

NOUVELLES TENDANCES EN
ENSEIGNEMENT ASSISTÉ PAR ORDINATEUR

J. HEBENSTREIT

Depuis 25 ans, un brillant avenir a sans cesse été prédit aux divers aspects de l'Enseignement assisté par ordinateur.

Jusqu'à présent, cependant, les résultats obtenus n'ont pas été à la hauteur des dépenses engagées. Il y a plusieurs raisons à cet état de choses. Les -- deux raisons principales ont été, jusqu'ici, d'une part le coût du matériel mais aussi la tendance excessive des expérimentateurs à vouloir transférer -- sur ordinateur la totalité des processus d'enseignement.

La baisse permanente du prix des matériels et une appréciation plus réaliste du rôle de l'EAO dans le processus global d'enseignement ont donné lieu à -- des développements récents intéressants dans de nombreux pays. Cinq projets -- pilotes importants aux USA, en Grande Bretagne et en France sont décrits. -- Les nouvelles tendances qui se font jour et les problèmes qu'elles soulèvent sont discutés.

1. INTRODUCTION

Depuis 25 ans un brillant avenir a été pré-- dit aux divers aspects de l'EAO (CAI, CAL, - CMI, etc.), plus particulièrement par ceux - qui travaillaient dans ce domaine.

Aux USA où la plus grande partie des recherches ont été faites, plus de 150 millions de dollars ont été investis dans la période -- 1966-1971 et cela uniquement par la National Science Foundation et l'Office of Education, auxquels il faut ajouter plusieurs millions supplémentaires dépensés au niveau local, au niveau des états et des autres institutions fédérales /1/, /2/.

Avec un facteur d'échelle prenant en compte le rapport des populations, on peut dire que des sommes comparables ont été dépensées - dans le même but, dans un certain nombre de pays développés.

Il est intéressant de constater que, malgré les échecs successifs rencontrés dans la -- mise en oeuvre de l'EAO à une échelle qui -- soit significative quant au nombre d'étu-- diants et d'enseignants concernés, et malgré les difficultés économiques récentes, des -- sommes importants continuent à être inves-

ties dans nombre de pays développés.

Cela signifie qu'un certain nombre d'experts en éducation et de gouvernements pensent - qu'il existe aujourd'hui, après une longue - période de recherche et de développement, de bonnes raisons de penser que la mise en -- oeuvre de l'EAO est en train de devenir un - objectif raisonnable.

2. BREVE HISTOIRE DE L'EAO

Les premiers matériels construits pour l'EAO basés sur les travaux de Skinner /3/ et de - Crowder /4/, n'ont guère eu de succès parce qu'ils étaient à la fois peu efficaces et -- coûteux. Les premiers développements maté-- riels importants commencent au début des années 60 qui voient la naissance du langage - Coursewriter et du seul matériel réellement spécialisé qui ait jamais été réalisé: le - système 1500 IBM qui n'aura d'ailleurs qu'un succès limité.

Dans cette période, c'est au sein des forces armées des USA que l'EAO connaît le plus -- grand développement; ailleurs, de nombreuses expériences sont tentées mais sont abandonnées aussitôt que cesse le financement par - des contrats de recherche.

- J. Hebenstreit de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Service Informatique, 91190 Gif-sur-Yvette, France.
- Article rebut el Maig de 1978.

Plusieurs modes d'utilisation de l'EAO ont émergé progressivement à partir du seul mode tutoriel envisagé à l'origine.

2.1 Enseignement programmé

Encore appelée mode tutoriel, cette technique est devenue de plus en plus complexe lorsqu'elle est passée des "questions à choix multiples" aux "réponses libres construites" qui posent le problème difficile de la reconnaissance sémantique.

2.2 Exercices assistés

Dans ce mode, l'ordinateur présente à l'étudiant une succession d'exercices de difficulté croissante. Il permet, en particulier, de prévoir la présentation d'exercices adaptés au niveau de l'étudiant avec une progression personnalisée /5/.

On peut, de plus, faire générer les exercices successifs de manière automatique, ce qui permet d'éviter la programmation séparée de chaque exercice et donc de réduire le coût de la programmation.

C'est ce mode d'utilisation qui est le plus largement répandu à cause de son efficacité et de sa facilité de réalisation.

2.3 Le mode dialogue

Ce mode se propose d'aller au-delà de la simple comparaison entre la réponse de l'étudiant et une liste de réponses acceptables et une réponse par "oui" ou par "non" avant d'aborder la question suivante.

Les systèmes les plus complexes contiennent des procédures de réponses aux questions de l'étudiant et le but ultime est d'arriver à un enseignement assisté pleinement interactif.

Le problème fondamental est celui du langage et celui-ci a deux aspects.

D'une part, l'étudiant désire dialoguer en langage naturel mais l'ordinateur n'a que des moyens réduits pour appréhender la sémantique et, d'autre part, on a les plus grandes difficultés pour détecter par ordinateur les erreurs de raisonnement qui ont amené

l'étudiant à donner une réponse erronée.

Dans la plupart des cas, on tente de résoudre ces problèmes en restreignant le vocabulaire et la syntaxe du langage de communication avec l'ordinateur.

2.4 Modélisation et simulation

Ce mode est d'usage assez récent mais semble un des plus prometteurs.

Il existe au moins trois manières différentes d'utiliser ce mode.

La première manière est du genre "découverte guidée" où un modèle est entré dans l'ordinateur et où l'étudiant doit découvrir, par des expériences simulées, les relations entre les entrées et les sorties du modèle (découvrir une loi physique, la maladie d'un patient simulé, etc.).

La deuxième manière est du type "acquisition d'expérience" où un étudiant peut faire varier un paramètre du modèle et obtenir une réponse instantanée sans avoir à entrer dans des calculs plus ou moins complexes.

La troisième manière consiste à présenter un phénomène naturel à un étudiant en lui demandant, par expérimentation réelle, d'en construire un modèle qui pourra, une fois programmé, être testé intensivement afin d'en contrôler le domaine de validité.

2.5 Enseignement contrôlé par ordinateur

Ce mode (Computer Managed Instruction) est apparu récemment et comme il s'agit d'un mode mixte, il est difficile à classer.

