

# COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

SÉRIE GÉNÉRALE



## LA VIE DES SCIENCES

**gauthier-villars**



## Informatique et enseignement

Jacques HEBENSTREIT

École Supérieure d'Électricité  
Plateau du Moulon  
91190 Gif-sur-Yvette

---

*Jusque vers la fin des années 70, à cause du prix des ordinateurs, l'informatique ne concernait qu'un nombre limité de spécialistes travaillant pour l'essentiel dans les grandes entreprises et les grands laboratoires de recherche. L'apparition vers la fin des années 70 de micro-ordinateurs bon marché et des techniques de réseaux permettant de les interconnecter a conduit à une véritable mutation non seulement dans les modes d'utilisation de l'informatique mais encore dans le nombre d'utilisateurs concernés.*

*Parce qu'à terme la totalité de la population sera concernée par l'usage des ordinateurs, l'idée a pris corps dans de nombreux pays d'enseigner l'informatique dès l'école.*

*Faute cependant d'une analyse de la véritable mutation en cours du rôle des ordinateurs dans la société on a, presque partout, mis en place une formation qui reprend, pour l'essentiel, ce qui faisait la base de la formation des informaticiens de la génération précédente. Du même coup, on a eu tendance à oublier que les « nouveaux informaticiens » seraient, dans leur écrasante majorité, des utilisateurs de ressources et de services informatiques et non des concepteurs de logiciels et encore moins des programmeurs.*

*En passant de l'imprimerie aux systèmes d'information, de communication et de traitement, nous sommes en train de passer, sans toujours en avoir clairement conscience, de l'ère de l'information discursive (description de ce qu'il faut faire pour résoudre un problème) à l'ère de l'information opérationnelle (choix du logiciel dont l'exécution résout le problème).*

*L'analyse des implications de cette mutation conduit à un certain nombre de constatations :*

*— il est absurde de penser qu'il existera un jour des logiciels capables de résoudre tous les problèmes que les hommes peuvent se poser ;*

*— les logiciels que l'on développe aujourd'hui massivement sont des logiciels qui assistent l'homme dans la solution des problèmes en lui fournissant une aide pour traiter automatiquement certaines parties de problèmes ;*

*— l'utilisation de ces logiciels n'est pas triviale. Elle suppose d'une part que l'on apprenne à s'en servir (il faut se familiariser avec l'existence et l'usage des logiciels) et*

*d'autre part que l'on domine suffisamment le domaine dans lequel on travaille pour être capable d'évaluer de manière critique les résultats fournis par l'ordinateur.*

*Les contenus, les techniques et les méthodes de nos systèmes d'éducation, de l'école à l'Université, reposent implicitement sur l'hypothèse que pour résoudre les problèmes que l'on pose, ou qui se posent ou se poseront à l'élève, celui-ci ne disposera pour toute ressource que de son cerveau, d'un papier et d'un crayon et éventuellement de livres. Cette hypothèse n'est jamais explicitée mais elle est à la base de tous les systèmes d'éducation actuels.*

*Si, dans un proche avenir, tout élève ou étudiant a accès à tout moment à des systèmes d'information, de communication et de traitement où il disposera de logiciels de plus en plus sophistiqués pour l'aider à résoudre des problèmes, alors il est clair que l'hypothèse précédente n'est plus vérifiée. Ceci veut dire que l'accès généralisé à des systèmes d'information, de communication et de traitement va remettre en question, progressivement, les contenus, les méthodes et les techniques de tous les systèmes d'éducation, de l'école à l'Université, car cet accès remet en cause et les savoirs et les savoir-faire tels que nous les définissons aujourd'hui.*

*(Cet article s'inscrit dans le cadre de la série d'exposés sur « l'Informatique aujourd'hui » faits devant l'Académie des Sciences, voir La Vie des Sciences, 1, n° 3, p. 161).*

---

### ***Naissance du problème de la formation***

Les toutes premières machines que nous appelons aujourd'hui des ordinateurs étaient conçues exclusivement pour faire des calculs à grande vitesse, comme en témoigne l'ouvrage publié par le Professeur Brillouin chez Gauthier-Villars, en 1948, lors de son retour des États-Unis, sous le titre : *Les calculatrices géantes américaines*.

L'opinion généralement répandue à cette époque était que ces machines, à cause de leur prix et de leur difficulté d'emploi, n'avaient aucun avenir commercial et qu'elles seraient uniquement utilisées par de grands laboratoires de recherche militaire ou industriels ayant de nombreux calculs à faire. Le problème d'une formation à l'utilisation de ces machines ne se posait donc guère plus que ne se pose aujourd'hui la formation à l'usage des synchrotrons et autres anneaux de collision de particules construits à un très petit nombre d'exemplaires et, eux aussi, réservés à quelques grands laboratoires.

Plusieurs découvertes technologiques, intervenant à quelques années d'intervalle, allaient radicalement changer les données du problème. L'invention de la mémoire à tores de ferrite qui permettait de remplacer des millions de tubes électroniques par des tores de ferrite de quelques millimètres cubes, puis l'utilisation de l'enregistrement magnétique pour stocker, à bas prix, de grandes quantités d'information, allaient permettre de réaliser des machines plus petites et moins chères. Enfin, l'invention du transistor, au début des années 50, allait contribuer à une nouvelle baisse des prix, une nouvelle réduction du volume, et à un énorme accroissement de la fiabilité des équipements.

Tout ceci conduisit à un accroissement rapide du nombre d'ordinateurs installés mais, contrairement à toutes les prévisions, cet accroissement fut relativement lent dans le

domaine du calcul scientifique et connu, par contre, un caractère explosif dans le domaine de la gestion entre 1960 et 1970. Il faut rappeler, à ce propos, que l'automatisation de la gestion ne date pas des ordinateurs. En effet, à la suite de l'invention de la carte perforée par M. Hollerith, vers la fin du siècle dernier, en vue d'accélérer le recensement de la population des États-Unis, une véritable industrie était née qui développait des machines électromécaniques très complexes (trieuses, interclasseuses, tabulatrices, etc.) permettant de manipuler à grande vitesse des cartes de dimension standard où l'information était codée à l'aide de trous faits dans ces cartes.

