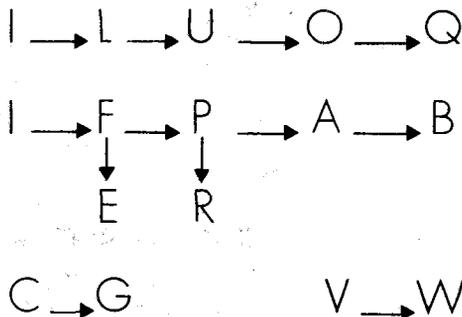


Ils ont d'abord l'idée de séparer le programme de chaque lettre en deux sous-programmes, c'est-à-dire deux fonctions distinctes. Par exemple : R devient R1 (programme de la partie visible) suivi de R2 (programme de la partie invisible). Ce qui permet déjà un gain d'écriture en utilisant une partie, prévue pour une lettre, dans une autre. Ainsi K devient K1 suivi de R2 puisque son cheminement invisible est semblable à celui de la lettre R.

Ceci les amène à reconsidérer toutes les lettres en observant leur graphisme et d'arriver enfin à l'idée que si le programme de A contient celui de P pourquoi ne pas se servir du programme de P pour écrire A.

Cette découverte entraîne un abandon de tous les programmes de lettres déjà testés et un retour au point de départ qui commence par une séance collective de classification des lettres de l'alphabet.

On obtient :



(il reste bien sûr quelques irréductibles).

Ceci fait, les enfants recommencent les programmes de lettres, nouvelle version.

Ainsi U dont voici la première version :

```
(DE U ( )
(GA 90)
(AV 10)
(AR 10)
(DR 90)
(AV 5)
(GA 90)
(AV 10)
(INV)
(AR 10)
(DR 90)
(AV 4)
(VIS) )
```

devient

```
(DE U ( )
(L1) (I) )
```

composé de :

```
(DE L1 ( )
(GA 90)
(I1)
(AV 10)
(DR 90)
(AV 5)) et de
(DE I ( )
(DR 90)
(I1) (I2) )
```

composé lui-même de :

```
(DE I1 ( )
(AV 10) ) et de
(DE I2 ( )
(INV)
(AR 10)
(DR 90)
(AV 4)
(VIS) )
```

Il est à noter que parvenu à ce stade, le projet ne tardera pas à être abandonné. Seules quelques lettres seront testées. Les enfants, convaincus d'avoir cette fois trouvé le bon algorithme ne se donnent pas la peine de vérifier jusqu'au bout. Ils diront : « C'est trop facile » et passeront à un nouveau projet. La certitude de pouvoir le faire leur suffit et, finalement, aucun d'eux n'écrira son nom sur l'écran.

Ceci tendrait à montrer que les enfants, à ce stade, ne sont plus seulement « programmeurs », c'est-à-dire n'utilisent plus l'informatique pour le seul plaisir de faire de l'informatique, mais déjà, consciemment ou inconsciemment pour apprendre des méthodes de résolution de problème.

4. INTERPRÉTATION DES EXPÉRIENCES

Les enfants se sont donné un problème, l'ont analysé, décomposé en une série de sous-problèmes qu'ils ont résolus un par un et ont généralisé les solutions trouvées.

Ce faisant, ils ont mis en jeu des processus intellectuels plus élaborés et de façon plus intensive que s'il s'était agi d'un exercice scolaire traditionnel.

Ceci parce qu'ils avaient eux-mêmes choisi le problème et décidé de le résoudre, qu'ils avaient pu travailler à leur rythme, de façon autonome, sans pratiquement, interventions d'enseignant autres que leurs demandes.

Le plaisir qu'ils éprouvent à travailler sur ordinateur les pousse à sortir de leur méfiance acquise envers les activités intellectuelles et à s'engager plus profondément et plus intensivement qu'habituellement. (Il n'est qu'à voir leur fatigue, pour ne pas dire leur épuisement après deux heures de travail sur machine. Fatigue dont ils sont d'ailleurs très fiers : « Qu'est-ce qu'on a travaillé ! ».)

Mais cet effort n'aurait pas grand sens s'il ne devait jamais quitter le domaine informatique. Car le but n'est pas ici de former des informaticiens, ni même de rendre les enfants plus heureux en leur laissant choisir leurs activités, mais bien de les faire progresser dans toutes les matières scolaires (et même extra-scolaires).

Progressivement, les enfants, sans vraiment s'en rendre compte, vont se mettre à appliquer ailleurs les méthodes d'analyse et de raisonnement découvertes en programmant et, encore mieux, vont se mettre à aimer résoudre des problèmes. Ils vont partiellement retrouver un état naturel chez le jeune enfant avide de recherche et de progrès, dont les désillusions, liées à leurs échecs passés et la résignation qui s'en était suivie leur faisant accepter ceux-ci comme inévitables, les avaient éloignés.

L'ordinateur n'est ici que l'instrument qui, en redonnant à l'enfant confiance en lui, va opérer un déblocage au niveau des activités intellectuelles qui se répercutera sur l'ensemble des autres activités.

Ce déblocage peut avoir lieu parce que :

— Les activités informatiques sont génératrices de succès ; on peut toujours obtenir une réponse de la machine.

— Il n'y a plus d'erreurs. Ou plutôt les erreurs ne sont plus des « fautes » entachées d'infamie, mais des accidents de parcours qu'il suffit d'éliminer un à un.

— L'enfant manie une pensée très élaborée et abstraite, mais vérifiable immédiatement par la pratique. L'enfant va vérifier lui-même sur la machine la justesse de sa pensée.

— Ce qu'il a conçu fonctionne. L'enfant prend conscience du pouvoir de la connaissance et reprend confiance en lui en tant qu'agent intelligent.

— L'enfant rompt avec la distribution classique des rôles à l'école. Il n'est plus le récepteur passif d'un savoir venu d'en haut, mais participe à l'élaboration de ses connaissances. L'enfant instruit l'ordinateur et l'oblige à travailler pour lui. C'est lui le professeur et l'ordinateur est son élève.

5. LES CHANGEMENTS DANS L'ATTITUDE SCOLAIRE

Des modifications du comportement scolaire apparaissent clairement dans la deuxième année d'expérimentation. Les observations en ont été facilitées par la venue dans la classe, en début de deuxième année, de quelques enfants venus à la S.E.S. après un essai malheureux en classe de sixième dite « normale ». Ces enfants, bien que plus avancés au niveau des connaissances scolaires, eurent quelques difficultés à s'intégrer dans la classe, car leurs attitudes se différencient radicalement de celles des « anciens » pratiquant l'informatique depuis un an :

- inappétence pour la recherche,
- pour la nouveauté,
- désir d'être sécurisé par l'aide constante de l'enseignant,
- exécution trop rapide de tout travail proposé, sans temps de réflexion préalable.

Les principaux changements observables :

a) Reprise de confiance en soi

Elle est assez forte pour que l'on puisse maintenant remettre ces enfants en situation d'échec provisoire en leur soumettant des problèmes qui leur seront incompréhensibles de prime abord, et qu'il leur faudra parfois plus de deux heures d'intensives réflexions pour arriver à résoudre (quitte à terminer le soir chez eux s'ils n'ont pas pu y parvenir en classe), en repoussant toute offre d'aide proposée par l'enseignant par des cris indignés. Assez forte pour oser dire à l'enseignant : « J'ai bien vérifié, je suis absolument sûr que ma solution est la bonne, c'est vous qui devez vous tromper ». (C'est arrivé deux fois, personne n'est infallible).

Il suffit maintenant que l'enseignant désigne un casse-tête du livre de mathématique en disant : « Celui-là est trop difficile, vous n'y arriverez pas » pour leur donner envie de résoudre précisément celui-là.

b) Apprentissage de la rigueur dans le raisonnement

Les enfants ont abandonné l'attitude consistant à se jeter sur tout travail écrit pour l'exécuter rapidement en se

référant au dernier exercice fait du même style, source d'erreurs puisque deux exercices sont rarement exactement identiques, au profit d'une réflexion préalable et d'une analyse des termes exacts de l'énoncé.

« Que me demande-t-on exactement ? »

« N'ai-je pas oublié de lire un mot-clé ? »

Auparavant, dans un problème de mathématique par exemple, leur habitude était généralement de s'emparer des chiffres fournis et de les additionner, car l'addition était l'opération avec laquelle ils se sentaient le plus à l'aise. Si l'enseignant n'était pas satisfait, ils essayaient la soustraction, puis la multiplication.

Ils ont compris que cette attitude n'était pas rentable et constituait une perte de temps, et en sont venus à considérer les problèmes mathématiques traditionnels moins comme des exercices de mathématique que comme des exercices de compréhension de texte.

Une enfant particulièrement lucide reconnaîtra : « Travailler sur un ordinateur, ça m'a appris à bien réfléchir d'abord pour choisir ensuite la solution la plus facile », reconnaissant implicitement par là que le travail d'analyse rend le problème compréhensible. Phénomène qui, dans le langage des autres enfants se traduit par : « Tout d'un coup, ça devient facile ».

c) Apprendre à apprendre

Si les enfants n'ont pu acquérir toutes les connaissances qui leur manquent (il y en a trop), ils ont du moins appris où les trouver en cas de besoin. Ils se sont mis à utiliser avec efficacité (sans que l'enseignant les y ait encouragés), les dictionnaires, manuels, encyclopédies, etc.

Ils se sont habitués à poser les bonnes questions et à savoir à qui les poser.

Il n'est qu'à voir la facilité avec laquelle ils résolvent maintenant les problèmes de mots-croisés ou de fiches de vocabulaire qui étaient auparavant leurs bêtes noires ; leur pauvreté de vocabulaire étant la source de la plupart de leurs échecs scolaires. Ils ne connaissent pas plus de mots qu'auparavant, mais savent maintenant comment se débrouiller pour les trouver (et par là, enrichir leur vocabulaire).

d) Auto-apprentissage

Le plaisir des enfants à découvrir seuls de nouvelles notions a entraîné la raréfaction des leçons magistrales. Chaque nouvelle notion est proposée comme une énigme

à résoudre. Lorsqu'après erreurs et tâtonnements les réponses sont trouvées, alors seulement il y a reprise collective avec l'enseignant pour verbaliser ce qui a été fait, mettre en relief les démarches qui ont permis d'aboutir aux résultats et dégager une règle générale. L'avantage de cette façon de faire est que lorsque les enfants ont redécouvert eux-mêmes une notion fondamentale, l'acquisition est beaucoup plus stable et durable que lorsqu'elle est apportée de l'extérieur.

Ainsi, les enfants, après avoir compris le sens de la division en l'employant dans des problèmes alors qu'ils ignoraient encore son mécanisme (ils procédaient par soustractions successives), ont réussi à comprendre seuls le mécanisme traditionnel des divisions à deux chiffres en s'aidant des exemples du livre de mathématique. Partant d'une division dont ils connaissaient le résultat, ils tentaient de reconstituer le chemin menant à ce résultat. Et ceci avec succès. Or, il est bien connu que parvenir à faire comprendre à ses élèves de façon durable le mécanisme de la division à deux chiffres fait partie des tâches les plus ardues, dans le domaine des connaissances scolaires, auxquelles doit s'affronter un enseignant de S.E.S.

6. CONCLUSION

En fin de compte, que s'est-il passé ?

Si l'ordinateur s'est révélé une formidable aide pédagogique, il n'en a pas pour autant accompli de miracle. Les enfants n'ont pas rattrapé tous leurs retards scolaires et ne rejoindront pas le cycle « normal ». Sur le plan scolaire, les progrès n'ont été spectaculaires que pour la moitié d'entre eux. Pour ceux-ci, un recyclage en L.E.P. est envisagé après la classe de 4^e. (Le passage en L.E.P. est une importante promotion pour ces enfants puisqu'il va leur permettre d'acquérir un C.A.P., alors qu'en restant en S.E.S. ils ne peuvent prétendre à aucun diplôme.)

Pour l'autre moitié, il est difficile de démêler exactement si les progrès réalisés dans le domaine scolaire sont supérieurs à ce qu'ils auraient été sans cela.

Mais même ceux-ci auront toutefois :

- assimilé le programme de géométrie,
- réglé enfin leurs problèmes de latéralité,
- appris à se repérer dans l'espace,
- à se décentrer (imaginer et représenter le chemin parcouru dans l'espace par un point extérieur à eux-mêmes),

— ils sont devenus capables de travailler avec une attention soutenue (pendant un temps assez long pour en sortir épuisés),

— ils ont développé un goût pour la recherche qui a permis l'élargissement de leurs champs d'intérêt,

— ils ont perdu une certaine rigidité de la pensée au profit d'une attitude d'esprit plus souple et plus ouverte.

L'utilisation de l'ordinateur comme outil pédagogique permet tout cela ; car il permet à l'enfant de créer son univers personnel, à l'intérieur duquel son apprentissage se fera de manière ludique, à sa vitesse personnelle et avec les stimuli qu'il se sera lui-même choisis.

En somme, aujourd'hui augmenté de possibilités nouvelles dues aux progrès des techniques, l'ordinateur dans la classe joue le même rôle que pouvait y jouer préalablement l'imprimerie Freinet, l'atelier de mécanique de Dewey et l'audio-visuel, avec toutefois l'immense avantage qu'au contraire de tout autre outil pédagogique, la machine ordinateur possède un champ d'application illimité. C'est le « proteus » de la machine. Faisons de lui le « proteus » d'une nouvelle pratique éducative.

Françoise MATHIEU

PROGRAMMATION AVEC DES ENFANTS DE SIXIÈME

Le travail relaté ici, a pour objet la première étape de l'apprentissage de la programmation par des enfants de sixième.

Ce travail, qui est une partie de celui que nous avons effectué cette année, se trouve par là même isolé de son contexte, que nous devons donc tout d'abord décrire.

Notre équipe de recherche (1), dont le but s'inscrit dans le cadre des recherches sur l'introduction de l'informatique dans l'enseignement, a conduit cette année des expérimentations dans des classes de sixième (enfants âgés d'environ 12 ans) et de quatrième (enfants âgés d'environ 14 ans). Ce travail fait une place centrale à la notion de problème à la fois comme critère et comme moteur de l'acquisition des connaissances. Il s'agit de déterminer des problèmes significatifs d'un concept donné, des grandes classes de procédures utilisées par les enfants et leur organisation en progressions significatives d'une acquisition. Le thème principal proposé aux enfants était la géométrie, et plus particulièrement, en raison de l'utilisation de la machine, la géométrie de la tortue LOGO. L'intérêt de celui-ci étant de permettre d'aborder de nombreux concepts mathématiques (2).

Les choix que nous avons faits, conduisent à la manipulation de nombreux polygones réguliers ou semi-réguliers. A cette fin, en vue de simplifier l'abord de la machine et pour éviter dans un premier temps l'introduction de la programmation, mais aussi avec l'espoir de faciliter celle-ci, nous avons ajouté une instruction au langage :

(1) Cette équipe, installée dans le cadre de l'I.R.E.M. d'Orléans et membre de la R.C.P. « Pratique active de l'informatique par l'enfant » est constituée de : André ROUCHIER, Patrick MARTE, André VIALA et moi-même.

