

BRUILLARD Éric (1997). *Les machines à enseigner*.
Éditions Hermès, Paris, 320 p.

Chapitre 2

Des machines à enseigner aux programmes génératifs

«... La notion de répétabilité homogène, tirée de l'imprimé et appliquée à tous les autres problèmes quotidiens, a fini par donner naissance à toutes les formes de production et d'organisation sociale qui donnent au monde occidental presque tous ses traits caractéristiques et comblent une partie de ses désirs...

Accessible à tous les étudiants, ce livre imprimé était un nouvel instrument visuel qui déclassait les anciennes méthodes d'éducation. C'était littéralement une machine à enseigner, là où le manuscrit n'avait été qu'un outil grossier.

S'il avait existé, dès ce temps-là, des spécialistes de l'analyse et de l'évaluation des médias, ou moyens d'information et de communication, et des divers outils pédagogiques, les administrateurs scolaires, inquiets, les auraient chargés de déterminer si ce nouvel outil qu'était le livre se prêtait pleinement à l'éducation. Le livre imprimé, personnel et facilement transportable, pouvait-il remplacer celui qu'on devait faire de sa propre main pour l'apprendre par cœur ? Un livre qu'on pouvait lire d'un trait, et en silence, pouvait-il remplacer ceux qu'on lisait lentement, et à haute voix ? Les étudiants qui se servaient de ces nouveaux livres imprimés pourraient-ils se mesurer aux orateurs et aux dialecticiens redoutables formés à l'école du manuscrit ? Et s'ils avaient utilisé les techniques dont ils se servent aujourd'hui pour évaluer les effets de la radio, du cinéma et de la télévision, les analystes auraient fini par rendre le verdict suivant : " Eh ! bien, aussi étrange et répugnant que la chose puisse vous paraître, la nouvelle machine à enseigner permet aux étudiants d'apprendre tout ce qu'ils apprenaient auparavant. De plus, les étudiants semblent croire que cette méthode leur rend plus facile l'acquisition de connaissances nouvelles de toutes sortes. "

Les spécialistes, en somme, n'auraient pas dit un mot de la véritable nature de la nouvelle invention ; pas le moindre indice non plus sur ses véritables conséquences ».

(McLuhan, *La Galaxie Gutenberg*, 1977, p. 267)

2.1. Introduction

La longue citation de McLuhan qui précède introduit plusieurs problématiques constantes tout au long de cet ouvrage : l'influence de la technologie sur toutes les formes d'organisation sociale et, en particulier, l'éducation, les débats sur la pertinence éducative de nouveaux outils et l'extrême difficulté de statuer sur les mutations induites à plus long terme. Nous en retiendrons, pour le présent chapitre, l'idée que le développement des machines à enseigner correspond à une mutation sociale, particulièrement importante au vingtième siècle. Avec la machine sont mis en avant des modes d'organisation, des critères d'efficacité et des systèmes de représentation de l'apprentissage reprenant les règles de la grande industrie naissante (usines Ford), témoignant d'une certaine foi dans la mécanisation du social.

A la fin des années cinquante, il apparaît que l'éducation conçue comme un art ne peut plus répondre aux besoins de formation sans cesse croissants. « Trois milliards d'humains, plus de cinq milliards dans vingt ans... Faut-il accepter que l'analphabétisme croisse plus vite que la natalité ? Faut-il accepter que le savoir s'affaiblisse au niveau du grand nombre, tandis que la masse des connaissances progresse à un rythme accéléré ? » (Audouin, 1971, p. 9). Par ailleurs, la cybernétique développée par Wiener (1948) accrédite l'idée que l'enseignement est un processus qui peut être dirigé, au même titre que d'autres comportements, à l'aide de la circulation rétroactive de l'information, médiatisée par la technique. L'automatisation du processus d'instruction peut peut-être révolutionner le champ éducatif.

Pour de nombreux chercheurs, l'enseignement doit donc se remettre en question et cesser de se penser comme art pour tendre aux méthodes de la science et à la technologie industrielle. L'apport des concepts fondamentaux de la cybernétique, essentiellement les notions de contrôle d'un processus et de rétroaction, ainsi que les méthodes et résultats d'un courant de la psychologie expérimentale vont conduire à concevoir l'enseignement comme l'exécution d'un programme. Dans une pédagogie centrée sur l'efficacité, de l'emploi des machines dans l'enseignement, la perspective se déplace vers la conversion de l'enseignement aux méthodes de la machine. Cela ne va pas sans une tension entre d'un côté une volonté d'individualisation, un des arguments majeurs de l'enseignement programmé, et de l'autre l'homogénéisation, voire l'uniformisation, associée à la programmation de l'enseignement. Comment assurer une personnalisation suffisante avec des procédés standardisés ? Nous allons voir dans ce chapitre que les rapports entre science, éducation et technologie, même dans les courants issus de la cybernétique et de l'enseignement programmé, sont divers et complexes, bien que l'idée d'assurer un contrôle précis du processus d'apprentissage y soit dominante.

2.2. Les machines à enseigner et la cybernétique

Indépendamment des principes mis en avant par Skinner, la cybernétique a certainement joué un rôle fondamental, notamment en Europe, dans le développement de l'idée de contrôle des processus d'enseignement et d'apprentissage. Nous allons en décrire les principaux concepts et leur application à l'enseignement.

2.2.1. Concepts principaux de la cybernétique

La cybernétique, d'après les travaux de Wiener (qui est l'inventeur de ce mot) et la théorie de l'information de Shannon, peut se définir comme « le champ entier de la théorie de la commande et de la communication, tant dans la machine que dans l'animal » (Couffignal, 1963, p. 5). Elle se donne pour objet d'étude les processus qui ont un but à atteindre par l'action, indépendamment du domaine de connaissance sur lequel ces processus opèrent. Elle peut être considérée comme l'art de rendre l'action efficace (ibid., p. 23).

Pour expliquer ce qu'est la cybernétique, de nombreux auteurs ont recours à une métaphore développée par Guilbaud à propos d'un texte de Platon relatif à l'art du pilote¹ (ibid., p. 23). On distingue quatre catégories dans la marine grecque du temps de Plutarque : rameur, timonier, pilote, capitaine. « Entre le capitaine, qui dit où aller, et le timonier, qui manœuvre la barre, le pilote dit quelle barre mettre : le capitaine fixe le but, le timonier exécute la gouverne, le pilote choisit le programme d'action et donne les ordres au timonier : il pense cybernétique ». Le pilote détermine ainsi à chaque instant la tactique à choisir et la communique par des ordres aux timoniers. La « preuve » de la valeur de son action est la constatation de son efficacité.

Les notions clés de la cybernétique sont celles d'information, de contrôle et de rétroaction (ou *feedback*). L'information intervient à la fois comme objet soumis à des opérations, en tant que programme (suite d'instructions et donc ensemble d'informations) et en tant que médium de régulation. En effet, les mécanismes de contrôle sont basés sur la rétroaction, qui peut être décrite en termes d'information.

1. Le terme « cybernétique » a été forgé à partir du grec *kubernêsis*, qui signifie, au sens propre, « action de manœuvrer un vaisseau », et, au sens figuré, « action de diriger, de gouverner » (*Encyclopaedia Universalis*).

« Soit une opération consistant à transformer une variable a en une variable b (par exemple de l'énergie électrique en chaleur). Cette opération établit une certaine liaison entre a et b . On se propose de maintenir b au voisinage d'une valeur fixe v . Il faut pour cela un instrument de contrôle (par exemple, si on veut maintenir à peu près constante la température d'un fer à repasser, on lui incorpore un thermostat). Cet instrument « mesure » à chaque instant la valeur prise par b et transmet cette information à un organe de commande qui, compte tenu de la liaison existant entre a et b , modifie a dans la proportion nécessaire pour faire varier la valeur de b dans le sens voulu (accroissement ou diminution) » (*Encyclopaedia Universalis*, article cybernétique).

La cybernétique s'attache à l'étude des systèmes considérés sous l'angle de la commande et de la communication. Elle a pour objet de mettre en évidence les propriétés de ces systèmes, indépendamment de leur nature physique. Pour ce faire, elle cherche à établir des modèles, le plus souvent mathématiques, de ces systèmes, pour décrire leur comportement, en faisant totalement abstraction de la nature (physique, chimique, biologique, etc.) des phénomènes étudiés. Elle permet, par conséquent, d'étudier certaines propriétés des systèmes, indépendamment de leur mode de réalisation (invariance temporelle, stabilité, linéarité, etc.).

La démarche de modélisation s'appuie sur la réification², qui correspond à une sorte d'objectivation (Couffignal, op.cit. p. 70) et utilise le raisonnement analogique. Le choix du modèle repose sur la similitude de certains caractères satisfaisant à un nombre limité de critères qui dépendent évidemment du but recherché. Comme les modèles cybernétiques sont caractérisés essentiellement par leur mécanisme de contrôle, les critères de similitude portent sur la comparaison des performances. La mise en fonctionnement du modèle peut faire apparaître certaines propriétés intéressantes. Pour garantir l'efficacité d'un raisonnement analogique, il faut que le modèle soit efficace, c'est-à-dire qu'il soit fidèle, dans le sens où les analogies doivent être suffisantes pour que les suggestions faites par le fonctionnement du modèle soient valables pour l'objet ou le système modélisé, qu'il soit simple et que l'analogie soit fonctionnelle, c'est-à-dire qu'elle porte réellement sur la structure.

Sur le plan des méthodes, la cybernétique va apporter au psychologue le bénéfice de ses instruments mathématiques, rapidement devenus indispensables pour maîtriser la complexité des phénomènes observés. Elle va aussi l'engager à expérimenter sur des modèles pour mettre à l'épreuve les théories qu'il propose. Ce type de démarche de recherche, basé sur la construction de modèles en quelque sorte exécutables, va abondamment être développé en intelligence artificielle à l'aide des ordinateurs qui se prêtent particulièrement bien à l'élaboration de modèles.

2. Le terme de réification n'est pas pris dans son acception marxiste lié au fétichisme de la marchandise. Réifier un concept c'est transformer ce qui est a priori inobservable en objets pouvant être examinés et passés en revue.

2.2.2. La pédagogie cybernétique

Les concepts généraux de la cybernétique vont être appliqués à la pédagogie. Pour Frank (1967, p. 140), reprenant la métaphore de l'organisation de la marine grecque, le pédagogue est un pilote, le procédé cybernétique est ce qui lui permet de diriger le bateau. La fixation du but, l'usage de la liberté est l'affaire du capitaine. L'activité du timonier est entièrement déterminée par les programmes fournis par le pilote ; ces programmes sont fixés par la situation observée (*valeur mesurée*), le but choisi par le capitaine (*valeur demandée*) et les limitations supplémentaires d'ordre normatif et imposées par les lois physiques (*conditions subsidiaires*). La pédagogie (cybernétique) est constituée par les moyens de transmettre des informations qui se fixent dans la mémoire du récepteur. Les idées de contrôle et de rétroaction vont constituer deux concepts fondamentaux d'une pédagogie centrée sur l'efficacité (Depover 1987, p. 13), bases du courant de pensée connu sous le nom de technologie éducative.

La pédagogie apparaît ainsi comme une opération finalisée de transmission d'informations. Elle peut être modélisée en trois étapes :

1. transmission des informations, allant d'un émetteur, l'enseignant, à un récepteur, l'élève, cette relation de communication étant illustrée par les canaux reliant un ordinateur à ses périphériques. La qualité de la relation formateur-formé est fonction croissante du nombre de canaux d'échange ouverts entre ces deux personnes,
2. phase d'assimilation qui concerne le récepteur,
3. validation et contrôle du récepteur par l'émetteur ce qui permet de fermer la boucle de contrôle.

L'enseignement est vu comme un processus de commande au cours duquel une certaine quantité de savoir et de connaissances est acquise. L'enseignement traditionnel se caractérise par une insuffisance de rétroaction de l'élève au maître ce qui engendre un grave défaut dans le contrôle du processus d'enseignement. Par contre, l'enseignement programmé avec machines à enseigner permet d'obtenir une rétroaction satisfaisante et d'améliorer ainsi le contrôle. Cet argumentaire, souvent employé par les partisans de l'enseignement programmé, consiste à montrer la supériorité de l'enseignement individuel sur l'enseignement collectif (le précepteur peut contrôler opérationnellement à quel degré l'élève assimile la matière enseignée), mais la mise en place d'un tel enseignement suppose un grand nombre de maîtres et il n'est donc pas possible de le faire sur une grande échelle, ce qui nécessite le recours aux machines.

La figure 2.1 montre un schéma de communication dans la relation pédagogique, issu de la cybernétique, utilisé très classiquement pour l'enseignement programmé et l'enseignement assisté par ordinateur. L'organisation de cette interaction par rétroaction, sans intervention personnelle du professeur (en se restreignant à la partie

droite du schéma), correspond à l'enseignement programmé. Il s'agit d'assurer un contrôle précis du processus d'apprentissage grâce à l'exploitation des indices révélés sur l'apprenant.

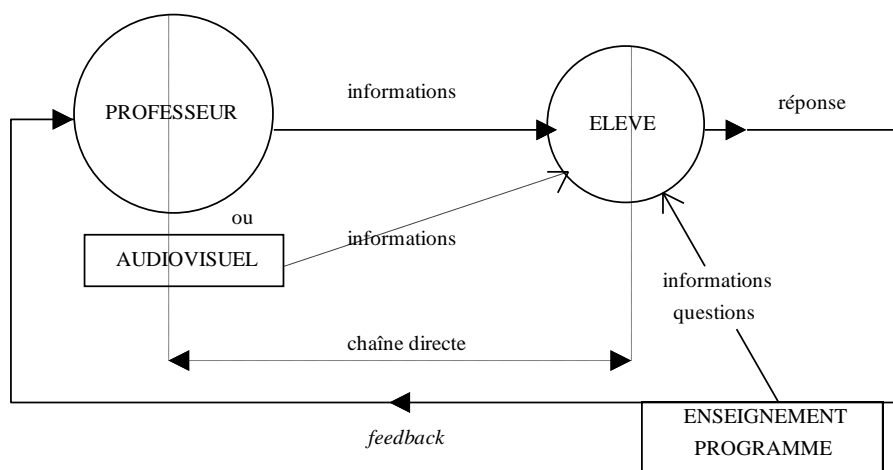


Figure 2.1. La mécanisation des informations pédagogiques (Audouin 1971, p. 29)

Mais au-delà de l'application des concepts de la cybernétique à la pédagogie, des chercheurs ont essayé d'utiliser les méthodes mêmes de la cybernétique pour modéliser les processus d'enseignement. Le travail développé par Helmar Frank (1967³) est représentatif de cette approche. Il se place du point de vue de ce qu'il nomme la cybernétique formelle. Dans ce cadre, une situation d'apprentissage n'est qu'un échange d'informations entre un système qui enseigne et un système qui apprend. Pour que ces systèmes coopèrent pendant l'échange d'informations, il est nécessaire que soit établi un programme qui contrôle le processus, ce qu'il appelle un algorithme d'enseignement, c'est-à-dire la stratégie d'un système qui enseigne quand il cherche à instruire un système qui apprend. Le problème est de trouver ces algorithmes d'enseignement et il nomme didactique un processus qui permet de les élaborer.

