

informatique

infor''math''ique. chic et toc ?

*par François Boule
Ecole Normale d'Auteuil*

“L'informatique à l'Ecole” est une question d'actualité. Mais quels matériels choisir ? Quelle formation pour les maîtres ? Quelles spécificités de la machine ? Qu'attend-on de la programmation par les enfants ? En particulier, en ce qui concerne les mathématiques.

Les écrans de télévision, les revues, les vitrines s'empressent, regorgent, débordent d'informatique. Comment l'Ecole y échapperait-elle ? La rapidité de l'envahissement est telle que du possible on passe à l'inévitable, c'est-à-dire au nécessaire. Mais quelle machine utiliser ? Quels “didacticiels” employer ? Faut-il enseigner l'algorithmique ? “Faire du LOGO” ? Les pages qui suivent se proposent d'examiner la pertinence de ces questions, c'est-à-dire de démêler les “vraies” questions, les questions sans réponse, et les réponses sans question.

Le matériel : paire de skis ou raquette de tennis ?

Venant d'un sportif amateur, cette question ne manquerait pas de surprendre. C'est pourtant la question que l'on entend le plus souvent poser par des enseignants : quel matériel faut-il acheter ? On ne doit l'envisager pourtant qu'après examen des préalables suivants :

- pour quel genre d'utilisation ?
 - programmation par les enfants (quel âge ?)
 - et/ou utilisation autonome de programmes tout faits
 - et/ou utilisation en groupe de programmes conçus localement.
- quelle formation pédagogique et technique les maîtres ont-ils reçue ?
- quelles sont les possibilités financières d'équipement ?

Le passé ne suffit pas à éclairer l'avenir

L'informatique dans l'enseignement français a une histoire déjà longue. L'expérience des 58 lycées a débuté il y a plus de dix ans. Toutefois, elle est restée localisée, ce qui a permis d'offrir aux enseignants concernés une formation "lourde" (un an), essentiellement technique. Les matériels d'alors ont peu à voir (par leur capacité, les périphériques disponibles, le prix...) avec les micro-ordinateurs d'aujourd'hui. C'est pourquoi les didacticiens qui en sont issus (très majoritairement E.A.O.), et même ceux qui ont traversé la sévère sélection du C.N.D.P. n'ont pas révolutionné la pédagogie. L'expansion éclatante de la micro-informatique depuis quatre ou cinq ans permet d'envisager des équipements plus légers et des formes d'utilisation beaucoup plus souples. Mais, quoique l'on annonce 100 000 micros avant 1990 dans les établissements scolaires (on est plus discret sur la formation des enseignants), il y en aura beaucoup moins que de tableaux noirs, et chaque élève ne passera *en moyenne* pas plus de quelques minutes par semaine devant une console (*dans* le cadre scolaire). Il en résulte trois conséquences possibles :

a) Si l'on prête quelques possibilités pédagogiques à l'ordinateur, il n'est pas souhaitable de *diluer* son emploi, mais au contraire de le concentrer, notamment sur les enfants en difficulté, et d'en découvrir les usages les plus pertinents.

b) L'enseignement des mathématiques, dans sa plus grande part, se poursuivra sans ordinateur (ce qui ne veut pas dire sans relation avec l'informatique) ; mais si l'on trouve à la machine ses emplois les plus judicieux, il est possible que l'enseignant-sans-machine en puisse tirer parti ; la conception de logiciels nécessite une analyse fine des situations pédagogiques et peut contribuer à leur renouvellement, ainsi que l'observation de la pratique de la programmation par les enfants.

c) Le marché de la micro-informatique visant essentiellement les familles, l'École, qui a eu le mal que l'on sait à tenir compte de la télévision et ne s'accommode encore guère des caulettes (dans le Premier Degré), doit préparer son adaptation à cette prochaine composante de l'environnement.

Formation des maîtres

Confier des micro-ordinateurs à des enseignants sans prévoir une formation sérieuse à l'informatique est aussi malavisé que d'en réclamer une pour tout le monde. Le "poids" ou la durée de la formation n'y font rien. La facilité consiste à délivrer une formation technique mais qui

n'instruit pas sur l'usage pédagogique de la machine. On obtient de cette façon des apprentis-informaticiens qui consacrent beaucoup d'énergie à construire des produits d'intérêt médiocre. Chacun sait la haute satisfaction que l'on éprouve à voir enfin fonctionner un programme auquel on a consacré beaucoup d'efforts, et que l'on incline évidemment à trouver bon. Un tel produit serait mieux conçu par un enseignant libre des contraintes techniques, et mieux réalisé par un autre enseignant dont le goût et la formation sont complémentaires, ou par un spécialiste. Toute formation doit donc faire place égale, d'une part à des contenus techniques indispensables pour pouvoir proposer des projets réalisables, d'autre part à la discussion sur des produits existants et à la réflexion pédagogique créatrice.