(2) Sur ce point on pourra se reporter d'une part, à l'article (1) d'André ROUCHIER dans lequel il a décrit le résultat des expériences qu'il a conduites l'an dernier en CM2 (enfants âgés d'environ 11 ans) les expériences de cette année constituant évidemment une suite de celles-là ; d'autre part, aux articles que nous ne manquerons pas de publier à propos des résultats obtenus cette année.

RÉPÈTE (liste d'instructions) nombre de fois.

Celle-ci fait d'ailleurs déjà partie de certaines versions du langage. Tous les enfants ont utilisé cette instruction pendant au moins deux séances. Ce n'est donc qu'après que se situe le sujet de cet article.

Dès l'instant où nous avons voulu introduire la programmation nous nous sommes heurtés à bon nombre de difficultés. Nous allons présenter l'analyse que nous en avons faite sur l'instant, et qui est donc celle que nous avons développée pour agir, puis nous décrirons le processus qui a pu être construit à partir de celle-ci.

Mais tout d'abord précisons le cadre de ces expérimentations. Le matériel utilisé est une configuration LOGO de la Société Générale TORTUE, constitué par un LSI 11-03 (U.C. M7264) équipé d'un écran graphique à haute définition (Processeur dû au M.I.T.).

Toute l'équipe d'Orléans a bien sûr participé au travail sur ce sujet, mais il a néanmoins été plus particulièrement conduit par M. Patrick MARTE (3) et moi-même.

Ces expériences ont été effectuées avec la participation de trois classes du Collège Joliot-Curie à Orléans :

— Une classe de sixième et une classe de quatrième de M. André VIALA, dont les élèves venaient volontairement par petits groupes (4 ou 5 élèves) travailler avec nous le mardi après-midi. Durant quatorze séances, en sixième, seule l'instruction RÉPÈTE fut utilisée. Les huit séances suivantes utilisèrent la programmation ou le RÉPÈTE. Et c'est après celles-ci que se situent les faits qui seront décrits ici. Dans la classe de quatrième, nous avons utilisé un peu l'instruction RÉPÈTE, mais aussi la programmation. Nous ne décrirons pas ici les résultats obtenus, bien que l'expérience acquise au cours de ces expériences, nous ait été utile.

(3) Je tiens tout particulièrement à remercier ici M. Patrick MARTE dont l'active collaboration à cette expérience a été très fructueuse. Je dois également dire que sans les notes qu'il s'est bien souvent chargé de prendre durant les séances, cet article ne serait pas ce qu'il est.

— D'autre part, M. Patrick MARTE a choisi d'intégrer l'utilisation de la machine à son enseignement dans une classe de sixième. Cette classe a été divisée en trois groupes sensiblement égaux. Chacun des groupes a bénéficié de quatre heures optionnelles réparties en quatre fois une heure le samedi matin. Les thèmes des deux premières séances, choisis par M. Patrick MARTE pour compléter son enseignement étaient d'une part, l'étude des polygones, d'autre part, l'étude de la proportionnalité, et durant ces séances seule l'instruction RÉPÈTE fut utilisée. Les séances auxquelles on se réfèrera dans cet article sont celles qui suivirent ces deux-là.

Les conditions d'expérimentation diffèrent donc sensiblement entre les séances du mardi et celles du samedi. Néanmoins ceci doit être tempéré par le choix délibéré qui a été d'enseigner des bases de programmation aux élèves dans les deux cas et ce, en utilisant des moyens similaires.

Le cadre de ces expérimentations étant donc décrit, écrivons tout d'abord la procédure analogue à celle permettant de définir l'instruction RÉPÈTE et dont l'objet est de tracer un carré de 100 (pas de tortue) de côté.

POUR CARRÉ

5 "N — 0

10 AVANCE 100 DROITE 90 "N — :N + 1 JUSQUACEQUE :N = 4

FIN

Rappelons que POUR est l'instruction qui permet en LOGO d'introduire le nom de la procédure, ici CARRÉ ; et qui de plus, place la machine en attente de la définition de celle-ci. 5 et 10 sont les numéros des lignes qui constituent la définition de la procédure, celles-ci étant exécutées dans l'ordre de ces numéros. FIN est l'instruction qui indique à la machine que nous avons fini de définir la procédure, elle répond d'ailleurs dans ce cas : CARRÉ EST DÉFINI.

Analysons cette procédure. Cette analyse fut d'ailleurs à la fois le moteur et la conséquence de la mise en place du processus qui sera explicité ultérieurement. Tout d'abord la première notion qui intervient est celle d'affectation "N — 0, cette notion est intimement liée à la notion mathématique de variable. "N — 0 signifie que l'on donne (ou que l'on affecte) à la variable N la valeur 0. L'opération qui consiste à utiliser la valeur de N dans une expression se note :, par exemple :N + 1 signifie que l'on calcule 0 + 1, si l'on a avant "N — 0. Notons que le symbole — se lit « relie »

et le symbole : « contenu de ». Analysons, maintenant, la ligne 10. Celle-ci recèle à elle seule quatre problèmes différents. Tout d'abord, il faut percevoir que pour tracer le carré, il faut et il suffit, d'exécuter quatre fois de suite le bloc significatif AVANCE 100 DROITE 90. En effet, chaque exécution de ce bloc fait tracer un côté à la tortue et l'oriente en prévision du tracé du prochain côté. Ce bloc est donc significatif du résultat désiré, c'est-à-dire ici le tracé du carré. Il faut ensuite percevoir que pour obtenir cette répétition, il faut utiliser un ordre d'itération, ici JUSQUACEQUE (4). Mais celui-ci, est inséparable du conditionnel qui le suit, ici :N = 4. En effet tant que :N = 4 est faux JUSQUACEQUE déclenche la réexécution de la liste d'instructions qui le précède dans la ligne où il est écrit ; et lorsque :N = 4 est vrai, l'exécution se poursuit à la ligne suivante, ici la procédure s'arrête. Mais alors, il devient apparent que la valeur du conditionnel :N = 4 doit être modifiée au bout d'un certain nombre d'itérations par la liste d'instructions qui précède dans la ligne l'ordre JUSQUACEQUE ; et par là même, que la valeur contenue dans "N doit être modifiée par cette liste d'instructions. Ceci introduit donc la notion de bloc fonctionnel AVANCE 100 DROITE 90 "N — :N + 1, le bloc fonctionnel étant donc celui qui permet l'exécution et l'achèvement correct de la procédure. Notons que dans certains cas celui-ci peut coïncider avec le bloc significatif.

Avec les enfants de sixième, le premier problème qui s'est posé est évidemment celui de l'affectation ; la difficulté résidant dans le fait que nous n'avions pas connaissance d'une expérience ou d'une conception antérieure de la notion de variable que les enfants auraient pu avoir, et sur laquelle il aurait été possible de s'appuyer pour introduire celle d'affectation.

D'autre part, au vu de cette analyse, qui doit être faite consciemment ou intuitivement pour écrire la procédure, on peut deviner qu'elle n'est pas du tout à la portée des enfants de sixième ou de quatrième sous cette forme, ce que confirment évidemment les expériences en ce sens ; et cela même si le problème de la notion d'affectation a été préalablement résolu.

C'est pour tenter de faciliter la lecture de cet article que nous avons préalablement décrit un certain nombre de difficultés propres à la programmation et relatives au type de la procédure considérée. Mais il nous faut maintenant revenir à la toute première difficulté rencontrée avec les enfants, qui fut de leur justifier l'intérêt de la programmation. Il semblerait que ce problème

(4) On a exclu le cas où l'on réécrivait quatre fois de suite le bloc significatif.

présente deux facettes d'égale importance. La première étant une conséquence de l'introduction et de l'utilisation de l'instruction RÉPÈTE, à ce titre on peut estimer qu'elle a un caractère contextuel, la seconde étant non contextuelle.

La première, dont l'importance est directement fonction de la fréquence d'utilisation de l'instruction RÉPÈTE, semble présenter deux aspects différents, bien qu'intimement liés. Tout d'abord remarquons qu'en raison du choix des problèmes que nous avons posés aux enfants [cf. par exemple (1)], et qui utilisent essentiellement le tracé de polygones réguliers ou semi-réguliers, l'instruction RÉPÈTE apparaît comme une panacée, il n'est, en effet, besoin que d'une seule ligne d'instructions pour tracer toutes ces figures. RÉPÈTE est confortable. Des indices de ce phénomène sont apparus avant même le passage à la programmation, nous avons vu plusieurs fois des :

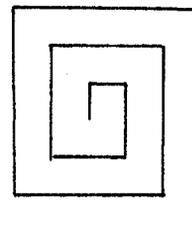
RÉPÈTE (liste d'instructions) 1 fois ;

d'autre part, les maisons qu'ont pu vouloir dessiner les enfants, ont toutes été conçues comme un triangle équilatéral posé sur un carré, ce qui permet effectivement de la tracer avec deux RÉPÈTE, mais qui implique quand même une idée quelque peu restrictive de la forme d'une maison. Ce phénomène s'est trouvé exacerbé par l'introduction de la programmation. Dans le groupe de sixième du mardi, qui est celui qui a le plus utilisé l'instruction RÉPÈTE (jusqu'à dix séances pour certains enfants), une véritable rébellion contre la programmation s'est produite au bout de deux séances consacrées à celle-ci : « je veux faire des dessins, pas de POUR ! » ceci s'accompagnant d'un commentaire plus ou moins formulé, du type : « cela sert à quoi ? Je fais aussi bien sans ! ». Pour le deuxième aspect de ce problème, nous n'avons pas de preuves, mais seulement des impressions. L'introduction de l'instruction RÉPÈTE semble transformer la machine en un merveilleux automate pour tracer des dessins, un automate à rapprocher des machines à calculer à quatre opérations. Par là même il devient la finalité de la machine, mais alors pourquoi chercher autre chose ? C'est donc l'idée que les enfants se font de ce qu'est une machine qui est mise en cause ici.

La deuxième facette du problème, réside dans le fait, que les enfants, à ce moment-là, sont assez peu sensibles à des arguments du type : possibilité de faire exécuter des travaux répétitifs à la machine, vitesse de traitement, etc. Ce phénomène, qui est apparu au cours des expériences, trouve sans doute son origine dans le fait que les enfants ressentent beaucoup moins que nous la nécessité de s'économiser autant que pos-

sible la frappe de texte. Nous verrons qu'ils n'hésitent pas à taper plus de quarante lignes identiques.

Avant d'exposer le processus qui fut déduit de ces analyses, il nous faut encore signaler deux problèmes latents que pose l'instruction RÉPÈTE. Le premier concerne l'universalité de celle-ci relativement au type de problème que nous avons posé aux enfants. Nous ne connaissons pas un seul problème de géométrie intéressant et abordable par les enfants, et qui ne puisse pas être résolu en utilisant cette instruction. Notons à ce propos que cette instruction est à rapprocher de l'instruction FOR I = a TO b DO ..., avec la différence notable que dans l'instruction RÉPÈTE la variable de comptage n'est pas accessible. Et c'est là qu'apparaît le second problème. Si nous voulons tracer une spirale carrée :



il suffit d'écrire :

"C — 0
RÉPÈTE ("C — :C + AVANCE :C DROITE 90) 60

or la programmation implicitement contenue dans cette écriture est vraiment peu enthousiasmante. Cela donne :

POUR SPI

5"N — 0 "C — 0
10 "C — :N + AVANCE :C DROITE 90 "N — :N + 1
JUSQUACEQUE :N = 60

FIN

Elle recèle en effet deux dangers, d'une part elle comporte une variable inutile, mais d'autre part, et c'est sans doute là le plus important, elle introduit de façon arbitraire un bloc fonctionnel différent du bloc significatif, qui devrait être ici par exemple "N — :N + 1 AVANCE :N * 5 DROITE 90 (* étant la multiplication) et qui est alors également le bloc fonctionnel.

Toutes les raisons que nous venons d'énoncer nous ont conduits à expérimenter un processus à petits pas que nous allons maintenant décrire.

Il est organisé autour de deux figures, le carré et la spirale carrée. La raison du choix de la première tient au fait que cette figure minimise les problèmes de géométrie, et ne demande que quatre répétitions du bloc significatif, tandis que la seconde, tout en posant un

problème de géométrie raisonnable aux enfants, peut demander jusqu'à quatre cents répétitions du bloc significatif.

Première étape du processus : Justification de l'intérêt de la programmation et de celui d'un moyen d'itération.

Le problème posé aux enfants est de tracer une spirale carrée qui couvre tout l'écran.

Un dessin effectué au tableau explicitera la demande, et l'instruction RÉPÈTE sera exclue, soit en la supprimant, soit en affirmant (avec beaucoup de conviction) qu'elle ne peut pas être utilisée.

La situation de cet exercice dans le processus n'est pas véritablement déterminée mais il est toutefois certain qu'après une utilisation intensive de l'instruction RÉPÈTE, c'est une première étape nécessaire.

Signalons pour la suite que les enfants disposent d'abréviations des instructions AVANCE et DROITE qui sont AV et DR.

Lorsque ce problème a été posé au groupe de sixième du mardi, il fut assez rapidement analysé et résolu. La première solution proposée fut, en une ligne :

AVANCE 25 DROITE 90 AVANCE 30 DROITE 90...
AVANCE 60 DROITE 90,

ce qui permettait de tracer huit côtés.

Après avoir fait effacer l'écran graphique, nous demandâmes : « Pouvez-vous me la refaire ». Nous obtînmes immédiatement :

AVANCE 25 DROITE 90 AVANCE 30... AVANCE 80
DROITE 90,

soit dix côtés cette fois.

Ayant redemandé aux enfants d'effacer l'écran graphique nous demandâmes : « Pouvez-vous me la refaire plus grande, progressez de 5 en 5, de 5 jusqu'à 150 » (ce qui représente trente côtés).

Même là il n'y eut pratiquement aucune protestation avant que la moitié du texte ne fut tapé ! Ce n'est que lorsqu'ils eurent fini, et après en avoir demandé l'exécution qu'ils commencèrent à se poser des questions. En effet ils n'obtiennent que le message sinistre :
PLUS ASSEZ D'ESPACE POUR LA MATRICE

qui en l'occurrence signifie que la liste d'instructions dépasse la capacité du buffer d'entrée et est par conséquent refusée.

Là, ils découvrirent qu'une machine a une capacité limitée. De plus l'idée de pouvoir garder et corriger ce qui a été tapé commença à leur être perceptible.

Une autre expérience significative s'est déroulée avec un groupe de sixième du samedi.

Dans ce groupe ils disposaient déjà de la notion de procédure et l'avaient acceptée.

Ils ont commencé ainsi :

POUR SPI

1 AVANCE 10 DROITE 90

2 AVANCE 15 DROITE 90

3 AVANCE 20 DROITE 90

etc.