Le but poursuivi est d'individualiser complètement la totalité de l'enseignement grâce à la méthode suivante: /7/

Chaque étudiant qui arrive dans un établissement est soumis à un certain nombre de tests sur ordinateur, destinés à évaluer ses compétences et capacités. Ensuite, l'ordinateur lui demande ce qu'il veut apprendre. Au vu de la réponse, l'ordinateur donne à l'étudiant la liste de tout ce qu'il aura à savoir pour atteindre son but.

Si l'étudiant donne son accord, l'ordinateur lui donne le détail des choses à apprendre - pour un période de temps (1 semaine ou 1 -- mois). Ceci peut inclure des activités va-- riées comme suivre des cours, lire des chapitres de livres, des listes d'exercices à -- faire y compris éventuellement des séances - d'enseignement assisté. Pendant la période - de temps impliquée, l'ordinateur tient à -- jour la liste des résultats obtenus par l'étu-- diant qui passe son examen final sur l'ordi-- nateur.

Selon les résultats obtenus, l'ordinateur fi-- xera à l'étudiant soit des études complémen-- taires sur le programme de la période écoulée, soit un nouvel ensemble d'activités.

Cette brève description du CMI montre que -- l'on vise ici une individualisation complète de l'enseignement où chaque étudiant n'étu-- die que les sujets qui l'intéressent et où - il progresse à son rythme personnel.

Il est indispensable ici de procéder à une - mise en garde car si l'on ne surveille pas - de très près ce mode d'utilisation de l'ordi-- nateur, ce genre de système peut très rapide-- ment mener à une caricature de l'enseignement et nous conduire directement à une situation du type de celle décrite par George Orwell - dans "1984".

Bien sûr, au départ, les buts d'un tel sys-- tème sont hautement humanistes et vont dans le sens d'un individualisme de plus en plus répandu, mais il faut se souvenir que l'en-- fer est pavé de bonnes intentions.

3. LA SITUATION ACTUELLE

Elle est caractérisée par l'existence d'un - grand nombre de projets en cours dans la plu-- part des pays développés, et la présence de plus de 1000 participants à la dernière Con-- férence Internationale sur l'Informatique et l'Enseignement qui s'est tenue à Marseille - en 1975 est la preuve de la vitalité de ce - domaine /8/.

Pour essayer de donner une image de la situa-- tion présente, nous décrirons 5 projets à -- grande échelle, actuellement en cours, et -- qui sont, d'une manière ou d'une autre, typi-- ques de l'état de l'art.

3.1 Le projet PLATO /9-11/

Ce projet (Programmed Logic for Automatic -- Teaching Operations qui est devenu entre -- temps Programmed Learning And Teaching Opera-- tions) a débuté vers les années 60 à l'Uni-- versité d'Illinois sur l'ordinateur ILLIAC 1 avec un seul terminal. Des extensions succes-- sives ont conduit à l'état actuel où l'on -- trouve un CYBER 73 CDC avec plusieurs centai-- nes de terminaux.

Les terminaux ont été conçus à l'Université d'Illinois.

Leur principale originalité réside dans l'u-- tilisation d'un écran à plasma. Ceci permet des affichages aussi bien alphanumériques -- que graphiques, ainsi que l'utilisation d'un projecteur de vues en surimpression qui rend l'ensemble extrêmement flexible.

Un langage pour l'écriture des programmes -- d'enseignement (TUTOR) a été développé à -- l'Université d'Illinois et est seul utilisé sur ce système.

Le total des cours disponibles est impressio-- nant puisqu'il représente quelque 4500 leçons (environ 4000 heures d'enseignement) couvrant environ 70 disciplines différentes.

En fait, il ne semble pas y avoir d'approche pédagogique cohérente, chaque professeur uti-- lisant le système à sa manière, et ceci ex-- plique sans doute le commentaire selon lequel:

"Quality varies from the superb; such as a highly lauded chemistry coursewa-- re by Stan Smith and an advanced cu-- rriculum in veterinary medicine... to terrible" /12/.

Ce qui est intéressant dans le projet PLATO, c'est qu'il apparaît comme une tentative de preuve qu'un ordinateur très puissant avec - un très grand nombre de terminaux est écono-- miquement viable, c'est-à-dire qu'il devrait permettre d'atteindre un prix par heure et - par utilisateur qui soit compétitif avec -- l'enseignement traditionnel.

En fait, R. Morris (Vice-Président de CDC -- chargé des Services et Produits pour l'Educa-- tion) estime que, vers 1985, les revenus dus

à PLATO pourraient atteindre 50% des revenus de CDC /12/. Le but semble être de prendre possession d'une part importante des activités de formation à la fois gouvernementales et industrielles dont le montant annuel aux USA est estimé à 20 milliards de dollars.

Pour terminer, on citera D. Alpert, Directeur Associé du CERL (où le projet PLATO est développé) :

"In some cases there has been a sense of disillusionment among instructors-users, associated with disparities -- between expectation and performance -- in system reliability.

Some disillusionment is associated -- with failures of communication (rather than performance), failures to keep users informed as to system status, -- and a changing environment.

Some of these difficulties might have been avoided if the research on system design and the research on educational uses of the system could have been separated; that is, carried out on different systems" /13/.

3.2 Le projet TICCIT /14/

Le projet TICCIT (Time-shared Interactive -- Computer Controlled Information Television) est financé par la National Science Foundation et développé par la MITPE Corporation -- en coopération avec l'Institute for Computer Uses in Education à l'Université Brigham -- Young à Provo (Utah).

Le matériel consiste en deux mini-ordinateurs NOVA 800, des mémoires à disques et 128 terminaux qui sont des téléviseurs couleur à -- haute définition comportant des possibilités graphiques. Les terminaux doivent se trouver à moins de 300 mètres de l'unité centrale.

PLATO et TICCIT s'opposent sur le plan technique.

- maxi-ordinateur contre mini-ordinateurs
- accès à distance contre accès strictement local

mais aussi sur le plan du logiciel puisque --

TICCIT est un projet intégré où le logiciel d'enseignement fait partie intégrante du système.

3.3 Le projet PCDP

Le projet PCDP (Physics Computer Development Project) a commencé dès l'ouverture du campus d'Irvine de l'Université de Californie.