Diversification des tâches

Le bricolage informatique est sans aucun doute source de plaisir et de stimulation intellectuelle. Mais des logiciels réalisés par des amateurs ont toute chance d'être coûteux et peut-être moins réussis. Il y a quatre conséquences à retenir.

a) Mieux vaut alors s'en tenir à des produits de volume modeste. En effet leur usage n'impose pas forcément, comme il convient pour un produit "transparent" destiné à un usage autonome, que tout soit prévu, et le risque de panne strictement limité à zéro.

b) Pour la même raison, il est de haut intérêt qu'un produit soit *flexible*, c'est-à-dire modifiable, adaptable, extensible (sans peine excessive). Le maître doit pouvoir faire entrer aisément les textes de lecture, les données de problèmes etc. adaptés à sa classe, à l'étape actuelle de sa progression, à la situation locale. L'activité sur ordinateur a, dans une classe, valeur de suggestion, d'incitation à réfléchir ou à discuter, et ne peut pas utopiquement se substituer au maître.

c) Le produit étant coûteux (en *temps* surtout), il doit être amorti, donc circuler. Il le fera d'autant mieux qu'il sera flexible et qu'il participera à un réseau d'échange local, régional ou national. La question centrale est alors de savoir quel sera le document d'accompagnement. Bien des programmes circulent déjà de la sorte, de main en main, et connaissent chemin faisant d'enrichissantes mutations.

Il faut dire ici un mot des circuits officiels de diffusion. Tout label *officiel* tarit les intentions spontanées d'échanges, ralentit, alourdit, voire pétrifie l'objet échangé. Ceci est totalement incompatible avec la phase d'éclosion et d'exploration que nous connaissons. Prétendre imposer à l'heure actuelle telle norme, ou tel matériel, ou tel langage est complètement irréaliste.

d) La dernière conséquence quant à la formation des enseignants et à la conception des programmes est du même ordre: il est nécessaire de diversifier les actions et les rôles. La délimitation d'un objectif pédagogique

que, le projet, la définition d'un "scénario", la réalisation, la validation du résultat ne peuvent être le fait de personnes singulières et isolées. L'informatique procurerait déjà d'immenses bénéfices si elle contribuait à réduire l'individualisme séculaire des enseignants, si elle incitait à l'échange, à la confrontation des pratiques, à l'éclaircissement des visées pédagogiques.

Spécificité: ni un livre, ni un maître

Les programmes les plus faciles à réaliser, et par conséquent les plus répandus, sont ceux qui s'inspirent de l'enseignement programmé. On est alors dans le droit-fil de la pédagogie par objectifs, c'est-à-dire d'un béhaviorisme appliqué. A cette conception de l'enseignement depuis longtemps périmée se surajoute une opacité que le livre n'a pas : l'élève ne dispose à chacune instant que d'une fenêtre par laquelle il ne peut voir qu'une tranche d'un paysage dont l'organisation et les présupposés lui échappent totalement, et sur lesquels il ne peut agir que dans l'étroite limite des réponses acceptées par la machine. On ne saurait obtenir ainsi la richesse d'évocation, de représentation, d'intuition, d'intonation, de gestes qui est celle de la communication entre personnes.

Les programmes d'enseignement doivent *exclure délibérément* tout ce qu'un maître ou un livre, avec une compétence très supérieure, sont capables de proposer. L'apparition de longs textes écrits, les parodies de dialogues ne remplacent évidemment pas la parole, l'analyse compréhensive des réponses, l'orientation de l'action, l'incitation, le vrai dialogue, l'archivage raisonné des informations.

L'une des spécificités les plus éclatantes du micro-ordinateur concerne le *temps* sous plusieurs aspects :

a) La qualité la moins contestable d'un ordinateur est sa rapidité de calcul. On peut en tirer d'autant mieux parti que les données à l'entrée sont peu nombreuses ou stockées de façon assez stable : le "coût temporel" de l'entrée des données est important. Le domaine d'élection de cette capacité est la SIMULATION, c'est-à-dire le calcul d'une fonction ou la représentation d'un phénomène dont l'étude manuelle serait excessivement pénible. On dispose là de toute une gamme de *programmes-outils* dans toutes les disciplines : représentation ou ajustement de familles de fonctions, simulation d'une épidémie, d'une évolution démographique, d'un système physique, analyse statistique...