Quatre ou cinq lignes écrites précédemment étaient encore visibles sur l'écran alphanumérique qui comporte 32 lignes. Lorsqu'ils arrivèrent vers le bas de l'écran une première réaction d'inquiétude se manifesta :

« L'écran va être trop petit » suivit presque immédiatement de la réponse :

« Ah ! Elle avance d'une ligne à chaque fois », suivit d'une nouvelle inquiétude :

« Elle va tout effacer », qui fut même énoncée plus précisément par un autre enfant :

« Après elle va effacer POUR SPI, après elle ne saura plus quoi faire ». Notons que dans ce dialogue « Elle » est relatif à « La machine ».

Cela eut l'avantage de permettre de leur montrer que l'écran alphanumérique n'est qu'une fenêtre qui se déplace sur la mémoire, ce qui fut vérifié en essayant SPI après effacement de POUR SPI. Notons qu'à ce moment un élève fit une proposition intéressante, et certainement lourde de sens :

« Est-ce qu'on ne pourrait pas faire : de 1 à 30 AVANCE 100 DROITE 90 ? »

D'une part, plusieurs interprétations possibles et indépendantes peuvent être énoncées pour cette proposition, d'autre part nous ne voyons pas d'exploitation possible de celle-ci avec le langage LOGO. Nous pourrions donc.

La spirale étant trop petite, on reprend la définition de SPI, et tout en continuant la frappe du texte de la procédure, on calcule approximativement le nombre de lignes nécessaires à la solution du problème. Ayant obtenu 78, on s'arrêta à la ligne 43, et nous ne sommes pas très sûrs que ce ne soit pas la cloche qui nous ait arrêtés !

Deuxième étape du processus : Introduction de l'affectation et des procédures paramétrées.

Point de départ :

POUR CARRÉ

1 AVANCE 100 DROITE 90
 2 AVANCE 100 DROITE 90
 3 AVANCE 100 DROITE 90
 4 AVANCE 100 DROITE 90
 FIN

(1)

On demande alors de créer la procédure pour tracer un carré de 150 de côté en corrigeant la procédure (1).

On obtient ce résultat en utilisant l'éditeur de texte, ce qui constitue d'ailleurs un excellent exercice d'utilisation de celui-ci.

On demande ensuite le tracé d'un carré de 32 de côté, qui sera effectivement réalisé.

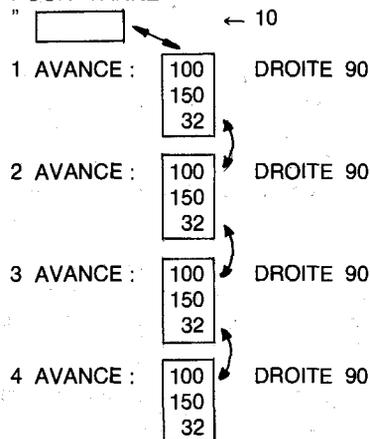
Remarquons que ce premier exercice semble indispensable, car ayant essayé d'en faire l'économie, nous n'avons pas pu poursuivre avant de l'avoir traité. Les enfants semblent avoir des difficultés à réaliser, ou à exprimer, qu'il suffit pour le résoudre, de remplacer 100 par 150, puis 150 par 32.

Ce point étant réglé, on sature les enfants en leur annonçant la demande d'une vingtaine de carrés différents.

Les enfants sentent alors la nécessité de simplifier les corrections et acceptent que nous leur proposons une solution.

Solution proposée : Au lieu d'effectuer quatre corrections on va se ramener à une seule. On présente la solution au tableau avec les explications suivantes :

POUR CARRÉ



1) On trace la boîte autour de 100, 150 et 32.

2) Je veux mettre un nombre dans cette boîte et donc avancer du contenu de la boîte. C'est pour dire cela que je mets les deux-points.

3) Mais je dois être sûr que c'est la même boîte aux quatre endroits (d'où les petites flèches)).

4) Il faut aussi dire que je mets un nombre dans la boîte. [On écrit alors la première ligne sous le numéro en expliquant que la flèche ← se lit RELIE (qui est d'ailleurs la forme préfixe de l'affectation)],

et l'on précise qu'il faut être sûr que c'est toujours la même boîte. A ce stade les enfants proposent de lui donner un nom ou un numéro. On leur demande un nom. Après avoir rectifié la numérotation de ligne on obtient par exemple :

POUR CARRÉ

5 "CÔTÉ - 100
 10 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 20 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 30 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 40 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 FIN

(2)

On peut alors tout de suite passer au dernier stade.

On explique alors : Je ne voudrais pas avoir à faire de correction, je voudrais pouvoir demander CARRÉ 100, CARRÉ 150.

Pour cela il suffit de dire : « La machine doit savoir qu'après CARRÉ, le nombre écrit est le contenu de la boîte », j'écris donc :

POUR CARRÉ :CÔTÉ

10 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 20 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 30 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 40 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90
 FIN

(3)

Troisième étape du processus : Introduction de l'itération. Premier stade : Les enfants doivent comprendre la notion de bloc significatif.

Problème posé : Je veux que la machine écrive 1 lorsqu'elle trace le premier côté du carré, 2 lorsqu'elle trace le deuxième, etc. On essaie d'abord ECRIS 1 puis on essaie d'obtenir :

POUR CARRÉ :CÔTÉ

10 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 ÉCRIS 1
 20 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 ÉCRIS 2
 30 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 ÉCRIS 3
 40 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 ÉCRIS 4
 FIN

(4)

Il est à noter que cette étape est plus facilement franchie par les enfants qui ont beaucoup utilisé le RÉPÈTE.

D'autre part il n'est pas inutile d'utiliser avec exécution PASAPAS pour aider les enfants, celle-ci permettant d'exécuter ligne par ligne une procédure.

Deuxième stade : Introduction du bloc fonctionnel sous forme de bloc significatif.

POUR CARRÉ :CÔTÉ

5 "N — 0

10 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 "N — :N + 1 ÉCRIS :N

20 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 "N — :N + 1 ÉCRIS :N

30 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 "N — :N + 1 ÉCRIS :N

40 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 "N — :N + 1 ÉCRIS :N

FIN

(5)

Pour cela :

1) remplacer 1, 2, 3, 4 par :N ;

2) faire préciser quel est pour chaque commandement ÉCRIS le contenu de N ;

3) déterminer comment on passe du contenu de N à une ligne donnée, à son contenu, à la ligne suivante. (Et cela n'est pas le plus évident, la relation entre 1, 2, 3 et 4 n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire pour un élève de sixième !)

Ecrire la relation obtenue pour les trois dernières lignes ("N — :N + 1)

4) demander, si l'on veut quatre lignes identiques, quel doit être le contenu de N avant la première ligne.

Au cours de cette opération l'un des groupes est passé par une étape où, à la place de "N — :N + 1, on avait "N — 1, "N — 2, "N — 3 et "N — 4.

Troisième stade : Introduction de l'itération et du conditionnel. Le conditionnel et l'ordre d'itération étant inséparables, il faut les introduire en même temps. Cela est possible en utilisant la syntaxe du langage courant.

On remarque tout d'abord que les quatre dernières lignes sont identiques, on explique alors que l'ordre JUSQUACEQUE déclenche la répétition du début de la ligne JUSQUACEQUE... :N = 4 et cela c'est les enfants qui doivent le dire !

Mais alors on obtient :

POUR CARRÉ :CÔTÉ

(6)

5 "N — 0

10 AVANCE :CÔTÉ DROITE 90 "N — :N + 1

ÉCRIS :N JUSQUACEQUE :N = 4

FIN

Problème posé : Je ne voudrais pas écrire à chaque fois 1, 2, 3, 4 ; je voudrais utiliser une boîte. (Il n'est pas inutile ici de faire référence à la spirale carrée où l'on risquerait d'avoir à écrire 400 nombres.)

Le but de cet exercice qui se fait d'abord au tableau est d'obtenir :

Nous avons alors atteint le but que nous nous étions fixé.

Mais cela ne veut nullement dire que nous avons appris la programmation aux enfants.

Nous les avons tout d'abord convaincu de l'importance de la programmation, tous les résultats des expériences que nous avons effectuées confirment ce point. Nous avons même vu des enfants, qui n'aiment pas utiliser la programmation, l'ayant complètement refusé à un certain moment, en défendre maintenant l'importance auprès de leurs camarades.

D'autre part le déroulement de ce processus fournit aux enfants une bibliothèque de programmes, constituée des procédures (1) à (6), qui peut éventuellement être sauvegardée par des moyens automatiques.

Chacune des procédures de cette bibliothèque de référence fournira un exemple et un recours lors de la résolution des exercices proposés aux enfants ultérieurement.

Par exemple, pour parler de l'affectation aux enfants, on pourra se référer à la procédure (2), car celle-ci constituera un exemple déjà vécu par les enfants et connu de celui qui conduira le travail, ce qui lui permettra de palier à l'absence de vocabulaire, commun à lui-même et aux enfants.

D'autre part, toujours pour donner un exemple, il est clair que la succession des procédures (3), (4), (5) et (6) constitue une toute première expérience d'introduction d'une itération.

Enfin, il est un dernier point qu'il faut signaler, ce processus peut se dérouler sans qu'au préalable on ait in-

trouvent l'instruction RÉPÈTE. Or celle-ci est une procédure dont la structure de base peut s'écrire ainsi :

POUR RÉPÈTE :LISTE :NOMBRE

5 "N — 0

10 EXÉCUTE :LISTE "N — :N + 1 JUSQU'À

:N = :NOMBRE

FIN.

Cela signifie que tous les exercices que nous avons effectués avec l'instruction RÉPÈTE, peuvent l'être en

utilisant une procédure du type de la procédure (6). Ainsi nous nous trouverons placés dans un cadre beaucoup plus riche, car d'une part, nous n'aurons perdu aucune des possibilités offertes par l'instruction RÉPÈTE et de plus il nous sera possible de garder une trace sur disque de la solution des exercices, et d'autre part, à l'occasion de ceux-ci des problèmes de programmation pourront être abordés.

Jean-Claude DESPLAND

Bibliographie.

(1) André Rouchier : Problèmes, Procédures, Programmes étudiés et réalisés par des enfants de CM2 utilisant un mini-ordinateur. In : Revue Française de Pédagogie, n° 56, juillet-août-septembre 1981.

Quelques formes de raisonnement en « géométrie de tortue » par des enfants de 10 à 12 ans

Lorsque des enfants de 10-12 ans, par exemple du niveau de la classe de 6^e, se trouvent confrontés au projet de dessiner des figures en commandant une tortue par le langage LOGO, on avance volontiers qu'ils se trouvent dans une situation de type expérimental où la progression sera le résultat d'une suite de tâtonnements, d'essais et d'erreurs. Or cette situation expérimentale porte sur des objets mathématiques (géométriques) à propos desquels ils possèdent déjà un certain nombre de connaissances et sur lesquels l'enseignement les entraîne à faire des raisonnements systématiques, souvent de type déductif. Quelle sorte de va-et-vient s'opère entre ces deux attitudes, le « tâtonnement expérimental », plus ou moins empirique, et la déduction des propriétés ou des relations des éléments, de quel type sont les blocages et ce qui les lève ? C'est ce que nous allons essayer d'analyser sur quelques exemples enregistrés au cours d'une expérimentation avec des élèves de 6^e travaillant avec une tortue de sol, dans le courant d'un deuxième trimestre scolaire.

Tous les expérimentateurs du système ont mis l'accent sur la difficulté que représente, pendant un temps plus ou moins long, la construction d'un angle différent de 90°, puisque le tracé obtenu est l'angle supplémentaire de la rotation qui a été demandée :

- AV 100 GA 60 AV 100 trace un angle de 120° et
- AV 100 GA 120 AV 100 trace un angle de 60°.

Dans un précédent rapport d'expérience (1), nous avons proposé les interprétations suivantes :

— Cette relation des deux angles supplémentaires fonctionne comme une structure d'inclusion : $a + b = 180^\circ$, et les enfants de cet âge maîtrisent l'opération additive ou l'opération inverse soustractive qui permet de calculer l'un ou l'autre élément.

— Par contre, pour faire fonctionner cette relation, il faut disposer du **tout** (180°) à la fois du point de vue

de la composition additive des deux angles supplémentaires et du point de vue figural.

— C'est au niveau figural que se situe la difficulté : l'angle « extérieur » n'apparaît pas. Sa représentation n'a d'existence que si on imagine le prolongement du tracé avant la rotation, par conservation de la direction initiale, et si la rotation elle-même est conçue comme un angle, ou le balayage d'un secteur angulaire.

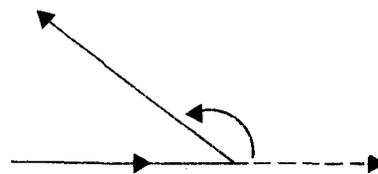


Fig. 1

La construction du tout et de ses éléments est simultanée. Il faut à la fois concevoir le tracé avant rotation et son prolongement virtuel comme les deux côtés de l'angle de 180°, la rotation et l'angle dessiné comme les deux éléments covariants à l'intérieur de cet invariant.

Il semble bien que ce soit l'absence de représentation mentale de ce troisième côté comme prolongement virtuel de la direction initiale, qui soit la cause principale des difficultés. S'y ajoute le fait que certains enfants répugnent à considérer un angle « plat » comme un angle « vrai » (mais c'est une difficulté qui a été déjà abordée au cours de la séance initiale), et qu'ils ne sont pas habitués à traiter un phénomène dynamique de rotation comme décrivant un angle, la représentation dominante de celui-ci restant celle d'un tracé statique.

Quelques exemples concrets de démarche d'élèves :

Les élèves travaillent pendant une heure à chaque séance, par groupe de deux, en compagnie d'un « animateur » et d'un observateur.

C'est généralement au cours de la deuxième ou troisième séance que les élèves abordent ces problèmes d'angles

(1) Apports d'un environnement informatique dans le processus d'apprentissage. Projet LOGO, par J.-C. LE TOUZE, I. N'GOSSO, F. ROBERT, N. SALAME, I.N.R.P., mai 1979.

non droits. La première séance a toujours été systématiquement consacrée à la présentation de l'ensemble LOGO, à la manipulation des ordres simples et à la mise en place des notions d'angle droit (dessiner un « L » majuscule), de demi-tour (180°) et de tour (une rotation complète de 360°) avec retour à la position initiale. Ensuite, contrairement à l'expérience précédente, nous laissons les élèves libres de choisir leurs projets en saisissant les occasions propices à l'introduction de nouvelles notions quitte à rattrapper ou détourner les projets trop ambitieux ou prématurés. Les premiers essais sont des dessins « figuratifs » (bateau, maison, etc.), ou de lettres, ou de figures géométriques.