Deux grandes Compagnies internationales dont le chiffre d'affaires se comptait en millions de dollars ou de francs, ont marqué la période qui va jusqu'en 1940. L'une est la Compagnie IBM, créée en 1921, et l'autre la Compagnie des machines Bull, créée en France au début des années 30 pour exploiter les brevets de l'ingénieur norvégien Bull. Très rapidement, les Compagnies IBM et Bull comprirent qu'il était possible d'accélérer considérablement le traitement des informations en remplaçant les appareils électromécaniques qui manipulaient physiquement des cartes porteuses d'information par des ordinateurs qui manipuleraient ces mêmes informations mais codées sous forme de signaux électriques.

En fait, l'installation des ordinateurs en gestion se fit d'autant plus vite que la plupart des grandes entreprises et administrations utilisaient, dès avant 1940, des services de mécanographie pour leur gestion. Pour ces entreprises, le passage à l'informatique n'était, en général, qu'un changement de matériel leur permettant de gagner du temps et donc de l'argent, et non pas une innovation radicale sur le plan de leur organisation interne (à quoi il faut ajouter qu'à l'époque, les fabricants d'ordinateurs livraient avec leurs machines tout le logiciel nécessaire aux applications; ce qui simplifiait d'autant le problème).

### *La formation des professionnels (1960-1975)*

Le développement de l'informatisation selon deux axes (calcul scientifique et gestion) se retrouva dans les catalogues des constructeurs qui offraient soit des « ordinateurs de gestion » soit des « ordinateurs de calcul scientifique », mais ne se retrouva pas dans la formation.

Parce que les premières machines étaient destinées au calcul scientifique, les ordinateurs achetés par les universités se retrouvaient très naturellement chez les mathématiciens et, plus particulièrement, en Analyse Numérique et en Recherche Opérationnelle.

C'est vers la fin des années 50 que furent créés presque simultanément à Grenoble par le Professeur Kuntzman, à Toulouse par le Professeur Laudet, et à Paris par le Professeur de Possel, les premiers enseignements d'informatique dont le programme comportait schématiquement 30% de Fortran, 50% d'Analyse Numérique et/ou de Recherche Opérationnelle, et 20% d'un « mélange » où l'on trouvait pêle-mêle, et selon les endroits, les tores de ferrite, l'algèbre de Boole, la théorie des automates, la structure des machines, etc.

Les applications des ordinateurs à la gestion furent largement négligées dans les formations universitaires. Le début des années 60 fut la période où chaque congrès d'informatique voyait des affrontements homériques entre les tenants de l'informatique scientifique, presque tous universitaires, et les tenants de l'informatique de gestion,

société de demain, dont les mass-média et les discours officiels se sont fait et se font encore largement l'écho.

Ceci a conduit d'une part à des propositions visant à augmenter considérablement le nombre de professionnels de l'informatique par la création de nouvelles filières de formation, mais a surtout conduit, devant l'ampleur nouvelle du phénomène informatique, à envisager l'introduction de l'informatique dans l'ensemble du système éducatif de la maternelle à l'Université.

Faute cependant d'une analyse de la véritable mutation du rôle de l'informatique dans la société, on a presque partout mis en place une formation qui reprend, pour l'essentiel, ce qui faisait la base de la formation des informaticiens de la génération précédente à savoir la structure des machines, la programmation et l'algorithmique. Du même coup, on a oublié que les nouveaux informaticiens seraient, dans leur écrasante majorité, des utilisateurs de ressources et de services informatiques, et non des concepteurs de logiciels et encore moins des programmeurs.

### *L'informatique dans l'enseignement*

Il y a encore une dizaine d'années, lorsque le coût de l'heure de programmeur était négligeable devant le coût de l'heure de fonctionnement d'une machine, il paraissait raisonnable de demander à l'utilisateur d'écrire ses propres programmes. Aujourd'hui, non seulement ce rapport s'est inversé mais l'accroissement rapide du nombre d'utilisateurs a conduit tout naturellement un nombre croissant de compagnies à proposer des produits logiciels de plus en plus sophistiqués qui, parce qu'ils sont diffusés à un grand nombre d'exemplaires, sont proposés à des prix dérisoires par rapport à ce qu'a coûté leur mise au point.

L'exemple le plus frappant en est le logiciel VISICALC qui permet des manipulations complexes de tableaux de chiffres sans aucune connaissance en programmation. Ce logiciel a été vendu à trois cent mille exemplaires en moins de quatre ans, ce qui était proprement impensable pour un informaticien des années 60, et il a fait vendre plus de micro-ordinateurs à lui tout seul que tous les compilateurs de langages évolués pensables ou imaginables.

Un autre exemple qui va dans le même sens est la multiplication des logiciels de CAO qui permettent à un concepteur de définir un circuit électronique, un ouvrage de génie civil, un jeu d'engrenages ou un train d'atterrissage d'avion en se limitant à un ensemble restreint de commandes ou, plus simplement encore, en désignant avec un photostyle, dans des menus variés que le système lui présente sur un écran, le nom du programme dont il demande l'exécution.

C'est dans ce cadre et à la lumière de cette évolution de l'usage des ordinateurs qu'il faut poser le problème du rôle de l'informatique dans l'enseignement primaire et secondaire car, en réalité, les propositions en ce domaine ne font que refléter explicitement ou implicitement deux visions différentes de la future « société informatisée » avec en corollaire deux scénarios différents pour l'introduction de l'informatique dans l'enseignement.