Son projet est de fonder cette recherche d'algorithmes d'enseignement sur une théorie mathématique et d'utiliser des techniques sûres et donc de la confier à une machine. Il parle alors de didactique formelle dont la validité ne peut être déterminée qu'au moyen d'un calcul et non pas (ou seulement indirectement) d'une façon empirique.

3. Dans sa postface, l'auteur indique que son manuscrit a été achevé en 1959 et qu'il représentait le premier exposé systématique d'une pédagogie se réclamant expressément de la cybernétique. Son exposé de la didactique formelle est un peu ultérieur.

Franck (ibid. p. 151) définit le concept d'algorithme d'apprentissage Λ par un triplet : $\Lambda = (Y, \mathfrak{R}, \varphi)$

- Y est un ensemble de pas d'apprentissage, c'est-à-dire un ensemble de suites de signes telles que le système enseignant les propose entre deux réactions du système enseigné (l'élève),
- \mathfrak{R} est l'ensemble des réactions possibles du système enseigné (de l'élève) que doit distinguer le système enseignant,
- et $\varphi : F(\mathfrak{R}) \rightarrow F(Y)$ est une application de l'ensemble de toutes les suites finies de réactions de l'élève $F(\mathfrak{R})$ dans celui des suites de pas d'apprentissage $F(Y)$.

L'ensemble image $\varphi (F(\mathfrak{R}))$ est l'ensemble des chemins d'apprentissage correspondant à Λ , et φ représente une application de l'ensemble de tous les comportements possibles de l'enseigné sur l'ensemble des chemins d'apprentissage prévus. Dans la terminologie de Frank, Λ dépend de cinq variables⁴ :

- L matière enseignée à communiquer, donnée en pratique par un texte de base,
- M moyen (par exemple une machine à enseigner), *i.e.* la source qui fournit les informations à l'élève et transforme aussi ses réactions en les normalisant, c'est-à-dire donne l'application φ ,
- P « psychostructure » de l'élève, modèle initial au début de la leçon (connaissances préalables, simplification extrême du modèle de l'élève),
- S « sociostructure », répartition de probabilité de toute information non prévue dans Λ arrivant du monde extérieur pendant le processus d'enseignement (perturbation),
- Z état final que doit atteindre l'élève au moyen de Λ , spécifiant dans quelle mesure (avec quelle probabilité) l'élève doit finalement avoir « appris » les parties de L.

L'objet est de trouver automatiquement au moins un algorithme d'apprentissage fournissant le but Z pour la structure P, en regard de M et S. Une difficulté importante est cependant de modéliser les différentes variables intervenant⁵.

A l'Institut de cybernétique de Berlin fondé en 1964, Franck et son équipe ont élaboré des programmes de machine à calculer pour trouver automatiquement au

4. Les variables citées correspondent aux questions générales sur l'instruction : qu'enseigne-t-on ? Par quel moyen ? A qui ? Dans quelle situation ? Quelle est la fin de cet enseignement ? Comment enseigne-t-on ?

5. Franck utilise pour cela des résultats provenant de la théorie de l'information de Shannon pour mesurer ce qu'il appelle l'information de la matière d'enseignement ou l'information sémantique d'un texte. Il parle d'un modèle de la psychologie informationnelle basé sur la théorie des automates abstraits ainsi que d'un modèle cybernétique de motivation conçu par Stachowiak.

moins un algorithme d'apprentissage, en essayant de faire varier aussi largement que possible les différents paramètres (L, M, P et Z ; S n'étant pas pris en compte). Ainsi, avec comme moyen d'enseignement une petite machine à enseigner (le « Promenta-Boy ») présentant la matière sous la forme d'un programme skinnérien, la situation proposée étant d'étudier une certaine quantité de termes dans une langue étrangère, ils ont pu produire différents cours. Certains d'entre eux ont été photocopiés et testés avec des groupes d'étudiants, donnant des résultats que les auteurs jugent encourageants⁶.

Les travaux de Franck, tentative de définir le cadre d'une théorie abstraite des machines à enseigner, sont tout à fait précurseurs, rejoignant par certains aspects ceux de Landa que nous présenterons plus loin. Toutefois, il semble que les résultats disponibles à l'époque (et sans doute encore maintenant), notamment pour modéliser un contenu d'enseignement ou un élève, étaient très largement insuffisants pour conduire à des résultats probants en dehors de situations extrêmement simplifiées. Notons que l'apport de l'intelligence artificielle va permettre de revitaliser des approches comparables.

Certaines critiques de la cybernétique ont d'ailleurs rapidement attiré l'attention sur les limites de cette approche. Ruyer, par exemple (1954, quatrième de couverture de la réédition de 1968), attire l'attention sur le fait que l'emploi des machines à information, dans l'économie, la pédagogie, la politique, risque de causer des déceptions, si l'on oublie trop l'impossibilité de couper l'information, traitée mécaniquement du sens qu'elle a pour l'homme qui l'encadre, l'assimile et la perfectionne.

Ruyer (ibid., p. 199) introduit une critique plus fondamentale. « Les théories cybernétiques de l'apprentissage, si elles veulent rester sur le plan du mécanisme doivent donc expliquer comment un flux d'informations reçu par la machine M peut devenir une nouvelle structure de la machine transformée M'. Elles doivent donc expliquer comment une machine à rétroaction ou à programme peut, à la suite d'informations reçues, et selon les résultats obtenus, non seulement répondre selon son montage ou programme, mais modifier ses montages ou son programme ». Nous verrons dans le chapitre 3 que les capacités d'apprentissage des machines sont un des domaines les plus importants dans les recherches concernant l'intelligence artificielle et l'éducation. D'ailleurs, cette idée et cette nécessité d'apprentissage font partie intégrante des recherches cybernétiques. Ainsi, pour ce qui concerne les machines digitales, pour lesquelles une bande (*taping*) détermine la suite des opérations à effectuer, Wiener (1954, p. 65) explique qu'un changement dans cette bande sur la base de l'expérience passée correspond à un processus d'apprentissage.

6. Bien qu'ils reconnaissent que la situation choisie est très simple et que leur modélisation est extrêmement simplifiée.

En fait, ce problème d'adaptation et d'apprentissage introduit une autre difficulté. En effet, la rétroaction est décrite comme le contrôle d'une machine sur la base de sa performance courante, non sur sa performance attendue ; mais quels capteurs peut-on raisonnablement installer pour déterminer cette performance courante ? Comment évaluer cette performance courante et son écart avec la performance attendue ? Les limites des observables par l'intermédiaire de ces capteurs ainsi que les fonctions d'évaluation que l'on peut utiliser conditionnent directement les adaptations possibles du système.

La cybernétique a eu une influence profonde sur les relations entre les machines et l'éducation. Les idées de contrôle et de rétroaction, qu'il n'était pas possible de mettre en œuvre avec les techniques audiovisuelles, ont posé le problème de mécanisation de l'enseignement par l'usage des machines. Dans ce contexte, la machine est conçue comme est un mécanisme physique artificiel finalisé dont le but est de remplacer l'homme dans l'exécution d'une action. Les machines adaptatives ont ainsi l'initiative des opérations qu'elles font. Toutefois, il semble que la cybernétique n'ait pas eu d'impact majeur sur le développement de l'enseignement programmé aux Etats Unis, dominé en grande partie par la psychologie behavioriste.

2.3. L'enseignement programmé

Les avis sur l'enseignement programmé témoignent très souvent d'un raisonnement inductif abusif. On a tendance à juger un courant de recherches sur la base de produits dérivés, souvent contestés par les chercheurs eux-mêmes⁷. Skinner lui-même mettait en garde contre ce qu'il appelait les « forces commerciales perturbatrices », les « gadgeteurs » et autres « faiseurs de trucs » (Skinner, 1963). Si ce courant peut être jugé à bien des égards comme dépassé, il est cependant à l'origine des recherches qui ont nourri l'EAO et nourrissent encore l'EIAO. Il a permis de concrétiser certaines des idées de la pédagogie cybernétique. Dans cette section, nous allons essayer de présenter les différentes tendances de l'enseignement programmé, essentiellement aux Etats-Unis et en Europe, et de dégager les problématiques de recherche générales qui en sont issues.

2.3.1. Les premières machines à enseigner

7. Dans un rapport adressé au Premier Ministre en mai 1963 qui va favoriser la création d'une commission d'études sur l'enseignement programmé (Cros, 1965), de telles inquiétudes sont clairement exprimées : « Il est malheureusement possible de présenter sous les apparences de la plus haute technicité des résultats très hâtivement élaborés, sans base méthodologique sérieuse. Et ceci ne manquera pas de se produire si un effort officiel n'est pas fait. Par simple imitation des travaux américains, des sociétés privées, plus ou moins sérieuses, proposeront sur le marché de l'enseignement leurs nouvelles techniques présentées comme des recettes magiques. Ce qui ne manquera pas de provoquer (ou d'accentuer) une réaction de défense de la part du principal intéressé : le corps enseignant. »

« Si, par le miracle de l'ingéniosité mécanique, un livre pouvait être agencé d'une telle façon que seulement pour celui qui aurait fait ce qui était demandé à la première page, la page deux devienne visible, et ainsi de suite, beaucoup de ce qui requiert actuellement de l'instruction personnelle pourrait être assuré par le livre. Les livres fournis en feuilles détachées, une page à la fois, et arrangés de telle sorte que les étudiants ne pâtissent que s'ils les utilisent mal, pourraient être créés sur de nombreux sujets. » (Thorndike, 1912).

Au début du siècle, le psychologue Thorndike imaginait déjà un dispositif préfigurant les machines à enseigner développées à la fin des années cinquante⁸. Pourtant, si l'ingéniosité technique ne permettait peut-être pas, à l'époque, de réaliser les rêves de Thorndike, des machines, que l'on peut qualifier de machines à enseigner, avaient déjà été construites. Stolurow et Davis (1965) rappellent que dès 1866, Halcyon Skinner avait développé et breveté une machine à épeler conçue comme une aide pour les enseignants et qu'en 1873 une machine donnait des solutions, préalablement générées, à des problèmes logiques présentés sous forme symbolique. De nombreuses autres machines furent certainement conçues, mais aucune d'entre elles, automatisant une fonction d'enseignement particulière, ne rencontra d'écho particulièrement favorable. Ils citent néanmoins un dispositif, développé par H.B. English, utilisé en 1918 pour aider à entraîner les soldats à appuyer sur la gâchette d'un fusil. Ce dispositif offrait une rétroaction visuelle grâce à un manomètre qui montrait le changement de hauteur d'une colonne de liquide. Si le soldat appuyait doucement ou spasmodiquement sur la gâchette, la colonne de mercure montait de manière correspondante.

On considère souvent que le point de départ de l'enseignement programmé est la machine construite par S.L. Pressey en 1926. Cette machine⁹ était constituée d'une fenêtre, présentant des questions avec quatre choix de réponse possibles, et de quatre touches. Pour choisir une des réponses proposées, il suffisait d'abaisser la touche correspondante. Si la réponse était correcte, la question suivante apparaissait, sinon la question initiale restait dans la fenêtre et il fallait essayer une autre touche jusqu'à l'obtention de la bonne réponse. Un système permettait de conserver la trace des diverses réponses fournies. De plus, à l'aide d'un simple levier, la machine se transformait en un dispositif d'auto-test permettant d'obtenir un score qui était conservé (Saettler, op.cit. p. 251) et on pouvait être automatiquement récompensé par une friandise dès que le score dépassait un seuil défini à l'avance. Une autre amélioration consistait à ne proposer, lors de présentations successives, que les items ratés au passage précédent.

8. Ce texte est très souvent cité dans les textes sur l'enseignement programmé, par exemple par Saettler (1968, p. 52), Stolurow et Davis (1965), etc.

9. On en trouvera une description en français dans Depover (1987, p. 17), de même que pour la machine arithmétique de Skinner et l'Autotutor Mark I utilisé par Crowder.

L'objectif de Pressey était de construire des dispositifs pouvant poser une question et permettant à l'élève d'y répondre et d'avoir une confirmation ou une infirmation immédiate de la véracité de cette réponse. En effet, Pressey (Lumsdaine and Glaser 1960, p. 35-41) critique l'inefficacité de la traditionnelle récitation par un élève en classe. Il lui semble préférable que chaque élève de la classe puisse répondre aux questions au même moment et recevoir une correction immédiate. Il juge que la nécessité pour les enseignants de faire des exercices d'entraînement est un véritable fardeau et qu'il faut les libérer de cette contrainte pour qu'ils puissent se consacrer à des activités stimulant la pensée, ce qui, d'après lui, constitue certainement la fonction réelle de l'enseignant. Il imagine d'autres dispositifs individuels permettant une correction immédiate, en insérant la pointe d'un crayon dans une planche à trous (*punchboard*) ou au moyen d'un tampon d'ouate sur du papier traité chimiquement.

A la suite de Pressey, d'autres machines, conçues pour offrir automatiquement une rétroaction, furent développées, testées et s'avèrent efficaces. Des machines à enseigner de toutes sortes ont proliféré, puisqu'en 1936, entre 600 et 700 machines avaient été brevetées aux Etats-Unis (Gilman 1972, cité par LPI, 1973, p. 120). Il semblait bien établi que l'apprentissage nécessitait de la rétroaction et une simple extension de ce résultat révélait l'intérêt à contrôler l'apprentissage par des mécanismes fournissant automatiquement de la rétroaction à l'apprenant. Il fallait supprimer l'une des faiblesses majeures de l'enseignement traditionnel qui est l'écart entre la production par l'élève et la correction de son travail. On en vint à porter attention au matériel, mais après, surtout au programme qui devint le cœur du dispositif. Bien que les principes de programmation soient anciens et que l'on puisse trouver de nombreux précurseurs¹⁰, ce qui va caractériser l'enseignement programmé, c'est avant tout la notion de programme.

2.3.2 L'enseignement programmé et la psychologie behavioriste

Le père de l'enseignement programmé est le psychologue américain B.F. Skinner, qui s'inscrit dans la tradition de la psychologie comportementale (Thorndike, Watson...). Dans son article de 1954 « La science de l'apprentissage et l'art de l'enseignement », il affirme que l'efficacité de l'apprentissage relève des principes suivants : participation active du sujet, séquences courtes, progression graduée selon le rythme de l'élève, vérification immédiate, réponse juste à la question posée. Ainsi, l'enseignement programmé résulte des recherches de psychologues et cherche à fonder l'enseignement sur les savoirs scientifiques en introduisant les méthodes rigoureuses de psychologie du comportement.