1) Isabelle et Laurent (11 ans)

Deux enfants qui font certainement partie de la catégorie « bons élèves » : sérieux, réfléchis ; la fille est plus vive dans les réponses spontanées et produit plus de bonnes « intuitions ». Elle est précisément embarquée dans la réalisation de la lettre « A », qu'elle commence par faire une jambe après l'autre en avançant, reculant au point de départ, tournant de 80° à 100° selon les essais, etc. Le problème, c'est la barre centrale dont il faut calculer l'angle et la longueur. L'allure de son A ne lui plaît pas, et lorsqu'à un moment l'animateur lui demande à quoi ressemble la partie supérieure de la lettre, elle saisit l'occasion : « Ah, oui... un triangle... On peut faire un triangle équilatéral, un triangle à trois côtés égaux... ». C'est vraiment une bonne élève !

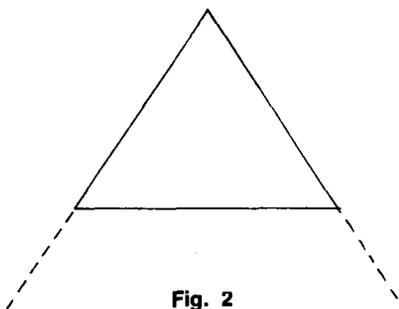


Fig. 2

Le problème se transforme donc provisoirement en : construire un triangle équilatéral.

Elle commence donc avec AV 20 et TG (tournegauche) 40, et constate que c'est insuffisant : « c'est pas assez » ; elle veut faire TG 90, on ne sait pas si c'est pour rajouter 90 à 40, elle est un peu perdue pendant un moment. Finalement elle décide que les angles du triangle doivent être de 20° tous les trois, et énonce ce qu'il faut faire : AV 20 TD 20 AV 20 TD 20 AV 20...

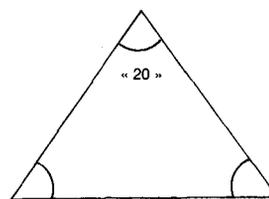


Fig. 3

Il semble que l'égalité connue des trois côtés et celle des trois angles entraîne l'égalité entre la dimension des côtés et celle des angles. Mais elle s'aperçoit immédiatement que tourner de 20° sera insuffisant et annonce qu'il faut tourner de 340° en appuyant son raisonnement par ce dessin (fig. 4) : elle considère donc la totalité de l'angle extérieur à celui de 20° ($360-20$), comme si son tracé allait résulter de la seule rotation sur place. Cette solution ne la satisfait visiblement pas car elle reste un moment silencieuse, puis : « Ah, non ! C'est pas ça, pas 360, c'est $180 - 20...$ » et elle rajoute à son dessin le prolongement du premier côté.

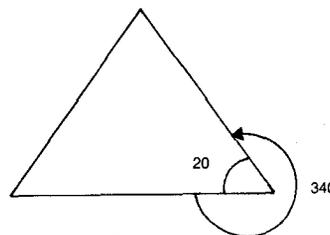


Fig. 4

« Là, il y a 180, moins l'angle de 20, ça fait 160... » (fig. 5). « Là », c'est la marque qu'elle dessine pour désigner l'angle plat. C'est une sorte de moment historique, car on n'a jamais rencontré dans les autres groupes, d'enfant dessinant spontanément, dès le premier abord du problème, le prolongement d'un côté pour constituer

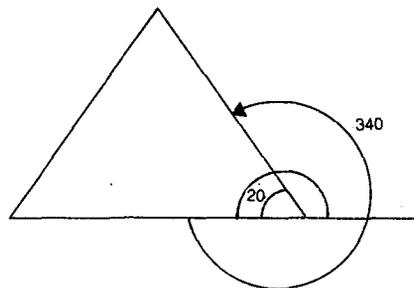


Fig. 5

l'angle de 180° . Elle écrit donc sa suite d'ordres avec des AV 60 et TG 160 et obtient naturellement cette figure (6).

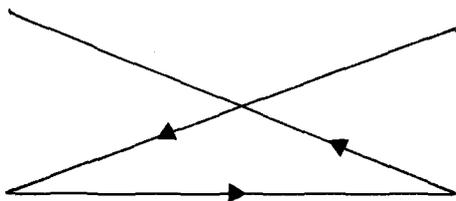


Fig. 6

Laurent intervient : « Fallait pas tourner de 160, c'est trop... ». Sur quoi Isabelle propose que les angles (internes) soient de 60° , semble-t-il à la suite d'un raisonnement où il y aurait encore assimilation entre l'égalité des trois côtés (AV 60) et l'égalité des angles. Mais cette valeur de 60 n'est certainement pas apparue par hasard et une discussion à la fin de la séance nous apprendra que le professeur de Travaux Manuels leur avait montré que la somme des angles d'un triangle était toujours égale à 180° .

Le bon triangle est donc immédiatement exécuté avec des AV 60 et des TG 120. A la fin, l'animateur demande à Isabelle de montrer sur un des sommets l'angle de 60 et l'angle de 120. C'est tout l'angle extérieur qui est désigné ! (fig. 7).

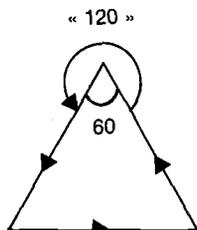


Fig. 7

La représentation mentale du prolongement est donc provisoirement oubliée au profit du seul tracé visible. Sur une autre question, Isabelle montre qu'elle sait bien que la rotation d'un tour à ce sommet est de 360° et la contradiction lui apparaît alors. Elle prolonge un des côtés et marque correctement le supplémentaire équivalent à la rotation de 120° .

A la séance suivante, comme le « A » n'a pas été terminé, c'est Laurent qui reprend le flambeau. Il se souvient de l'égalité des trois angles et des trois côtés et construit son triangle avec des AV 40 et des TG 60, obtenant ceci (fig. 8) :

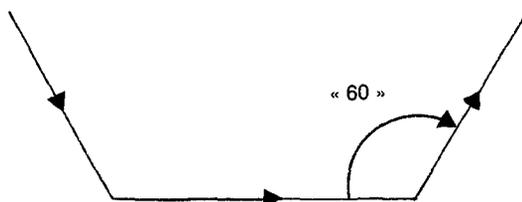


Fig. 8

Quand on lui demande où est l'angle de 60, il montre l'angle interne de 120. Isabelle : « ce n'est pas un angle de 60, parce qu'il est plus grand que 90° ... ».

On suggère à Laurent de reprendre au point de départ, de repérer la direction initiale de la tortue au moment de la rotation. Rapidement il se retrouve et trace le prolongement du premier côté, marque l'angle de 60 et celui de 120. La suite vient toute seule.

Chez ces deux élèves, la mise en place de la structure a été extrêmement rapide, condensée sur deux essais. Bien que Laurent ait assisté à la démonstration d'Isabelle, il repasse par l'erreur classique (tourner de 60 pour faire un angle de 60) avant de s'approprier la bonne démarche à son tour, preuve s'il en est encore besoin qu'il faut manipuler les choses soi-même pour les maîtriser. Leur connaissance empirique de la valeur figurale des angles est encore incertaine, par contre on les voit raisonner à partir de valeurs déjà établies : plus grand ou plus petit que 90, complément de 360. L'obstacle du troisième côté virtuel est rapidement levé, et il semble bien que ce soit par représentation mentale des mouvements de la tortue : lorsqu'elle donne 340 comme la rotation nécessaire pour faire un angle de 20° , Isabelle perçoit probablement la contradiction entre la direction initiale de la tortue quand elle avance vers le sommet de l'angle et le fait qu'elle devrait y arriver à reculons (donc en sens inverse) pour faire cette rotation de 340° . Non seulement elle imagine alors le prolongement du mouvement en avant, mais elle le matérialise spontanément sur son dessin, récupérant ainsi un invariant qui lui permet de calculer ses deux angles. C'est bien la solution d'un conflit figural, car lorsqu'elle semble retomber dans l'erreur en désignant sur le triangle équilatéral réussi l'angle extérieur de 300° comme étant l'angle de rotation de 120° , c'est que, disposant du moyen de calculer ses deux angles, elle n'a plus besoin d'imaginer le prolongement des déplacements.

2) Jacques et Olivier (12 et 11 ans).

Le premier redouble sa 6^e, on se demande pourquoi, car c'est un personnage vif, hardi, s'exprimant avec

aisance, fournissant sans cesse toutes sortes d'hypothèses et offrant à l'expérimentateur l'avantage incomparable de penser à haute voix, particulièrement aux moments stratégiques ! Olivier, moins rapide, est un peu étouffé par cet équipier exubérant.

Dès la seconde séance, ils sont confrontés au projet de faire dessiner à la tortue un bateau à voile et en sont à la coque qui, d'après le projet, ressemble à un trapèze isocèle (aucun de ces termes n'a été prononcé).

Ils connaissent les degrés comme unités de mesure des angles.

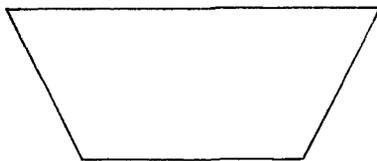


Fig. 9

Pour l'angle « pointu » de la coque, ils choisissent la valeur de 45° , parce que c'est la « moitié de 90 ». Prendre la moitié de l'angle droit pour avoir un angle aigu est une conduite classique observée plusieurs fois dans les divers groupes. Après discussion, ils programment : AV 200 TD 45 AV 50 TD 115... AV 10 (« pour voir si ça va »).

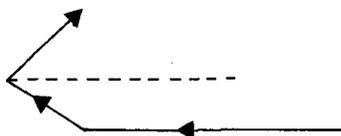


Fig. 10

Nous ne savons pas à ce moment si le premier TD 45 est pour l'angle aigu en haut ou pour l'obtuse en bas. A l'exécution, ils obtiennent la figure ci-dessus (10) et constatent que le retour ne va pas être parallèle. Jacques propose d'essayer une rotation de 120, il dessine un cercle, explique que le tour c'est 360, la moitié 180, mais n'ayant pas encore constitué son théorème, il n'arrive pas à coordonner le tout et ses explications restent confuses et fluctuantes. Il est cependant sur la piste des valeurs qui permettent de constituer un invariant. L'animateur lui demande de combien on aurait tourné,

si on était revenu sur la même ligne. Il connaît la réponse (180), mais elle ne déclenche pas la découverte d'une solution. Ils décident d'essayer une rotation de 160° .

AV 200 TD 45 AV 50 TD 160 AV 250 TD 160 AV 50.

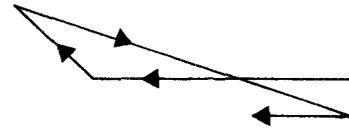


Fig. 11

Ils obtiennent le dessin ci-dessus (fig. 11). Jacques pense qu'il faut tourner « entre 115 et 160 ». Il propose 130, puis 135, d'abord sans expliquer pourquoi, puis finit par déclarer que 135, c'est $90 + 45$, montrant geste à l'appui, qu'il pense d'abord à une rotation de 90 (un droit), à laquelle il rajoute une rotation de 45° pour rattraper la parallèle (fig. 12). Bien que ses explications soient un peu embrouillées, il apparaît qu'il raisonne à partir du fait que deux angles de 90° permettent de revenir sur une parallèle (chose déjà vue en faisant un carré ou un rectangle). Comme le premier angle n'est que la moitié de 90, il faut donc ensuite tourner une fois de 90° et rajouter 45° pour retomber sur la somme désirée. Mais ici, l'invariant permettant le calcul n'est pas le demi-tour de 180° , mais la figure du demi-carré (ou rectangle), ce qui explique le raisonnement par composition additive : $45 + 90 + 45 = 90 \times 2$.

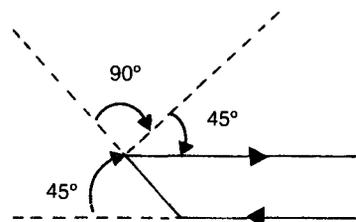
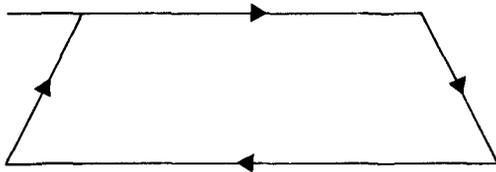


Fig. 12

L'essai est réalisé à partir de la ligne d'ordres :

AV 200 TD 45 AV 50 TD 135 AV 240 TD 135 AV 50.



L'animateur demande alors : « pour revenir sur la parallèle, vous avez tourné de combien en tout ? ». Les enfants font l'addition, se trompent, puis trouvent 180. Est-ce-que 180 leur rappelle quelque chose ? A ce moment-là, le lien s'établit : 180, c'est « le retour sur ses pas, et on s'en sert aussi pour le carré : $90 + 90$ ». La dernière remarque confirme le raisonnement précédent. Question : « Si on avait tourné de 20° au premier angle, de combien faut-il tourner après ? » — Jacques : « $180 - 20$, j'ai compris ! » mais Olivier, lui, n'est pas convaincu. On fait l'essai avec la tortue, mais Olivier n'a toujours pas suivi le raisonnement. C'est Jacques qui entreprend alors de lui faire la démonstration du théorème par des dessins, notamment du carré : « Pour revenir sur une parallèle il faut tourner en tout de 180 ».

A l'issue de cette séance, il semble donc que l'invariant constitué qui permet de calculer les angles, c'est le demi-tour de 180° . Il n'a pas été question de prolonger le premier côté tracé avant la rotation. A la séance suivante, le problème du dessin de la coque est repris, car avec des angles de 45° , il est difficile de calculer à l'avance la longueur des côtés parallèles autrement que par approximations successives. La solution proposée alors est de faire une coque composée de trois triangles équilatéraux (fig. 13), notions que les deux élèves connaissent. Un essai préalable est tenté sur un seul triangle. Les enfants programment :

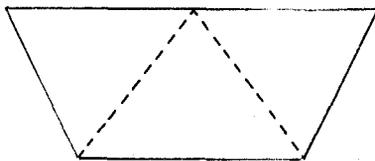


Fig. 13

AV 100 TD 140 AV 100 TD 140 AV 100
et obtiennent la figure 14.

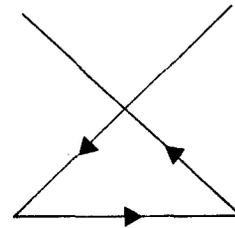


Fig. 14

Etonnement ! Jacques essaye de raisonner à partir du tour de 360° : « dans le carré, on revenait au même point et tous les angles étaient égaux à 90° , alors je pensais que pour faire un triangle équilatéral, il fallait diviser 360 par 4... » puis : « Non !.. par trois ! ». Ils font la division à la main et trouvent 120. Ils programment :

AV 60 TD 120 AV 60 TD 120 AV 60. C'est bon.

(Remarquer la dimension des côtés qui passe à 60 !)

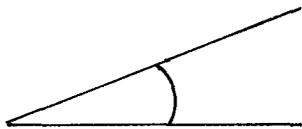
On leur demande de désigner les angles de 120 et Jacques montre les angles internes du triangle ! Comparaison faite avec l'angle de 90° , le doute s'installe : « Je ne comprends plus » avoue Jacques, qui désigne ensuite tout l'angle extérieur (300°) comme étant celui de 120° .