Il s'y poursuit depuis et il est caractérisé par une approche extrêmement pragmatique à -- tous les niveaux: terminaux, logiciel, techniques d'enseignement, etc.

Le mode privilégié est le mode "dialogue" -- mais qui peut inclure des aspects tutoriels, de simulation, des exercices, etc. selon les sujets et le public visé.

Les terminaux sont à tube cathodique rémanent avec clavier et toutes les possibilités graphiques.

Pour conclure, le mieux est de citer le Professeur Bork /15/

"The teachers who have prepared our material have very different teaching -- philosophies; it is no secret that good teachers disagree highly about just how to teach effectively.

As a project we favor no single teaching style or philosophy"

Le système fonctionne depuis plusieurs années et est actuellement utilisé par plusieurs milliers d'étudiants en libre-service. Il -- est intéressant de noter que la majorité des étudiants qui utilisent ce système pour l'enseignement de la physique est formée de jeunes qui ne se spécialisent pas en physique.

3.4 Le projet NDPCAL /16, 17/

C'est en Janvier 1973 que fut officiellement créé par le gouvernement britannique le projet NDPCAL (National Development Program for Computer Aided Learning) prévu pour 5 ans -- avec un budget de 2 millions de livres sterling.

Le but était d'engager le nombre le plus élevé possible d'établissements d'enseignement

dans des projets précis d'EAO avec une moitié seulement du coût des projets pris en charge par NDPCAL.

Un total de 29 projets ont été financés par NDP. Environ 80 établissements, situés dans 33 villes du Royaume Uni, participent à des projets pluridisciplinaires.

Il y a, au total, 17 universités, 10 polytechnics (universités techniques), 20 collèges - (au sens anglais du terme) et 31 écoles. Pendant l'année scolaire 1975-1976, plus de 10.000 étudiants ont participé à des activités d'EAO, depuis des élèves âgés de 7 ans jusqu'à des étudiants de troisième cycle en chimie.

Plus de 200 programmes d'enseignement (de type tutoriel et simulation) ont été produits dans un langage qui est un sous-ensemble de BASIC et qui a été défini comme le langage NDPCAL.

Pendant les dernières années du projet, NDP espère consolider les résultats obtenus et être capable, après une évaluation sérieuse, de proposer des recommandations pour l'avenir.

Les différents projets sont inégaux, par leurs méthodes, leur portée, leur succès et leur degré d'acceptation par le corps enseignant, mais il s'agit indiscutablement de mener l'EAO au-delà d'une simple expérimentation sans lendemain.

Cela est confirmé par R. Hooper, Directeur de NDPCAL:

"The primary product of projects within the Program is not research evidence on human learning nor new knowledge in artificial intelligence, but operational CAL systems" /16/.

3.5 L'expérience nationale française

Cette expérience a commencé en 1970 et concerne l'enseignement secondaire (de 14 à 17 ans).

Chaque année, 100 professeurs de l'enseignement secondaire ont reçu, à plein temps pendant une année scolaire, une formation à

l'informatique, tandis qu'environ 1000 professeurs acceptaient de suivre un enseignement par correspondance.

Au total, environ 500 professeurs ont été formés à plein temps, tandis qu'environ 5000 professeurs recevaient le cours par correspondance.

Un langage de programmation unique pour l'enseignement secondaire fut imposé par le Ministre de l'Education (LSE - Langage Symbolique pour l'Enseignement, de type ALGOL) afin de faciliter au maximum les échanges de programmes. Ce langage, développé au Service Informatique de l'ESE, fut implémenté en temps partagé sur deux mini-ordinateurs: CII MITRA 15 et Télémécanique T1600.

Depuis 1972, ces systèmes ont été progressivement implantés dans les lycées et environ 60 systèmes sont aujourd'hui en fonctionnement.

Entre temps, ont été constituées, autour des ordinateurs installés, des équipes de recherche et développement comprenant des enseignants formés à plein temps, ou par correspondance, soit simplement intéressés par le sujet.

L'INRP a accepté la lourde tâche de collecter et de redistribuer les logiciels développés par les équipes de recherche.

Plusieurs centaines de programmes sont aujourd'hui disponibles dans toutes les disciplines, allant des mathématiques à la musique, en passant par la physique, la chimie, la biologie, l'histoire, les langues vivantes ou mortes, la littérature, etc.

La réalisation de programmes du type enseignement programmé n'est pas encouragée, mais on favorise, par contre, les produits basés sur le mode simulation /6/.

La qualité des produits-programmes est variable, ainsi que l'on pouvait s'y attendre de la part de groupes de recherches dont les membres n'avaient qu'une formation limitée en recherche pédagogique. Il est cependant remarquable que, dans ce contexte, plus de 70% des produits soient considérés comme "assez bons" à "excellents" par les utilisateurs.

teurs. Le résultat remarquable est sans aucun doute dû au fait que ces produits ont été réalisés par des enseignants très fortement motivés d'une part, et ayant, d'autre part, une excellente connaissance et de la matière et du public auquel ils s'adressent à travers une longue pratique quotidienne.

Le coût total de cette expérience est estimé à 100 millions de francs depuis 1970, dont environ la moitié correspond à l'effort de formation des enseignants, dont un peu plus d'un quart a été consacré à l'effort de recherche (activité à temps partiel des enseignants formés à l'informatique) et le reste aux achats de matériel.

L'expérience est entrée dans une nouvelle phase en 1976 par la création d'une Commission auprès de la Direction des Lycées avec les tâches suivantes:

- évaluer les possibilités d'inclusion de l'EAO dans le développement des programmes d'enseignement
- évaluer dans quelle mesure ce qui a été fait correspond à des besoins réels dans l'environnement scolaire et définir des modes d'action futurs
- définir des nouvelles méthodes pour former les enseignants à l'utilisation des outils informatiques (logiciel et progiciel)
- évaluer l'impact possible des nouvelles technologies sur le matériel informatique d'enseignement.

4. METHODOLOGIE

L'enseignement programmé selon Skinner et Crowder a suscité, lors de son apparition, un très grand intérêt bien que, du point de vue psychologique, cette méthode rappelle singulièrement les techniques conventionnelles utilisées pour créer les réflexes conditionnés.