10. Citons entre autres Platon ou Socrate et la maïeutique, Quintilien, Descartes (« diviser la difficulté en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour mieux les résoudre »), Comenius... (Galli, 1965).

Notons que convertir l'enseignement aux méthodes de la science n'est pas chose aisée. L'opposition entre Dewey et Thorndike, soulignée par Saettler (op.cit., p. 52), illustre le fossé qui peut exister entre les philosophies de l'éducation et les théories scientifiques, opposition qui témoigne d'un écart entre les praticiens que sont les enseignants et les chercheurs en psychologie expérimentale. Dewey prônait l'école démocratique de la vie dans des classes de type laboratoire expérimental. Thorndike a introduit les mesures en éducation et est, entre autres, connu par la formulation de ses trois lois principales sur l'apprentissage, notamment la seconde, la *loi de l'effet*, qui stipule qu'une réponse est renforcée par le plaisir et affaiblie par le déplaisir. Si Thorndike apparaît comme le défenseur des théories expérimentales et des investigations, base de l'enseignement programmé, Dewey, avant tout innovateur¹¹, avait la faveur des enseignants. Ainsi, d'après Saettler, le mouvement audiovisuel qui a précédé l'enseignement programmé a été très peu affecté par les théories de l'apprentissage.

L'enseignement programmé se définit avant tout comme un courant de recherche. Il utilise des machines à enseigner, mais elles ne sont que des instruments, elles n'enseignent pas ; ce sont les programmes *supportés* par les appareils qui contiennent les éléments pédagogiques et servent à instruire. La matière à enseigner est présentée sous forme de programme (impliquant analyse, organisation et progression) et l'élève est mis en présence de ce programme (suite de séquences ou d'unités) par l'intermédiaire d'un support (livre, fiche ou machine). La machine n'est donc qu'un simple support, commode, servant à présenter la matière à enseigner, elle n'est vue que d'un strict point de vue fonctionnel, elle remplit une tâche particulière en se substituant à un précepteur humain¹². Par ailleurs, une idée maintes fois évoquée est que les machines à enseigner doivent permettre d'améliorer les connaissances de pédagogie qui, elles-mêmes, permettront de perfectionner la conception de ces machines.

Pour de Montmollin (1965, p. 5), « L'enseignement programmé est une méthode pédagogique qui permet de transmettre des connaissances sans l'intermédiaire direct d'un professeur ou d'un moniteur, ceci tout en respectant les caractéristiques de chaque élève pris individuellement. » Il s'agit bien d'un champ de recherches, s'appuyant sur des bases scientifiques, et se voulant radicalement nouveau vis-à-vis

11. Pour Dewey, on juge les conceptions philosophiques d'après leurs conséquences effectives, ce qui revient à mesurer la vérité des conceptions à leur efficacité pratique.

12. Cette distinction entre programme et machine est toujours fortement réaffirmée. Le programme constitue en quelque sorte la partie noble, le côté scientifique. Il correspond à la division en unités élémentaires de la matière à enseigner, l'articulation de ces unités, leur formulation, la progression des difficultés. La machine est le dispositif qui met en œuvre le programme. Ceci permet de considérer comme « machine » une liasse de feuilles ronéotypées ou un livre particulier !

des manières habituelles de traiter les problèmes d'éducation. Quatre grands principes sont classiquement mis en évidence :

1. *Principe de structuration de la matière à enseigner* : la matière est décomposée en unités élémentaires, il faut fragmenter les difficultés suivant le principe des *petits pas*. Les démarches de découpage sont souvent assez complexes. Par exemple la méthode dite de « la matrice de Davis » décrite par J. Guglielmi (1970, p. 75) est appliquée à l'apprentissage des produits de la table de multiplication¹³.

2. *Principe d'adaptation* : la progression s'effectue par petites étapes et le rythme de progression est celui de l'élève. Un enseignement programmé doit être expérimenté jusqu'à ce qu'il « *marche* ». On peut remarquer que ce principe stipulant que l'élève doit progresser à son propre rythme a été contredit par les expérimentations montrant qu'un rythme imposé donne d'aussi bons résultats, l'élève ne gérant pas forcément son temps d'apprentissage de manière optimale (Depover op.cit., p. 55). Néanmoins, l'*individualisation* par la prise en compte des différences individuelles dans le rythme d'apprentissage est un facteur fondamental.

3. *Principe de stimulation* : participation active de l'élève, sollicité par des questions auxquelles il doit fournir une réponse effective, qu'elle soit construite ou uniquement choisie parmi plusieurs proposées. C'est le principe du *conditionnement opérant* mis en valeur par Skinner. On peut noter que l'*interactivité* est un principe de base de l'enseignement programmé.

4. *Principe de contrôle* et connaissance immédiate de la réponse. Un comportement nouveau s'acquiert plus rapidement s'il y a *renforcement*.

L'auteur insiste sur le fait que ces quatre principes peuvent être facilement respectés dans une situation d'enseignement privilégié : la relation précepteur-élève (la leçon particulière pensée méthodiquement). Albertini (1983) parle des trois « A » de l'enseignement programmé, à propos des trois types d'analyse nécessaires à la mise au point des programmes : l'analyse du problème et la fixation des objectifs, l'analyse du déroulement individualisé pas à pas et l'analyse des réponses et leur traitement spécifique.

2.3.2.1. *Les programmes*

On distingue les programmes linéaires du type Skinner, uniséquentiel à réponse construite (la réponse n'est pas donnée, l'élève est censé la construire) ou du type Pressey (linéaire à choix multiples), et les programmes à branchements du type Crowder.

13. Notons que cette réalisation s'appuie explicitement sur les travaux de Piaget (ibid., p. 51), qui est pourtant largement en opposition avec Skinner, ce qui illustre une certaine flexibilité des théories psychologiques quant à leur application à la pédagogie.

Des variantes ont aussi été utilisées, comme la « mathématique » de Gilbert¹⁴ ou l'analyse sémantique, en liaison avec l'analyse des contenus d'enseignement (Depover op.cit. p. 79), ainsi que d'autres modèles en liaison avec l'analyse du contenu à enseigner¹⁵.

La figure 2.2 est un exemple de programme de type skinnérien sur support papier. Pour lire ce programme, on utilise un cache que l'on descend au fur et à mesure pour découvrir le texte. La colonne du milieu donne les informations et les questions, qui consistent à compléter le texte présenté (avec le point d'interrogation ou l'espace souligné). Le lecteur est censé répondre au fur et à mesure et vérifier sa réponse en la comparant avec la solution présentée sur la colonne de droite à la ligne suivante.

Révision des notions élémentaires d'algèbre		
1.	$2 + 4 = 6$; donc $4 + 2 = ?$	
2.	$9 = 4 + 5$; donc $9 = 5 + ?$	6
3.	$a + b = c$; donc $b + a =$	4
4.	$x = y + z$; donc $x = z + ?$	c
5.	L'ordre dans lequel se fait l'addition ne joue aucune rôle. C'est la loi de <i>commutativité</i> de l'addition. Cette loi dit que $b + a = a + ?$	y
6.	Le fait que $x + y = y + x$ se nomme la loi de commutativité de _____	b
7.	Le fait que $y + z = z + y$ se nomme la loi de _____ de l'addition	L'addition
8.	La somme de trois nombres ou plus est la même, quelle que soit la manière dont on les groupe. $3 + 4 + 6 = (3 + 4) + ?$	Commutativité
9.	$1 + (7 + 8) = (1 + 7) + ?$	6
10.	$(4 + 2) + (9 + 8) = (9 + 2) + (4 + ?)$	8

14. Dans la mathématique de Gilbert, le cours commence par l'exposé d'une situation intellectuelle qui est ensuite analysée.

15. Dans le système Ruleg (*Rule - example*), la première unité contient une règle posée a priori et un exemple que l'élève doit compléter. Dans les unités suivantes l'élève est entraîné à utiliser correctement l'information (ou le comportement) qu'on vient de lui transmettre. La méthode des matrices de Davis consiste à élaborer un tableau avec en colonne le numéro des règles et en ligne le numéro des unités, et à indiquer les correspondances (R pour une règle, E pour un exemple et D pour une discrimination à établir). Ce tableau constitue une sorte de diagramme de déroulement. D'Hainaut utilise le mot « maille » (comme traduction de l'anglais *frame*) pour rendre à la fois l'idée d'unité et celle d'inclusion dans une structure plus générale qui n'est pas forcément linéaire. Il distingue les mailles d'introduction (liaison avec le contenu antérieur ou préparation de la matière suivante) (redécouverte inductive, redécouverte déductive, liaison), les mailles d'addition (communiquer à l'élève une information sans lui apprendre à l'utiliser mais en contrôlant que l'information a été correctement reçue), les mailles d'apprentissage, les mailles de révision, les mailles de test et les mailles d'orientation (instruction de branchement ou de retour en arrière...).

Figure 2.2. Exemple tiré d'un programme linéaire (traduction par les étudiants de l'Institut des sciences de l'éducation de Genève, sous la direction de J. Cardinet, d'un programme d'algèbre édité par National Teaching Machine)

Dans l'école de Skinner, la réponse de l'apprenant fait partie intégrante du processus d'apprentissage et constitue une fin légitime en elle-même. Crowder (1962) représente une autre école, s'appuyant sur la psychologie différentielle, intéressée à prendre en compte la réponse de l'apprenant pour contrôler le déroulement du cours. Dans le premier cas, on s'appuie sur la récompense du sujet autour d'une bonne réponse, l'erreur est à proscrire ; dans le second, sur le principe de faire acquérir à l'élève des mécanismes mentaux susceptibles de lui faire trouver la réponse correcte, l'erreur est utilisée pour contrôler le cheminement de l'élève. Cette dernière manière d'envisager un programme se rapproche beaucoup plus des modèles de l'informatique. Elle correspond à quatre fonctions du précepteur humain, présenter des informations, exiger de l'élève qu'il utilise cette information en répondant à des questions, évaluer la réponse fournie par l'élève et prendre des décisions appropriées à la qualité des réponses fournies.

2.3.3.2. Les machines

Les supports sont les livres (manuel programmé ou livre brouillé), les fiches et les machines. Ces dernières sont souvent jugées meilleures. Elles constituent le support idéal de l'enseignement programmé dans la mesure où elles impliquent un appel constant à l'activité intellectuelle, une association étroite avec chaque élément du programme, un contrôle échappant à l'intervention de l'élève (elles offrent un avantage important sur les livres d'après certains auteurs, elles ne permettent pas la tricherie !).

La présentation de l'enseignement de ce livre se rapproche dans la plus grande mesure possible, d'une conversation entre un précepteur et son élève. Cet ouvrage dispense ses connaissances par petites doses et il vérifie la compréhension du lecteur au moyen de questions à choix multiples ; questions auxquelles le lecteur *doit* répondre afin de pouvoir aller plus loin. Une mauvaise réponse conduit à un examen plus approfondi du point litigieux ; une bonne réponse conduit à l'unité d'information suivante et à la question afférente. Pour chaque chapitre on trouve des questions auto-test qui sont placées en annexe du présent ouvrage et qui permettent au lecteur de parfaire ses connaissances au moyen d'exercices supplémentaires.

Préface d'un cours (Crowder, 1958)

Dans la note au lecteur d'une série de livres brouillés (traduction des cours d'instruction programmée Tutortext), la méthode est décrite comme suit : «... Le

livre que nous vous présentons ici est destiné à jouer le rôle du précepteur. Tout comme un précepteur en chair et en os, il vous montrera la voie, vous apportera les connaissances nécessaires et, constamment vous posera des questions pour juger si vous avez bien compris... Ce livre enregistrera vos réponses, vous apportera quelques explications supplémentaires lorsque vous en aurez besoin et, dès qu'il se rendra compte que vous avez bien assimilé ce qu'il vous a enseigné, vous fera franchir un nouveau pas ».

Une telle personnalisation pour un simple livre brouillé paraît plutôt étrange. Il semble qu'on cherche à donner au lecteur l'illusion qu'un procédé entièrement prédéterminé, puisque la structure du livre est figée, assure réellement un suivi dynamique de sa progression. L'organisation particulière du livre lui confère une sorte d'intelligence ! Cela pose le problème du statut des machines supportant les programmes. Chapman et Carpenter (1962) soulignent l'existence de deux stratégies de recherche divergentes. Pour la première, l'état de la science de l'enseignement est trop embryonnaire pour s'intéresser à une instrumentation complexe. Il faut d'abord trouver la meilleure façon d'écrire des programmes d'enseignement. Les machines ne sont pas réellement nécessaires, on les utilise uniquement pour contrôler les conditions de présentation et s'assurer que l'apprenant est honnête. Le cœur de l'amélioration de l'enseignement est dans le programme, non dans la machine. Pour la seconde, il s'agit avant tout de découvrir comment programmer les ordinateurs pour leur permettre de simuler la sélection, le contrôle et les fonctions de décision qu'un précepteur humain est susceptible d'effectuer.

Une synthèse entre ces deux options s'opère en affirmant la nécessité de recherches de type expérimental. Il est indispensable de consacrer beaucoup d'attention à la méthodologie de programmation, mais dans le même temps, une instrumentation est nécessaire pour permettre des présentations efficaces, du renforcement, des prises de décision, de la collecte de données pour permettre d'avoir les réponses¹⁶.

L'ambiguïté qui vient d'être signalée sur le statut des machines est révélatrice d'une certaine gêne vis-à-vis de l'usage de machines pour l'enseignement. On a tendance à les considérer comme des supports d'enseignement capables, l'éducateur disparu, de restituer une pensée, d'exercer une influence, d'enrichir et de modifier les hommes hors des contingences du temps et de l'espace. On voudrait qu'elles ne soient que des porte-parole fidèles et disciplinés du concepteur du programme. En effet, on suppose qu'avec une machine, il n'y a pas de surprise à redouter, le message qui lui est confié sera intégralement transmis sous une forme prédéterminée par la seule articulation de ce message et par la structure et le réglage de la machine.

16. Par ailleurs, une tension apparaît souvent entre deux visions de l'enseignement programmé, moyen de pallier le manque d'enseignants et outil de recherche pédagogique.

Cette volonté de totale prévision va à l'encontre des idées de la cybernétique, ensemble de principes d'adaptation à un monde qui ne peut jamais être ni exactement prédit ni complètement contrôlé. Comme le signale Papert (1993, p. 185), la cybernétique crée une épistémologie de la gestion du flou (*managed vagueness*). Elle cherche à tirer parti au mieux d'une connaissance limitée, en laissant une certaine marge de manœuvre au pilote. Dans l'enseignement programmé, il n'y a pas réellement de pilote, les programmes sont entièrement prédéterminés et, donc leur portée fatalement limitée. Les matières programmées sont celles où la progression est apparemment la plus facile à définir, comme le calcul ou la grammaire. Finalement, l'enseignement programmé prépare idéalement à ce qui lui sert de critère : les tests. Les maîtres voient souvent dans les programmes un moyen d'améliorer leur propre technique d'exposition (de par les exigences d'explicitation et d'ordre qu'impose la constitution d'un programme). Mais ne concevoir dans l'enseignement programmé qu'un programme bien fait, c'est adopter le point de vue de l'enseignant, non celui de l'élève (Oléron, 1965). Une meilleure adaptation à l'apprenant va exiger des dispositifs plus adaptatifs que les premiers supports utilisés.

