

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

Chapitre 1

Introduction

1.1. Une histoire des courants de pensée en informatique et éducation

Cet ouvrage traite des applications de l'informatique à l'éducation. Il s'attache à retracer l'évolution des idées dans ce domaine, tout au moins des grands courants de recherche, depuis les machines à enseigner incorporant un programme jusqu'aux divers instruments pour apprendre des années quatre-vingt-dix.

Pourquoi tenter une telle analyse à caractère historique ? Les rapports entre l'informatique et l'éducation sont complexes et s'inscrivent dans des dynamiques souvent floues. Ces deux champs évoluent de manière indépendante et leurs problématiques communes se modifient autant par leurs productions conjointes que par leurs évolutions respectives autonomes. L'extrême rapidité du développement de l'informatique amène des changements parfois importants dans les conceptions des modes d'usage des ordinateurs dans l'éducation, qui risquent de masquer, par des effets de surface, la continuité ou la résurgence périodique de grands courants de pensée. Derrière les vagues technologiques successives, il semble possible de discerner certaines constantes et différentes nouveautés dans les actions de recherche et de développement concernant le domaine éducatif. L'ambition de ce livre est de faire émerger leurs lignes directrices et leurs hypothèses fondatrices.

Le domaine qui nous intéresse est celui de l'EIAO, *Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur* dans les années quatre-vingt et *Environnement Interactif d'Apprentissage avec Ordinateur* (Baron et al. 1991) depuis le début des années quatre-vingt-dix. Partant de la cybernétique et de l'enseignement programmé, incorporant des idées et des techniques issues des recherches en intelligence artificielle et du domaine des hypertextes, tirant parti des gros ordinateurs, des micro-ordinateurs et des réseaux, de multiples transformations ont balisé son évolution. Informatique, didactique, psychologie, ergonomie, sciences de l'éducation..., de multiples disciplines s'y rencontrent.

Sur quelles bases retracer cette évolution ? Chacune des disciplines précédemment citées pourrait reconstruire sa propre vision de l'histoire de l'EIAO : les théories psychologiques ou psychosociales successives sur l'apprentissage et l'enseignement, les lignées technologiques, la prise en compte progressive des connaissances et des processus d'enseignement du côté des didactiques, les modes d'usage dans les structures éducatives¹, etc. Nous allons essayer de rendre compte conjointement de ces divers éclairages, bien que le point de vue adopté ici soit avant tout celui d'un informaticien.

L'objectif de ce livre est de faire le point sur l'état de l'art à partir d'une analyse des grands courants de recherche et de leur évolution. Dans les applications présentées, celles qui concernent l'apprentissage des mathématiques sont privilégiées. Elles sont de loin les plus nombreuses, jalonnent l'évolution du champ et sont souvent très représentatives des idées ayant marqué l'histoire de l'informatique en éducation. Toutefois, il n'est pas question de se limiter aux mathématiques, les récents développements de l'informatique tendant à faire la part belle à d'autres domaines de connaissance, notamment les sciences humaines. Nous faisons également une place aux travaux français et francophones qui ont trop tendance à être négligés, voire ignorés des Anglo-Saxons, bien qu'ils soient inscrits dans des directions de recherche souvent pertinentes et originales.

1.2. Des interactions complexes entre plusieurs champs de recherche

Dans la suite de cette introduction, afin d'orienter le lecteur, nous allons ébaucher quelques problématiques générales qu'il retrouvera au fil de sa lecture. La première concerne les rapports entre l'éducation, la technologie et l'ensemble des sciences concernées par l'apprentissage humain. Elle s'accompagne de réflexions autour des théories de l'apprentissage et du statut des machines dans l'éducation. Ensuite, plusieurs grandes interrogations permettent de situer les débats qui ont jalonné l'histoire de l'informatique en éducation et qui suscitent toujours des controverses ; nous en retenons quatre. Enfin, nous décrivons l'organisation générale de ce livre.