Ce qui est remarquable dans cette séquence, c'est que la construction successive de deux « théorèmes » réussis et opératoires (angles supplémentaires dans le demi-tour de 180° ; valeur de l'angle déterminée par le nombre d'angles de la figure fermée après un tour de 360°) n'a pas levé l'obstacle figural constitué par l'absence de représentation du prolongement de la direction initiale avant chaque rotation. Dans la discussion qui suit, c'est l'animateur qui suggère la solution, mais l'obstacle demeure encore puisque, en achevant leur coque avec les angles de 120° et de 60° , Jacques justifie la valeur 60 pour le deuxième angle en disant que c'est la moitié de 120 et qu'il faut tourner de la moitié pour revenir sur la parallèle : c'est une régression au niveau du raisonnement de leur première construction avec l'angle de 45° , moitié de 90 ! Et ce même raisonnement réapparaîtra à la séance suivante où les deux élèves construisent une procédure TRIANGLE : cette fois-ci, les angles de la figure sont désignés correctement et lorsque l'animateur demande de tracer le prolongement du premier côté, Jacques explique à Olivier : « ... si tu veux un angle de 60, il faut tourner de 120... donc le double ! ».

On lui demande alors de combien il faut tourner pour dessiner un angle de 50° . A ce moment-là, il se met à rire car il s'est rendu compte de son erreur et il reprend les explications pour Olivier en lui faisant la démonstration pour plusieurs valeurs, avec dessins à l'appui, de la co-variation des deux angles supplémentaires à l'intérieur de l'angle plat. La constitution de l'invariant « angle plat » a fait surgir la contradiction avec le calcul par le « double ».

Quelques remarques complémentaires sur les angles :

Il existe un moyen infaillible de se rendre compte si un élève de 10-12 ans a une bonne représentation de l'angle de rotation de la tortue : c'est de lui demander de marquer cet angle avec le symbole habituellement utilisé et que tous semblaient connaître et savoir placer sur un angle isolé (encore que chez certains sa place plus ou moins éloignée du sommet détermine une portion de « camembert » dont l'importance induit le jugement relatif à la taille de l'angle : concrètement, pour une même ouverture, plus la surface du « camembert » est grande, plus l'angle est grand !).



Pour ce qui est des angles de rotation « extérieurs » à une figure, un triangle par exemple, on obtient ceci :

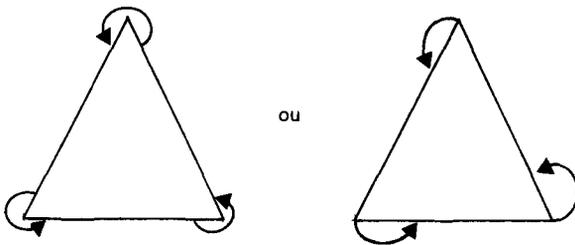


Fig. 15

ce qui paraît normal si on n'a pas imaginé le prolongement du premier côté de chaque angle.

Mais avec d'autres chez qui ce prolongement se met en place et qui sont capables de le dessiner on obtient aussi ceci :

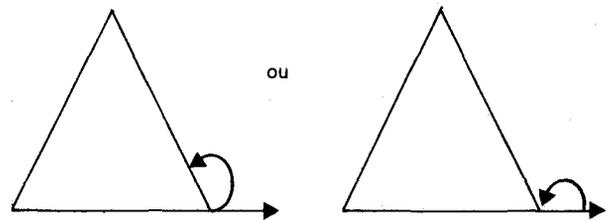


Fig. 16

Il ne faut pas pousser très loin pour découvrir que la composition des deux angles dans l'invariant 180 n'est pas vraiment constituée. Et le marquage de l'angle extérieur est une tentative de représenter le mouvement de la Tortue qui révèle que le balayage du secteur par l'axe AV/AR de l'appareil n'est pas encore « perçu », c'est-à-dire intégré dans la construction de la figure.

Un réaménagement figural par changement de point de vue

Muriel et Nora (11 et 13 ans).

Nora, déjà 13 ans en 6^e, a des notions de géométrie pleines d'imprévu et des stratégies pleines de détours. Avec Muriel, elles ont le projet depuis deux séances de dessiner une maison. Pour cela elles ont déjà fait une procédure DESSINERCARRÉ :CÔTÉ: et un TRIANGLE :CÔTÉ:, toutes les deux à paramètre (côté) variable. Pour faire la maison, Nora propose d'abord, une fois le carré terminé, de positionner la tortue à la main pour faire le toit (triangle !). Ce que l'animateur interdit impitoyablement !

Finalement elles décident d'enchaîner directement les deux procédures : DESSINERCARRÉ 200, TRIANGLE 200.

Résultat figure 17.

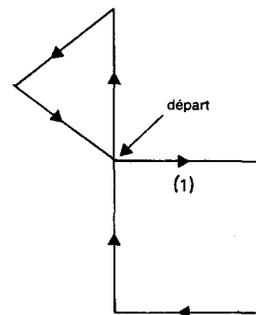


Fig. 17

L'analyse du résultat est d'abord consacrée à retrouver le point de départ et le sens du parcours jusqu'à la fin. L'horreur de la situation apparaît alors dans toute son ampleur : c'est que la procédure du CARRÉ est faite avec des rotations à droite et celle du triangle avec des rotations à gauche ! Il semble qu'il soit impossible de les faire coïncider ; diverses solutions sont envisagées : faire une rotation avant de commencer (manœuvre inutile !), commencer par le carré, commencer par le triangle, orienté à droite, orienté à gauche... Rien n'y fait, il va falloir envisager de réécrire une des deux procédures. A aucun moment, elles n'ont envisagé d'introduire un ordre de rotation intermédiaire entre les deux procédures, bien que Muriel énonce la nécessité de « tourner » comme ce qu'il faudrait faire pour repartir dans la bonne direction, mais qui lui semble tout à fait impossible à cause des rotations en sens inverse des deux figures.

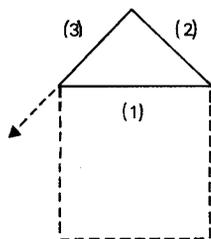


Fig. 18

Considérant le cas où on débute par le triangle (fig. 18), sur un essai dessiné à la main, elle ne voit pas comment arriver à faire passer ce maudit carré sous le triangle. Mais brusquement elle trouve une solution, se déplace autour de la feuille et propose de tourner à droite pour positionner le carré par rapport au dernier côté exécuté du triangle (fig. 19). Pour cela, il lui a fallu abandonner son premier point de vue pour en adopter un orienté en sens inverse.

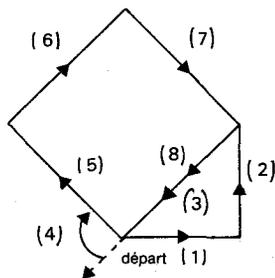


Fig. 19

C'est une conduite facilitée par la tortue de sol qui n'impose pas de « haut » et de « bas » par rapport au cadre de la feuille (ce qui n'est pas le cas sur l'écran graphique). Encore fallait-il être capable d'abandonner ce premier point de vue. On voit que ce qui paraissait impossible dans ce cas — faire une rotation à gauche (de 120°) pour repasser sur un côté du triangle déjà tracé — devient possible si on fait une rotation à droite (de 90°) pour tracer un nouveau côté avec la figure qui tourne à droite. Ce qui barrait la première solution, c'est que le premier côté du carré était perçu comme devant absolument « descendre » à l'aplomb du toit, solution possible si on accepte de renverser le « sol ». Le schéma de représentation de la maison impose un ordre préférentiel du parcours.

Comment naissent les cercles

Dans le rapport déjà cité (1) sur une première expérimentation avec des élèves du même âge et même niveau, nous avons rapporté les formes de raisonnement par lesquelles les enfants passaient du polygone au cercle. En effet, la progression adoptée pour tous était telle que les enfants n'abordaient le problème du cercle (malgré parfois leurs demandes répétées) qu'après les autres figures et en possession d'une procédure de type POLYGONE à trois paramètres : CÔTÉ, ANGLE et NOMBRE (DE CÔTÉS).

Nous avons fait l'hypothèse que les difficultés que presque tous éprouvaient à passer du polygone au cercle, parfois jusqu'au refus, pouvaient venir de la progression même proposée aux enfants qui, pour les avoir fixés suffisamment longtemps sur les problèmes d'angles, de côtés, etc., les gênaient dans la découverte de la solution. Sauf pour deux sur trois qui avaient spontanément opéré le passage, il avait fallu que les animateurs mettent les enfants sur la piste en leur proposant de faire dessiner des polygones à nombre de côtés de plus en plus élevé. A un moment, le raisonnement se structure de la manière suivante : il faut faire un grand nombre de côtés pour que ça ressemble à un cercle ; on voit même apparaître l'idée qu'il faut faire 1 000 côtés, ou un million ! C'est-à-dire tellement qu'on ne les verra plus en tant que « côtés », ce qui implique la diminution corrélatrice de la longueur du paramètre côté, auquel on attribue parfois la valeur « zéro » : c'est encore l'idée de sa disparition en tant que segment identifiable. Cette co-variation vient presque toujours dans un deuxième temps, comme celle qui concerne la valeur de l'angle, déduite du nombre maximum de côtés (360),

(1) Cf. page 1.

ou diminuée parallèlement à la taille du côté, parfois jusqu'à zéro elle aussi : il faut effacer le côté « anguleux » du polygone. La mise en place du cercle par cette procédure représente un véritable passage « à la limite » du polygone au cercle.

Qu'en est-il si, au lieu de fixer un programme, on laisse les élèves libres de choisir, leurs figures ou leurs dessins dans l'ordre qu'ils proposent ? Presque toujours dans les premières séances, les enfants demandent si la tortue peut faire des « ronds » ou des cercles. On leur répond alors que c'est à eux d'en trouver le moyen. C'est ce que nous avons fait dans une deuxième phase de l'expérimentation avec quelques groupes.

Ce qui nous intéressait dans ce cas précis, c'était de voir si des sujets qui n'ont pas encore beaucoup manipulé le système et les concepts LOGO, allaient trouver plus spontanément la méthode, comme on l'affirme fréquemment (en particulier chez les promoteurs de LOGO). Nous avons considéré que tout énoncé qui proposerait d'avancer « un peu », de tourner « un peu » et de recommencer, constituerait une représentation satisfaisante de la méthode de construction du cercle, quelles que soient les difficultés de mise en place qui s'ensuivraient.

Or sur les huit élèves (quatre groupes de deux) observés, un seul a proposé la solution dès le premier abord du problème. Tous les autres se sont trouvés bloqués plus ou moins longtemps par le fait que la tortue ne pouvait faire deux choses à la fois : tourner, avancer. Or pour faire un cercle il faut « avancer en tournant », ou vice-versa, en bref il ne faut pas faire de segments de droite. Quelques exemples :

— Isabelle (déjà citée plus haut en compagnie de Laurent) sera la seule à trouver la solution d'emblée. A la troisième séance, alors qu'ils n'ont encore abordé que des parcours simples et le triangle, en dessinant des lettres, et sans connaître encore ni procédure ni paramètre, les enfants veulent dessiner la lettre « O » et donc faire un « rond ».

Immédiatement Isabelle propose de faire : AV de 1 et tourner de 1 plusieurs fois, alors que Laurent pense y arriver en AV de 30 ou 60 et tournant de 180 (en fait il pense au périmètre total). Ce qui constitue l'obstacle principal à la mise en place, c'est que, ne disposant encore d'aucun moyen de répétition, les enfants vont essayer d'allonger les côtés et augmenter les angles de rotation pour fermer plus vite et vont donc retrouver la contradiction polygone/cercle. Mais la suite des discussions et essais montre qu'Isabelle a eu tout de suite l'idée directrice : ramener la valeur du segment

(AV 1) au minimum, c'est-à-dire opérer le passage à la limite qui permet par des rotations successives d'obtenir la courbure souhaitée.

— Philippe et Didier (12 ans chacun) ont aussi voulu faire un rond dès la troisième séance, Didier est capable de mimer lui-même le déplacement pour faire un cercle, mais il n'en tire rien pour la tortue.

Philippe pense qu'il faut tourner autour d'un axe. Ça n'ira pas plus loin cette fois. Au cours de la 4^e et 5^e séances, la demande revient : ils sont en train de faire des polygones et d'apprendre à rappeler la procédure (récursivité) pour répéter une opération, et d'installer un compteur. Philippe propose des solutions magiques, comme d'écrire CERCLE à l'intérieur d'une procédure, alors que Didier déjà résigné pense qu'il n'y a pas moyen d'y arriver. A la 6^e séance, ils reviennent avec une idée : « On lui dit RAYON : CERCLE : et nombre quelconque... ». Philippe a toujours tendance à penser qu'il suffit de nommer les choses pour leur donner la vie. Essai. L'ordinateur ne veut rien savoir. Cette fois, ils n'abandonnent pas, ils ont fait le cercle en classe aujourd'hui même, ils commencent à en connaître un bout. Voici la définition : « C'est une figure qui a plusieurs côtés et si on ajoute tous les points ça fait le cercle... ». On est sur la piste, mais le rayon vient se mettre en travers. Qu'en faire ? A ce moment Didier avance la bonne hypothèse : « on avance d'un point et on tourne un peu... ». Et après ? « Ça dépend combien de points on va faire. Si on fait dix fois on divise 360/10, si on veut 20, on divise 360/20... ». Il récupère les méthodes du polygone, mais l'idée de point est encore mal reliée à celle du nombre de coups. Quel nombre maximum de points peut-on faire avec la tortue ? Pas de réponse... Tourner un peu, le moins possible, ça représente quoi ? Philippe : « tourner de 5... non de 1 ». AV/1 et TD(G) 1, il faut le faire combien de fois ? Didier : « 360 ». La méthode est au point ! Le nombre de répétitions n'a pu être trouvé qu'une fois la valeur de l'angle établie, car la procédure polygone, déjà connue, a appris à coordonner les deux paramètres.

— Jacques et Olivier (déjà cités) vont traîner leur envie de cercle dès la 2^e séance, jusqu'à la cinquième. Jacques fournira nombre d'hypothèses à base de mouvements combinés de rayons, d'axes, etc. Mais ce n'est que sur la suggestion de l'animateur, après la mise au point d'une procédure POLYgone, qu'ils opéreront le passage de polygone à cercle. Il est plus intéressant de les voir manipuler les trois variables paramétrées (côté, angle, nombre d'itérations) pour dessiner des arcs, puis un « œil » ou « ballon de rugby » (fig. 20).