2.3.3. *L'enseignement programmé en Europe*

Sur la base des principes généraux qui viennent d'être décrits, l'enseignement programmé s'est développé dans de nombreux pays. Au début des années soixante-dix, un recensement effectué par l'Ofrateme¹⁷ (Ofrateme, 1974) fournit une liste de plus de trois cents ouvrages sous forme programmée, une bibliographie générale sur la programmation de l'enseignement ainsi qu'une liste de machines à enseigner (complété par INRP, 1975 ; voir un historique en France, Audouin, 1971, p. 124-135). Néanmoins, de nombreux auteurs prennent leur distance avec la psychologie comportementale issue des travaux américains. En reprenant une définition proposée par Gagné, Perriault (1969) propose une définition de l'enseignement programmé rendant mieux compte de la conception française comme étant la création de modèles didactiques « effectuels » par une machine (et décomposables en une suite d'opérations explicites) dans lesquels sont pris en compte les comportements initiaux et terminaux de l'élève, dont la progression est connue de façon planifiée et détaillée et tels que les stratégies soient mesurées en cours d'exécution.

Sans donner un panorama complet des actions qui se sont déroulées en France, il importe de souligner le rôle moteur joué par la commission d'études « Enseignement Programmé » créée le 12 juin 1964 et présidée par Louis Cros, ayant conduit à une action concertée DGRST (Direction générale de la recherche scientifique et

17. Office français des techniques modernes d'éducation, qui sera remplacé par l'Institut national de la recherche pédagogique (INRP).

technique), impulsion qui a permis de passer du support papier à l'EAO¹⁸. Si dans le courant des années soixante, à l'instigation de Couffignal et de Métais, se développait la pédagogie cybernétique, la commission a soutenu les recherches dans le domaine de l'enseignement programmé, prenant des distances vis-à-vis de ce courant. Des rôles importants ont été joués par le Centre d'études et de recherches psychologiques de l'Armée de l'Air, dirigé par le colonel de Brisson, et par l'Institut Pédagogique National à l'initiative de Roger Gal.

Il serait trop long de développer les perspectives suivies par les différents chercheurs et nous allons nous contenter de décrire le point de vue de Célestin Freinet, qui poursuit une voie originale, plutôt dans la lignée de Dewey que dans celle de Thorndike, et celui de l'école russe, présenté par Landa et Talyzina. Rappelons que le travail de Frank s'inscrit dans la continuité de la pédagogie cybernétique. Enfin, le travail de Gordon Pask sur les machines adaptatives et les systèmes conversationnels sera présenté dans la section suivante.

2.3.3.1. *Freinet et l'enseignement programmé*

«*Le travail individualisé n'a de sens que s'il est intégré à la vie sociale coopérative.*» (Freinet, 1966, p. 15).

Freinet est à la fois un défenseur de l'enseignement programmé et un contradicteur plutôt virulent des théories américaines. Dans son livre « *Bandes enseignantes et programmation* » (Freinet, 1964), l'avertissement au lecteur indique qu'il ne s'agit pas d'un livre de théorie mais d'un livre d'action. La théorie n'est sollicitée que pour montrer le bien-fondé d'une nouvelle technique. Sans nier l'importance et la valeur de certaines recherches expérimentales, les efforts de Freinet sont dirigés vers la pratique. Son enseignement programmé trouve ses racines dans le travail individualisé, en filiation avec ses fichiers autocorrectifs et ses brochures programmées (ibid. p. 12). Il s'adresse aux enseignants désireux d'intégrer les pratiques de l'école moderne.

On trouve ainsi des convergences importantes dans certaines des idées avancées pour défendre l'enseignement individualisé¹⁹. Par exemple, dans un livre maintes fois réédité, Dottrens (1967) souligne l'importance d'un matériel de départ mais attire l'attention sur le fait qu'après la période d'adaptation et de démarrage, « seules auront une valeur didactique et éducative certaine les fiches préparées par un maître pour sa classe, dans la connaissance sans cesse approfondie qu'il a des capacités et

18. Une documentation importante est consultable à l'INRP, l'Institut Pédagogique National (IPN) ayant été chargé de mettre sur pied le Centre de Documentation sur l'Enseignement Programmé, notamment le bilan rédigé par Perriault sur cette action DGRST.

19. Meyer (1965) voit dans les préoccupations d'individualisation de l'enseignement un pas important vers l'enseignement programmé. Il cite notamment le plan de Dalton et les méthodes de Winnetka aux Etats-Unis, ainsi que Claparède et Dottrens en Suisse.

réactions mentales de chacun de ses élèves, compte tenu du milieu scolaire et social dans lequel se déroule son activité, comme aussi des obligations de tous ordres auxquelles il doit faire face » (ibid., p. 11). Il insiste sur le risque d'adopter des méthodes nouvelles sans en avoir assimilé l'esprit²⁰, voire même en refusant délibérément de les concevoir dans leur esprit. Les personnes faisant cela risquent de faire un mauvais travail et de l'imputer à cette manière d'enseigner « au lieu de s'accuser eux-mêmes de leur insuffisance et de leur légèreté ». Il prône une éducation à la fois collective et individualisée. Le travail individualisé permet, tant que le besoin s'en fait sentir, de creuser une idée, de répéter, de revoir, d'exercer sans lasser, d'avancer pas à pas, d'acquérir la sécurité dans le savoir, de poser les fondements solides de toute culture ultérieure. Il apporte aux maîtres satisfaction et enrichissement (ibid., p. 222).

Pour Freinet, le véritable intérêt des machines à enseigner, c'est l'*innovation pédagogique* qu'elles supposent (op.cit., p. 14). Ses critiques s'adressent à la psychologie du comportement (behaviorisme), base de l'enseignement programmé en Amérique du Nord. Il soutient que cette théorie convient au tempérament américain mais est peu adaptée à la culture européenne. Il revient à la « loi de l'effet » de Thorndike, comme explication profonde du processus de tâtonnement (« un acte qui aboutit à un résultat satisfaisant tend à se répéter ») et s'oppose au principe du renforcement, conception trop mécaniste. Le renforcement ne suffit pas, il faut une *motivation* profonde, non seulement mécanique et extérieure²¹, mais personnelle et affective qui conditionne le comportement ; il faut des travaux vivants. En ce sens, Freinet rejoint Dewey et oppose le conditionnement à l'éducation.

Freinet met en avant la notion de « tâtonnement expérimental ». D'après lui, les principaux avantages de la programmation, sous quelque forme qu'elle se présente, nécessitent une reconsidération progressive de notre attitude éducative. Il s'appuie sur trois principes, reconnus par expérience :

1. *L'explication verbale et la démonstration théorique sont souvent inopérantes*, surtout distribuées magistralement et collectivement. Il faut *dépasser le verbalisme*, ce n'est pas en parlant mais en agissant, en travaillant qu'on apprend. Les enseignants peuvent tirer bénéfice de la programmation. Dans un premier temps, la préparation préalable par les leçons programmées facilite leur tâche ; mais ensuite, d'après lui, « on se rend compte avec les bandes que l'explication ne paie pas. Lorsqu'on commence à faire des bandes programmées, on a tendance à expliquer, à essayer de faire comprendre. On interroge les élèves, et en général fort maladroitement. On voit vite à l'usage que l'enfant ne comprend rien à notre verbiage. C'est par l'exercice, l'expérience et le travail que nous corrigeons les

20. Nous verrons dans les évaluations sur LOGO l'extrême importance de la compréhension du rôle de cet environnement par les enseignants.

21. Pour Skinner, la motivation est simplement liée à la réussite objective.

déficiences. Cela suppose une reconsidération totale du rôle du professeur qui aide l'expérimentation et l'action, mais qui se garde désormais d'explicitier ce qui ne saurait être que le résultat de l'action intervenue ». Son intérêt pour la programmation s'appuie sur une conception de l'enseignant modèle assez éloignée des idées avancées par les tenants classiques de l'enseignement programmé.

2. *L'enfant aspire à se diriger lui-même*, à se contrôler et ne se plie qu'à contre-cœur à une autorité dont il n'accepte pas la légitimité institutionnelle. A ceux qui craignent que les enfants ne fassent plus d'effort, il répond qu'il faut combattre l'idée naïve que le rendement scolaire est fonction des efforts faits par les élèves. Il souligne d'ailleurs l'intérêt suscité chez les élèves par la programmation.

3. *L'enfant aime le travail motivé et productif*. Le rôle de l'enseignant est de lui procurer des outils adaptés et des possibilités de travail. Il faut donc *éviter la scolastique*, inventer de nouvelles formes de travail, incorporer le plus possible les bandes à la *vie*. Ainsi, quand on lui objecte que le système de programmation oublie une composante majeure, la part de la société, il répond que c'est vrai pour la tradition américaine et faux dans la perspective de l'école moderne.

Une distinction est opérée entre les bandes programmées pour l'acquisition des mécanismes simples, pour les techniques complexes, pour l'exploitation des centres d'intérêt et les bandes de travail. Les bandes sont courtes et ne demandent qu'un temps réduit de travail mais elles ne constituent que le squelette de la programmation. L'adaptation au milieu et à la classe s'effectue à l'aide de *bandes bis*, conçues et réalisées par les enseignants ou les élèves eux-mêmes. Leur élaboration permet un enrichissement et une personnalisation à volonté évitant les tares des manuels, qu'il considère trop impersonnels et insuffisamment accrochés à la vie ou la vie de la classe. Elle offre en outre une véritable programmation ramifiée.

« Nous comparons nos séries de base à l'autoroute qui, pour se rendre de A à B représente la solution la plus rapide, valable pour tous les voyageurs qui veulent aller de A à B. Mais, tout le monde le sait, l'autoroute risque d'être ennuyeuse car elle ne nous permet pas de voir le monde autour de nous. L'autoroute est, elle aussi, impersonnelle, indifférente au milieu, mais nous pouvons, en la doublant de circuits annexes, la personnaliser. »

Un des thèmes révélateurs est celui de la copie, de la tricherie. Pour certains auteurs, l'apport des machines à enseigner permet de la supprimer. Freinet montre que l'absence de dispositif de contrôle est liée à la pédagogie constructive qu'il cherche à promouvoir. Pour lui, l'école doit changer et, grâce à la programmation, il propose une méthode simple, pratique, efficiente, à la portée de l'ensemble des écoles.

La *boîte enseignante* de Freinet est une machine purement mécanique. Bien que sa tentative n'ait pas eu de suite, elle illustre certaines idées importantes qu'il est bon de souligner. La volonté de privilégier une pédagogie de masse a limité les

ambitions de Freinet qui ne s'est servi que d'une technologie immédiatement disponible et n'a donc pas considéré l'ordinateur, ressource encore rare dans les années soixante. La démarche est inverse ou duale de celle adoptée par les tenants de l'enseignement programmé. Elle part de la classe et tente de tirer parti des techniques susceptibles de s'intégrer de manière pertinente dans l'organisation souhaitée. Claparède, dans son introduction à un ouvrage de Dewey (Dewey, 1913, p. 15), rapporte une anecdote comptée par Dewey. Ce dernier s'était rendu dans un magasin de mobilier scolaire pour y acquérir des tables pouvant convenir aux diverses occupations qui se pratiquaient dans son école. Comme il ne trouvait pas ce qu'il cherchait, le marchand finit par lui dire : « Je crains que nous n'ayons pas ce qu'il vous faut. Vous désirez des meubles permettant aux enfants d'exécuter du travail ; mais tous ceux que nous avons ne sont faits que pour écouter. » Cette réponse illustre selon Dewey l'éducation traditionnelle, éloignée de l'école de la vie, démarche très voisine de celle de Freinet.

En revenant aux *boîtes enseignantes*, les idées qui les sous-tendent sont très actuelles : articulation entre travail individualisé et travail coopératif, tâtonnement expérimental, recherche de la motivation, activités pleines, adaptation des ressources par les enseignants et les élèves (bandes bis)... Freinet défend aussi l'idée de la programmation dans la résolution des problèmes qui se développera quelques années plus tard avec les langages interactifs.

2.3.3.2. Enseignement programmé en URSS

Dans l'introduction d'un dossier consacré à l'enseignement programmé en URSS, Helvey (ETRS, 73b, p. 8) remarque que « parce que l'environnement enseignant-élève est un système singulier, avec des boucles de rétroaction riches, des canaux de communication restreints et un bruit considérable dans toutes les parties du système, et est de plus suffisamment complexe pour avoir une tendance à l'auto-organisation, ce système est de nature cybernétique et conduira aux meilleurs résultats en étant traité de cette manière ». Dans l'approche des chercheurs russes, qui s'appuient sur le courant cybernétique, le contrôle a une importance fondamentale, pour déterminer dans quelle mesure ce qui a été transmis a pu être assimilé par les élèves. Le souci d'une étude objective de l'efficacité de l'enseignement s'accompagne de recherches plus théoriques, notamment de travaux formels à l'aide de modèles mathématiques. L'enseignement programmé est sévèrement critiqué, mais la programmation de l'enseignement demeure.

Le travail de Landa est particulièrement remarquable. Dès les années cinquante, il cherche à formaliser les processus intellectuels qui interviennent dans la résolution de problèmes. Pour garantir l'efficacité de l'enseignement, connaître exactement le comportement que doit avoir l'élève dans des situations précises ne suffit pas, il importe aussi de savoir quels mécanismes psychologiques produisent les actions correspondantes, c'est-à-dire quels mécanismes psychologiques internes doit développer l'enseignement. Pour lui, il est impossible d'enseigner à l'élève la

manière de résoudre des problèmes plus ou moins complexes en lui faisant uniquement apparaître des enchaînements d'éléments intermédiaires reliant les problèmes concrets à leur solution concrète. Il faut de plus prendre en compte des mécanismes internes de type intellectuel et des attitudes intérieures. L'établissement d'un modèle de l'activité interne des élèves doit précéder l'élaboration d'un programme didactique. Aussi, on ne peut se satisfaire d'un comportement de l'apprenant et d'en fixer des manifestations précises, il faut aussi et avant tout former des mécanismes exacts, suffisamment généralisés et efficaces, susceptibles de produire et d'assurer ce comportement.