Cet intérêt s'explique si l'on considère qu'une part très importante de notre vie sociale est justement basée sur l'hypothèse implicite que l'homme est en effet conditionnable, indéfiniment, et à n'importe quoi.

Des exemples évidents en sont les méthodes de suggestion et de lavage de cerveau pratiqués à grande échelle par les mass-media sans parler des techniques publicitaires modernes basées sur les stimulations répétitives et les études de motivations subconscientes.

D'un point de vue purement humaniste, les considérations précédentes devraient à elles-seules conduire à une condamnation de toute tentative de généralisation de l'enseignement programmé.

En fait, et sur le plan pratique, il est apparu de plus en plus clairement qu'un enseignement entièrement ramené à une forme de conditionnement allait à l'encontre de l'adaptabilité de plus en plus grande des individus, qu'exige une époque où il est devenu courant de considérer que la population scolaire actuelle aura à changer plusieurs fois de métier au cours de son existence active.

Ceci explique pourquoi l'enseignement programmé a été progressivement rejeté comme méthode générale d'enseignement mais explique aussi pourquoi elle continue à être partiellement utilisée, et avec succès, dans des domaines où la formation requise s'apparente d'assez près à un ensemble de réflexes conditionnés.

Plus encore, il est clair que l'axiome implicite sur lequel repose l'enseignement programmé est que l'enseignement se résume très exactement à une transmission de connaissances, et que le processus de transmission peut être optimisé par la technique proposée.

Or, il est de plus en plus évident que toute technique qui se propose d'enseigner plus de choses en moins de temps se heurte à une double limitation:

- la limite supérieure naturelle de la vitesse d'apprentissage qui est indépendante de la méthode employée
- le temps qu'un individu peut consacrer à l'apprentissage.

Chacun de ces termes étant fini, il en résulte que le produit des deux est, lui aussi, fini, ce qui signifie que la quantité de con

naissances qu'un individu peut acquérir est limitée même s'il y consacre toute sa vie. - Comme par ailleurs, selon les experts, la -- quantité de connaissances accumulées par notre société double environ tous les 10 ans, il en résulte que tout système basé sur la - transmission des connaissances est voué à -- l'échec et que toute tentative pour optimi-- ser le processus ne fait que reculer l'heure de cet échec.

Jusqu'à ces vingt ou trente dernières années l'éducation, au sens large, a été considérée comme une transmission de "morceaux choisis" des connaissances accumulées, et l'expérience a prouvé que l'on pouvait très bien vivre toute une vie avec ce qui avait été appris à l'école.

La rapidité croissante de l'évolution techni que, technologique et scientifique de la so ciété contemporaine a remis en question cet état de fait.

Face à l'accroissement rapide du volume et - de la nature des "morceaux choisis" indispen sables, le système d'éducation a réagi en -- gonflant les programmes et le nombre de su-- jets enseignés. Puis, devant l'évolution -- technologique de plus en plus rapide, on es- saya de faire appel à la technologie en vue d'enseigner plus de choses en moins de temps. Finalement, découragés par l'obsolescence de plus en plus rapide des connaissances enseig nées, les enseignants lancèrent le slogan -- "Enseigner c'est apprendre à apprendre" comme si cette formule, qui n'est rien d'autre qu'un aveu d'impuissance, pouvait avoir quel que chance que ce soit de résoudre le problè me.

Ce qui est un échec, en vérité, ce n'est pas l'enseignement, c'est uniquement l'enseigne ment conçu comme un système de transmission de connaissances, car il est de plus en plus évident que, dans un monde en évolution rapi de, le seul but possible de l'enseignement - est celui de rendre les gens capables d'abor der de nouvelles situations et de nouveaux - problèmes qui sont, pour l'essentiel, diffé rents de ce que nous sommes capables d'enseig ner aujourd'hui.

Il ne suffit plus de considérer que le but - de l'enseignement a été atteint lorsque les

élèves sont capables de résoudre tous les -- problèmes qui sont dans les livres car les - problèmes concrets que ceux-ci auront à ré-- soudre dans leur vie seront d'une nature dif férente.

Comment alors les préparer à ce qui les at-- tend et que nous ne connaissons que peu ou - pas?

Si, comme on pouvait s'y attendre, la répon se à cette question n'est ni simple, ni uni- que, elle mérite cependant qu'on s'y attache ne serait-ce que pour essayer de trouver des directions de recherche.

Une approche intéressante est donnée par ce que l'on a appelé depuis un certain temps dé jà, le "problem solving" mais d'entrée de jeu cette approche paraît trop restrictive, d'a- bord parce qu'elle présente une connotation mathématique, et que les problèmes mathémati ques ne représentent qu'une faible part de - l'ensemble des problèmes, ensuite parce que, d'une certaine manière, elle met la charrue devant les boeufs, en oubliant qu'en dehors du cadre scolaire, avant de pouvoir résoudre un problème, il faut être capable de le for- muler correctement.

En termes généraux, on pourrait donc dire -- que, pour être utile à l'élève, l'enseigne-- ment devrait avoir pour but non de transmet- tre les connaissances accumulées au cours -- des siècles mais les méthodes de formulation et de résolution des problèmes qui se sont - lentement dégagées dans les diverses disci-- plines, puisqu'aussi bien chaque discipline est largement caractérisée par son approche méthodologique spécifique qui par ailleurs - change peu au cours du temps et surtout moins vite que les connaissances accumulées.

Cette manière de redéfinir les finalités de l'enseignement n'est pas sans rappeler l'ada ge selon lequel on rend un plus grand servi ce à une population sous-alimentée en lui ap prenant à pêcher qu'en lui distribuant du -- poisson; mais alors que l'enseignement de la pêche est un art relativement simple, l'en-- seignement des méthodes de formulation et de résolution des problèmes dans le cadre de -- chaque discipline soulève toutes sortes de - difficultés.

Une première difficulté, et non des moindres, vient de ce que les méthodologies de formulation et de résolution de problèmes sont, pour l'essentiel, des heuristiques que l'on a -- beaucoup de mal à formaliser de manière précise actuellement, sans être sûr, d'ailleurs, que l'on y parviendra totalement un jour.