### *Premier scénario ou l'informatique-discipline*

Dans ce premier scénario, la « société informatisée » est, en schématisant à peine, une société où chaque individu est entouré d'ordinateurs pour lesquels il écrit des programmes dans un langage approprié, en vue de résoudre ses problèmes professionnels et privés.

Assez curieusement, cette vision de l'avenir est à la fois celle d'un grand nombre de professionnels de l'informatique et celle de nombreux néophytes.

Pour les premiers, cela n'est pas surprenant.

Parce que la brève histoire de l'informatique se confond, pour eux, avec leur propre existence et que nombre d'entre eux ont contribué à cette histoire, ils ont malheureusement une tendance naturelle à extrapoler leur expérience vécue à l'ensemble de la société. Ils ont en effet le sentiment qu'ils sont une avant-garde, qu'ils ont fait un certain nombre de découvertes (ce qui est d'ailleurs souvent vrai sur le plan professionnel) et que, devant l'importance de ces découvertes, il est urgent de répandre celles-ci dans tout le corps social.

Les néophytes, eux, ont découvert les « délices » que procure, après de multiples tentatives avortées, l'exécution réussie d'un programme-jouet laborieusement mis au point. Ils ne sont alors pas loin de penser que, grâce à leur micro-ordinateur, ils ont pénétré les « mystères » de l'informatique et ont une certaine tendance, tel ce théologien célèbre, à s'adresser à la cantonade en disant « J'ai les solutions, donnez-moi vos problèmes » comme en témoigne la lettre d'un professeur de mathématiques parue récemment dans le courrier des lecteurs d'une revue pour amateurs et demandant à celle-ci de publier davantage de problèmes.

Ils ont, eux aussi, tendance à étendre à tout le corps social leur expérience vécue et à ramener l'introduction de l'informatique dans l'enseignement à la création de clubs d'informatique dans les établissements.

Ces clubs, où maîtres et élèves se « familiariseraient » avec les ordinateurs, auraient pour objet de « démythifier » les ordinateurs en enseignant à tous les rudiments d'un langage de programmation et en permettant à chacun de vérifier qu'un ordinateur n'exécute que ce qui est spécifié dans le programme.

L'inconvénient de cette approche et ce que les néophytes oublient, c'est que l'enthousiasme dont ils font preuve est l'apanage d'un tout petit nombre et qu'il est utopique de penser intéresser le plus grand nombre à ce genre d'activité.

Les nombreux clubs créés dans le cadre de l'expérience de cinquante huit lycées ont prouvé amplement qu'après un modeste succès de curiosité, les activités du club ne réussissaient à intéresser qu'un tout petit groupe de mordus. Les clubs d'informatique sont des phénomènes intéressants mais ils ne sont pas, pour l'enseignement, plus significatifs que les clubs d'électronique, les clubs d'astronomie ou les clubs de fusées. Leurs objectifs, pour utiles qu'ils soient à leurs adhérents, sont sans commune mesure avec la préparation des enseignants aux changements profonds que les ordinateurs vont apporter dans l'enseignement.

Nombre d'informaticiens professionnels sont plus ambitieux et proposent d'introduire, dans l'enseignement, l'informatique comme une discipline supplémentaire.

Les propositions en ce sens oscillent entre l'enseignement de la programmation et l'enseignement des algorithmes.

### *L'enseignement de la programmation*

Les tenants de cette thèse parent la programmation d'un certain nombre de vertus.

A les en croire, l'exercice de la programmation apprendrait aux élèves :

- à « penser logiquement »;
- à formuler les solutions de façon claire et exhaustive;
- à ne négliger aucun détail;
- etc.

Objectivement, les tenants de cette thèse prennent leurs désirs pour des réalités.

La vérité, c'est qu'il serait souhaitable que les *futurs* programmeurs aient les qualités énumérées ci-dessus mais que l'enseignement de la programmation même à haute dose a été, jusqu'à présent, incapable de développer ces qualités chez ceux qui ne les avaient pas. Les innombrables rapports sur les méthodes de travail et la productivité des programmeurs *professionnels* ainsi que les anecdotes cruelles qui courent sur leur compte et que tout le monde connaît sont là pour en témoigner.

Je n'en citerai que deux :

« Si l'on faisait en sorte que les programmeurs puissent écrire leurs logiciels en langage naturel, on s'apercevrait que la majorité d'entre eux ne savent pas écrire ».

« En programmation, les premiers 90% d'un travail prennent 90% du temps, les derniers 10% prennent aussi 90% du temps ».

Qu'en sera-t-il de l'enseignement de la programmation à raison d'une heure ou deux par semaine?

A cela, on oppose parfois qu'on n'a pas su, jusqu'à présent, enseigner correctement la programmation mais que la « nouvelle programmation » ou tel ou tel langage miracle va changer tout cela.

Cela n'est pas impossible mais cela reste à prouver.

Tant que l'on aura pas apporté la preuve de ces affirmations de manière convaincante, au moins chez les professionnels, l'introduction de l'enseignement de la programmation à l'école secondaire est inutile sinon malvenue car elle se fera nécessairement au détriment d'une autre discipline de culture générale.

### *L'enseignement de l'algorithmique*

L'objectif de cet enseignement serait d'apprendre aux élèves :

- à poser correctement un problème;
- à analyser ce problème en le décomposant en sous-problèmes;
- de résoudre le problème moyennant l'écriture des algorithmes correspondants.

En bref, il s'agit d'enseigner les méthodes « informatiques » de résolution de problèmes.