1.2.1. *Quels rapports entre sciences, technologie, éducation ?*

Trois pôles principaux organisent les dynamiques de recherche en EIAO : les théories scientifiques sur l'éducation et l'apprentissage et leurs approches

1. Nous ne nous intéresserons pas aux usages scolaires réels (ou de formation au sens large), les problèmes d'intégration étant d'une autre nature. Le lecteur pourra se reporter à Baron et Bruillard (1996).

spécifiques, les machines et la technologie, les *philosophies* de l'éducation² dans leur vision globale fondée sur la pratique même de l'enseignement, voire le métier d'enseignant. S'agissant d'informatique en éducation, d'une certaine manière, on pourrait considérer l'éducation comme le domaine d'application, la technologie constituant un ensemble de moyens à son service, la science fondant leurs conceptions et leurs modes d'usage à des fins éducatives. Mais ces trois pôles sont rarement en phase. Les théories scientifiques, de par leur nature même, sont sujettes à controverse, à révision constante. Les philosophies de l'éducation proposent des principes généraux, tantôt intemporels, tantôt ancrés dans le présent et débouchant sur des guides pour l'action, pas toujours en concordance avec les résultats admis dans les différentes communautés scientifiques. Si l'introduction des méthodologies scientifiques est importante, est-il réellement possible de fonder les discours sur l'éducation à partir des résultats des expérimentations scientifiques ? De son côté, la technologie fournit des machines et des discours sur ce qu'elles sont susceptibles de faire, mais ne s'interroge pas sur leur utilité éducative. Comme nous l'avons déjà évoqué, il est peu de dire que les machines évoluent rapidement, une génération chassant rapidement la précédente sans palier véritablement stable.

Les problèmes d'apprentissage (et à un degré moindre d'enseignement) se retrouvent au cœur des interactions entre ces différents pôles. Certaines sciences jouent un rôle particulier. La cybernétique et l'intelligence artificielle, tout comme l'informatique, utilisent la technologie dans leur propre démarche tout en contribuant à son développement. Les didactiques et les sciences de l'éducation, quant à elles, sont concernées par les problèmes pratiques de l'éducation.

Les projets d'usage de l'informatique en éducation vont être portés par des communautés différentes suivant les moments : les psychologues pour l'enseignement programmé, les informaticiens pour les applications techniquement plus complexes ou suffisamment abouties pour être diffusées. De leur côté, les enseignants revendiquent souvent une meilleure prise en compte de leur point de vue et il est possible que les didacticiens puissent jouer un rôle majeur. L'objectif étant pour tous de comprendre et d'améliorer l'apprentissage humain, les théories de l'apprentissage sont au cœur des débats.

1.2.2. *Quelle(s) théorie(s) de l'apprentissage ?*

D'après Shuell (1992), si un modèle d'apprentissage implicite réside dans chaque système informatique conçu pour l'enseignement, son application est souvent inconsciente et prend peu en compte la variété des situations. Il semble plus fondé sur des opinions ou des croyances philosophiques que sur des corpus importants de

2. Le terme de « philosophie » est utilisé ici dans un sens très général, correspondant aussi bien aux idées développées par des chercheurs que les conceptions des divers praticiens de l'éducation.

recherche psychologique. Dans le même ordre d'idée, Goodyear (1991, p. 19) remarque que les règles d'enseignement adoptées sont souvent conformes aux théories plutôt fragmentaires et informelles des concepteurs mais en aucun cas dérivables de ces théories. Même si ce constat paraît sévère, il témoigne d'une difficulté réelle d'incorporer les théories de l'apprentissage et de l'enseignement dans les systèmes informatiques à finalité éducative.