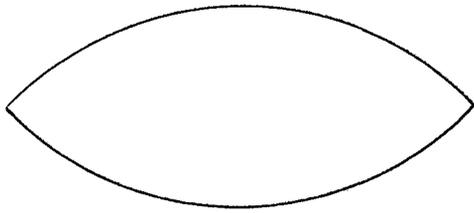


Fig. 20

L'idée directrice est que pour revenir au point de départ, il faut tourner de 360, donc on va tourner de 180°, à une extrémité. Mais avec deux angles de 180, il ne reste plus rien. Il faut donc tourner de 90. Le premier essai est donc fait avec :

ROND 1 1 180 TD 90 ROND 1 1 180.

L'arc est maintenu à 180°, en contradiction avec le raisonnement précédent, probablement parce qu'ils pensent obtenir ainsi un arc assez **grand**. Ils obtiennent la figure 21, « un poisson ». Bientôt il apparaît qu'un arc de 180° c'est un demi-cercle et que deux demi-cercles font un « rond à plat ».

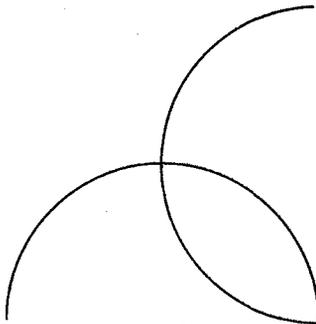


Fig. 21

« On va faire un arc de 90, ensuite tourner de 180 et encore un arc de 90... » propose Jacques.

C'est encore trop. Il corrige alors en tournant à l'extrémité de 90 et ajoute : « il y a une autre manière : il faut tourner en tout de 360, alors on fait deux arcs de 90 et la différence, on la divise en deux ! ».

Ensuite, ils essayent de faire un ballon « plus allongé et plus pointu » (fig. 22).



Fig. 22

ROND 1 1 140 TD 40 ROND 1 1 140.

Le compte y est, mais le ballon est encore plus ventru que le précédent ! On voit l'origine de l'erreur : la mesure angulaire de l'arc est confondue avec sa mesure de longueur. Pour avoir un arc plus allongé, on augmente le nombre de degrés (140 fois 1 degré), ce qui a bien pour effet d'allonger l'arc mais sans en modifier la courbure, puisque le pas (AV 1) ne change pas. Il leur reste à essayer quelques variations sur l'autre paramètre avant d'atteindre leur but avec :

ROND 2 1 80 TD 100 ROND 2 1 80.

C'est le même genre de manipulations que pour dessiner des cercles de tailles variées, avec ici une exigence plus forte sur la forme. Avec un invariant (360°) comme base de calcul, il suffit de manipuler les trois paramètres comme les boutons d'une machine, pour ajuster les résultats aux prévisions.

En résumé, il ne semble pas que, dans une situation de liberté par rapport au choix des projets, « l'intuition » de la méthode de dessin du cercle par la tortue soit plus facile et plus précoce que dans le cadre de la progression qui avait été adoptée lors de la première expérience. Sauf un, les enfants n'ont pas trouvé « naturel » d'avoir à faire dessiner des cercles à un mobile qui ne peut pas avancer « en tournant », mais fait toujours une chose après l'autre.

Paradoxalement, c'est également la preuve que la rotation est bien perçue comme quelque chose qui « casse » une droite, donc produit un angle, alors que cet angle de rotation est lui-même plus ou moins ignoré dans un premier temps en tant que tel, lorsqu'il s'agit de calculer son supplémentaire.

L'induction qui mène au cercle se traduit par deux idées simultanées : la réduction du segment AVANCE à un « point » et l'itération de cette action jusqu'à fermeture. La valeur de « l'angle » est alors déduite, mais de façon plus incertaine, soit par diminution corrélative, soit par division de l'invariant 360 par le nombre d'itérations, soit comme valeur totale du périmètre. La réduction à la même valeur du pas (AV 1) et de l'angle (TD 1) entraîne la confusion sur les notions de mesure angulaire et de mesure de longueur des arcs. Il faut « jouer » avec la procédure pour distinguer leurs effets. De ce point de vue, les procédures LOGO constituent un excellent outil d'entraînement aux démarches de l'expérimentateur : maintenir un paramètre fixe en faisant varier l'autre, ou les autres, variations liées, etc.

CONCLUSIONS

Sur les quelques exemples rapportés ici, peut-on commencer à caractériser les formes de raisonnement mises en œuvre par des enfants de 11 ans dans l'environnement LOGO ?

Il est indéniable que la plupart de leurs conduites dans cet environnement relèvent d'une attitude « expérimentale » : formation d'une hypothèse, essai, confirmation ou réfutation, fixation d'une croyance ou nouvelle hypothèse par remaniement, etc. Si apprentissage il y a, consiste-t-il alors en inférences inductives, et sur quelles bases ?

Si on considère les croyances (connaissances, représentations, méthodes...) qui sont à la base des hypothèses, on constate qu'interviennent deux ordres de données différentes :

— d'une part des représentations de type spatial ou figural : « bonnes » formés privilégiées ou stéréotypées, composition de formes et de mouvements, images mentales anticipatrices de mouvements... ;

— d'autre part, des modes de calcul utilisant des opérations tant de nature quantitative que de nature logique, s'appuyant de préférence sur des invariants d'abord locaux puis de plus en plus généraux, ainsi :

— le premier, c'est l'angle de 90° , qui sert de référence aux angles aigus et obtus ; et le mode de calcul le plus simple, c'est celui par la moitié et le double ;

— la composition de deux angles de 90° , comme modèle figural et comme somme décomposable pour un calcul par approximation ;

— le demi-tour par rotation de 180° , et le calcul de l'angle comme reste d'un demi-tour inachevé ;

— l'angle plat, par conservation et prolongement virtuel de la direction initiale ; calcul des angles par compensation ;

— le « tour » de 360° , comme rotation sur place ou parcours fermé qui permet plusieurs inférences : calcul d'un angle comme reste de 360, comme quotient de 360 par le nombre d'angles (sommets), composition d'angles et d'arcs, etc.

On peut objecter qu'une partie de ces notions a été présentée et « renforcée » par les expérimentateurs dès

le départ, mais il est frappant de voir que ces enfants se les approprient rapidement et s'en servent comme base de leurs calculs, même si c'est de manière confuse et erronée au commencement. Il est possible que l'intervention des animateurs ait renforcé ce type de raisonnement, mais si on examine les exemples que nous avons rapportés, on s'aperçoit que les inférences produites par les enfants de manière explicite sont démonstratives (déductives). On pourrait dire que la base observationnelle est fournie par la suite des essais, des expériences, mais ce sont plutôt les adultes qui conseillent aux enfants d'essayer « pour voir ». Ceux-ci cherchent toujours à réussir du premier coup, donc à avoir un moyen de calcul ou de prévision fiable. Il faut des échecs successifs pour les rendre prudents.

Il reste cependant ces moments où soudainement un obstacle est levé, un invariant plus intéressant se constitue, etc. Il s'agit presque toujours de remaniements *figuraux*, c'est-à-dire d'un réaménagement du point de vue (orientation, rapport des positions entre elles, etc.), de la construction des figures, des éléments présents, absents ou virtuels. Cette transformation de la figure perçue, ou de son image mentale, peut-elle être considérée comme le résultat d'une induction, ou le moment où l'induction se produit ? Ça ne prend pas tellement la forme d'une hypothèse faite sur la base d'observations antérieures, mais plutôt d'un changement d'attitude, de l'abandon d'un point de vue pour un autre qui va permettre de nouvelles hypothèses... Le moteur semble en être la perception de plus en plus forte d'une contradiction dont la résolution prend l'allure d'une déduction. Mais le remaniement lui-même est-il purement déductif ?

Au fond, ces enfants ont des conduites qui satisfont assez bien à certains principes, tels ceux énoncés par K. POPPER à propos de la démarche scientifique (1). On sait que POPPER est très critique à l'égard de l'induction, et que pour lui toute inférence scientifique est déductive. Les hypothèses émises par les enfants sont toujours falsifiables (réfutables) dans le système LOGO qui les met constamment à l'épreuve, et plus une hypothèse est falsifiable, plus sa valeur informative est grande. Ce nous semble être précisément un des rôles majeurs de l'enseignant dans ce système que de saisir les occasions de mettre à l'épreuve, de tester la réfutabilité des croyances en cours de fixation.

Frédérique ROBERT

(2) Karl POPPER : Logique de la découverte scientifique (Trad. Franç. 1974). Cf. également : La démarcation entre la science et la métaphysique, in : De Vienne à Cambridge, P. JACOB, Gallimard 1980.

Quel système d'édition pour une prise en compte fidèle des actions, des concepts et des méthodes mis en jeu par un jeune enfant en cours de réalisation d'un projet

Un enfant qui se propose à faire réaliser un projet personnel qu'il veut faire réaliser à un système informatique (par exemple un dessin à réaliser par la TORTUE), doit donner à celui-ci la méthode de réalisation et les différentes actions à entreprendre pour y arriver. Il doit s'exprimer de manière à être bien compris par le système. Cette expression pour être le plus proche possible de son langage et de sa propre pensée doit être faite :

1. avec un langage informatique accessible à l'enfant ;
2. sur un support matériel qui ne requiert d'habileté particulière à l'enfant ;
3. avec des possibilités de transcription adaptée à son mode d'expression qui lui permette de maîtriser entièrement le contenu et la forme de son texte.

Nous nous attacherons dans la suite de ce texte essentiellement sur le dernier aspect.

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉDITION DISPONIBLE SUR DES MICRO-ORDINATEURS

Il existe actuellement plusieurs modes d'édition sur des micro-ordinateurs grand public. Certains fournissent un nombre impressionnant de fonctions de mise en forme d'un texte. Ainsi les éditeurs de textes destinés au secrétariat des entreprises, ou à l'édition d'ouvrages, permettent aux professionnels de chacun de ces domaines, de modifier, de réorganiser, de rédiger à volonté des textes affichables sur plusieurs pages de l'écran de visualisation, et dont des parties sont mémorisées sur une disquette. Certains systèmes destinés à la rédaction de programmes, offrent tout ou partie de ce genre de facilités. Avec ce type d'éditeur un mot du texte peut être rapidement trouvé à l'aide d'une ou plusieurs touches, son déplacement, sa suppression, son changement, s'opèrent de la même manière par utilisation de certaines touches. Ces éditeurs conviennent bien à la mise en forme de textes de plusieurs pages.

Des éditeurs simples voire très pauvres offerts dans la quasi-totalité des micro-ordinateurs dans le système BASIC — leurs fonctions se limitent généralement à la création et à l'effacement d'une ou plusieurs lignes. La modification d'un élément sur une ligne est généralement malaisé à réaliser : soit elle se fait sur une ligne de commande, soit sur la ligne elle-même, l'utilisateur pouvant générer les mots d'une ligne préalablement demandée en modification par la frappe simultanée de plusieurs touches de fonctions.

11 - SUR QUEL ENSEMBLE D'ÉLÉMENTS S'EFFECTUERA L'ÉDITEUR ?

Ce sont les actions réalisées par chaque commande et la tâche finale réalisée par toute la série des commandes successives qui intéressent l'enfant, et non sa présentation sur l'écran. Ici tout changement d'un mot dans la série des commandes entraîne la modification de la tâche finale. Ceci exige de l'enfant une complète maîtrise de tout le texte, à savoir la bonne connaissance de l'ordre dans lequel intervient l'action de chaque mot constituant le texte. Une page entière de l'écran représente une quantité et une diversité d'actions et de situations difficilement maîtrisables par un utilisateur non spécialiste et surtout par un jeune enfant.

Il nous semble souhaitable de limiter la modification dans le cadre d'une PROCÉDURE (ensembles d'éléments dont les diverses relations ont été définies par l'enfant lui-même et dont les implications de la modification de l'un d'entre eux peuvent être clairement décelées par lui-même).

12 - CRITÈRES AUXQUELS TOUT ÉDITEUR DOIT OBÉIR

Les expériences qui ont eu lieu ces dernières années tant avec des jeunes enfants qu'avec des adolescents en situation d'apprentissage font apparaître un certain nombre de points qui doivent à notre avis nécessairement être pris en compte dans tout éditeur.

1.2.1. - LA CLARTÉ DE L'ÉCRAN DE VISUALISATION

Quelque soit la situation il faut que sur l'écran une distinction bien nette et peut être géographique puisse être faite entre la partie de l'écran qui contient un texte, en cours de définition, un texte en cours d'exécution, et tout autre texte (affichage d'objets particuliers...) des messages du système à destination de l'utilisateur. Il ne doit cependant pas y avoir trop de zones différentes de l'écran. Ceci risque plutôt d'accroître la confusion dans la lecture de l'écran, trois zones séparées nous semblent un grand maximum.

1.2.2. - L'IDENTIFICATION IMMÉDIATE DU LIEU où l'erreur est produite et si possible la désignation du nom de cet endroit ou le nom du sous-ensemble d'objets le plus proche. Ce nom pouvant servir à toute expression orale par l'enfant, ou généralement de support à toute explicitation à un tiers.

1.2.3. - ELÉMENTS DE DESCRIPTION DU DÉROULEMENT

Disposer au moins pour de jeunes enfants de moyens de description du déroulement d'une tâche, ainsi pourront-ils bien distinguer la place de la tâche actuelle par rapport aux tâches précédentes et aux tâches à venir.

1.2.4. - IMAGE DE LA LIGNE INTERPRÉTÉE

L'image d'une ligne frappée au clavier doit être immédiatement disponible à l'utilisateur qui pourra ainsi procéder à la correction des erreurs d'interprétations de son texte qui tiennent plus à la syntaxe qu'à une méconnaissance des fonctions à réaliser. Il peut être proposé deux modalités d'affichage de cette image ; soit une superposition pure et simple sur la ligne tapée, soit juste le signalement des parties des deux textes qui diffèrent.

L'ÉDITEUR CHOISIT DANS LA VERSION INLOGO SUR MICRO-ORDINATEUR Z80

— L'éditeur LOGO est un éditeur de PROCÉDURE et non un éditeur pleine page.

— Une procédure est un texte commençant par la commande APPRENDS ou la commande POUR et se terminant par la commande FIN. Lorsqu'une procédure

contient plus de 20 lignes écran les 20 premières lignes sont affichées suivies d'un indicateur de suite.

— Les lignes de la procédure sont numérotées par l'utilisateur lui-même.

— Les 5 dernières lignes de l'écran servent à écrire les lignes d'exécution directes lorsque l'on est en mode d'édition d'une procédure.

— A la fin de l'entrée d'une ligne de procédure le curseur est placé au premier caractère des 5 dernières lignes ; dans cette situation toute ligne commençant par un nombre est considérée comme faisant partie de la procédure ; en somme la ligne est considérée comme une requête de modification ou de création de la ligne ayant pour numéro le nombre tapé, celle-ci pouvant par ailleurs être activée par une touche spéciale « escape » pour des touches ou

APPRENDS RECTANGLE

10 AVANCE 100 TG 90

20 AVANCE 90

Dans une version semi-graphique l'éditeur prévoiera des lignes dans lesquelles les dessins font partie du corps du texte de la ligne, par exemple :

écrits : * * *

ÉDITION D'UNE PROCÉDURE A L'INTÉRIEUR D'UNE LIGNE EN COURS D'EXÉCUTION

— L'éditeur est une primitive comme toutes les autres et doit donc être utilisé en cours d'exécution d'une ligne de commande dont elle n'est pas forcément la première primitive, soit dans une procédure en exécution. Ce type d'usage permet de définir de nouvelles procédures et d'en modifier en cours d'exécution. Dans les domaines de type littéraire, il devient possible de faire travailler des enfants en composition de texte sous éditeur.