Landa (1967) s'intéresse aux erreurs commises par les élèves, erreurs perçues comme des signes traduisant des démarches particulières d'un raisonnement qu'il importe d'explicitier. L'essentiel n'est pas de trouver la faute faite par un élève mais d'en trouver la cause puis de la faire disparaître. C'est la seule manière d'éviter que la faute soit répétée à l'avenir. Il faut donc tenir compte des lacunes dans les connaissances de l'élève susceptibles d'avoir provoqué la faute. Une de ses études, sur la résolution de problèmes nécessitant l'application de règles, montre ainsi que les fautes sont imputables la plupart du temps au fait que les élèves se laissent guider à leur insu par des règles fausses et qu'une structure d'opérations fausse s'est développée dans leur esprit.

Landa distingue la *diagnose*, c'est-à-dire la connaissance d'une maladie, qui s'acquiert par l'observation des signes diagnostiques, des symptômes, du *diagnostic*, qui est l'art de déterminer une maladie d'après ses symptômes. Dans la phase de diagnose, on cherche à déterminer quel mécanisme interne a pu produire telle ou telle réponse, rendant ensuite possible l'élaboration d'une méthode complète d'enseignement. L'application de celle-ci permettra, dans une phase ultérieure, de prononcer sur les élèves des diagnostics d'ordre pédagogique, en observant comment les mécanismes internes suivent le modèle d'apprentissage proposé. Il s'agit en quelque sorte d'avoir la description pour choisir la prescription.

Son travail vise à élaborer des procédés qui permettent à la fois de découvrir les structures internes des mécanismes de la pensée et de décrire celles-ci sous forme d'*algorithmes* (Landa, 1972). Il ne se limite pas à rechercher des algorithmes de l'activité de l'enseignant, ce qui est classique dans les travaux sur l'enseignement programmé, mais cherche aussi à établir des algorithmes de l'activité de l'élève. Ces derniers algorithmes, représentés par des modèles, doivent fournir des exemples de ce qui devra être développé chez l'élève tout en indiquant les structures et mécanismes internes à former chez ce dernier. Sur cette base, Landa cherche à construire des modèles mathématiques et logiques (Landa, 1974).

Les travaux de Landa sortent très nettement des limites habituelles de l'enseignement programmé. Il s'inspire des développements de l'intelligence artificielle et ses recherches préfigurent certains travaux que nous verrons au

chapitre suivant (notamment sur le diagnostic des erreurs). Dans un article publié en 1964, (*Pédagogie et cybernétique*, 1972), Landa décrit son ambition de désosser le processus de recherche de la démonstration en des opérations suffisamment élémentaires et de composer une prescription qui nécessite précisément le recours de telles opérations. Il fait alors référence à Polya, regrettant cependant le caractère parfois trop indéterminé et trop peu concret de ses prescriptions. Il cite les recherches de Newell, Shaw et Simon, indiquant que leurs travaux se sont déroulés indépendamment, leurs premiers résultats n'ayant été publiés qu'après l'achèvement (en 1955) et la soutenance de sa thèse.

Landa est un défenseur de l'usage des machines dans l'enseignement. En effet, il pense qu'il faut intensifier les échanges d'information entre élèves et professeurs, et, si l'on admet que le professeur ne peut ni recevoir ni transformer les informations nécessaires, l'emploi de machines à enseigner n'apparaît plus comme une mode mais comme une nécessité objective qui résulte des exigences fondamentales d'un guidage efficace. En outre, il pense qu'il est possible de construire des machines qui, enseignant aux élèves, enseigneront à elles-mêmes, améliorant au cours de l'apprentissage leur méthode d'enseignement.

Talyzina et son équipe (1980) développent une conception de l'apprentissage fondée sur l'activité (théorie de la formation des actions mentales « étape par étape », développée par Galperine), appuyée par des expériences menées sur le terrain. Ils déclarent avoir obtenu de bons résultats concernant les mathématiques élémentaires. La conception behavioriste (qui prévaut dans la plupart des réalisations) est jugée réductionniste car elle considère l'homme comme un organisme biologique, non comme un être social et historique. Pour Talyzina, l'apprentissage est une véritable activité uniquement lorsqu'il satisfait un *besoin cognitif* (ibid., p. 15). Sur la base des théories de Vygotski, l'apprentissage est considéré avant tout comme une évolution des différents types d'activité cognitive, qui passent d'une forme extérieure, matérialisée, à une forme intérieure, psychique. Le savoir est une notion relative et le niveau d'assimilation des connaissances est déterminé par la diversité et le caractère des formes d'activité dans lesquelles celles-ci fonctionnent (ibid., p. 19).

La généralisation des connaissances a été soigneusement étudiée. Pour elle, « la généralisation des objets ne dépend pas seulement de la présence, en eux, de propriétés générales. C'est là une condition indispensable, mais non suffisante. Pour parvenir à une généralisation en conformité avec ces propriétés, il est indispensable d'intégrer celles-ci dans la base d'orientation de l'activité accomplie par l'élève avec ces objets. Mais si les propriétés générales des objets restent en dehors de la base d'orientation des actions de l'élève, il ne peut y avoir de généralisation en relation avec elles » (ibid., p. 19). Chaque action, chaque forme d'activité programmée, doit être non seulement nommée, désignée mais aussi présentée de manière concrète en soulignant ses aspects structuraux.

La conception de l'*apprentissage fondé sur l'activité* repose sur des principes de programmation :

- définir un système d'actions appropriées au domaine de connaissances étudié et au but de cette étude,
- faire ressortir le contenu de ces actions et, avant tout, leur base d'orientation,
- constituer un programme d'enseignement qui fait passer les actions en cours de formation par des étapes essentielles durant lesquelles elles subissent de nombreuses transformations qualitatives.

L'accomplissement de ces tâches est, à son tour, lié à tout un système de problèmes intermédiaires, dont l'un des principaux est de définir les formes d'activité qui doivent être engendrées par l'apprentissage. En même temps, ces formes d'activité sont un moyen d'acquérir des connaissances, qui leur sont immédiatement incorporées sous la forme d'un composant ou d'un autre. C'est précisément de cette façon que se comble l'écart entre l'assimilation des connaissances et leur application : pour les assimiler, on choisit l'activité (ou l'action) à l'intérieur desquelles elles doivent fonctionner après l'apprentissage.

D'une certaine manière, ce modèle de l'activité est plus proche des travaux sur l'apprentissage dans les micromondes que nous verrons au chapitre 4 que des productions habituelles dans le champ de l'enseignement programmé.

2.3.4. Les limites de l'enseignement programmé

Dans un bref historique sur l'enseignement assisté par ordinateur (et l'enseignement programmé) en France, Jacques Perriault (1983) relate la crise qui intervient dans ce domaine à la fin des années soixante. En même temps que s'amorce le déclin de l'enseignement programmé, de nouvelles orientations de recherche apparaissent. Un colloque OTAN, sur les tendances de la recherche en enseignement programmé, qui se déroule à Nice en mai 1968, est caractéristique des évolutions en cours.

Ce colloque (Bresson et de Montmollin, 1969) prend ses distances vis-à-vis de l'enseignement programmé. Il considère que le développement de la recherche scientifique en matière d'éducation tend vers une technologie de l'enseignement, qui doit beaucoup plus aux principes psychologiques et à une démarche expérimentale en pédagogie qu'aux techniques de l'enseignement programmé et à ses applications courantes. Les auteurs soulignent que l'enseignement programmé constitue une occasion privilégiée de réflexions théoriques et d'expérimentations autour d'un vaste thème : apprendre et enseigner à l'aide d'un *programme*. Les modèles utilisés par les productions habituelles dans le cadre de l'enseignement programmé ne semblent plus satisfaisants.

L'introduction de méthodes expérimentales dans l'éducation bute sur une analyse qui ne s'opère qu'en termes de comportement, final ou initial, et à la transition d'un comportement à un autre. Cette contrainte est clairement exprimée par Régnier et de Montmollin (Bresson et de Montmollin op.cit., p. 42) : « Toute matière à enseigner peut être caractérisée de façon précise par un comportement terminal fixé *a priori* et être découpée de façon plus ou moins fine en éléments - que nous appellerons *unités de connaissance* - qui constituent un ensemble dénombrable. Cet ensemble couvre de façon exhaustive tout ce qu'il est nécessaire qu'une population donnée acquière pour être capable de répondre à une classe de questions ou de résoudre une classe de problèmes qui constituent le comportement terminal. Chacune des connaissances peut, et même doit, être définie en termes de performances observables et mesurables ».

Les limites des analyses de Skinner associées à cette contrainte forte de se limiter à ce qui est observable et mesurable va engager les chercheurs dans des voies nécessitant des modèles très complexes, pour assurer à la fois rigueur et optimisation. Les limitations sont à la fois théoriques et techniques, les « supports » étant encore insuffisants. Les recherches se heurtent à une forme de barrière de complexité qui se dresse dans les tâches les plus classiques de l'enseignement programmé : l'analyse de la structure du contenu à enseigner, les théories de l'apprentissage et la gestion de l'individualisation.

2.3.4.1. *Analyse de la structure du contenu à enseigner*

De Brisson (Bresson et de Montmollin op.cit.) définit la structure du contenu enseigné comme l'ensemble des relations entre propositions qui demeurent invariantes dans différentes organisations de l'exposé de ce contenu. Il souligne la nécessité de développer des techniques d'analyse. Pour lui, *le progrès vers la rigueur se paiera d'un alourdissement des tâches d'analyse* et il faudra se préoccuper d'élaborer et de développer des techniques de traitement en machine pour que la tâche ne devienne pas insurmontable. Il pose alors des questions fondamentales : quels liens, s'il en existe, peut-on établir entre la structure de la matière et les processus mis en jeu dans l'acquisition de cette matière ? Peut-on dans ce cas utiliser une telle analyse pour prédire le mode d'acquisition, les erreurs, la difficulté de la tâche ? Quelles relations existe-t-il entre l'analyse de la structure et l'élaboration du programme lui-même : cette analyse peut-elle intervenir dans le découpage des questions et de l'ordonnancement des items ?

D'un côté, aucune théorie suffisamment établie, concernant l'acquisition des connaissances, ne permet de fonder les modes de structuration des cours. D'un autre côté, la combinatoire des modes d'organisation possibles est telle qu'elle requiert de l'assistance. Trop souvent, la structuration proposée tombe dans l'un des défauts majeurs de l'enseignement programmé : morcellement analytique et défaut de synthèse. En comparant avec le livre, par exemple, il manque la possibilité de

feuilleter des textes, autorisant un survol de l'information plus ou moins aléatoire. La vision physique et globale d'un livre est nécessairement plus riche, plus complexe.

Ces questions d'organisation d'un contenu d'enseignement vont se poser de manière insistante, à la fois avec l'introduction des techniques d'intelligence artificielle, permettant au moins partiellement une restructuration dynamique, et dans le cadre de la conception des hypertextes et des difficultés de navigation qu'ils peuvent occasionner.

2.3.4.2. *Limites des théories de l'apprentissage*

« Il nous faudrait une théorie de l'apprentissage qui fasse autorité, au même degré que la théorie quantique par exemple. Or, c'est précisément ce qui fait défaut. D'après Mérédith, il y aurait 29 théories différentes de processus d'apprentissage, mais en fait, on peut en dénombrer 57. C'est une erreur flagrante de prétendre... que les principes psychologiques sont connus depuis longtemps. Tout ce qu'on peut dire, c'est que nous avons là-dessus un vague agrégat de notions acquises empiriquement, pragmatiquement, ce qui ne constitue pas une base bien satisfaisante pour construire des machines à enseigner. Entre autres conséquences importantes de cette carence, nous manquons du langage psychologique adéquat pour parler de ce que nous tentons de réaliser : en fait, nous reprenons un assortiment disparate de jargons empruntés à diverses théories de l'apprentissage, du comportement, des psychismes de l'homme et de l'animal, voire à des philosophes comme Locke, en les utilisant dans des acceptions spécieuses et en procédant sur cette base à ce que nous décorons du nom d'expériences et d'évaluations» (Goodman, 1964 ; cité par Freinet 1964, p. 28 et par Galli, 1965).

Pour Goodman (1964), il manque une théorie scientifique de l'apprentissage et une étude attentive, sous l'angle de la cybernétique, des théories partielles existantes, devrait permettre d'utiliser celles-ci comme premières approximations en vue de bâtir une théorie qui sera générale, scientifique et nécessairement formulée mathématiquement. Son idée est que seules les calculatrices électroniques pourront s'attaquer à l'analyse du comportement humain, le jour où elles seront *intelligentes*.

Toutefois, O'Shea et Self (1983, p. 85) rappellent les tentatives de différents chercheurs, à la fin des années soixante, pour définir des théories de l'apprentissage précises pouvant prédire les effets de différentes actions d'enseignements, et développer des programmes basés sur ces théories pour choisir entre ces différentes actions. Ils rapportent une réflexion de Laubsch (Laubsch, 1975) indiquant que l'approche traditionnelle basée sur la théorie de la décision et les modèles d'apprentissages stochastiques ont atteint une impasse due à la simplification excessive de leur représentation de l'apprentissage. La raison de l'échec de tels modèles, comme modèles d'instruction, était leur manque de représentation du contenu à enseigner. En effet, connaître la probabilité d'une réponse a un pouvoir

diagnostic faible, ce n'est pas du tout la même chose de connaître ce qu'un apprenant comprend.

Comme le rapporte Depover (op.cit., p. 28), un courant de recherches s'est centré sur l'étude des facteurs susceptibles de favoriser l'apprentissage. Mais, « alors qu'on attendait des informations permettant d'opter définitivement pour certaines approches pédagogiques, ces études n'ont fait que souligner le caractère relatif et la complexité de la plupart des variables investiguées ». Il analyse ainsi trois questions importantes :

- la controverse entre *réponse construite et réponse choisie* : il semble que les modalités de réponses doivent être cohérentes avec les compétences à acquérir et le niveau de maîtrise des apprenants,
- le *feedback*, son rôle en tant que facteur d'apprentissage a été contesté, mais les chercheurs se sont mis d'accord sur sa double fonction, celle de fournir une information essentielle à l'apprenant sur ce qu'il apprend et sur la manière dont il l'apprend, et celle d'agent de renforcement,
- le *mode de progression*, comparé à des modes d'exposition linéaire, les possibilités de branchement semblent diminuer le temps d'apprentissage mais non la réussite à un post-test.

Finalement, les choses apparaissent beaucoup plus complexes qu'on avait pu le croire. Dans des situations pédagogiques réelles, il n'est pas si simple de bien circonscrire les variables et de contrôler l'ensemble des facteurs. En outre, beaucoup de chercheurs négligent la nature même du matériel à enseigner, ce qui rend malaisé comparaisons et généralisations. Ces difficultés méthodologiques et les résultats divergents obtenus ne facilitent pas la mise en évidence des principes susceptibles de servir de base à une théorie cohérente de l'élaboration des cours.