A ce sujet, on peut dire que l'enseignement des méthodes de résolution de problèmes n'est pas un souci nouveau puisque Descartes déjà donnait des règles dans ce domaine,

mais que l'on n'a guère fait de progrès depuis lors. Jusqu'à présent, il était admis que les cours de mathématiques avaient justement pour objectif de fournir les outils et les méthodes de résolution de problèmes moyennant l'étude de mécanismes logiques généraux et abstraits. On est bien obligé de reconnaître que les élèves sont, dans l'écrasante majorité des cas, incapables d'appliquer ces mécanismes en dehors du contexte où ils les ont appris, c'est-à-dire en dehors des mathématiques.

Aujourd'hui, on affirme que l'algorithmique enseignée comme une discipline autonome pourrait, elle, donner aux élèves ce que l'enseignement des mathématiques s'est avéré incapable de donner, sauf à une petite élite, à savoir les élèves capables de suivre l'enseignement secondaire long. Ceci est d'ailleurs en parfaite contradiction avec les travaux récents en psychologie de la programmation, qui prouvent que les meilleurs informaticiens sont justement ceux qui sont brillants en mathématiques.

L'examen de ce qui se passe dans le secteur de l'informatique professionnelle ne permet en rien d'affirmer que ceux qui ont suivi un enseignement d'algorithmique sont plus capables ou mieux capables de poser et de résoudre des problèmes car, comme le dit le Professeur Weizenbaum dans une interview récente, si c'était vrai, alors les informaticiens devraient vivre mieux que les autres, être plus heureux en ménage que les autres et gagner plus d'argent à la Bourse que les autres!

Tant que la preuve des affirmations sur les vertus de l'algorithmique n'aura pas été apportée de manière éclatante, il est inutile, voire démagogique, d'introduire un tel enseignement comme une discipline autonome.

Un autre argument étaye cette conclusion : l'introduction de l'informatique comme discipline autonome et supplémentaire irait à l'encontre de but principal poursuivi, c'est-à-dire l'incitation de *tous* les enseignants à utiliser l'ordinateur dans leur enseignement.

En effet, la création d'un corps d'enseignants en informatique aura, vis-à-vis de l'ensemble des enseignants, un effet démobilisateur. Au lieu que chaque enseignant se sente concerné par ce que l'utilisation de l'ordinateur peut apporter dans sa discipline, il aura une tendance naturelle à se désintéresser du problème en le laissant aux bons soins du « spécialiste ».

On aura ainsi contribué à créer dans l'enseignement une situation analogue à celle qui existe sur le plan professionnel dans tous les pays développés et que tous les spécialistes s'accordent à trouver regrettable. On a installé des ordinateurs plus vite qu'on n'a appris à s'en servir de manière rationnelle et, sous la pression des événements, on a confié aux informaticiens, c'est-à-dire aux spécialistes de la machine, la solution de tous les problèmes d'informatisation que l'on pouvait rencontrer. Les informaticiens étant incompétents dans toutes les disciplines sauf la leur, cette façon d'informatiser la gestion, les sciences, le droit, la médecine, etc., a abouti à un certain nombre de catastrophes qui sont trop connues pour qu'on y insiste.

Il serait regrettable qu'au moment où l'on commence à prendre conscience des erreurs commises dans le passé sur le plan professionnel, on prenne, pour l'enseignement, une décision qui aurait pour effet d'institutionnaliser les mécanismes qui sont à l'origine même de ces erreurs.

### *Deuxième scénario ou l'informatique-outil*

Dans ce scénario, la « société informatisée » est également une société dans laquelle chaque individu est entouré d'ordinateurs à la différence, toutefois, que les ordinateurs ne sont plus, cette fois-ci, des machines pour lesquelles les utilisateurs écrivent des programmes mais des ensembles de *ressources et de services*.

En d'autres termes, dans une « société informatisée », l'individu sera bien entouré d'ordinateurs mais il sera à peine plus concerné par l'informatique que le citoyen de la « société électronifiée » d'aujourd'hui n'est concerné par l'électronique. Par contre, la « société informatisée » lui fournira, grâce aux ordinateurs, des services plus nombreux et plus complexes qui lui feront gagner du temps, ou lui simplifieront l'existence, ou lui permettront de faire des choses qui étaient impossibles auparavant.

Cette vision de la « société informatisée » a toutes les chances d'être beaucoup plus proche de la réalité, car elle est déjà partiellement la réalité d'aujourd'hui, qu'une hypothétique société dans laquelle les individus ont à écrire des programmes chaque fois qu'ils désirent obtenir un service quelconque de leur ordinateur.

Dans cette interprétation pragmatique de la « société informatisée », les ordinateurs, en tant que tels, disparaissent. Ils ne sont plus, dans l'écrasante majorité des cas, qu'une partie de dispositifs plus ou moins compliqués dont l'utilisateur ne perçoit que l'aspect « service rendu » par le dispositif, et ce dernier ne sera accepté socialement que si le mode d'emploi en est suffisamment simple, c'est-à-dire adapté aux comportements habituels des individus d'une société.

L'histoire de l'informatique de ces vingt dernières années montre à l'évidence qu'un effort considérable a été fait par les informaticiens pour « simplifier le mode d'emploi » afin de mettre la machine à la disposition de l'Homme, c'est-à-dire pour éliminer l'apprentissage, nécessaire il y a vingt ans, d'un ensemble complexe de détails spécifiques des machines, ce qui, en fait, revenait à mettre l'Homme au service de la machine. Comme l'a dit Arno Penzias, prix Nobel de Physique en 1978, « *We must teach computers to understand people* » (nous devons apprendre à la machine à comprendre l'homme).

Compte tenu de ce qui précède, il faut donc, pour essayer d'évaluer le rôle que les ordinateurs sont appelés à jouer dans l'éducation, se placer dans l'optique des « services » que ceux-ci peuvent rendre dans l'enseignement, et non dans l'optique de l'institutionnalisation de ce qui fait l'activité quotidienne des informaticiens depuis trente ans.