Une deuxième difficulté, en supposant même -- la précédente surmontée, réside dans le risque de voir les cours, dans les différentes disciplines, se transformer en discours épistémologiques sur ces disciplines, ce qui serait d'autant plus absurde que l'auditoire -- ne connaîtrait pas le contenu concret de ces disciplines. Dans ces conditions, le discours épistémologique deviendrait, pour l'auditoire, un discours vide de sens.

Il ne s'agit donc pas de remplacer l'enseignement des matières du programme par des -- cours de méthodologie mais d'enseigner les -- matières du programme en modifiant les objectifs pédagogiques de cet enseignement.

L'objectif principal ne serait plus la régurgitation plus ou moins parfaite de ce qui a été enregistré par l'élève, mais l'obtention de la part de l'élève ou de l'étudiant, d'une démarche méthodologique correcte dans la formulation et la résolution de problèmes de -- complexité croissante. Dans ces conditions, la transmission des connaissances n'est plus un but en soi mais le prétexte servant à susciter, à renforcer, à tester et éventuellement à corriger les aptitudes à la structuration et à la modélisation qui apparaissent -- de plus en plus comme deux activités fondamentales dans l'analyse et la résolution de problèmes.

Structures et modèles

Une structure est un ensemble d'éléments -- (choses, faits, événements, etc.) dont le rapprochement crée une signification qui englobe et dépasse la signification des éléments de l'ensemble pris séparément.

L'importance de ce concept est clairement -- montrée par exemple dans l'expérience que -- rapporte H. Simon dans son ouvrage "Sciences of the Artificial":

"Une vingtaine de pièces d'échec est --

disposée sur un échiquier dans une configuration identique à celle du milieu d'une partie effectivement jouée et -- cet échiquier est montré pendant 30 secondes à deux groupes de personnes. Le premier groupe est formé de champions d'échec et le second groupe de personnes ne sachant pas jouer aux échecs. A l'issue de cette période, chaque groupe est invité à reconstituer de mémoire la disposition des pièces. Le premier groupe réussit l'opération avec -- très peu d'erreurs alors que le second échoue complètement.

Par contre, dans une deuxième expérience où les mêmes pièces ont été disposées au hasard sur l'échiquier, les -- deux groupes échouent pratiquement de la même manière".

Il est évident, dans cet exemple, que c'est la mémorisation des structures offensives et défensives des deux camps de l'échiquier qui a permis au premier groupe de reconstituer -- la configuration des pièces lors de la première expérience, alors que la mémorisation visuelle de la position des pièces n'a pas -- permis au second groupe de réussir.

Ceci est confirmé par la deuxième expérience, dans la mesure où, toute structure ayant disparu, les deux groupes se sont retrouvés à -- égalité.

D'autres exemples, plus triviaux, de l'importance des structures pour la mémorisation -- d'ensembles d'éléments sont fournis par les "trucs" mnémotechniques qui sont tous basés sur la création d'une structure naturelle ou artificielle sur l'ensemble des choses à mémoriser.

Il en résulte que la mise en évidence pour -- l'élève ou l'étudiant de la structure des -- connaissances que l'on veut transmettre, -- c'est-à-dire de la manière dont ces connaissances s'organisent, interagissent et se complètent, est d'une importance fondamentale -- comme aide à la mémorisation de ces connaissances, mais ce n'est pas tout.

En effet, l'analyse d'un problème passe nécessairement par une phase d'étude de la -- structure des données de ce problème (on re-

viendra plus loin sur la sélection des données significatives), ne serait-ce que comme une première étape de ce que le psycho-pédagogue russe L. Landa appelle l'"algorithme de reconnaissance" (quelles sont parmi mes connaissances, celles qui sont applicables à la solution de ce problème?), et la mise en évidence d'une structure connue représente déjà un pas considérable vers la solution du problème.

Si, par contre, aucune structure connue ne se dégage, cela veut dire que le problème est d'un type nouveau, qu'il y a donc lieu de définir une structure de données nouvelle et d'étudier les propriétés de celle-ci en vue de trouver un algorithme pour la solution de cette classe de problèmes.

Enfin une certaine inaptitude à la reconnaissance des structures (ou éventuellement une erreur de diagnostic) peut conduire à attribuer aux données une structure qu'elles n'ont pas en réalité et il est clair que, dans ces conditions, toutes les tentatives de résoudre le problème se heurteront, inévitablement à un échec.

On voit donc toute l'importance qu'il y a, d'une part à mettre en évidence, aussi souvent que possible, des structures des connaissances que l'on se propose de transmettre et d'autre part à créer des situations pédagogiques permettant d'exercer et de développer l'aptitude à la structuration et à la reconnaissance de structures de manière consciente et explicite.

Si la structure d'un ensemble de faits, d'événements ou de données est, en quelque sorte, la description plus ou moins formelle de l'organisation statique d'une situation ou d'un phénomène, le "modèle" de cette situation ou de ce phénomène en est la description plus ou moins formelle de l'organisation dynamique.

Un "modèle" en sciences peut être défini /20/ comme une description, souvent exprimée sous forme mathématique, du développement d'un phénomène naturel.

Il n'est pas inutile de préciser que si la forme mathématique de la description est la plus achevée en ce sens que cela implique --

que le phénomène est quantifiable et qu'il a été complètement élucidé, il existe de nombreux phénomènes peu ou pas quantifiables et pour lesquels il existe cependant un ou plusieurs modèles.

L'exemple le plus flagrant en est peut être, en psychiatrie, le modèle du "comportement schizophrénique" qui n'est guère quantifiable et qui a pourtant été simulé sur ordinateur avec un succès certain.

Un très bon exemple de construction de modèle a été donné par Naom Chomsky dans son célèbre article paru dans "Handbook of Mathematical psychology".

Analysant la constatation banale qu'un enfant, sans aller à l'école, finit au bout d'un certain temps par parler correctement la langue dans laquelle s'exprime son entourage, Chomsky observe que l'enfant est dès lors capable de construire des phrases qu'il n'ait jamais appris la grammaire. Il en résulte que l'activité linguistique d'un enfant ne peut être exclusivement basée sur la répétition, c'est-à-dire sur la mémorisation des phrases entendues. Il en conclut qu'à côté de l'activité de mémorisation, l'enfant a réussi à construire, par essai et erreur, un modèle de génération linguistique, c'est-à-dire, en quelque sorte, une grammaire qui lui permet de construire un nombre quelconque de phrases quelconques que son entourage considérera comme grammaticalement correctes.