En fait, il semble qu'il n'existe aucune théorie effective, apte à être opérationnelle dans un système informatique, sur la façon dont les humains apprennent et il est peu vraisemblable qu'une telle théorie puisse émerger rapidement. On ne dispose que de bribes de théories, difficilement conciliables (voir par exemple, Winnans *et al.*, 1988). Dans un pamphlet paru en 1970, Ted Nelson (1987, DM p. 126), en réaction contre l'enseignement programmé, adopte une position radicale, considérant que ce que l'on appelle en général « théorie de l'apprentissage » n'est « qu'une description extrêmement technique, orientée vers les mathématiques, d'un comportement d'un organisme abstrait et idéalisé apprenant des choses non unifiées suivant des conditions spécifiques de motivation et d'absence de distraction ». Pour lui, une telle théorie est aussi pertinente que peuvent l'être les équations de Newton pour faire un bon coup au billard, implicite mais sans portée pratique. A défaut de théorie globale, la question qui se pose est de savoir si l'on dispose de principes psychologiques suffisants pour concevoir les systèmes informatiques pour l'apprentissage.

Sur cette question, Sandberg et Barnard (1993) ont mené des interviews de chercheurs renommés dans le domaine de l'EIAO. Leur première interrogation avait trait à la position théorique sur l'apprentissage et la cognition. A partir des réponses obtenues, ils ont séparé les chercheurs en trois catégories :

- les individualistes (Anderson, Ohlsson, Elshout et Van Lehn) se centrent sur l'individu, vu comme étant le cœur du problème, indépendamment de l'environnement,
- les contextualistes (Collins, Schank, Pontecorvo) considèrent que l'apprenant est avant tout immergé dans un environnement plus large,
- les éclectiques (Merrill, Woolf, Vivet) soutiennent successivement ces deux points de vue, suivant les circonstances.

Les individualistes sont concernés par les questions fondamentales sur la nature de la cognition. Les contextualistes sont intéressés par la cognition dans un sens plus étendu et dans ses rapports à un contexte plus large. Les éclectiques recherchent des outils et des théories susceptibles de les aider à développer de bons systèmes, utiles pour l'éducation. C'est notamment le cas de Beverly Woolf, qui ne se satisfait pas d'un seul modèle et en considère plusieurs, dans une vision d'essence pragmatique : constructiviste pour l'apprentissage des concepts, situé pour l'apprentissage des savoir-faire et behavioriste pour l'apprentissage des classifications.

Ainsi, concernant les productions informatiques destinées à l'éducation, les théories de l'apprentissage amènent des éclairages souvent très pertinents (elles devraient en principe être au cœur de la conception), mais elles ne fournissent pas de cadre global suffisant pour assurer des fondations solides. Notons qu'un tel constat n'a rien d'étonnant et il apparaît tout aussi délicat de respecter un trop vaste ensemble de règles ergonomiques pour la conception de l'interface d'un système³, les méthodologies pour effectuer les meilleurs choix restent encore largement à déterminer. La position qualifiée précédemment d'éclectique est la plus couramment adoptée dès qu'il s'agit de concevoir des systèmes effectivement opérationnels.

Des oppositions nettes apparaissent entre les implantations fondées sur des théories de l'apprentissage identifiées et celles associées à ce que l'on peut appeler des philosophies de l'éducation. Ces dernières, de par leur nature plus globale, trouvent en général un meilleur écho chez les enseignants. Elles sont d'ailleurs difficilement contestables, puisqu'elles demeurent peu explicites, laissent une grande marge de manœuvre aux acteurs et s'ouvrent rarement aux évaluations. Les premières s'appuient sur des résultats au moins partiellement attestés, mais dont la généralisation est souvent hasardeuse et les limites de validité difficilement perçues. Leur utilisation abusive (par exemple les théories de Skinner sur l'enseignement programmé) fait naître des controverses violentes et amène par contrecoup un rejet plutôt injuste, écartant en même temps leurs aspects fondés.