### *Les rôles de l'ordinateur dans l'éducation*

Les premières expériences d'EAO utilisaient exclusivement le mode « enseignement programmé » encore appelé « mode tutoriel ». Celui-ci repose sur l'hypothèse implicite que tout processus d'enseignement est une transmission de connaissances et, par suite, toujours décomposable en une suite d'opérations simples : il suffit que l'ordinateur présente des informations les unes après les autres en vérifiant chaque fois que l'information présentée a été convenablement mémorisée par l'élève.

Cette « automatisation » de l'enseignement était très exactement une tentative de remplacement de l'enseignant par l'ordinateur. On n'en parlait pas ouvertement. La

plupart du temps, on préférerait évoquer la « mutation » du rôle des enseignants qui, enfin débarrassés de classes turbulentes, allaient pouvoir, loin du monde et du bruit, se consacrer à la partie « noble » de leur métier, c'est-à-dire à la rédaction de programmes « didacticiels » de plus en plus géniaux que chaque élève, seul lui aussi, dégusterait à loisir en « dialoguant » (?) avec l'ordinateur.

Le mode tutoriel n'est pas vraiment critiquable en lui-même. Il peut en certaines circonstances être très utile (rattrapage d'une absence prolongée au cours, soutien pour des élèves ayant des difficultés, enseignement de certaines activités de type « check-list » comme des activités de dépannage, de contrôle, de vérification, d'enregistrement, etc.).

Ce qui est critiquable, c'est vouloir l'ériger en mode unique, c'est de prétendre ramener la totalité des processus pédagogiques à des mécanismes rudimentaires tout juste bons à développer des réflexes conditionnés chez les élèves. Le fait de les mettre en œuvre avec une technologie avancée et d'en appeler à la maïeutique de Socrate et aux dialogues de Platon ne change rien au fond du problème.

Si l'on considère, par contre, que la pédagogie est un processus complexe dans la mesure où le but de l'enseignement est d'aider l'élève à acquérir des connaissances, non en vue de les mémoriser pour être simplement capable de les régurgiter à la demande, mais en vue d'acquérir une représentation mentale *cohérente* (un modèle) du monde qui l'entoure, pour devenir capable d'agir sur ce monde avec le maximum de chances de succès, alors les modes d'utilisation de l'ordinateur sont multiples car on peut l'insérer dans toutes les étapes des processus pédagogiques, tant dans l'activité de l'enseignant que dans l'activité de l'élève.

### *L'ordinateur, outil pour l'enseignant*

Les enseignants ont, jusqu'ici, été les grands oubliés de l'EAO. Il y a jusqu'ici peu d'exemples d'outils destinés à accroître l'efficacité de leur enseignement ou à leur faciliter la tâche dans le cadre de la salle de classe, et ce qui suit doit, par conséquent, être considéré comme une première tentative d'exploration d'un domaine à peu près vierge.

#### *(a) Le tableau noir informatique ou l'apprentissage collectif :*

L'enseignant utilise un clavier pour faire apparaître sur un écran cathodique des textes et des dessins. Les applications peuvent être multiples :

- multiplication des exemples;
- présentation (en simulation) d'expériences;
- présentation de cas d'application d'une règle en demandant aux élèves de découvrir cette règle, etc.

Les quelques expériences qui ont eu lieu en France dans ce domaine ont donné lieu à des constatations extrêmement intéressantes.

Dans une des expériences, par exemple (âge treize-quinze ans) le professeur fait apparaître sur l'écran un triangle dont la base est fixe et dont l'un des sommets peut être déplacé en agissant sur les touches qui commandent le curseur sur l'écran. Il demande alors comment il faut déplacer le sommet variable pour obtenir un autre triangle ayant même aire que le premier.

Après discussion par la classe, un déplacement du sommet est proposé.

Si l'aire du nouveau triangle est égale à l'aire centrale, le sommet apparaît en vert en même temps qu'on entend un « bip » sonore, sinon le point apparaît en rouge. Nouvelle discussion, nouveau point, etc., jusqu'à ce qu'apparaisse progressivement une ligne de points verts parallèle au côté fixe entraînant un commentaire du professeur, qui peut alors enchaîner sur la formule qui donne l'aire du triangle et justifier mathématiquement le résultat obtenu.

Ce que cette description factuelle ne peut pas rendre, c'est l'excitation qui règne dans la classe, la vivacité des discussions, ainsi que le ton triomphal du ou des élèves qui les premiers affirment que c'est une droite parallèle à la base. Ce qui est important ici, c'est l'instauration d'un nouveau type de pédagogie où l'ordinateur aux mains de l'enseignant joue un rôle actif, à la fois motivant et suscitant un auto-apprentissage de la classe, et où l'enseignant sert de guide et de metteur en scène pour animer la dynamique du groupe, sollicitant les plus timides, calmant les plus actifs, etc. Ce qui est important également, c'est là modification du rapport maître-élève, où ce n'est plus le professeur qui enseigne la vérité et qui sanctionne la mauvaise réponse. Au contraire il sollicite l'intuition, l'imagination et la créativité des élèves et laisse l'ordinateur dire si l'idée proposée est juste ou fautive en donnant ultérieurement la démonstration qui fait comprendre pourquoi certaines idées étaient justes et d'autres non.

Cet exemple particulier ne donne qu'une faible idée de la variété des outils qu'un enseignant peut utiliser pour améliorer son enseignement dans la salle de classe et il serait souhaitable que des travaux plus nombreux soient menés dans ce domaine.

*(b) La découverte guidée :*

L'enseignant prépare un logiciel simulant un phénomène quelconque (physique, chimie, biologie, écologie, démographie, géographie, ...); les élèves travaillant en groupes sur des consoles sont invités à découvrir les règles qui régissent le phénomène, tandis que l'enseignant circule entre les groupes.