2.3.4.3. *Limites à l'individualisation*

L'ambition commune à toutes les techniques d'individualisation repose sur la possibilité d'assurer un contrôle précis du processus d'apprentissage basé sur le traitement des indices fournis par l'apprenant dans son interaction avec le système enseignant. Or, sans informatique, la multiplication des chemins individuels et la non-linéarité posent des problèmes redoutables. Soit on limite le nombre de chemins et on perd l'aspect individualisation, soit on le multiplie ce qui induit une grande complexité. Cette dernière ne fait que croître lorsqu'on cherche à contrôler différentes variables comme la *gestion du temps et de la vitesse*, le temps de lecture, la vitesse de défilement, la *gestion de l'espace* (inscription de la réponse de l'élève, bonne réponse qui se substitue ou se rajoute). L'individualisation est par ailleurs contrainte par l'analyse de la structure du contenu à enseigner et par les théories de l'apprentissage utilisées. Il s'avère nécessaire de disposer de la technologie adéquate pour assurer un enseignement réellement adaptatif.

La découverte de l'enseignement programmé a donné l'espoir de fonder la pratique pédagogique sur des bases établies scientifiquement et se présentant avec la garantie des conquêtes de la psychologie expérimentale. Mais, sur le fond, c'est-à-dire le rattachement de la pratique à des bases théoriques solidement fondées, Oléron (1970) constate qu'il apparaît que le problème reste ouvert. Il ajoute qu'« on ne peut se faire d'illusions sur la difficulté de construire une théorie adéquate de l'acquisition des connaissances ». Si l'évolution de la technologie va pouvoir apporter des réponses à certaines limitations rencontrées par l'enseignement programmé, les questions de fond vont nécessiter de nouvelles approches.

2.4. Au-delà de l'enseignement programmé

L'enseignement programmé au sens strict du terme, c'est-à-dire les modèles issus de Skinner et Crowder, apparaît de plus en plus comme une véritable impasse. La revue critique de Chomsky (1959) à propos des théories de Skinner sur le comportement verbal a une influence importante sur les chercheurs, qui prennent leur distance vis-à-vis des fondements behavioristes de l'enseignement programmé. Mais, pour beaucoup, si les premières applications n'ont pas été concluantes, les principes sont justes et l'ordinateur leur donne toute leur valeur (Audouin, op.cit., p. 77). Selon l'expression d'Albertini (1983), l'EAO apparaît véritablement comme le mariage de l'enseignement programmé et de l'informatique. Les problématiques de l'enseignement programmé sont continuées avec le support particulier des ordinateurs, ces derniers pouvant aider à surmonter la barrière de complexité apparue avec les recherches sur l'apprentissage et la conception des programmes. Il se révèle de même une similitude de pensée et de démarche entre programmation des ordinateurs et programmation de l'enseignement²². Se rattache alors le courant de pensée connu sous le nom de *technologie éducative* qui se donne pour objet une « recherche d'efficacité dans le processus d'enseignement basée sur la rétroaction constante entre les trois composantes essentielles de l'action éducative : fixation des objectifs, sélection des moyens et des méthodes, évaluation des résultats » (Depover, op.cit. p. 14).

Dans une volonté de *mécanisation* de l'enseignement, l'ordinateur va permettre d'aller bien au-delà des premiers modèles issus de l'enseignement programmé. On travaille au plus juste (définition de la population d'élèves à instruire), au plus fin (découpage et automatisation des cours), au plus efficace (contrôle expérimental et bonne motivation de l'élève). L'idée est de se centrer sur les problèmes d'acquisition, amorçant le passage entre apprendre et enseigner. Pour cela, il est nécessaire que des stratégies d'enseignement soient définies et des moyens adaptatifs mis en œuvre.

22. Il s'agit d'une forme particulière de programmation correspondant à des langages de type impératif. Les autres paradigmes de programmation que nous verrons au chapitre 4 ne sont pas basés sur les mêmes principes et conduisent à d'autres options éducatives.

Nous allons d'abord nous intéresser aux machines à enseigner, mettre en évidence leurs caractéristiques et déboucher sur les machines dites adaptatives. Nous décrirons brièvement une classification des usages des ordinateurs dans l'éducation, à la base de l'EAO, puis la structure des programmes génératifs, précurseurs des tuteurs intelligents.

2.4.1. Machines à enseigner et dispositifs multi-médias

Si le statut des machines a suscité de nombreux débats au début de l'enseignement programmé, il apparaît rapidement que les caractéristiques des dispositifs employés contraignent les types de programmes que l'on peut développer. Une exigence accrue de sophistication nécessite des machines de plus en plus puissantes.

Des dispositifs d'une grande variété ont été mis en œuvre, correspondant à différents niveaux d'automatisation du processus d'enseignement et à des usages extrêmement divers. On différenciait par exemple le type de formation (individuel, par groupe, en session continue), la fonction dans le processus d'enseignement (examineur, répéteur, lecteur, entraîneur, combinaison de ces différentes fonctions), le mode de transmission des informations (visuel, auditif, combiné)... (Schestakow, 1968, p. 34).

Dans une classification par ordre de complexité croissante, on sépare (Perriault, 1969) :

- livre ou programme ronéotypé (linéaire ou ramifié),
- présentoir, support de plastique ou de métal sur lequel on fait défiler un rouleau de papier sur lequel figure un programme,
- station d'interrogation collective,
- machine à enseigner (dans un sens restrictif) ; un cours est présenté, en général sur film fixe et l'on propose à l'élève des QCM. Selon le choix, une autre image est présentée,
- calculateurs spécialisés, permettant certaines analyses de réponse,
- calculateurs universels ou ordinateurs.

Peu à peu, l'ordinateur supplante les autres dispositifs, offrant des possibilités beaucoup plus étendues en terme d'*adaptivité*, c'est-à-dire de capacité d'analyse du comportement de l'élève, de *modularité*, de *versatilité*, c'est-à-dire la capacité à gérer des programmes différents et d'*évolutivité*, de possibilité d'être modifié.

Comme le remarquent Glikman et Baron (1991), le mouvement audiovisuel et l'enseignement programmé évoluent de façon plutôt indépendante. En effet, de prime abord, les techniques audiovisuelles et l'enseignement programmé individualisé semblent difficilement compatibles, le caractère collectif et inéluctable

du message filmique ou télévisé s'opposant à un enseignement fondé sur le rythme individuel, les petites étapes et la correction immédiate. La figure 3.3 résume leurs principales différences.

Audiovisuel (traditionnel)	Instruction programmée (orthodoxe)
Mode de présentation collectif (écran)	Présentation individuelle (livre ou machine)
Rythme imposé	Allure personnelle
Pas de réaction extérieure du spectateur	Participation active
Présentation globale	Présentation analytique
Message visuel ou sonore	Message verbal
Affectivité - motivation	Déroulement conceptuel rigoureux
Présence humaine - réalisme	Mécanique - dépouillement

Figure 2.3. Comparaison audiovisuel/enseignement programmé (Dieuzeide, 1965)

Néanmoins, les chercheurs ont rapidement essayé d'ajouter l'attrait et le réalisme des présentations audiovisuelles aux cours programmés, en intégrant les *aides audiovisuelles* (images fixes ou films) aux dispositifs d'enseignement programmé. L'idée de rétroaction visuelle peut d'ailleurs rester compatible avec les théories cybernétiques et les concepteurs en ont rapidement tiré parti. L'AutoTutor de Crowder (1962) utilise des microfilms de 35 mm. Chapman et Carpenter (1962, p. 242) décrivent un dispositif de formation permettant de comparer des cartes et des photographies, d'agrandir l'image, d'effectuer des mesures, etc. Ils reprochent aux séquences programmées d'utiliser presque exclusivement des symboles verbaux. L'apprentissage risque de ne pas se transférer à des situations dans lesquelles les stimuli impliquent des objets physiques ou des relations sociales autant que les mots. L'intérêt de variétés de formes de présentation semble évident (bien que non démontré) et peut engendrer de la motivation complétant la théorie du renforcement. On perçoit que si tel média intervient dans ce qui est à acquérir, il est utile de l'intégrer dans la formation.

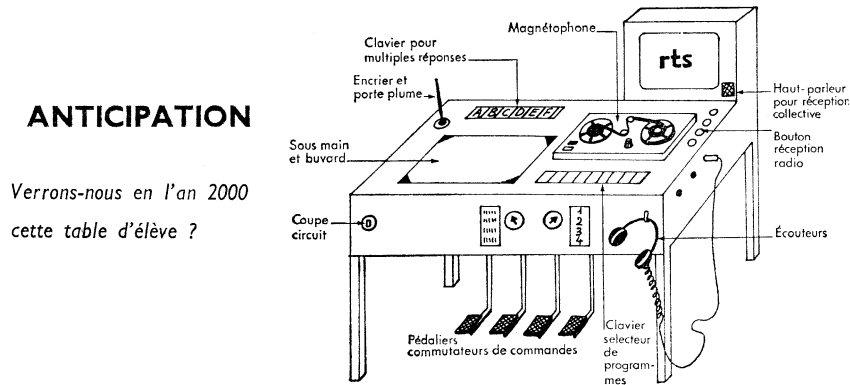


Figure 2.4. La table de l'élève de l'an 2000 (Dieuzeide, *op.cit.* p. 54)
Le rêve dans les années 1965

La machine à enseigner MITSU, utilisée à l'Ofrateme au début des années soixante-dix permet une présentation audiovisuelle des informations à l'aide d'un projecteur de film 16 mm (256 vues fixes différentes) ou éventuellement à l'aide d'un projecteur de diapositives. Un magnétophone utilisant des mini-cassettes du commerce diffuse, par l'intermédiaire d'un casque ou d'un haut-parleur, les messages sonores et sert de mémoire vive pour l'enregistrement du programme. Un dispositif d'enregistrement destiné à garder la trace du travail de l'élève peut être connecté à la machine.

Les chercheurs se méfient de la surabondance de texte²³. Freinet, avec ses boîtes enseignantes, cherche à dépasser le verbalisme, c'est-à-dire ne pas imiter sur les machines le discours des enseignants. D'ailleurs, même Skinner, cité par Freinet (1964, p. 49), pense qu'on a peut-être fait un abus de la communication verbale en faisant tant parler le professeur aux élèves et les élèves au professeur, « l'enrichissement de la pédagogie purement verbale par un enseignement non verbal devrait représenter un terrain d'investigations idéal pour les machines à enseigner capables de se passer du langage parlé comme mode de communication ».

Une difficulté provient de la nécessité d'une certaine linéarité due à l'absence de flexibilité des médias employés. En particulier, la volonté d'améliorer le contrôle sur les ressources d'enseignement et le découpage en petites étapes (ainsi que le coût nécessaire à l'intégration de plusieurs médias) rendront le recours à la combinaison de plusieurs médias plus rare, à l'exception des formations professionnelles. La

23. Un numéro spécial de la revue *Enseignement Programmé* (n° 4, 1968) est consacré aux pièges du langage dans l'enseignement programmé. Ce numéro contient notamment un texte assez amusant de Pérec (1968).

puissance et la flexibilité offertes par les ordinateurs des années quatre-vingt-dix permettent de les intégrer à nouveau avec des modèles de gestion plus complexes que ceux de l'enseignement programmé, amenant des problèmes technologiques redoutables de synchronisation de ces divers médias et des problèmes scientifiques d'étude de complémentarité de ces médias dans l'apprentissage.

Petit à petit, les ordinateurs vont supplanter les autres machines à enseigner, permettant la conception de systèmes adaptatifs et l'implantation de programmes génératifs.

2.4.2. Les machines adaptatives et l'EAO

2.4.2.1. Les directions de recherche

L'évolution technique va nourrir les recherches. D'après Perriault (1983), plusieurs orientations, allant au-delà de l'implantation en machine de programmes skinnériens et crowdériens, se dessinent. L'ordinateur sert à autre chose qu'à *saucissonner* un cours.

Se préoccupant de plus en plus de l'apprenant, l'intérêt des chercheurs pour le diagnostic des erreurs se manifeste. Le plus souvent, le contrôle des résultats de l'élève reste faible de par l'insuffisance des tests sur son comportement, la parcimonie des moyens qui lui sont accordés pour s'exprimer et le fait que la coïncidence de sa réponse et de la réponse canonique ne prouve en rien qu'il a compris.

Pour dépasser le protocole rudimentaire de l'enseignement programmé qui fournit une réponse préconstruite, l'ordinateur doit repérer la démarche de l'élève et construire un raisonnement de référence. A la suite de Landa, de nombreux chercheurs veulent développer une analyse fine de procédures de résolution de problèmes : Feurzeig et Papert avec LOGO (que nous détaillerons au chapitre 4), Gagné et la classification des apprentissages... Dans la perspective EAO, l'ordinateur sert à la fois à expliciter le processus d'instruction et à le guider (Stolurow, 1969). Il est donc un catalyseur dans le processus de formalisation et un mécanisme pour tester la validité des conceptions. L'idée est non seulement d'utiliser la large capacité de stockage et les modes souples de présentation de l'ordinateur, mais aussi de contrôler et d'enregistrer le processus de résolution adopté par le sujet. L'ordinateur se révèle un outil indispensable pour l'étude des situations de résolution de problèmes (Hartley et Sleeman, 1969²⁴). D'une certaine façon, l'ordinateur enseigne à l'élève mais il renseigne aussi sur l'élève.

24. Suppes (1988) rappelle qu'il défendait cette idée dès 1966.

Le traitement automatique de la langue apparaît comme une priorité pour assurer un dialogue plus souple et plus complet avec l'apprenant. La méthode socratique, basée sur un questionnement habile faisant surgir une connaissance innée, est souvent invoquée. Elle va jouer un rôle important en EIAO.

Pour l'organisation des notions à enseigner, on a recours à la théorie des graphes. Régnier et de Montmollin (Bresson et de Montmollin op.cit.) proposent de séparer l'organisation logique de la matière à enseigner et les modalités de présentation. Le problème revient à déterminer un chemin hamiltonien, c'est-à-dire un chemin passant une fois et une seule par tous les sommets du graphe. Demarne (1969) propose l'écriture de programmes en « dents de scie ». Son idée est de laisser une large initiative d'interrogation à l'apprenant, en différenciant les concepts d'enseignement qu'il devra tous apprendre et les concepts de documentation dont il pourra librement prendre connaissance. Il imagine la mise en parallèle de plusieurs programmes en dents de scie ayant en commun des concepts importants et développe l'idée de spatialisation des concepts d'enseignement. Récupérer les chemins empruntés par les étudiants présente un intérêt de recherche indubitable pour travailler sur les stratégies d'enseignement à partir des graphes de progression. Des modèles stochastiques sont aussi développés (Suppes 1988 ; Richard et Rouanet dans Bresson et de Montmollin, op.cit.) ainsi que des langages de description de connaissances.