b) L'ordinateur est évidemment muni d'une horloge qui rythme les circulations d'informations. Si l'on utilise un langage qui ne dissimule pas l'accès aux registres de mémoire, on peut adjoindre un chronomètre au déroulement d'un programme : contrôle de l'apparition d'un texte ou d'une image, mesure de l'attente d'une réponse, cumul de la durée des réponses, etc. Plus généralement, l'ordinateur permet de contrôler avec précision tous les paramètres qui interviennent dans le déroulement, et

d'enregistrer toutes les interventions de l'utilisateur, dans leur succession et leur durée exacte. De tels matériaux sont précieux pour l'étude fine d'un comportement.

c) La parole est essentiellement linéaire, donc fugace et irréversible. A l'opposé, une image se présente comme un tout dans lequel le regard peut circuler et revenir : une image est stable. La "page-écran" d'un ordinateur permet de jouer *simultanément* de ces deux caractères, c'est-à-dire d'animer les images. Il est possible de faire disparaître ou saillir ou clignoter des mots d'un texte, de faire surgir une image par étapes, de la mettre en mouvement lent ou rapide, de la retoucher, de modifier instantanément les couleurs. Certes, chaque effet isolé est réalisable avec d'autres moyens (diapo, cinéma, dessin) mais avec une *netteté* et une rapidité incomparablement moindres.

La capacité de comprendre et de pratiquer des mathématiques provient en grande partie (sinon exclusivement) de la disponibilité de représentations mentales. Les mathématiques sont désespérément "abstraites" pour ceux chez qui l'on n'a pas su établir ces représentations sur lesquelles l'intuition peut s'exercer. On sait où nous ont conduits quelques décennies de fièvre axiomatique et de dépouillement de la géométrie, issus d'une confusion entre apprentissage et exercice des mathématiques, d'une illusion de rigueur et d'une méconnaissance psychologique. Presque tout reste à connaître dans ce domaine. C'est ici que la didactique pourrait enfin éclairer l'enseignement.

L'algorithmique ou l'art de penser

Il a été question jusqu'ici de l'informatique "de consommation", c'est-à-dire de produits élaborés par ou avec des enseignants et destinés aux élèves. Il s'agit, dans tous les cas, de programmes "transparents" et le choix du langage n'est soumis qu'à la préférence du réalisateur. Il en est autrement si l'élève construit lui-même des programmes. Les clubs se multiplient ; les néophytes pullulent ; les talents et ferveurs se voient de plus en plus précoces. On entend affirmer que l'activité de programmation est une école de rigueur et de logique. Assurément, on n'imagine pas de rédiger un programme dans l'incohérence et le tohu-bohu. On s'accorde à penser que la "résolution de problème" est une activité centrale dans les mathématiques et peut-être au dehors d'elles. Mais la *formation* à la résolution de problème est extrêmement mal connue. Il est probable que l'algorithmique est une méthode efficace pour rédiger de bons programmes. Personne ne peut prouver qu'elle peut contribuer plus généralement à un apprentissage de la résolution de problème, la pensée humaine ne fonctionnant certainement pas comme une machine séquentielle. Il est curieusement instructif que dans le temps où les enseignants de mathématiques revendiquent une place pour l'intuition et le tâtonnement heuristique longtemps dévalués, ceux d'informatique plaident pour la théorisation, la formalisation, l'axiomatisation de leur jeune science.

Le succès d'une méthode alimente toujours la tentation de vouloir l'exporter et l'illusion de son universalité. Le désir de constituer un apprentissage de la pensée logique est un rêve ancien, depuis Aristote en passant par Port-Royal, mais encore irréalisé. Le terme de *problème* entretient d'ailleurs une confusion ; il recouvre ici et là des situations qui n'ont entre elles que des parentés assez éloignées.

Ce que l'on souhaite d'un enseignement de base, c'est qu'il permette à l'élève de disposer de structures de pensée *transférables*, les contenus d'enseignement ayant à cet égard une valeur incidente. On a cru voir dans les "structures-mères" des mathématiques (algébriques, topologiques et d'ordre) des éléments propres à décrire le développement de la pensée logique. Malheureusement ces hypothèses n'ont pas abouti à des validations spectaculaires. Les concepts de base mis en œuvre par l'algorithmique (séquentialité, alternative, itération, récursivité) s'ils ont une pertinence certaine quand il s'agit de programmes d'ordinateurs ne suffisent certainement pas à rendre compte de la mémoire humaine, de l'anticipation, du repérage de "formes", de l'intuition, etc. C'est l'une des tâches de la didactique que d'examiner la pertinence de ces concepts quant aux apprentissages. Les expériences sur LOGO se sont multipliées depuis dix ans. Aucune d'entre elles n'a conclu avec précision au moindre transfert des compétences acquises avec ce système. Tout ceci n'abolit pas l'intérêt de la programmation par les enfants, mais veut inviter à examiner avec sérieux les objectifs et les résultats ; à tempérer aussi les enthousiasmes prosélytes.