Les objectifs sont ici multiples :

— Placer les élèves en situation de recherche, c'est-à-dire de construction d'un modèle explicatif du phénomène observé. Il s'agit là d'une véritable démarche inductive, c'est-à-dire créatrice à un haut niveau d'abstraction (les élèves expérimentent sur une représentation symbolique du phénomène réel).

— Vérifier que les élèves appliquent correctement la méthode expérimentale : expérimentation, hypothèse, vérification expérimentale de l'hypothèse, nouvelle hypothèse, etc., à l'aide d'exemples et de contre-exemples.

— Vérifier que les élèves ont une stratégie pour mener leurs suites d'expériences de manière convergente et cohérente et ne travaillent pas par essai et erreur.

— Aider les élèves à devenir autonomes face à une situation qui demande une démarche constructive dans la recherche d'une solution.

*(c) Utilisation de minibases de données :*

Des minibases de données constituées par l'enseignant se prêtent à de nombreuses activités dans des domaines variés : histoire et géographie, physique et économie, etc. Elles peuvent être utilisées pour faire des « enquêtes », pour apprendre aux élèves à poser

les « bonnes » questions, pour entraîner à distinguer l'information pertinente et celle qui l'est beaucoup moins, etc.

(d) *Exercices-minute :*

Si tous les ordinateurs d'une classe sont interconnectés (et moyennant un logiciel adéquat), l'enseignant peut proposer des exercices simples dont les résultats (de 0 à 20) viendront s'afficher instantanément en face de la liste alphabétique des noms sur l'écran de l'enseignant. Cet équivalent rapide de l'interrogation écrite ne remplace pas le devoir sur table mais permet, par exemple, de juger rapidement du niveau d'acquisition d'un savoir-faire par l'ensemble d'une classe.

### *L'ordinateur, outil pour l'élève*

Il s'agit ici du mode autonome, c'est-à-dire des didacticiels conçus pour être utilisés par des élèves seuls, face à leur console.

(a) *Le mode tutoriel :*

C'est celui qui a caractérisé les débuts de l'EAO : l'ordinateur remplace à la fois le maître, le cahier et le livre. Les didacticiels correspondants sont extraordinairement difficiles à écrire car il faut tout prévoir : les fautes de frappe au clavier, les fautes d'orthographe, la distinction entre les fautes d'étourderie de l'élève et ses erreurs de méthodes, les réponses aux questions éventuelles de l'élève, son envie soudaine de revenir en arrière dans la leçon soit pour relire, soit pour modifier une réponse déjà donnée, etc.

Un tel niveau de qualité ne pourra être atteint, dans la plupart des cas, que par des entreprises spécialisées ayant les moyens de réunir (et de payer) des groupes pluridisciplinaires comprenant des concepteurs de scénarios pédagogiques, des psychologues, des analystes, des programmeurs, des maquettistes, etc.

A cause même de leur caractère autonome, ces produits ne sont pas, de toute évidence, destinés à la salle de classe, mais au marché soit de la formation permanente, soit de l'auto-éducation à domicile (révision, rattrapage d'absences, etc.), et ce marché grand public justifie les énormes investissements nécessaires pour concevoir, réaliser, distribuer et maintenir ce type de produits.

(b) *Le mode multi-média :*

Par suite des limitations de l'écran (présentation d'une seule page de vingt-quatre lignes d'une centaine de caractères), il paraît peu raisonnable de se limiter à l'ordinateur seul. Une approche multi-média incluant des livres, diapositives, vidéo-cassettes en plus de l'ordinateur, offre beaucoup plus de possibilités mais complique d'autant la conception des didacticiels qui devront ainsi s'insérer dans une stratégie pédagogique globale faisant appel selon les cas à tel ou tel support.

### *Les implications à long terme*

L'utilisation des ordinateurs, avec toute la variété des techniques qui viennent d'être décrites et qui vont bien au-delà du simple mode tutoriel ou de l'enseignement de la programmation, vise, bien entendu, à améliorer l'éducation actuelle en donnant aux élèves, à travers les différents logiciels utilisés, plus d'autonomie, plus d'esprit critique, plus d'occasions de créativité.

Ce faisant, et c'est peut-être le plus important, on familiarise les élèves avec l'environnement qui sera le leur dans la société informatisée de demain, c'est-à-dire avec toute la variété des outils qui sera à leur disposition dans tous les domaines (dialogue avec l'ordinateur pour l'exploration, la simulation, la consultation de banques de données, le courrier électronique, la télécopie, etc.).

Cette société informatisée ne relève pas de la science-fiction : elle est déjà une réalité dans un nombre croissant de secteurs industriels et commerciaux sous forme d'outils de XAO.

Parce que ces outils donnent à leurs utilisateurs une puissance croissante sur l'environnement en leur permettant de résoudre des problèmes qu'ils ne pourraient pas traiter en l'absence de ces outils, en leur permettant de maîtriser des problèmes de plus en plus complexes, il est indispensable de familiariser les enfants avec ces outils, non pas en leur faisant des cours sur le fonctionnement des ordinateurs ou sur la programmation, mais en leur donnant l'occasion d'utiliser concrètement la plus grande variété possible de ces outils.

C'est par la pratique de l'usage de ces outils, et uniquement par la pratique, que les enfants pourront prendre conscience de ce que l'ordinateur peut faire pour eux, dans quelles circonstances il peut le faire et ce qu'ils peuvent en attendre.