Ces différents axes soulignent la nécessité de développer des recherches fondamentales ainsi que l'attente d'outils performants pour la mise en œuvre et la validation. En fait, comme le souligne Hansen (1969), l'EAO effectue une transition entre la création de matériel et de langages pour l'implémentation et l'examen plus fondamental des caractéristiques des stratégies d'enseignement optimales (présentations d'informations adaptées aux besoins courants d'un apprenant dans le but d'optimiser un ensemble de critères). On retrouve d'ailleurs deux approches, l'une qualifiée de naturelle qui se penche sur les modes d'intégration et de complémentarité avec les formations usuelles, l'autre qualifiée de systématique qui s'attache à tenter de répondre à des questions générales (quel est le médium approprié pour la présentation d'un concept donné, ou quelles sont les caractéristiques d'une analyse de réponse pour promouvoir les objectifs d'apprentissage spécifiés...).

Le modèle général des systèmes adaptatifs, initié au début des années soixante, va servir de référence.

2.4.2.2. *Les systèmes adaptatifs*

Un système adaptatif se caractérise, d'après Gordon Pask (1969), par une interaction individuelle entre l'élève et un mécanisme qui mesure et décrit la performance de l'élève et qui utilise la description ainsi obtenue pour prescrire ou modifier une stratégie d'apprentissage.

Les travaux de Pask sont tout à fait originaux. Dès 1960, Pask propose une machine (SAKI) dans laquelle l'ajustement des situations repose sur une mesure élaborée à partir de l'ensemble des comportements manifestés par l'élève (avec grand succès d'après Depover, *op.cit.*, p. 25). En effet, les branchements réalisés à partir de conditions multiples réclament un lourd appareillage et l'orientation s'opère souvent en tenant compte uniquement de la dernière réponse. Le traitement proposé par Pask revient à disposer d'un modèle élève, c'est-à-dire d'un ensemble d'informations constituant une image fidèle de l'état de connaissance de l'apprenant. La comparaison de cet ensemble à un ensemble de référence permet de décider de continuer le programme en cours ou d'en utiliser un autre (Lewis et Pask, 1965²⁵). Signalons que les machines adaptatives de Pask s'adaptent aux besoins individuels du sujet et peuvent aussi servir à un enseignement collectif. A la fin des années soixante, Pask (1970) développe des théories de l'apprentissage et de l'enseignement basées sur les principes des *systèmes conversationnels*.

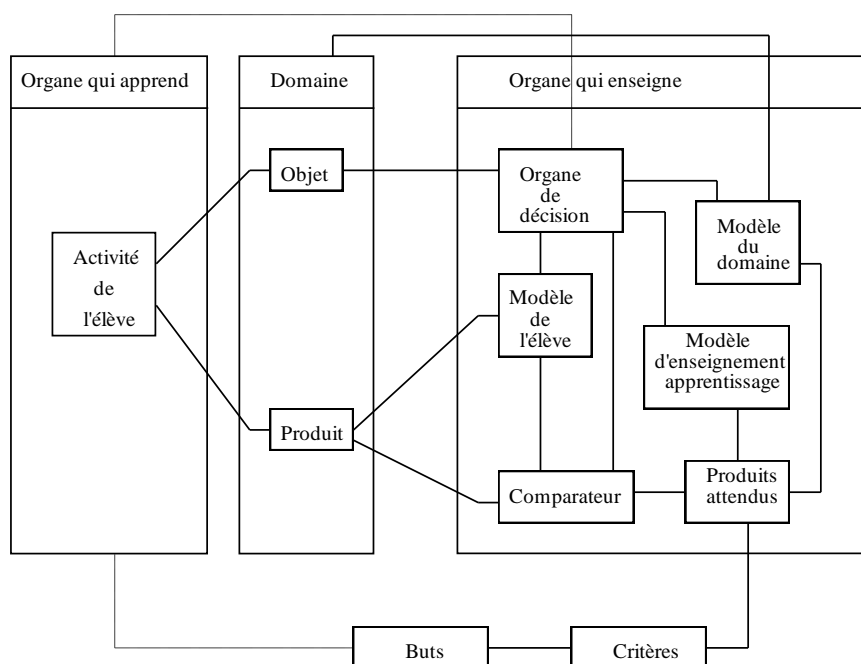


Figure 2.5. Composantes d'un système adaptatif (d'après Depover, *op.cit.*, p. 40)

25. Pour eux, une machine qu'ils qualifient de maximale adaptative, doit pouvoir pour un sujet donné disposer de plusieurs programmes d'enseignement, utiliser les performances passées de l'élève en incluant ses compétences ou des mesures de personnalité et pouvoir changer de programme durant le cours de l'instruction.

La figure 2.5 donne un modèle idéalisé des différentes composantes d'un système adaptatif, constituant le modèle des meilleures réalisations en EAO. Devoir noter que pour juger de l'efficacité d'un tel système, il faut tenir compte non seulement du niveau de performance associé à chacun de ses organes, mais également de la cohérence globale de ses composants.

Le modèle précédent, bien qu'il ne constitue qu'un cadre de description d'une machine adaptative et non un guide pour l'implémentation, va servir de référence pour les applications les plus classiques de l'ordinateur à l'enseignement situées dans le prolongement des réalisations de l'enseignement programmé. Si les premiers programmes étaient des tourne-pages ou des « exercices » (*drill and practice*), s'agissant de construire des programmes d'enseignement incorporant des cours bien structurés en leçons d'une façon optimale pour chaque étudiant, il fallait pouvoir s'adapter à l'élève. La création de tels cours, dans lesquels l'analyse de réponse a un rôle prépondérant, nécessitait des compétences techniques non négligeables. Afin d'éviter au professeur de faire la programmation du cours²⁶, des langages de cours ont été conçus. Leur succès est pour le moins mitigé.

2.4.2.3. Les langages de cours

Un des grands écueils est celui de la production de ressources d'enseignement suivant une méthode ou une autre. Ainsi, dès 1966, Freinet (op.cit., p. 26) rapporte les propos de Robert Glaser : « Le fait qu'il est difficile et ingrat d'élaborer un programme et de réunir les documents, alors qu'il est beaucoup plus facile de construire la carrosserie qu'on met autour, est amplement prouvé par la constatation que le nombre de machines dépasse aujourd'hui largement le nombre des programmes d'enseignement. *Nous avons les coquilles, mais pas les escargots* ».

Dix ans plus tard, Daniel Kayser (1975) fait un constat similaire. Il recense plus de cinquante langages d'écriture de cours, adaptés à une stratégie d'enseignement tutorielle, la plupart n'étant employés que dans le centre qui les a conçus et nécessitant de coûteux transcodages pour être repris dans un autre centre. Il constate aussi le déclin de la stratégie tutorielle entraînant celui de langage de cours. Les caractéristiques générales des langages de cours sont : présentation des textes et des questions, traitements des réponses et choix de la question suivante. Dans certains systèmes, on inclut la gestion d'informations concernant l'étudiant, des commandes accessibles aux étudiants (information supplémentaire, branchement vers une autre partie du cours), la possibilité d'effectuer des calculs et la fabrication d'exercices et

26. Les langages auteurs ne permettent pas vraiment plus de choses qu'un langage de programmation traditionnel. Ils ne fournissent aucune base théorique pour l'EAO, mais donnent un environnement pour définir les affichages écrans et les interactions. Ils simplifient certainement la conception, mais la rigidifient fortement, adoptant le plus souvent une vision plutôt technique (ou commerciale) du problème.

de leur solution (dans le cadre de l'enseignement *génératif* que nous détaillons un peu plus loin).

Durant les années soixante-dix des projets de grande envergure ont été lancés : PLATO (*Programmed Logic for Automatic Teaching Operation*), TICCIT (*Time-shared Interactive Computer Controlled Information*) pour les Etats-Unis, DIANE en France, etc. Nous laisserons de côté ces tentatives dont les résultats sont très controversés.

2.4.2. Classification des utilisations

Au début des années soixante-dix, l'ordinateur commence à être utilisé, hors des laboratoires de recherche²⁷, dans des contextes très divers. La richesse des possibilités amène une grande variété d'usages, ouvrant des perspectives de recherche plus larges. Pour fixer les idées, on peut brièvement reprendre une classification effectuée par le Laboratoire de pédagogie informatique du ministère de l'Education du Québec (LPI, 1973). Cette classification est basée sur trois grandes classes d'usage : instrument de laboratoire (outil sur lequel ou avec lequel l'utilisateur peut expérimenter), instrument de gestion pédagogique (qui participe à la gestion de l'enseignement), instrument d'enseignement.

En tant qu'*instrument de laboratoire*, l'accent est mis sur l'activité de l'élève dans le processus d'apprentissage et sur le contact direct avec les phénomènes étudiés. Pour l'élève, il s'agit de découvrir plutôt que d'assimiler, on met moins l'accent sur le contenu à apprendre que sur la façon de l'apprendre et sur le développement de mécanismes intellectuels transférables à d'autres types d'apprentissage. L'ordinateur est considéré comme un :

- *appareil électronique*, dispositif physique sur lequel on peut expérimenter, favorisant un apprentissage par essais et erreurs, par manipulation, sans risque d'endommager un système complexe et coûteux ;

- *calculateur*, machine à calculer avec exécution de programmes pouvant effectuer des opérations complexes. Les principaux avantages sont d'offrir un premier contact avec l'ordinateur sans être rebuté par un langage complexe, de permettre de se concentrer sur les phénomènes étudiés plus que sur les calculs à effectuer et d'éviter de faire des calculs laborieux éloignant l'attention des problèmes véritables ;

- *automate*, la programmation est recherchée pour elle-même dans le but de l'apprentissage de l'informatique ou l'acquisition de compétences intellectuelles. Dans ce dernier cas, les auteurs soulignent que cette ligne de pensée est en accord avec les recherches contemporaines en didactique et les théories pédagogiques auxquelles sont associées des noms comme Dewey, Decroly, Claparède, Montessori.

27. Pour un historique en France, consulter Baron (1989).

Une initiative complète est laissée à l'apprenant. Par rapport au cas du calculateur, une distinction est opérée pour ce qui concerne l'objectif : le résultat est plus important que la démarche dans le mode calculateur, alors que la démarche est plus importante que le résultat lui-même dans le mode automate ;

– *simulateur*, permettant de reproduire un phénomène sur lequel l'étudiant peut expérimenter de façon dynamique. L'initiative est laissée à l'étudiant (pas de contrôle) et il est possible d'aborder des expériences autrement non réalisables (réacteur nucléaire par exemple) ;

– *instrument de recherche pédagogique*, pour le développement et la validation de matériel pédagogique, recherche sur les théories de l'apprentissage et de la communication du savoir. L'idée est de minimiser le temps de préparation d'un matériel pédagogique.

L'ordinateur conçu comme instrument de laboratoire est un objet utilisable par tous, à divers degrés, indépendamment des théories de l'apprentissage auxquelles on adhère, ou des méthodologies que l'on préconise (LPI, op.cit., p. 46). « Cependant, l'absence quasi totale d'expériences contrôlées à caractère scientifique, qui viendraient appuyer les affirmations parfois étonnamment optimistes des promoteurs et des utilisateurs de ces systèmes, ne permet pas toujours de se faire une idée juste de leur valeur réelle sur le plan pédagogique. Ceci est particulièrement regrettable pour les domaines où des coûts considérables pourraient être encourus par une généralisation des applications ». Dans certains cas, cependant, il n'est pas possible de comparer l'utilisation de l'ordinateur à d'autres techniques puisque celui-ci y joue un rôle original qu'aucune personne ou qu'aucune autre machine ne pourrait jouer. Cet aspect de l'utilisation de l'ordinateur va petit à petit prendre une importance considérable. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

En tant qu'*instrument de gestion pédagogique*, l'ordinateur intervient, dans une approche systémique, comme élément de solution à des problèmes pédagogiques dans un contexte global. Son rôle est celui de gestionnaire des ressources pédagogiques. D'après les auteurs, les applications de ce type sont mûres sur le plan technologique, et peuvent s'insérer dans le contexte d'enseignement. Ils distinguent : *banques d'information*, *évaluation* et *gestion de cheminement*. Cette dernière catégorie correspond à la gestion d'un ensemble de ressources mises à disposition de l'étudiant et à la gestion de la démarche de l'étudiant dans l'atteinte des objectifs qu'il poursuit. Cette démarche est à la fois plus économique que l'EAO et souvent jugée moins laborieuse.

En tant qu'*instrument d'enseignement*, trois catégories essentielles sont distinguées :

– *exercices répétés (drill and practice)*, présenter un grand nombre d'exercices dans le but de faire acquérir une compétence particulière. Les caractéristiques en sont la répétition, la connaissance immédiate des résultats et l'analyse des erreurs.

Un ensemble de tels exercices peut s'intégrer à un enseignement génératif (à l'exemple des programmes de Suppes, présentés dans la section suivante) ;

– *enseignement de type tutoriel*, fondé sur le double aspect d'individualisation, rythme de progression de l'étudiant au travers du cours et méthode de construction de cours développée pour l'enseignement programmé. On peut raffiner à l'extrême et il existe un très grand nombre de variables possibles. Pour les auteurs, cela explique pourquoi les systèmes d'enseignement tutoriel qui veulent tenir compte de l'ensemble de ces variables restent encore aujourd'hui au stade expérimental. Pour eux, les systèmes exploités sont beaucoup plus simples et la simplicité de certains cours de ce type est même parfois navrante (des « tourne-pages »). La planification d'un cours donné par ordinateur est comparable en termes de temps et d'efforts requis à l'élaboration d'un scénario de film pédagogique ;

– *enseignement de type non-directif*, dans lequel la possibilité est donnée à l'étudiant de dialoguer avec la machine. Le facteur limitant est ici celui du dialogue en langage naturel.

Sur l'utilisation particulière de l'ordinateur comme instrument d'enseignement, d'autres classifications sont classiquement proposées, mais elles n'apportent pas d'éclairage très différent. Signalons toutefois celle d'Entelek (1968), limitée à cinq grandes classes : *Tutoriel* (linéaire, intrinsèque, adaptatif), *Résolution de problèmes*, *Socratique*, *Laboratoire* (simulation) et *Jeux*.

Alors que les machines à enseigner étaient des dispositifs dédiés, privilégiant des formes particulières d'enseignement avec des stratégies souvent spécifiques à chacune d'elles, l'ordinateur trouve sa place dans de multiples cadres, les applications les plus proches de l'enseignement programmé n'en constituant qu'une petite partie. Cependant, les applications en grandeur réelle de l'ordinateur en tant qu'instrument d'enseignement restent encore pauvres et utilisent peu ses énormes potentialités. Les programmes génératifs, précurseurs des tuteurs intelligents, occupent cependant une place à part.

2.4.3. Les programmes génératifs

Dans une vision technique, Gable et Page (1980) proposent de reconstruire l'évolution des machines à enseigner en quatre étapes :

- les programmes linéaires (Pressey, Skinner),
- les *programmes à branchement* (Crowder), la décision de branchement n'étant effectuée que sur la base d'une seule question (ou un seul groupe de question), tout devant être prévu à l'avance,
- les *programmes adaptatifs* pour lesquels le branchement s'effectue sur la base d'un historique des réponses de l'étudiant,

– les *programmes génératifs* qui utilisent des algorithmes pour générer problèmes et réponses. De tels systèmes ont la potentialité de « comprendre » le matériel enseigné.