— L'utilisateur peut composer son texte dans des listes ; à l'exécution d'ÉDITE le contenu de ces listes est pris en compte de la manière suivante : la première liste représente le titre de la procédure et les listes suivantes les lignes de la procédure. L'édition ne s'arrêtera que lorsqu'une liste contenant FIN est rencontrée.

— A l'annonce de POUR ou MODIFIE suivi du nom de la procédure et de ses variables lorsqu'elle en a, LOGO envoie un chevron (<) et attend les commandes d'édition. La commande FIN, termine l'exécution et le programme suit son cours normal.

CONSTITUTION D'UNE LIGNE

Il existe deux sortes de lignes :

— une ligne d'exécution directe qui s'exécute immédiatement après la frappe de la fin de la ligne (le retour chariot) ;

— une ligne de procédure : ligne commençant par un numéro (un nombre) prise en compte lorsque l'on se trouve en mode d'édition (le chevron « < » annonce l'attente d'une ligne pour la procédure en cours d'exécution).

— Une ligne est constituée de commandes (primitives ou procédures) et de leurs paramètres (liste, variable, mot, nombre).

— Les constituants de la ligne sont séparés par des espacements comme dans une phrase écrite classique. Lorsqu'il y a ambiguïté notamment dans l'appartenance des paramètres, l'utilisateur peut se servir des parenthèses pour bien délimiter les éléments.

— Un commentaire peut être associé à la ligne, il doit être placé en fin de ligne et doit nécessairement être précédé par un point virgule « ; ». Son texte sert à décrire la tâche que réalise la ligne.

ÉDITION D'UNE LIGNE

Une ligne est l'unité de base de l'édition de procédure. On peut « raisonnablement » penser qu'un enfant maîtrise bien ces constituants, aussi peut-on lui donner toutes les possibilités de modification de la ligne sans craindre qu'il se perde.

— Insertion :

Nous avons choisi le mode d'insertion par touche spéciale qui donne l'effet immédiat sur l'écran : un

blanc est affiché juste à la position du curseur, le reste du texte est décalé d'un cran à droite.

— Effacement :

Même procédé pour l'effacement d'un caractère réalisé par la touche (RUBOUT) ; l'effet est immédiatement produit sur l'écran ; tous les caractères ont décalé d'un cran à gauche, le caractère sur lequel était positionné le curseur est effacé.

— Positionnement sur un caractère :

L'utilisateur peut se positionner sur tout caractère de la ligne en vue d'une insertion ou en vue d'un effacement par simples touches → pour revenir en arrière ← pour avancer le curseur.

CHOIX D'UN NUMÉRO DE LIGNE

Pourquoi avons-nous fait le choix d'une ligne numérotée par l'enfant lui-même, alors qu'il existe actuellement des éditeurs de page dont la réalisation technique ne pose pas de problème particulier du point de vue informatique ?

— L'éditeur est le support privilégié du message que l'enfant peut faire comprendre, il faut donc que tout concept, toute manipulation non indispensables soient imposés.

Il n'est pas indispensable de faire gérer l'ensemble d'une page écran à un jeune enfant. Par contre il pourrait être intéressant pour un public travaillant sur des textes littéraires, ou pour tout ce qui concerne le travail de secrétariat.

Isidore N'GOSSO - I.N.R.P.



Photo : Pierre BASTIDE - I.N.R.P.

ANALYSES :

I. - LES PIONNIERS DE L'INFORMATIQUE DOMESTIQUE

L'ordinateur a été présenté un peu comme la lampe d'Aladin : on a parlé de « révolution informatique » dans le monde des affaires, de l'industrie, des télécommunications, de la presse et de l'édition.

Dans les années 1970, l'ordinateur domestique s'installe sur le marché et part à la conquête des foyers : il va pouvoir se substituer à nous dans les tâches ingrates et lassantes, combler nos lacunes, enrichir notre culture, etc.

Aux Etats-Unis, il prend rapidement un aspect presque familial, des précurseurs envisagent immédiatement une place pour lui à la maison, à côté des autres machines.

Sherry Turkle (1) s'est intéressé à cette toute première génération d'utilisateurs d'ordinateur domestique. Dans une étude qu'il mène aux Etats-Unis dans les années 1978-1979, il tente de cerner les différentes implications de la relation de l'homme à son ordinateur personnel, et ses différents aspects psychologiques.

« L'ordinateur, dit-il, est considéré le plus souvent comme un jouet, ou comme un outil ; il faudrait ajouter à cela une troisième dimension : une dimension plus subjective. Qu'exécutent les détenteurs d'ordinateur avec leur machine ? Dans le discours qui se tient autour et à propos de l'ordinateur, n'existe-t-il pas aussi une dimension émotionnelle dont il faudrait tenir compte ? »

L'étude commence en 1978 par l'envoi d'un questionnaire adressé à un certain nombre de passionnés en informatique de la région de Nouvelle-Angleterre. Les sujets sélectionnés sont des hommes et des femmes propriétaires d'un ordinateur domestique depuis les années 1975 — une époque où l'ordinateur était à la fois suffisamment petit pour être installé sur une table et suffisamment puissant pour pouvoir être utilisé de manière intéressante — ; et dont le coût n'excédait pas à l'époque 420 \$ — 95 personnes répondirent, 50 d'entre

elles firent l'objet d'un travail plus approfondi, essentiellement dû à des rencontres et des entretiens individuels.

De cette étude, il ressort :

- un plaisir d'exhiber, de montrer un matériel avant-garde et d'être parmi les premiers à le posséder,
- un attrait intellectuel, 36 % des personnes interrogées parlent du plaisir intellectuel, esthétique, qui rejoint souvent la notion de jeu, de jeu cognitif,
- un résolveur d'énigmes,
- 26 % des réponses sont directement en relation avec des causes émotionnelles liées au sentiment de pouvoir,
- seulement 13 % viennent à l'informatique pour des raisons pratiques.

Dans ce travail, dont le propos essentiel, rappelons-le, est de cerner la relation de l'homme à son ordinateur personnel, Sherry Turkle envisage la machine comme un système de type projectif tel que le Rorschach :

L'ordinateur est considéré comme un écran projectif et, comme la planche dans le test, il revêt un caractère ambigu, à la fois menaçant et inoffensif selon les sujets, vu comme un tout ou, au contraire, seule une de ses fonctions sera envisagée.

L'attitude à l'égard de l'ordinateur est en effet souvent ambiguë, il touche à la sphère de l'intelligence, il trouble car il aborde un domaine qui était jusqu'à présent réservé au seul être humain ; il n'est pas un objet familier, difficile à situer, on ne peut en définir vraiment la fonction ; il programme, mais quoi ? et que signifie programmer ?

Les utilisateurs y inscrivent chacun leur propre modèle de pensée, comme dans le test du Rorschach ; sa particularité et son avantage sur celui-ci : il entre dans le quotidien de l'individu.

Cet engouement pour l'ordinateur domestique semble atteindre une catégorie de personnes possédant déjà une passion — 90 % d'entre elles ont un hobby tel que le train électrique ou la photo. Ce passe-temps,

(1) Sherry TURKLE, professeur de Sociologie au Massachusetts, Institute of Technology, *The subjective computer, a study in the psychology of personal computation.*

pour certains, est relégué au profit de l'ordinateur considéré comme faisant davantage « partie de la vie réelle ». Il semble donner un sentiment de sécurité qui est souvent inhérent au concept même de hobby, dans un espace privilégié, baptisé *micro-monde* par l'équipe de chercheurs du groupe Logo du M.I.T., l'individu se sent rassuré et donc peut s'aventurer ou explorer différentes situations, prendre des risques ; cet espace, Turkle n'hésite pas à le comparer à l'espace thérapeutique qui se crée dans le cadre d'une cure psychothérapeutique.

Différent des autres loisirs, il est décrit par les sujets comme un objet donnant lieu à « une implication avec des conséquences personnelles souvent liées à l'avant-gardisme de la machine ».

Avoir un ordinateur permet aussi de quitter le statut de bricoleur pour celui de technicien, c'est plus sérieux !

Jusqu'à présent la relation de l'homme à la machine classique pouvait être passionnée et passionnante, avec l'ordinateur la passion, selon cette recherche, revêt un autre caractère, ses possesseurs lui demandent beaucoup et surtout d'être compréhensible, un peu comme « un livre ouvert » — dans sa façon de fonctionner, aussi bien en ce qui concerne le hardware que le software. On lui demande aussi le changement, de modifier la vie, la vie de chaque jour ; régler aussi bien les conflits politiques que d'assainir l'air trop pollué, aider à mener à bien l'éducation des enfants en créant toutes les recettes, bref, tout ce qui préoccupe se doit d'être résolu par l'ordinateur.

D'une passion basée aussi sur le risque (le plus souvent frôlé), découle alors un sentiment de triomphe et de puissance : « c'est se sentir comme Dieu, en créant son propre univers, selon mes propres lois, je me sens en sécurité » dit l'une des personnes interrogées. Sentiment de puissance grâce à la machine propre du sujet ; elle n'est pas partagée comme dans le cadre d'une entreprise, une machine vierge, et construite la plupart du temps par l'utilisateur, lui-même. Il en crée aussi le langage,

il trouve là un fantastique moyen de compenser un travail, au dehors, bien fastidieux et monotone.

Par cette recherche, est aussi mis en évidence le changement dans l'appréciation personnelle de l'individu : à force d'étudier, avec la machine, et mais aussi la machine elle-même, le sujet se voit de manière différente, plus scientifique ou technique qu'il ne l'avait jusqu'alors envisagé. C'est aussi par ce biais qu'intervient la réassurance.

Pour conclure, nous citerons trois grandes particularités, communes aux personnes interrogées :

1. un besoin de contrôle total de la machine, sans intermédiaire,
2. une syntonie qui implique un corps à corps, celui de l'être humain avec son ordinateur, et une identification à cette toute nouvelle technologie,
3. la recherche de l'esthétisme ; utiliser la machine comme un médium artistique et culturel...

La plupart des interviewés semblaient enthousiastes, ravis et satisfaits du travail exécuté avec leur ordinateur personnel. C'est cet enthousiasme, conclut S. Turkle, qu'il convient de mettre en évidence et d'élucider. Cet enthousiasme qui risque, dit-il « d'éloigner l'être humain de sa communauté et de l'enfermer dans une relation symbiotique avec sa machine ».

Cependant, il est à noter que du fait même de l'évolution des techniques, de l'usage vulgarisé de l'ordinateur, cette relation très intense qui fut observée là, est appelée à se modifier : l'ordinateur devient de plus en plus une « boîte noire », qui programme, avec des programmes de plus en plus sophistiqués, davantage fait pour être exploité qu'exploré, où d'ailleurs figure bien souvent la mention « ne pas ouvrir ». Une machine qui risque de devenir plus impersonnelle.

Dominique BLIN BASSET

II. - FINAL REPORT OF THE BROOKLINE LOGO PROJECT (1979)

Voir et prévoir l'enseignement dans les années à venir, comment insérer l'ordinateur au sein de l'école ?

C'est le thème d'une recherche menée aux Etats-Unis et qui s'inscrit dans le cadre d'un échange entre le groupe LOGO du Massachusetts Institute of Technology et la Lincoln School de Brookline dans le Massachusetts. Cette étude était placée sous la direction du programme de recherche en sciences de l'éducation du N.S.F.

Le but essentiel de ce travail était de pouvoir, à partir du comportement de l'enfant — son approche de l'ordinateur, ce qu'il veut et peut apprendre —, réfléchir sur le rôle et la tâche de l'enseignant, l'attitude à avoir vis-à-vis de l'élève, la façon dont il doit procéder pour obtenir des résultats tout en le laissant autonome et libre dans sa démarche, même si celle-ci dévie parfois du chemin traditionnel.

Dans le collège, fut mise à la disposition des chercheurs une salle de classe pourvue de quatre micro-ordinateurs — équipés chacun d'un clavier, d'un écran et d'un disque de commandes —, munis d'un système LOGO qui semblait, grâce à sa grande flexibilité, être le plus indiqué pour ce travail ; était aussi laissé à la disposition des enfants, le matériel annexe nécessaire tel que papier, crayon ; par ailleurs, dans la salle un espace avait été aménagé pour la discussion.

16 élèves du 6^e grade (notre 6^e) participèrent à ces travaux. Répartis en quatre groupes de quatre, soit un par ordinateur, les enfants furent choisis de façon à constituer un échantillon représentatif d'enfants de tous niveaux. La sélection avait été opérée en fonction de leurs résultats scolaires et sur l'avis de leur professeur.

Chaque groupe suivit l'enseignement informatique pendant 24 séances, à raison de 4 cours de 40 à 90 minutes par semaine qui, par la suite, furent transformés en trois cours de 80 minutes. Il fallait tout d'abord obtenir de l'enfant une parfaite aisance dans le contrôle de la machine, la connaissance de son langage (LOGO) ce qui incluait : — les commandes bien sûr : droite, gauche, etc., les opérations arithmétiques ; — la notion de

procédures séquentielles, la traduction d'un projet peu élaboré en un programme de travail bien défini pour être mené à bonne fin ; — l'usage de sous-procédures ; — le débogage ; — le contrôle de la manœuvre ; — l'usage des variables, les règles d'arrêt puis, aussi, la rédaction d'un programme pour cette interaction. Le but était également d'apprendre à l'enfant les règles de base de la géométrie de la tortue telles que l'usage des nombres, des mesures de longueurs et d'angles, les angles spéciaux (90, 180, 360, 10) ; — les propriétés des groupes de nombres, la relation des angles à l'intérieur d'une figure ; — la notion de similarité et de symétrie ainsi que le concept d'état ; l'idée de courbes faites de lignes « infinitésimales » ; — les mouvements combinés (tourner 50, mouvement 50, produit un cercle), enfin le théorème du parcours de la tortue.

Par ailleurs, l'enfant a souvent une façon erronée d'envisager la physique aristotélicienne, l'enseignement traditionnel ne permet pas vraiment de changer cette façon de voir, il fallait donc tenter de sensibiliser les élèves et leur faire sentir la contradiction qu'il pouvait y avoir entre leur intuition et la démarche de la tortue.

En dernier lieu, il fallait obtenir aussi de l'enfant qu'il puisse développer et démontrer la façon dont il pouvait résoudre les opérations.

Parmi les adultes, se trouvait d'abord un enseignant intéressé par les nouvelles techniques d'éducation, et possédant une parfaite maîtrise de l'ordinateur. Il laissait l'enfant libre de sa démarche dans sa façon d'utiliser le LOGO.