Une première tentative de formalisation de ce modèle a conduit aux grammaires génératives auxquelles le nom de Chomsky reste attaché, mais malgré de nombreux progrès ultérieurs (grammaires transformationnelles, etc) on est encore très loin, dans ce domaine, d'un modèle mathématique rigoureux de l'activité.

Modélisation et simulation

Pour définir la notion de modèle avec précision il faudrait distinguer, par exemple, la forme sous laquelle les modèles sont utilisés dans les diverses professions et représentés dans les manuels et, par exemple, la forme sous laquelle ils sont programmés dans un ordinateur.

Aucune de ces deux formes ne cherche à créer une réplique exacte de l'univers réel car -- bien qu'il soit souhaitable que les correspondances entre modèles et phénomènes soient aussi précises et nombreuses que possible, -- leurs formes doivent être différentes car -- c'est dans cette différence que se trouve la puissance du modèle.

Dans le présent contexte, la "modélisation" a la même signification qu'en recherche, -- c'est-à-dire la création et l'adaptation -- d'un modèle qui doit correspondre à un phénomène naturel ou artificiel.

Parce que les différents domaines de connaissances conduisent à des relations de natures différentes entre la théorie et les phénomènes, le mot "simulation" est un peu plus difficile à définir.

"La simulation est l'utilisation d'un modèle en vue d'étudier le comportement d'un système, c'est-à-dire en vue d'étudier comment le système réagit à divers changements. Pratiquement, il est utile d'avoir un modèle du système afin de pouvoir le manipuler pour observer comment il réagit. En termes techniques, on dirait qu'il est utile d'avoir un modèle sur lequel on peut "faire varier les entrées" pour "observer les sorties"/20/.

Une "simulation" implique donc l'existence d'un modèle dans un ordinateur et permet deux types d'activités pédagogiques:

- l'étudiant connaît le modèle et étudie son comportement en faisant varier les entrées. Le but est ici d'acquérir une certaine "familiarité" avec le modèle et son comportement et de comprendre que tout modèle, -- quel qu'il soit, n'est utilisable qu'aussi longtemps que ses entrées restent comprises à l'intérieur d'un certain domaine qui est le "domaine de validité" du modèle en dehors duquel le modèle est faux et par -- conséquent dangereux à utiliser
- l'étudiant ne connaît pas le modèle et -- doit, par des activités de simulation, -- trouver le modèle et son domaine de validité. Par ce moyen, l'étudiant est amené à -- appliquer une certaine méthodologie d'approche scientifique des problèmes.

"Par l'utilisation de modèles sur ordinateur l'étudiant peut être amené à un certain type d'activité scientifique qui, sans cela, serait hors de sa portée. L'ordinateur permet de surmonter suffisamment les difficultés -- pour rendre ce travail possible sans cependant aller jusqu'à supprimer toutes ses caractéristiques essentielles, de la même manière que l'on aide un débutant dans n'importe quel autre domaine" /22/.

Pendant une activité de modélisation, l'étudiant doit créer ou adapter un modèle, le -- mettre sur ordinateur et, ensuite, utiliser la simulation pour vérifier la validité de -- son modèle en comparant les résultats obtenus à ceux donnés par une représentation valide quelconque du phénomène étudié.

L'expérience a montré que les activités mentionnées ci-dessus s'avèrent extrêmement motivantes, contribuent à une participation active de l'étudiant et stimulent à la fois -- son imagination et son activité créative -- alors que ces résultats sont difficiles, sinon impossibles, à obtenir par d'autres moyens.

C'est en ce sens que la modélisation et la -- simulation, en tant que techniques d'EAO, -- parce qu'elles insistent sur les méthodologies d'approche des problèmes plus que sur -- l'acquisition des connaissances, fournissent une amorce de solution originale aux problèmes que pose la formation d'étudiants capables d'affronter avec succès le monde de demain /23/.

4.2 Inclusion de l'EAO dans l'éducation

Comparée aux prédictions hyper-optimistes -- continues sur son avenir prévisible, l'histoire de l'EAO se solde, depuis ses débuts, par des investissements élevés et des résultats assez maigres.

Il y a à cet état de fait un certain nombre de raisons.

Indépendamment des résultats obtenus, la résistance naturelle au changement qui est certainement plus puissante encore dans les systèmes d'éducation qu'en n'importe quel autre endroit a été un obstacle considérable. Même

lorsque les autorités de tutelle acceptaient le changement, il restait la résistance au - changement des divers enseignants.

Même le transfert de produits logiciels rencontre un double obstacle.

Les enseignants ayant peu ou pas d'expérience dans un domaine où les ordinateurs ne -- sont pas d'usage courant et ceux qui n'ont - que peu d'expérience en informatique dans un domaine où les ordinateurs sont d'un usage - quotidien, commencent par se demander pour-- quoi ils utiliseraient l'EAO. Ceux, par contre, qui sont familiers avec l'informatique, ont tendance à demander pourquoi ils utiliseraient des produits réalisés ailleurs alors "qu'ils ne sont pas du tout adaptés à l'usage que je veux en faire".

Pour toutes ces raisons, une tendance nouvelle consiste à être beaucoup moins ambitieux pour l'EAO que par le passé. Plutôt que de - prétendre tout remplacer, l'EAO est, de plus en plus, présenté comme un moyen supplémen-- taire qui apporte à l'enseignement quelque - chose qui ne peut être obtenu par d'autres - moyens. En d'autres termes, l'EAO est présent é comme un media nouveau dans un enseignement qui est déjà multi-media (magnétophones projecteurs, télévision, etc.).

Cela paraît d'autant plus raisonnable que les prédictions de coûts de l'EAO sont très loin des réalités d'aujourd'hui.

4.3 Evolution des coûts

Les promesses réitérées et combien assurées d'économie d'échelle basées sur l'hypothèse erronée de la standardisation des besoins et des applications, n'ont pas été tenues -- jusqu'ici de manière générale, sans parler - des projets qui ont été abandonnés à la suite d'une ré-évaluation réaliste des coûts.