Les programmes génératifs sont considérés par Sleeman et Brown (1982, p. 1) comme les précurseurs des tuteurs intelligents. Ils rangent dans cette catégorie les travaux de Uhr (1969)²⁸ concernant l'arithmétique et les divers systèmes fournissant des *exercices*, capables de choisir des problèmes d'une difficulté adaptée à la performance globale d'un élève comme celui développé à Stanford par Suppes ou celui développé à Leeds par Woods et Hartley. Eu égard à la simplicité des domaines abordés, un modèle de l'apprenant basé sur la sommation de ses comportements était suffisamment robuste pour que cela fonctionne effectivement dans des applications éducatives réelles. Il n'y a en fait pas de frontière réelle entre les systèmes génératifs et les tuteurs intelligents. Ces derniers étendent le domaine d'application, la puissance et la précision de ces systèmes adaptatifs.

Les systèmes génératifs sont associés à des domaines liés à des compétences en résolution de problèmes. Ces compétences s'acquièrent essentiellement par un processus d'apprentissage par l'action. Il faut disposer d'un grand nombre de problèmes et il devient trop coûteux de programmer à l'avance une solution à chaque nouveau problème, d'où la nécessité d'un programme génératif. Le programme de Koffman (1972) destiné à l'apprentissage de concepts sur les ordinateurs digitaux est à la fois adaptatif, puisqu'il inclut un algorithme de sélection du concept à enseigner permettant une individualisation du parcours d'un élève au travers d'un arbre de concepts, et génératif, puisqu'il peut être utilisé comme résolveur et s'adapte dynamiquement au niveau de connaissances de l'élève.

Les travaux de Suppes sont particulièrement intéressants parce qu'ils ont conduit à des expérimentations à grande échelle. Jamison *et al.* (1972) rendent compte d'une expérience impliquant 6 000 étudiants répartis dans quinze écoles élémentaires de la ville de New York. Une étude a été menée sur la quantité de matière assimilée par deux groupes d'élèves, le groupe A suivant un enseignement traditionnel suivi d'exercices répétés au terminal, le groupe B ne suivant que l'enseignement traditionnel. D'après les auteurs, les résultats obtenus, résumés dans le tableau suivant, montrent le gain obtenu grâce à l'utilisation des terminaux.

28. D'après Uhr (1969), dynamiquement, en fonction des succès et des échecs de l'apprenant, son programme génère des conseils appropriés, décide de rendre le problème suivant plus facile ou plus difficile, génère le problème suivant, le propose à l'apprenant, calcule la réponse à ce problème et la compare à celle de l'apprenant.

Groupe	Meilleur des cas	Cas médian	Pire des cas
A	19,8	15,1	8,4
B	10,0	9,0	8,0
Différence	9,8	6,1	0,4

Estimation au bout de 9 mois (Jamison *et al.*, 1972)

Toutefois, en faisant le parallèle avec les différentes controverses sur l'étude des facteurs susceptibles de favoriser l'apprentissage, les expérimentations ayant conduit à des résultats divergents (Depover, *op.cit.*, p. 34), on reste un peu dubitatif face à ce genre de démonstration. Sans cadre théorique convaincant, les approches différentielles, dans des contextes dans lesquels un contrôle des variables est extrêmement délicat, sont sujettes à caution.

Siklóssy (1970) cherche à aller au-delà des programmes génératifs pour concevoir ce qu'il nomme des *tuteurs qui connaissent ce qu'ils enseignent*. Reprochant aux programmes d'EAO de rarement connaître ce qu'ils sont censés enseigner puisqu'ils s'avèrent incapables de répondre aux questions des apprenants, il décrit comment construire des tuteurs artificiels connaissant suffisamment leur sujet pour au moins répondre aux questions qui s'y rapportent. La figure 2.6 met en parallèle un système à branchement, un système génératif et un système qui connaît ce qu'il enseigne.

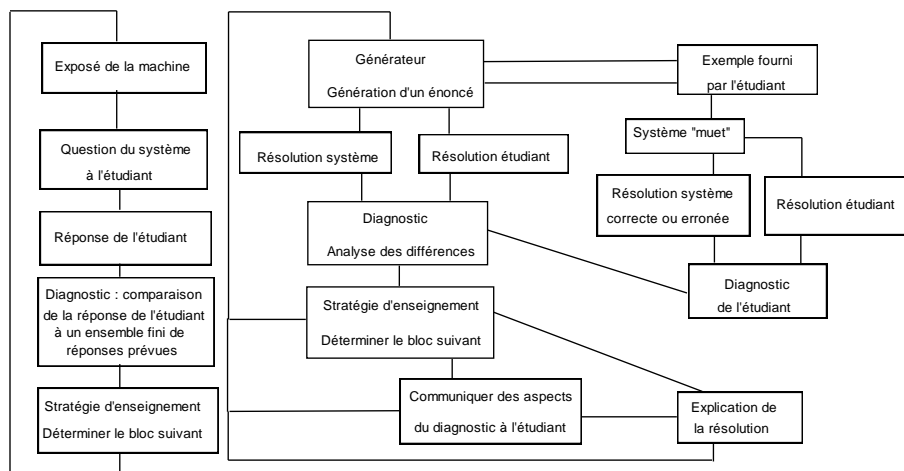


Figure 2.6. *Système à branchement/système génératif/ système qui connaît ce qu'il enseigne*

Siklóssy décrit rapidement les possibilités d'un tel tuteur artificiel et développe un exemple dans le domaine de l'enseignement de la théorie des ensembles. Il reconnaît qu'une des difficultés est la compréhension limitée du programme de diagnostic, notamment le traitement de la langue naturelle. Le cœur du programme tutoriel *qui connaît ce qu'il enseigne* est le module de résolution. Il peut résoudre des problèmes posés par l'élève et expliquer (nous verrons dans le chapitre suivant les contraintes d'explication) comment il les résout et ainsi enseigner ses propres méthodes à l'élève. Ce type de programme induit deux directions de recherche, l'écriture de solveur et l'amélioration des possibilités de diagnostic, conçues plutôt comme l'extension des possibilités de dialogue par la compréhension du langage naturel. Une distinction s'opère entre le langage d'expression des connaissances du domaine et ce qui correspond au dialogue et à l'interaction. Le premier peut être très contraint et proche des formules, ce qui privilégie des domaines mathématiques particuliers comme la logique, l'algèbre, etc. Par contre, un autre langage s'avère nécessaire pour discuter avec l'élève sur la tâche en cours.

La direction de recherche amorcée par la conception de programmes génératifs, puis, selon la terminologie de Siklóssy, de programmes connaissant ce qu'ils enseignent, va prendre un essor important avec l'apport des techniques issues de l'intelligence artificielle.

2.5. Perspectives

Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, deux grands courants scientifiques sont à l'origine de l'enseignement programmé : la psychologie du comportement et la cybernétique. Si diverses machines à enseigner peuvent être considérées comme des précurseurs, la notion-clé qui s'impose est celle de programme et, des machines, on passe aux techniques de programmation. L'apport de Skinner consacre l'union des psychologues et des pédagogues, avec la mise en œuvre systématique d'une théorie de l'apprentissage reposant sur des machines, dont la fonction consiste à contrôler les variables d'apprentissage afin d'améliorer l'efficacité du processus d'enseignement.

Sous l'impulsion de la cybernétique et de la psychologie behavioriste, s'implante peu à peu une technologie de l'enseignement, c'est-à-dire la mise en œuvre des méthodes scientifiques et des connaissances sur les processus d'enseignement et d'apprentissage en vue d'atteindre des buts éducatifs précis et contrôlables. En suivant Skinner, comme toute action éducative vise un objectif, autant le formuler et l'analyser en observables. S'appuyant sur les lois bien définies de l'apprentissage, la didactique est alors capable de fixer les moyens garantissant l'atteinte de ces buts. Un consensus s'établit sur l'idée qu'il est possible et souhaitable d'exprimer les objectifs pédagogiques en termes de comportement. En effet, comme le souligne d'Hainaut (1969), « cette attitude repose sur la conviction que toute amélioration de

l'activité intelligente de l'élève, même si elle est interne, doit, pour avoir une valeur pédagogique, conduire à des modifications dans son activité observable. » Toutefois, il ajoute que : « A moins d'être marchand d'illusions, il paraît difficile de refuser ce principe mais on peut mettre en doute son opportunité car cette attitude impose d'analyser assez finement l'activité intelligente de l'élève pour pouvoir prévoir et imaginer les circonstances où elle pourra se manifester. »

En reprenant le schéma général de rétroaction, s'il est possible de mesurer les comportements manifestés par l'élève (ou tout au moins certains d'entre eux) et de les comparer aux comportements souhaités, aucune loi d'apprentissage ne garantit l'efficacité d'une action susceptible de modifier en profondeur ce comportement. Les premières théories, issues de la cybernétique, se sont révélées fausses et les théories basées sur la psychologie du comportement sont controversées. Pour aller plus loin, il est important d'une part de mieux étudier l'activité de l'élève, de se donner les moyens de l'observer et de la comprendre pour être à même de la guider, et d'autre part d'élaborer et d'expérimenter d'autres théories de l'apprentissage.

Les théories et les méthodes de l'enseignement programmé n'apparaissent plus suffisantes. L'impact dans les classes est très discutable, loin des discours enthousiastes des promoteurs²⁹. Les théories de psychologie du comportement sont fortement mises en doute et les chercheurs prennent conscience de l'ampleur et de la complexité du problème de la programmation de l'enseignement. Quant à la cybernétique, si elle a eu une certaine influence en Europe, moins aux États-Unis, du moins jusqu'au milieu des années soixante, elle pouvait fournir des concepts généraux et des méthodes de recherche, non des modèles pour réaliser effectivement des machines à enseigner. L'intelligence artificielle va, d'une certaine manière, la remplacer.

L'arrivée de l'ordinateur amène des transformations très profondes. Si, dans le cadre strict de l'enseignement programmé, la machine n'est qu'un support, une technologie dédiée à des seules fins éducatives, une mise en pratique de théories, l'ordinateur ne peut pas être confiné dans de si étroites limites. Servir comme auxiliaire d'éducation n'est qu'un usage parmi d'autres de cette nouvelle machine, qui, peu à peu, s'introduit dans les bureaux et les ateliers. Ses performances sont impressionnantes et elle devient l'instrument indispensable du chercheur, pour tester et diffuser ses théories, parfois même pour les lui suggérer.

Deux grands courants vont s'affirmer, conduisant d'un côté aux tuteurs intelligents et de l'autre aux micromondes. Le premier poursuit le mouvement de la programmation de l'enseignement, en essayant de tirer parti au mieux de cette machine adaptative qu'est l'ordinateur. Grâce aux techniques d'intelligence

²⁹ Ce qui est, il faut en convenir, tout à fait classique pour les technologies éducatives (Cuban, 1986 ; Saettler, op.cit. ; Baron et Bruillard, 1996).

artificielle, il est possible de doter les machines de connaissances et de certaines capacités à les utiliser. Les écueils dus à la rigidité des programmes (questions et réponses préenregistrées), à la représentation de l'élève trop rudimentaire et à la représentation de la matière, beaucoup trop atomisée pour donner lieu à des stratégies réellement adaptatives, doivent pouvoir être évités. Le second courant s'écarte de l'idée consistant à faire de l'ordinateur un *super-enseignant*, en essayant de le promouvoir comme moyen d'expression et d'expérimentation pour les élèves. L'un des débats qui apparaît est celui de la nature même de la connaissance. Les différentes conceptions qu'en ont les chercheurs orientent fortement leur choix vis-à-vis du rôle à confier aux machines dans l'apprentissage. Dans ces deux courants, l'influence des théories piagétienne conduit à rechercher les conditions d'une participation active de l'élève. Il ne suffit plus de tourner des pages ou de manœuvrer les boutons d'une machine. Il faut confier à l'apprenant des tâches de recherche et de création ou, au moins, lui accorder une plus grande marge d'initiative.

Bien que nous n'en n'ayons pas parlé, une des choses maintes fois soulignées dans les applications scolaires de l'enseignement programmé est celui du *changement de rôle des enseignants*. L'apport des machines à enseigner induit d'autres formes de travail et des changements fonctionnels dans l'activité du maître. La pédagogie elle-même est susceptible d'être modifiée et l'une des critiques de Freinet, vis-à-vis du courant behavioriste, est de vouloir prendre la pédagogie telle qu'elle est, sans en changer les principes.

De nombreux chercheurs ont insisté sur la nécessaire évolution du rôle des enseignants. Ainsi, comme le proclame par exemple Coulson (1965), avec l'aide des dispositifs d'auto-apprentissage, le travail des enseignants ne va plus consister dans la présentation des informations et l'entraînement des étudiants, mais leur temps sera davantage consacré au diagnostic des problèmes d'apprentissage individuels, à la remédiation par des interactions individuelles avec les élèves et la conduite de discussions de groupe. Il devra coordonner l'utilisation des matériels et médias d'enseignement à sa disposition et décider quelle procédure sera la plus pertinente pour des apprenants selon leurs propres besoins.

Si l'éducation doit s'appuyer sur les résultats de la science, l'enseignant se doit de devenir un professionnel, connaissant ces résultats, apte à les appliquer dans le cadre son travail et capable de maîtriser et de coordonner les dispositifs technologiques susceptibles de l'assister. On parlerait maintenant du métier d'enseignant, néanmoins, cet aspect professionnel n'apparaît que fort peu dans les textes traitant de l'enseignement programmé. Le texte de Landa ci-après va pourtant largement dans ce sens.

« En aucun cas les moyens cybernétiques d'enseignement ne pourront remplacer le maître ; seule la fonction de celui-ci sera changée. Il sera libéré du travail peu productif et souvent peu qualifié qui exige actuellement beaucoup de temps et de

nombreux efforts et laisse peu de temps pour réaliser avec les élèves un travail personnalisé et soigné, alors que c'est précisément cet aspect de l'activité pédagogique qui est le plus important tant pour le développement de l'individualité, que pour celui des aptitudes et des talents. Le maître continuera à être le guide de l'enseignement et son rôle n'en sera que plus important. Il devra savoir comment résoudre des problèmes méthodologiques complexes et approfondira la psychologie de l'enseignement et celle de l'élève ; il devra savoir comment analyser les causes de déficience dans l'apprentissage chez chacun de ses élèves et modifier la stratégie de son enseignement d'après la situation conjoncturelle. Tout cela suppose la réorganisation du système de formation des maîtres, l'exigence de leur formation étant accrue. » (Landa, 1972).

Vingt-cinq ans plus tard, force est de constater que ce texte garde une certaine actualité.