Après les premiers contacts avec la machine et l'apprentissage de base dans la manipulation des commandes, on encourageait l'élève à définir un travail simple comme un carré ou une maison, à noter les différentes opérations nécessaires à l'exécution de ce travail. Ce premier devoir était montré à l'ensemble de la classe et comparé aux autres travaux. La première étape franchie, certains recommençaient les mêmes figures très simples en introduisant, parfois, des variantes, d'autres, d'emblée, préféraient accomplir un travail plus recherché et faisaient

appel aux superprocédures et aux sousprocédures. Tout au long de la session, le professeur était présent, aidait l'élève dans le travail d'élaboration de nouveaux projets, tenant compte de l'intérêt et des possibilités de chacun. Il introduisait du matériel nouveau, épaulait, suggérait. L'échange constant entre tous les participants a permis, sans doute, d'aller plus loin dans le travail.

Afin de permettre l'élaboration d'une stratégie d'enseignement, le professeur observait et notait quotidiennement ses observations faites sur chaque enfant, la relation à l'ordinateur et les renseignements utiles tels que la façon de travailler, de résoudre les difficultés.

Pour obtenir toutes les données nécessaires, dans la recherche de cette stratégie, des observateurs professionnels, pour la plupart membre du groupe LOGO du M.I.T. étaient présents, et constituèrent un dossier précis où, quotidiennement, on rassemblait des notes concernant l'interaction enfant/ordinateur, les anecdotes et réflexions des enfants, le travail exécuté et les commentaires sur ce travail, l'observation de la relation enfant-enseignant, enfant-enfant, enfant-ordinateur.

Par ailleurs un certain nombre de rencontres avec l'enseignant et le directeur de l'établissement, une série d'entretiens menés avant et après la session (qui permit de cerner les possibilités et les intérêts de chaque élève), des entretiens avec l'enseignant lui-même, des séminaires où des consultants vinrent commenter les données, des réflexions de parents faites au cours d'une journée « porte ouverte », tous ces éléments furent d'un enrichissement considérable pour cette recherche. Une étude indépendante fut menée l'année suivante pour continuer ce travail et, permit alors d'évaluer l'impact qu'avait pu avoir le LOGO dans l'établissement scolaire.

Du rapport issu de cette recherche émanent quatre grands thèmes :

— L'enfant peut-il se servir d'un ordinateur, quelles sortes de programmes sont à envisager selon les différents types d'enfants ?

— La relation entre l'apprentissage du programme et l'apprentissage d'autres disciplines, telle la géométrie qui peut-être étudiée de manière plus concrète, plus profondément et plus intuitivement : par exemple dans l'angle de la géométrie de la tortue (surnom d'un système LOGO) où l'angle devient action, somme de tournants, quelque chose que l'on peut faire avec son corps ou avec son image du corps. La relation entre physique et mathématiques devient plus immédiate. En bref le deuxième thème peut être envisagé comme la relation entre les différents domaines de connaissance.

— Une méthodologie d'évaluation, évaluation observatrice d'abord, car programmer un ordinateur est un « test permanent » et surtout lorsqu'il y a beaucoup d'observateurs qui s'attachent à de très petits groupes ; évaluation comparative aussi, due à la finesse et la précision de l'observation ainsi qu'au nombre d'observateurs ;

— L'étude du système LOGO peut-elle modifier l'apprentissage de la connaissance ainsi que l'apprentissage de l'image du corps ? Il pourrait découler de cette constatation de nouvelles théorisations en psychologie, et de nouvelles bases dans le développement de l'enseignement.

A partir des différents éléments d'observations et d'analyse, faits autour de l'enfant, on a pu constater notamment que tous les élèves n'ont pas été capables d'apprendre à programmer, et qu'en particulier deux d'entre eux se sont heurtés à une impossibilité, ce qui ne signifie pas forcément qu'ils n'ont rien retiré de cette expérience ; ces deux enfants avaient un résultat très bas en classe et avaient justement été sélectionnés pour cette raison — en revanche un troisième qui n'avait pas non plus obtenu les résultats satisfaisants a pu travailler, d'une façon différente mais néanmoins très intéressante.

Tout élève, quel que fût son niveau, était soumis à l'apprentissage de l'ordinateur. Il pouvait manipuler les commandes, tâtonner, recommencer, regarder la façon de procéder de ses compagnons et comparer les différents types de travail — son désir étant le plus souvent d'obtenir davantage d'effets graphiques sur l'écran — ; grâce à cette méthode, il a pu être fait des progrès significatifs pour le développement d'un enseignement de l'informatique.

Il est également important de noter comment l'enfant évolue dans sa façon d'explorer et de connaître la machine, la sécurité qu'il semble vite ressentir dans cet univers privilégié qui a été baptisé « micro-monde ».

Par ailleurs, réalité et intuition peuvent différer, la tortue peut changer les données de l'intuition.

On a pu voir aussi que des résultats identiques ont pu être obtenus à partir de démarches fondamentalement différentes et donc on ne peut parler là de travail identique.

En ce qui concerne les enfants au-dessus ou en-dessous du niveau de la classe, quatre furent l'objet d'une étude détaillée quant à leur approche de l'ordinateur, et nous verrons successivement les cas de Gary, Karl, Ray et Tina :

Gary s'ennuie dans sa classe traditionnelle, très largement au-dessus du niveau, il semble avoir trouvé dans l'étude du LOGO une manière de travailler plus satisfaisante, qui permet de donner plus d'essor à son esprit créatif ; à la fin de la session il crée un club à l'intérieur du collège.

Karl lui ne sait pratiquement ni lire, ni écrire. Son visage au début de la session était figé et anxieux, peu à peu, il se familiarisa avec le système LOGO, en fit un jouet et aima jouer avec. Son comportement changea entièrement, et aussi à l'égard de ses camarades ; il s'intéressa à la classe, au travail des autres, on le sentit plus joyeux et plus assuré. Lors d'une interview, il en vint même à dire : « Je suis un cerveau ».

Ray a de très grandes réticences vis-à-vis de ce nouvel enseignement, il arrive en retard et part plus tôt au début de la session. Son niveau scolaire n'est guère plus élevé que celui de Karl. Durant l'année en classe LOGO, il est très dépendant de l'enseignant et surtout affolé par les échecs qui pourraient survenir ; après un certain temps, il réussit, lui aussi, à prendre une plus grande confiance en lui et devint plus sociable.

Tina développa une relation très personnelle avec sa machine qu'elle nomma Peter, elle l'utilisa davantage comme une machine à écrire complice pour écrire des histoires. Elle fut contente de son travail, comparable à aucun autre, elle qui jusqu'ici n'avait jamais obtenu le moindre succès ; elle fut enchantée de se découvrir des compétences et considéra cette classe comme un lieu privilégié.

La matière informatique a été, semble-t-il, acceptée d'enthousiasme par la plupart des enfants et surtout

pourrait-on dire, par les garçons ; enthousiasme qui n'empêchait pas une certaine appréhension à l'égard de la machine.

L'ordinateur est avant tout tâté, observé, essayé, on répète les mêmes opérations avec les mêmes chiffres et manœuvres, on en cherche ses limites ; il se crée un besoin d'instaurer une relation plus humaine avec la machine, la personnaliser, dialoguer avec : beaucoup d'enfants ont en premier projet essayé de donner un visage à l'ordinateur ou encore ont travaillé sur leurs initiales, essayant ainsi de se l'approprier.

Ils aiment cette nouvelle façon de travailler, autonomes, certains vont jusqu'à refuser l'intervention de l'enseignant ; ils découvrent par eux-mêmes les différentes manipulations et selon leur bon vouloir.

Les enfants aiment voir les résultats sur l'écran, et ceci les intéresse et les stimule bien davantage que la façon de procéder.

Ils veulent des résultats rapides, sans trop se soucier des détails ; programmer semble, avant tout, vouloir dire pour eux communiquer avec la machine, la commander, lui parler, et dans le but précis d'obtenir des réponses.

Et c'est surtout pour cela qu'ils désirent savoir programmer, un peu comme un enfant transplanté peut apprendre très vite la langue du pays où il séjourne, même provisoirement (comme le dit Seymour PAPERT) (*).

Dominique BLIN BASSET

(*) Seymour PAPERT, professeur de mathématiques au M.I.T., responsable du LOGO group du M.I.T.

CENTRES RÉGIONAUX DE DOCUMENTATION PÉDAGOGIQUE (CRDP)

Pour des raisons de lisibilité, nous n'avons pas indiqué l'adresse des Cddp et Cddp qui sont mentionnés à la suite de chaque Centre régional auprès duquel on voudra donc bien se renseigner. Seule, l'académie de Créteil — qui ne possède pas encore de CRDP — fait exception.

AIX-MARSEILLE

55, rue Sylvabelle, 13291 Marseille Cedex 2.
Tél. : (91) 37.72.29

Avignon (Vaucluse) — Digne (Alpes-de-Haute-Provence)
Gap (Hautes-Alpes) — Saint-Denis (La Réunion)

AMIENS

45, rue Saint-Leu et 1, rue Baudelocque,
BP 2605, 80026 Amiens Cedex.
Tél. : (22) 92.07.08

Beauvais (Oise) — Laon (Aisne)

ANTILLES-GUYANE

École normale, bâtiment IV, BP 529 ou 677,
Pointe des Nègres, 97262 Fort-de-France Cedex.
Tél. : (19-596) 71.85.86

Cayenne (Guyane) — Pointe-à-Pitre (Guadeloupe)

BESANÇON

11, rue de la Convention, BP 1153, 25003 Besançon Cedex.
Tél. : (81) 83.41.33

Belfort (Territoire de Belfort) — Lons-le-Saunier (Jura)

BORDEAUX

75, cours d'Alsace-Lorraine, 33075 Bordeaux Cedex.
Tél. : (56) 81.12.92

Agen (Lot-et-Garonne) — Mont-de-Marsan (Landes)
Pau (Pyrénées-Atlantiques) — Périgueux (Dordogne)

CAEN

21, rue du Moulin-au-Roy, 14034 Caen Cedex.
Tél. : (31) 93.08.60

Alençon (Orne) — Saint-Lô (Manche)

CLERMONT-FERRAND

15, rue d'Amboise, 63037 Clermont-Ferrand.
Tél. : (73) 91.86.90

Aurillac (Cantal) — Le Puy (Haute-Loire)
Moulins (Allier) — Montluçon et Vichy (Allier)

CORSE

8, cours du Général-Leclerc, BP 836, 20192 Ajaccio Cedex.
Tél. : (95) 21.70.68 et 27.72

Bastia (Haute-Corse)

CRÉTEIL

CDDP du Val-de-Marne
collège Louis-Iessaurat, quartier du Palais,
14, rue R.-Poincaré, 94000 Créteil.
Tél. : (1) 207.86.35 et 27.37

CDDP de Seine-et-Marne

École normale, rue de l'Hôpital, 77000 Melun.
Tél. : (6) 452.52.28 et 44.86

DIJON

Campus universitaire de Montmuzard, boulevard Gabriel,
BP 490, 21013 Dijon Cedex.
Tél. : (80) 85.46.34

Auxerre (Yonne) — Mâcon (Saône-et-Loire)
Nevers (Nièvre)

GRENOBLE

11, avenue du Général-Champon, 38031 Grenoble Cedex.
Tél. : (76) 87.77.61

Annecy (Haute-Savoie) — Chambéry (Savoie)
Privas (Ardèche) — Valence (Drôme)

LILLE

3, rue Jean-Bart, BP 199, 59018 Lille Cedex.
Tél. : (20) 57.78.02

Arras (Pas-de-Calais)
Dunkerque et Valenciennes (Nord)

LIMOGES

23, rue Alexis-Carrel, 87036 Limoges Cedex.
Tél. : (55) 01.32.50

Tulle (Corrèze)

LYON

47-49, rue Philippe-de-Lassalle, 69316 Lyon Cedex 1.
Tél. : (7) 829.97.75

Bourg-en-Bresse (Ain) — Saint-Étienne (Loire)

MONTPELLIER

Allée de la Citadelle, 34064 Montpellier Cedex.
Tél. : (67) 80.74.66

Carcassonne (Aude) — Mende (Lozère)
Nîmes (Gard) — Perpignan (Pyrénées-Orientales)

NANCY-METZ

99, rue de Metz, 54000 Nancy.
Tél. : (8) 335.07.79

Épinal (Vosges) — Metz (Moselle)
Bar-le-Duc (Meuse)

NANTES

Chemin de l'Herbergement, BP 1001, 44036 Nantes Cedex.
Tél. : (40) 74.85.19, 20 et 21

Angers (Maine-et-Loire) — Laval (Mayenne)
Le Mans (Sarthe)

NICE

117, rue de France, BP 227, 06001 Nice Cedex.
Tél. : (93) 87.63.30

ORLÉANS-TOURS

55, rue Notre-Dame-de-la-Recouvrance,
BP 2219, 45012 Orléans Cedex.

Tél. : (38) 62.23.90

Bourges (Cher) — Chartres (Eure-et-Loir)
Tours (Indre-et-Loire)

PARIS

37-39, rue Jacob, 75270 Paris Cedex 06.
Tél. : (1) 280.37.01

POITIERS

6, rue Sainte-Catherine, 86034 Poitiers Cedex.
Tél. : (49) 88.11.70

Angoulême (Charente) — Niort (Deux-Sèvres)
La Rochelle (Charente-Maritime)

REIMS

47, rue Simon, BP 387, 51063 Reims Cedex.
Tél. : (28) 85.66.63

Châlons-sur-Marne (Marne) — Chaumont (Haute-Marne)
Charleville-Mézières (Ardennes) — Troyes (Aube)

RENNES

92, rue d'Antrain, BP 158, 35003 Rennes Cedex.
Tél. : (99) 36.05.76 et 10.15

Quimper (Finistère) — Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord)
Vannes (Morbihan) — Brest (Nord-Finistère)

ROUEN

3038 X, 76041 Rouen Cedex.
Implantation : 2, rue du Docteur-Fleury,
76130 Mont-Saint-Aignan.
Tél. : (35) 74.16.85

Évreux (Eure) — Rouen (Seine-Maritime)

STRASBOURG

5, quai Zorn, BP 279/R7, 67007 Strasbourg Cedex.
Tél. : (88) 35.46.13, 14 et 15

Colmar (Haut-Rhin)

TOULOUSE

3, rue Roquelaine, 31069 Toulouse Cedex.
Tél. : (61) 62.54.54

Albi (Tarn) — Auch (Gers)
Cahors (Lot) — Foix (Ariège)
Montauban (Tarn-et-Garonne) — Rodez (Aveyron)
Tarbes (Hautes-Pyrénées)

VERSAILLES

41, avenue du Roule, 92200 Neuilly-sur-Seine.
Tél. : (1) 745.53.53

Évry (Essonne) — Neuilly-sur-Seine (Hauts-de-Seine)



Brochure n° 2411