1.2.3. *Quel rôle et quel statut pour les machines ?*

Si l'usage de machines dans l'éducation est très ancien, la spécificité des dispositifs matériels qui nous intéressent ici est que leur fonctionnement est contrôlé par un programme. Dans un premier temps, des machines dédiées à l'enseignement sont construites. L'émergence de la notion de programme, la séparation entre la partie matérielle et la partie commande conduisent à privilégier les machines universelles que sont les ordinateurs. Si ces derniers apparaissent parfois comme de simples supports, des machines à enseigner particulièrement flexibles, réceptacles de théories générales sur l'apprentissage, ils deviennent rapidement des instruments de recherche, voire des modèles pour la construction de nouvelles théories. En effet, capable de simuler les autres machines, étant en quelque sorte une machine à construire des machines, l'ordinateur est un métamédium (Kay, 1984) ou une méta-technique (Albertini, 1983). Il ne se limite pas à être un simple moyen au service de certains objectifs pédagogiques ou une technologie éducative ; ses multiples usages dépassent largement l'éducation. Instrument de communication et de création, il offre des possibilités d'expression importantes et est susceptible de prendre de

3. « ... Il paraît impossible d'utiliser efficacement un ensemble de règles ergonomiques, aussi grand et précis soit-il, au sein d'un système automatique pour concevoir et développer une interface pour n'importe quelle tâche interactive et ce, sans perte de généralité. » (Vanderdonck et Bodart, 1994).

nombreux rôles : enseignant, partenaire, assistant, co-apprenant, console de jeux, simulateur, gestionnaire, etc. A certains égards, la dynamique de développement de la technologie et des diverses spécialités de l'informatique apparaît au moins aussi importante, si ce n'est plus, que la succession des théories de l'apprentissage, pour expliquer l'évolution des recherches en informatique et éducation.

1.2.4. Quatre points clés

Dans la mise en évidence des grands courants de pensée qui ont nourri les recherches en EIAO, diverses filiations et certaines controverses émergent. Quatre grandes idées sous-tendent les développements. Elles permettent de trouver des jalons dans le déroulement des recherches et éclairent les évolutions progressives des problématiques du domaine.

1.2.4.1. Améliorer l'adaptabilité des machines à enseigner

L'idée de construire la meilleure machine à enseigner possible domine les recherches en pédagogie cybernétique et en enseignement programmé. Un critère apparaît essentiel : la capacité d'adaptation d'une telle machine. Les premières techniques mises en œuvre se révèlent décevantes et l'apport de l'intelligence artificielle renouvelle ce paradigme, permettant d'envisager, dans un avenir plus ou moins proche, la réalisation du tuteur idéal, adaptable à tous les élèves et tous les contextes de formation. Mais cette adaptation n'est-elle pas soumise à des effets de seuil ?

Se pose en outre le problème du contrôle. Est-il uniquement entre les « mains » du système ou dans celles de l'apprenant ? Entre la machine et l'apprenant, comment se répartissent le travail et la responsabilité ? On va peu à peu découvrir de multiples possibilités d'adaptation comme le fait de jouer sur les modes de présentation (interfaces reconfigurables), sur le filtrage et la granularité des connaissances manipulées, sur le type de chemin à faire suivre à l'apprenant... Toutefois, les meilleures réalisations vont s'avérer d'une flexibilité notablement inférieure à celle d'un tuteur humain.

1.2.4.2. Fournir aux machines des capacités complètes ou partielles de résolution

Pour être véritablement adaptables, les machines doivent être capables de résoudre les problèmes posés à l'apprenant. Elles peuvent exercer une telle compétence non seulement dans un contexte de formation, mais aussi dans un cadre de travail, et deviennent des auxiliaires de résolution ou des prothèses. Il ne s'agit plus de résoudre sans ou à la place des machines mais plutôt de savoir comment résoudre avec les machines. On aboutit à un paradoxe de complétude : pour être adaptables, les machines doivent savoir résoudre tous les problèmes qui se posent, mais si elles résolvent ces problèmes, faut-il encore apprendre à les résoudre ? En

fait, s'il apparaît important de connaître ce que les machines sont susceptibles de faire, il est essentiel d'appréhender leurs limites. Le seuil d'incompétence des machines renseigne sur les compétences à développer chez les humains. La machine devient alors pour l'homme un partenaire et un amplificateur de sa propre pensée. Mais comment concilier les rôles de guide et de partenaire dans une situation d'apprentissage ?