Le meilleur exemple est probablement PLATO - IV. Depuis le début, il a été affirmé que le coût se situerait entre 50 cents et 1 dollar par heure d'utilisation et par terminal. Ceci est comparable au coût de l'enseignement traditionnel aux USA et ce n'est naturellement pas un hasard /21/.

Le coût actuel calculé à l'Université d'Illi

nois est de l'ordre de 2,50 dollars sur la - base de 40 heures d'utilisation par semaine, ce qui est un taux d'utilisation peu probable. Le taux d'utilisation moyen observé est de l'ordre de 20 heures par semaine, ce qui amène le coût à 5 dollars. Il est intéressant de comparer cette évaluation universitaire à l'évaluation commerciale faite par CDC qui - s'apprête à industrialiser le système PLATO IV.

"L'utilisation du système dans les Centres d'Enseignement coûtera de 12 à 15 dollars par heure en moyenne. Les firmes qui loueront des terminaux PLATO - reliés au Centre CDC payeront des sommes non négligeables. Par exemple, pour 64 terminaux ou plus, les utilisateurs paieront 630 dollars par mois et par - terminal sur la base d'un contrat de - deux ans et 1150 dollars par terminal et par mois avec un contrat d'un an. - Si l'on ajoute le coût de la location des lignes téléphoniques, le coût annuel pour cette catégorie d'utilisateurs ne saurait être inférieur à -- 500.000 dollars. CDC affirme que le -- coût d'un système PLATO à l'achat sera de l'ordre de 5 à 6 millions de dollars" /12/.

Ajoutons que le prix indiqué pour le système PLATO ne comprend certainement pas le coût - des terminaux PLATO qui sont, sans aucun doute, les plus performants de tous ceux qui -- existent mais qui coûtent, malgré tout, de - l'ordre de 9000 dollars l'unité.

La justification de systèmes géants à grand nombre de terminaux était la "loi de Grosch" qui affirmait que le rapport coût/performance diminuait lorsque la puissance de l'unité centrale augmentait.

L'apparition des mini-ordinateurs pose aujourd'hui très sérieusement la question de - la validité de cette "loi".

A l'autre bout de l'échelle, Digital Equipment propose, pour l'enseignement, son système "classic" mono-utilisateur. Il se compose d'une unité centrale (PDP-8), de deux disques souples et d'un terminal alphanumérique à tube cathodique avec clavier, et coûte environ 8000 dollars avec tous les avantages -

des petits systèmes autonomes (maintenance, temps de panne, absence de ligne téléphonique, logiciel réduit, etc.).

Entre ces deux extrêmes, on trouve, aujourd'hui, un grand nombre de mini-ordinateurs -- fonctionnant en temps partagé avec jusqu'à 32 terminaux utilisés en EAO avec des "Groupements d'Utilisateurs" où s'échangent à la fois les expériences et les produits-programmes.

L'apparition des microprocesseurs et le coût décroissant des unités centrales d'une part, et l'apparition de mémoires de masse statiques à bas prix (bulles magnétiques et dispositifs à couplage de charge) d'autre part, - laissent entrevoir la réalisation possible d'ordinateurs individuels à un coût qui ne devrait pas dépasser celui d'un calculateur de poche de haut de gamme /27/.

Les terminaux de dialogue, par contre, restent chers mais l'on peut imaginer un clavier géré par microprocesseur pour l'entrée et l'utilisation d'un récepteur de télévision modifié pour la sortie, permettant d'utiliser des vidéo-disques comprenant des séquences enregistrées où interviendraient l'utilisation interactive du clavier, des images fixes, des films et des commentaires sonores, le tout formant une station autonome sous le contrôle exclusif de l'élève.

Le seul problème financier important reste - la réalisation de logiciels d'enseignement dont le prix oscille entre 3000 et 20.000 -- dollars par heure de cours /26/ et qui n'a - aucune raison de baisser.

5. CONCLUSION

En dépit des prédictions sur-optimistes, -- l'EAO a, jusqu'à présent, coûté beaucoup plus cher qu'il n'a rapporté. De nombreux facteurs ont contribué à cet état des choses. Mais -- après une période de recherches et d'expérimentation beaucoup plus longue que prévue, - une approche plus réaliste des problèmes et la baisse permanente du coût du matériel permettent d'affirmer que l'EAO est entré -- aujourd'hui dans une phase d'expansion qui - va aller en s'accélégrant.

Mais ceci n'implique pas qu'il faille l'uti-

liser partout, toujours et tout le temps.

"Il faut souligner que, même dans l'hypothèse de l'égalité du rapport coût/performance, -- l'EAO demande une approche système globale...

Des indices économiques compétitifs ne doivent pas être surestimés. Ils n'impliquent, en aucun cas, la nécessité d'une conversion immédiate et hâtive à l'EAO...

Des principes fondamentaux et bien établis - en pédagogie nous enseignent que la seule -- justification possible pour tout dispositif ou moyen d'enseignement est la démonstration de sa capacité de rendre l'étudiant capable d'accomplir des tâches qu'il ne pouvait pas accomplir précédemment ou seulement très mal. Tant que l'efficacité, la réalité des performances, l'économie, ou au moins une combinaison de deux d'entre eux, ne peut pas être objectivement démontrée, il n'existe aucune excuse à la mise en oeuvre d'un dispositif ou d'un moyen quel que soit, par ailleurs, l'aura dont il peut être entouré" /24/.

Conformément au Rapport de la Commission Carnegie /25/, un nombre croissant de spécialistes pense aujourd'hui que:

- toute nouvelle technologie ajoute quelque chose plutôt qu'elle ne remplace ce que -- existait.
- toute nouvelle technologie coûte plus cher.
- une technologie sophistiquée ne doit pas - conduire à la saturation. Pour certains -- cours, l'utilisation de cette technologie peut n'être appropriée que pendant quelques heures. Pour d'autres cours, cette -- technologie peut être utilisée de manière constructive pendant les 2/3 du temps. -- Pour certains cours, le transfert peut être tal.
- certaines technologies semblent mieux adaptées au développement, chez l'étudiant, de capacités techniques particulières, qu'à - sa formation générale. Mieux elle est adaptée aux techniques, plus la formation générale risque d'en souffrir, particulièrement si l'étudiant quitte le campus et se contente du seul développement de ses capacités techniques.