Informatique et mathématique

Il est intéressant de comparer sur plusieurs points l'apprentissage des mathématiques et celui de la programmation. A mesure que progresse la connaissance de l'évolution psychologique de l'enfant, qu'évoque l'environnement (diffusion des calculettes, par exemple) la question doit demeurer posée de l'importance de l'enseignement des mathématiques, de *quels* contenus mathématiques, des démarches à mettre en œuvre. A titre d'exemple très localisé, mais significatif, la question se pose à l'école élémentaire de savoir quelle part faire aux calculettes, l'incidence de ces machines sur l'apprentissage et la pratique du calcul, l'opportunité de développer à l'école un bon usage de la calculette (judicieux prélude à la programmation). Nous n'évoquons ci-dessous que trois points seulement ; d'autres questions, comme celle de la récursivité, méritent de plus amples développements.

a) Le temps :

Le rôle du temps est délibérément gommé des définitions et procédures mathématiques depuis au moins un siècle (le temps historique aussi, mais c'est un autre propos) : une suite d'équations est en enchaînement *logique* et non *chronologique* ; " $a = b$ " équivaut exactement à " $b = a$ " ; une fonction est une *correspondance* actuelle entre deux ensembles et n'évoque plus une variation (même réversible) d'un paramètre. On sup-

prime ainsi les *actions* au profit des *états* (même en matière de transformation géométrique). Il en résulte soit des surinterprétations d'écriture ($3 + 5 = 8$ est souvent perçu comme une *construction* du nombre 8) soit des confusions d'interprétation à propos, par exemple, de :

$$x = 4 \qquad x(x-1) = x^2 - x \qquad x^2 + x = 2$$

Dans le fonctionnement de l'ordinateur (donc dans l'activité de programmation), le rôle du temps est clair et explicite. Les ETATS et les ACTIONS sont absolument distincts. Une égalité n'est pas une affectation. On distingue nettement les noms de registres de leur contenu actuel. Un programme est une suite temporelle irréversible, résultant d'une suite logique.

b) Validation :

En mathématique, le rôle de la déduction, en tant qu'enchaînement logique *a priori* est central. On peut douter que l'intérêt de cette nécessité logique (dont la géométrie offre le plus pur exemple) apparaisse clairement à la plupart des élèves, surtout si le résultat cherché semble accessible empiriquement. Pour l'informatique, le concept de validation demeure fondamental : le programme aboutit ou non au résultat cherché. Cette validation *empirique* est d'ailleurs doublée d'une légitimation logique du programme. Cette notion de validation empirique, qui est exclue des mathématiques, est un RELAIS possible pour celle de nécessité logique. Le concept de rigueur est en effet d'un accès plus aisé qu'en mathématique où, à un niveau élémentaire, il rencontre et doit dépasser l'évidence intuitive. La relative opacité d'un programme pour tout autre que pour son auteur, et la sanction de l'ordinateur imposent une rigueur d'analyse qui ne renvoie pas seulement à une nécessité "abstraite" et apparemment gratuite.

c) Procédures et fonctions

Le concept de procédure, vivement mis en lumière par l'analyse descendante, est certainement central dans la résolution de problèmes. Il n'est pas certain que les langages (tel LOGO) qui sont conçus pour faciliter la mise en œuvre en favorisent par cela même nettement la prise de conscience. Il s'enracine d'une part dans la composition des schèmes (au sens piagétien) et la construction des concepts, et d'autre part dans la généralisation de la notion de fonction.

Il est ainsi possible que l'informatique apporte un nouveau champ d'expériences susceptible de contribuer aux objectifs généraux de la formation scientifique, d'apporter des lumières nouvelles sur la connaissance des processus d'apprentissage, d'enrichir les représentations mentales et de favoriser la construction active de leurs connaissances. Encore faut-il que la machine ne soit pas cantonnée dans le rôle d'*ustensile répétiteur* magnifié par la mode, l'enfant dans celui de consommateur de programmes démarqués de la pédagogie la moins imaginative, ou l'enseignant dispensateur d'un cours magistral d'algorithmique formalisée.