Par ailleurs, que les machines s'avèrent aptes à résoudre certaines classes de problèmes n'est pas suffisant, il faut aussi qu'elles puissent apprendre, voire découvrir et inventer. Les recherches en intelligence artificielle s'attachent à donner des solutions à ces questions. Toutefois, au lieu d'être un guide ou un partenaire, la machine peut être un outil ou un instrument. Dans ce cas, il ne s'agit plus qu'elle soit apte à résoudre mais qu'elle aide l'homme à le faire. De nombreuses recherches en informatique, notamment autour des hypertextes, vont développer ce point de vue, conduisant à des visions de l'apprentissage sensiblement différentes.

1.2.4.3. *Comprendre le comportement de l'apprenant pour savoir ce qu'il connaît*

La capacité d'adaptation suppose une certaine connaissance de l'élève. On passe peu à peu de la simple analyse de la réponse ou du résultat à celle de la trace jusqu'à celle du processus même de résolution ou de recherche d'une solution. Cette trace, il est intéressant de la garder, de la regarder, de la représenter sous divers points de vue, de la modifier et de la traiter. On cherche ainsi à réifier la démarche de l'apprenant pour le comprendre ou lui donner les moyens de se comprendre et de modifier ses comportements et ses connaissances. Par-delà les difficultés techniques afférentes, jusqu'où est-il possible de modéliser l'apprenant et de travailler sur la base de ce modèle ? La difficulté à capturer et à représenter la connaissance individuelle de chaque élève conduit à se limiter à des domaines très procéduraux. La modélisation supposant une réduction, comment être sûr que cette dernière est valide et que des éléments déterminants n'ont pas été oubliés ? Les chercheurs sont rarement satisfaits des résultats obtenus et les débats successifs sur la pertinence des modèles élèves témoignent de la complexité du problème. Par ailleurs, même si l'on ne cherche pas à constituer un modèle de l'apprenant, ce dernier utilisant un ordinateur, il peut s'avérer important de s'intéresser à son comportement en tant qu'utilisateur, c'est-à-dire à la façon dont il se sert de la machine et interagit avec ses différents programmes. A défaut de modèle de l'apprenant, construire un modèle de l'utilisateur peut ainsi être utile.

1.2.4.4. *Quel statut pour la connaissance ?*

Derrière les trois points précédents affleure la question centrale du statut de la connaissance. Cette dernière est-elle une sorte de substance découpable en éléments que l'on peut distribuer individuellement, un liquide qui peut se transvaser ? Est-ce quelque chose de plus diffus qui n'a de sens que dans une communauté ? Le point de vue adopté conditionne les directions de recherche et les types de solutions

préconisées dans la réalisation des systèmes informatiques. Sans répondre directement à la question, la place prise par la dimension sociale de la connaissance s'est affirmée de plus en plus, ainsi que le rôle de la métaconnaissance. Si on considère la connaissance comme quelque chose d'éminemment collectif, une individualisation trop poussée ne sera pas spécialement.