- la seule possession d'un media d'enseignement ne peut garantir à un établissement un meilleur enseignement. Pour être effective, une technologie doit être mise entre les mains d'enseignants compétents et imaginatifs qui ne l'abandonneront pas lorsqu'eux-mêmes et leurs étudiants perdront leur enthousiasme pour ce nouveau media.

L'entrée en force d'un géant de l'informatique comme Control Data dans le domaine de l'EAO en formation permanente, qui laisse présager, à brève échéance, l'arrivée d'autres concurrents, risque cependant de perturber cette belle sérénité et ces jugements pondérés.

En effet, après avoir investi le marché de la formation permanente, la tentation sera grande pour les compagnies concernées d'étendre leur marché vers l'enseignement proprement dit.

Cela risque d'être d'autant plus dangereux que seules les compagnies les plus puissantes auront l'infrastructure et les moyens financiers nécessaires pour développer la bibliothèque de cours la plus étendue et donc la mieux adaptée, ce qui conduit droit à un monopole de fait d'un petit nombre de compagnies internationales.

Si l'on y ajoute que ce monopole de fait pourra conduire à des coûts d'enseignement très comparables sinon plus faibles que l'enseignement tel qu'il est pratiqué, si l'on y ajoute encore l'effet de nouveauté et le goût des utilisateurs potentiels pour les gadgets, il est pensable que peu de ministres de l'Education ou, à leur défaut, de ministres des Finances sauront résister à la tentation de faire des coupes sombres dans les budgets d'éducation en remplaçant les formes classiques d'enseignement par des "modules en boîte".

Bien sûr, tout ceci est de la science-fiction pessimiste, mais ce qui, par exemple, n'est pas de la science-fiction ce sont les rumeurs qu'ont provoqué les rumeurs selon lesquelles la Navy américaine aurait installé sur certains systèmes PLATO IV un programme secret destiné à être exploité par ses auteurs à partir des données recueillies en ligne lors des interactions des utilisateurs avec le

système.

Quoi qu'il soit, et même avec les hypothèses les plus optimistes, il reste aux enseignants aux parents d'élèves et aux corps constitués de suivre attentivement la mise en oeuvre et l'évolution de l'EAO afin de veiller qu'il ne nous conduise pas directement ou indirectement ni à "Big Brother" comme le décrit George Orwell dans "1984" ni au "Meilleur des mondes" selon Aldous Huxley.

6. REFERENCES

- /1/ "Use of computers in instruction", report of Working Group on Secondary School Education, Technical Committee for Education of IFIP.
- /2/ "Educational Technology in Higher Education", report of the Instructional Technology Committee of the Commission on Education of the National Academy of Engineering, Washington D.C., September 1969
- /3/ SKINNER, B.F., "The technology of teaching", Appleton-Century-Crofts, 1968.
- /4/ CROWDER, N.A., "Automatic tutoring means of intrinsic programming", in E.H. Galanter ed. "Automatic Teaching: The state of the Art", Wiley and Sons, 1959.
- /5/ SUPPES, P., "The uses of computers in education", Scientific American, vol. 215, no. 3, September 1966, 207-220.
- /6/ HEBENSTREIT, J., "Computer science in education", Int. Journal Math. Educ. Sc. Technol., vol. 5, 1974, 297-306.
- /7/ SCANLON, R.G. and CONNOLLY, J.A., "Computer managed instruction: Present activities and future directions", Journal of Educ. Techn. Syst., vol. 3, no. 3, 1974.
- /8/ LECARME, O. and LEWIS, R. ed., "Computer in education", Proc. of 2nd. IFIP World Conference, North Holland and American Elsevier, 1975.
- /9/ SMITH, G.S. and SHERWOOD, B.A., "Educational Uses of PLATO computer system", Science, vol. 192, 23 April 1976, 344-352.

- /10/ EVNER, R.A. and EVNER, E., "PLATO evaluation report", April 1976.
- /11/ LYMAN, E.R., "PLATO curricular materials", CERL Report X-41, University of Illinois, Urbana, no. 4, July 1976.
- /12/ PANTAGES, A., "Control Data's education offering", Electronics, May 1976, 183-187.
- /13/ ALPERT, D.A., "The PLATO IV system in use: a progress report", O. Lecarme and R. Lewis ed., Proc. IFIP/WCCE, North Holland/American Elsevier, 183.
- /14/ MORRISON, F., "Planning a large-scale - computer assisted instruction installation - The TICCIT experience", O. Lecarme and R. Lewis ed., Proc. IFIP/WCCE, - North Holland/American Elsevier, 187 - 190.
- /15/ BORK, A., "The Physics Computer Project" report of the Department of Physics, -- University of California, Irvine, March 1975.
- /16/ "Two years on", report of the Director, Council for Educational Technology - -- NDPCAL, 1975.
- /17/ "The program at two", An UNCAL evaluation report, Centre for Applied Research University of East Anglia, 1975.
- /18/ HEBENSTREIT, J., "Cours d'Informatique par correspondance", Centre National de Télé-Enseignement, Vanves, France, 1971
- /19/ LSE, Manuel d'utilisation, INRDP, Paris 1973.
- /20/ HESSE, M.B., "Models and analogies in - science", Notre Dame Press, Indiana, -- 1966.
- /21/ ROSENBAUM, "Computer simulation for -- high-school students", Westinghouse -- Learning Corporation, 1970.
- /22/ OGBORN, J.M. and MALPAS, A., "Can computers simulate experiments", Projects Simulate Newsletter, no. 4, Chelsea College, London, 1973.
- /23/ DWYER, T.A., "Heuristic strategies for using computers to enrich education", - International Journal of Man-machine -- Studies (6), 1974.
- /24/ KOPSTEIN, F.F. and SEIDEL, R.J., "Computer Administred instruction versus traditionally administered instruction in computer assisted instruction, Academic Press, 1969, 327-359.
- /25/ Carnegie Commission on Higher Education "The Fourth Revolution", McGraw Hill, - 1972.
- /26/ MOLNAR, A.R., "The use of computers in education" - Technological Horizons in Education, vol. 3, no. 2, February 1976
- /27/ SEIDEL, R. (Ed.), Proceedings of the -- ten-year forecast for computers and communications, Human Resources Research - Organization, Alexandria, Virginie, -- 1975.