Pour atteindre cet objectif, la connaissance des ordinateurs et de la programmation est généralement inutile car l'écriture d'un programme de cinquante ou cent instructions n'apprend rien, par exemple, sur le fonctionnement des banques de données, sur la manière d'y accéder et sur l'usage que l'on peut en faire, de la même manière que d'apprendre à piloter un avion de tourisme est totalement inutile pour savoir ce qu'il faut faire lorsqu'on désire se rendre de Paris à Montréal par un avion de ligne. Dans le premier cas, on pilote une machine avec ses problèmes mécaniques et aérodynamiques, avec ses procédures de décollage et d'atterrissage. Dans le second cas, il y a également des hommes qui pilotent des avions mais l'utilisateur lui, a affaire non pas aux avions, mais au système de transport aérien international, et ce qu'il doit savoir c'est où il faut téléphoner pour réserver une place, c'est connaître les horaires des avions, l'adresse du terminal, le nombre de kilos de bagages qu'il peut emporter et s'organiser en fonction des horaires et des durées de transport.

L'image de l'individu face à son ordinateur avec comme seule ressource un langage de programmation est une image du passé.

De plus en plus, les ordinateurs sont intégrés dans des systèmes d'information, de communication et de traitement qui vont de la station de travail locale comportant des dizaines de logiciels spécifiques et où les instructions se comptent par centaines de mille, aux réseaux locaux, aux réseaux nationaux et internationaux. Chaque utilisateur sera ainsi en liaison avec des dizaines de milliers d'autres ordinateurs avec accès aux informations et aux logiciels existant dans le monde entier, qu'il pourra télécharger pour les utiliser à sa convenance. Cette multiplication des outils logiciels de plus en plus sophistiqués, accessibles à partir de n'importe quel terminal professionnel ou privé, est la caractéristique majeure de la future société informatisée, c'est-à-dire celle dans laquelle vivront nos enfants et c'est à celle-ci qu'il faut les préparer dès aujourd'hui.

L'invention de l'imprimerie a permis de mettre à la portée de chacun, sous la forme de livres, la somme des informations accumulées par les générations passées et de faire ainsi progresser les connaissances.

L'avènement des systèmes d'information, de communication et de traitement représente un changement radical, car ces derniers permettent non seulement d'accéder plus rapidement et plus commodément à cette information accumulée, mais ils permettent de plus, et c'est là un fait nouveau, de mettre en œuvre des méthodes et techniques de traitement en exécutant les logiciels écrits par d'autres.

Jusqu'à présent, il fallait apprendre dans les livres la description des méthodes et des techniques et tenter d'appliquer ces méthodes apprises pour chaque nouveau problème rencontré.

En passant de l'imprimerie aux systèmes d'information, de communication et de traitement, nous sommes en train de passer, sans toujours en avoir clairement conscience, de l'ère de l'information discursive (description de ce qu'il faut faire pour résoudre un problème) à l'ère de l'information opérationnelle (choix du logiciel dont l'exécution résout le problème).

L'analyse des implications de cette mutation conduit à un certain nombre de constatations :

- il est absurde de penser qu'il existera un jour des logiciels capables de résoudre tous les problèmes que les hommes peuvent se poser;
- les logiciels que l'on développe aujourd'hui massivement sont des logiciels qui assistent l'Homme dans la solution des problèmes en lui fournissant une aide pour traiter automatiquement *certaines parties* de problèmes;
- l'utilisation de ces logiciels n'est pas triviale. Elle suppose d'une part que l'on apprenne à s'en servir (il faut se familiariser avec l'existence et l'usage des logiciels), et d'autre part que l'on domine suffisamment le domaine dans lequel on travaille pour être capable d'évaluer de manière critique les résultats fournis par l'ordinateur.

Les contenus, les techniques et les méthodes de nos systèmes d'éducation, de l'école à l'Université, reposent implicitement sur l'hypothèse que pour résoudre les problèmes que l'on pose ou qui se posent ou se poseront à l'élève, celui-ci ne disposera pour toute ressource que de son cerveau, d'un papier et d'un crayon et éventuellement de livres. Cette hypothèse n'est jamais explicitée mais elle est à la base de tous les systèmes d'éducation actuels.

Si, dans un proche avenir, tout élève ou étudiant a accès à tout moment à des systèmes d'information, de communication et de traitement où il disposera de logiciels de plus en plus sophistiqués pour l'aider à résoudre des problèmes, alors il est clair que l'hypothèse précédente doit être abandonnée.

En d'autres termes, l'accès généralisé à des systèmes d'information, de communication et de traitement va remettre en question, progressivement, les contenus, les méthodes et les techniques de tous les systèmes d'éducation, de l'école à l'Université, car cet accès remet en cause et les savoirs et les savoir-faire tels que nous les définissons aujourd'hui.

### *Apprendre à penser autrement*

On entend souvent dire que le problème aujourd'hui est celui de l'intégration de l'informatique dans les différentes disciplines, mais il est clair que ceux qui prétendent atteindre cet objectif par l'enseignement de la programmation ou de l'algorithmique se trompent de problème.

Si l'informatique n'est pas la science des ordinateurs, elle n'est pas davantage la science de la programmation. L'ordinateur est une machine et la programmation une technique. Les deux réunis sont des outils au service du *traitement de l'information* qui est, lui et lui seul, l'objet de l'informatique.

Quand je parle de l'intégration de l'informatique dans toutes les disciplines, je ne pense ni aux ordinateurs ni à la programmation mais au traitement de l'information au sens large.

Ce qui caractérise l'informatique de ces dernières années, c'est l'apparition de techniques de conception assistée (ce que l'on appelle la XAO) qui sont, au sens strict, des systèmes de traitement de plus en plus sophistiqués et dans un nombre croissant de domaines (électronique, avionique, médecine, biologie, mécanique, architecture, travaux de bureau, etc.).

Or, si certains minimisent le phénomène en le traitant d'« informatique presse-bouton », je pense au contraire qu'il s'agit du phénomène le plus important depuis que les ordinateurs ont été inventés.

Il est important pour deux raisons. D'une part, il va donner naissance à des outils de plus en plus puissants, ce qui va inévitablement remettre en cause le savoir et le savoir-faire de ses utilisateurs, et d'autre part, il va concerner, à terme, la totalité de la population active.