Ce passage de l'aspect individuel au collectif a des déterminants multiples qu'il n'est pas facile d'élucider. En réaction vis-à-vis du modèle d'enseignement collectif dominant dans les organisations scolaires, l'enseignement programmé prône l'individualisation, largement défendue par de nombreux pédagogues. Cette revendication apparaît à la fois comme une contrainte vis-à-vis de l'utilisation des machines, mais parfaitement en phase avec les conceptions dominantes sur l'organisation du travail. Mettre l'individu au centre, c'est aussi parcelliser les tâches et ce modèle n'est pas si éloigné des principes du travail à la chaîne. Travailler à son propre rythme est un slogan sans doute pas totalement faux si tant est que l'on puisse réellement déterminer les caractéristiques d'un rythme individuel dans l'acquisition des connaissances. Si les psychologues s'intéressent à la construction sociale de l'intelligence et montrer l'intérêt de la confrontation entre pairs (Perret-Clermont, 1979 ; Doise et Mugny, 1981) et si le courant de l'apprentissage situé renforce le passage vers le coopératif, l'idée d'intelligence collective se développe largement hors du champ de la psychologie. Le monde de l'entreprise change, le travail en équipe est reconnu comme étant une nécessité. Aux performances purement individuelles se substitue l'organisation collective. Les modèles scientifiques évoluent eux aussi. L'intelligence artificielle distribuée, les sociétés d'agents prennent une place grandissante dans les recherches.

Mais l'évolution des performances des ordinateurs accompagne cette transition de l'individuel vers le coopératif. Dans un premier temps, le temps machine étant cher, le partage est la règle, le dispositif mono-usager étant trop onéreux. Plusieurs personnes occupent le système en même temps, ne connaissant l'existence des autres que par la dégradation des temps de réponse. La conscience sociale est en quelque sorte un dysfonctionnement. Par la suite, l'ordinateur devient personnel, bien que certaines ressources doivent être partagées, comme des bases de données, des logiciels, des périphériques. On conçoit alors un apprentissage avec l'ordinateur, très individuel, avec des sessions longues et silencieuses, incompatibles avec la construction sociale de l'élaboration du sens. L'essor des réseaux et la puissance accrue des machines permettent de dépasser un cadre individuel trop strict et de tirer parti du partage des ressources sans dégradation trop notable des performances individuelles des machines. Il devient possible d'avoir un parcours personnel dans des ressources accessibles à tous d'une manière rapide, pratique et uniforme. La classe en réseau fournit un dispositif pour l'évaluation entre pairs ; la perception de l'autre n'est plus à éviter, les échanges et les coopérations sont au contraire recherchées.

Les quatre grands points, que nous venons d'évoquer, ne seront pas traités un par un, mais reviendront de manière récurrente tout au long de cet ouvrage. Ils constituent une sorte de fil directeur afin de faciliter et d'orienter la lecture. Ils se retrouvent dans les différents chapitres qui structurent ce livre.

1.3. Architecture du livre

La figure 1.1 résume les étapes principales qui ont marqué l'histoire de l'informatique en éducation que nous allons détailler : le milieu des années cinquante et l'enseignement programmé puis l'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) ; l'apport des techniques d'intelligence artificielle (IA) au début des années soixante-dix, d'un côté dans le prolongement des recherches issues de l'enseignement programmé (EAO et IA) et, de l'autre, dans le développement de LOGO et des micromondes ; la poursuite des approches précédentes avec respectivement les tuteurs intelligents et les environnements d'apprentissage ouverts dans les années quatre-vingt, ainsi que l'émergence des outils généraux accompagnant la diffusion des micro-ordinateurs ; enfin les tentatives de synthèse dans les environnements interactifs contrôlés avec l'apport des techniques hypertextes et la diffusion du multimédia, jusqu'à l'explosion récente des réseaux comme Internet et l'arrivée des interfaces multimodales et de la réalité virtuelle.

Cet ouvrage est divisé en cinq chapitres. Le second chapitre retrace la période allant du milieu des années cinquante au début des années soixante-dix, c'est-à-dire des débuts de l'enseignement programmé et de la pédagogie cybernétique aux programmes adaptatifs et génératifs. Le troisième chapitre s'intéresse aux apports de l'intelligence artificielle, du début des années soixante-dix au milieu des années quatre-vingt ; il tente de montrer comment l'apport de capacités de raisonnement et de résolution, passant par le recueil de l'expertise et l'adaptation de cette résolution aux connaissances de l'apprenant, introduit peu à peu un décalage vis-à-vis des problématiques initiales issues de l'enseignement programmé. En parallèle, le quatrième chapitre s'intéresse aux micromondes et aux environnements d'apprentissage ouverts, vision différente de la précédente dans la manière d'utiliser les ordinateurs, en donnant le contrôle aux apprenants.

Le chapitre cinq présente les tentatives faites à la fin des années quatre-vingt pour opérer une synthèse entre tuteurs intelligents et micromondes. Il explore leurs limites respectives, leurs complémentarités et leurs possibilités de convergence. Du côté des tuteurs, les principales architectures sont présentées ainsi que les obstacles à leur réalisation. Les points de convergence des approches sont ensuite associés aux concepts de représentation intermédiaire, de réification et de points de vue et au rôle essentiel joué par l'interface. Émerge l'idée de relativité des approches. Le sixième chapitre s'intéresse à la tradition hypertexte à partir des premiers travaux de Bush jusqu'aux réalisations récentes. Il tente de montrer en quoi ce courant, basé à

l'origine sur des idées visionnaires et associé à des utopies éducatives, s'est transformé au contact des traditions issues de l'enseignement assisté par ordinateur. A partir d'un modèle très général de l'hypertexte, les convergences avec le concept de micromonde sont explicitées, les problèmes généraux de navigation et de conception sont brièvement décrits.

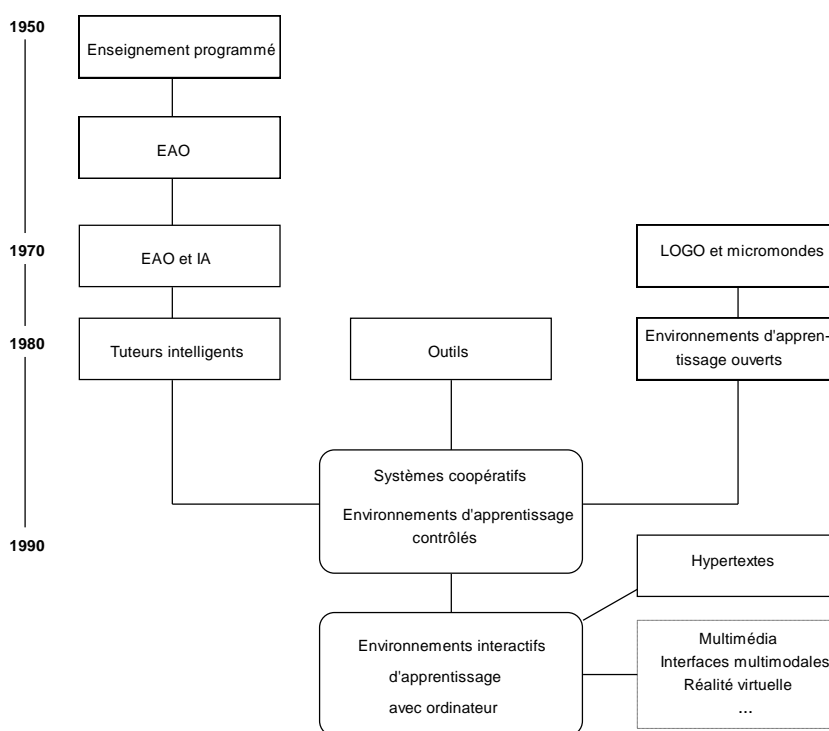


Figure 1.1. Principaux courants en informatique et éducation

L'exposé n'est qu'en partie chronologique, privilégiant les grands courants de pensée en essayant de les situer les uns par rapport aux autres. Bien évidemment, une telle mise en évidence impose des choix et rend difficile la présentation des différentes recherches dans toute leur complexité. Bien qu'essayant de conserver la plus grande objectivité, l'auteur espère ne pas trahir involontairement certaines réalisations en n'en retenant que des aspects partiels. La bibliographie à la fin de l'ouvrage est conséquente ; elle est conçue pour permettre au lecteur d'approfondir les pistes qui pourraient éventuellement l'intéresser.