Il est clair que l'usage de ces outils, parce qu'il débarrasse l'utilisateur des travaux de routine longs et fastidieux, exige en revanche de la part de celui-ci plus d'imagination, plus d'intuition, plus de créativité mais aussi plus de capacité de porter un jugement critique sur tout résultat fourni par un ordinateur, ce qui suppose des connaissances plus profondes et plus synthétiques qui seules permettent d'affiner le jugement. Or, l'analyse des contenus de nos enseignements montre qu'une part importante de ceux-ci est consacré à l'enseignement de démarches et de méthodes analytiques permettant de décomposer les problèmes par étapes successives jusqu'au niveau où chacun des sous-problèmes peut être traité à la main.

Ceci est non seulement normal mais indispensable dans une situation où il n'y a pas d'autre méthode de solution que la solution manuelle.

Si l'on considère cependant que les méthodes analytiques sont, dans leur écrasante majorité, des algorithmes, alors il est évident qu'apparaîtront à plus ou moins brève échéance des logiciels qui exécuteront ces algorithmes de manière automatique et que tout un chacun pourra les utiliser y compris à l'école.

Comme il est très probable que, dans une période pas très lointaine, tous les élèves auront dans leur poche un ordinateur comme ils ont aujourd'hui une calculette (faut-il rappeler que la première calculette est apparue il y a douze ans et qu'elle coûtait à l'époque 700 \$) avec une grande variété de logiciels extrêmement puissants, alors il devient

clair que notre enseignement actuel, à tous les niveaux, sera très largement inadapté. Il n'est donc pas trop tôt pour commencer à réfléchir aux modifications à apporter tant aux contenus de l'éducation qu'aux méthodes.

On a souvent dit que l'informatique allait apporter des changements très profonds grâce à sa logique sous-jacente et que, pour accélérer le mouvement, il était urgent d'enseigner l'informatique à tout le monde. L'hypothèse implicite était qu'on allait préparer la société au changement en formant tout le monde à l'algorithmique à coups d'analyses descendantes, de structures de données, de rigueur dans la démarche logique, de boucles d'itération, de récursion et de preuves de programmes.

L'ennui est que cette démarche n'est rien d'autre, au fond, que la tentative d'élever au niveau d'une valeur culturelle et d'étendre à l'ensemble de la société ce qui a fait l'essentiel de l'activité des programmeurs durant les dix dernières années. On oublie ainsi que l'usage de l'informatique est en train de changer de manière radicale et qu'à ce titre, ce soi-disant « humanisme » du troisième millénaire n'a que peu de chance de coller à une quelconque réalité future.

Je constate, par contre, que le jeu de la compétition économique ou la simple nécessité de survie industrielle des pays développés va conduire inexorablement à introduire progressivement et partout des outils informatiques.

Je constate aussi que tout le monde aura à utiliser personnellement, dans sa vie professionnelle d'abord et dans sa vie privée ensuite, des outils informatiques d'une puissance proprement inimaginable il y a dix ou vingt ans. Cela mènera inévitablement dans notre vie quotidienne à poser les problèmes autrement parce qu'on les résoudra autrement et, par conséquent, tout naturellement, à penser autrement. L'émergence de la XAO et la multiplication rapide de ces outils dans les dix ans à venir va conduire à une remise en cause croissante de tous les savoir-faire qu'on ne résoudra pas en persillant les diverses formations de programmation et d'algorithmique.

Ce qui est en cause est beaucoup plus profond, c'est l'adéquation de la totalité de notre système d'éducation à prendre en compte l'existence de ces nouveaux outils, c'est son aptitude à les intégrer dans un système de formation cohérent de façon à aider chacun à les utiliser de manière efficace.

Bien que le phénomène XAO soit seulement en train d'émerger (dès cette année une vingtaine d'universités américaines exigent que chacun de leurs étudiants possède un ordinateur connectable à l'ordinateur central du campus), il n'est pas trop tôt pour commencer à réfléchir aux modifications nécessaires de toutes nos formations dans leurs niveaux de connaissances, leurs techniques et leurs méthodologies, afin d'aboutir à la véritable intégration de l'informatique au sens où j'en ai parlé tout à l'heure.

A la limite, ce problème d'adaptation du système d'éducation à tous les niveaux et dans toutes les disciplines à la « nouvelle informatique » risque de devenir purement et simplement un problème de survie. Il y a en effet de fortes chances que d'ici dix ou vingt ans, il y ait d'un côté les pays qui auront résolu ce problème de manière plus ou moins satisfaisante, et de l'autre côté les pays qui n'auront pas pu ou su résoudre ce problème à temps et qui glisseront inexorablement vers le sous-développement — avec ou sans accompagnement de discours sur « le rôle du langage informatique dans l'humanisme du troisième millénaire ».

**BIBLIOGRAPHIE**

- N. A. CROWDER, *Automatic tutoring means of intrinsic programming in automatic teaching*, J. Wiley and Sons, New York, 1959.
- J. HEBENSTREIT, Computers in education. The next step, in *Computers and education*, J. C. MOONEN, éd, North-Holland, 1984.
- R. LEWIS, E. D. TAGG, éd., Computers in education, Comptes Rendus de *World Conference on Computers in Education* tenu à Lausanne en juillet 1981, North-Holland, 1981.
- B. F. SKINNER, *The technology of teaching*. Appleton-Century-Crofts, New York, 1968.
- E. D. TAGG, éd. *Microcomputers in secondary education*, North-Holland, 1980.
- J. WEIZENBAUM, *Computer power and human reason: from judgment to calculation*, W. H. Freeman, San-Francisco, 1976.
- T. WINOGRAD, Beyond programming, *Com. of ACM*, **22**, n° 7, 1979, p. 391-401.