

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

Chapitre 6

Des hypertextes à la réalité virtuelle

6.1. Introduction

L'histoire de l'hypertexte remonte à la fin de la seconde guerre mondiale et se confond, par bien des aspects, avec le développement des interfaces homme/machine. Elle correspond à l'affirmation de l'informatique et des ordinateurs comme « technologie intellectuelle ». Son essor est principalement le fait de visionnaires, souvent plus soucieux d'applications pratiques que de constructions théoriques. En effet, le domaine de l'hypertexte concerne les diverses manières d'accroître les possibilités humaines de structurer et d'accéder à de vastes ensembles d'informations et de connaissances. Contrairement aux objectifs déclarés du courant associé à l'intelligence artificielle poursuivant le vieux rêve d'une recreation de l'intelligence humaine, centré sur les machines, aussi bien pour modéliser l'intelligence humaine que pour s'y substituer dans certaines tâches, l'hypertexte se centre sur l'homme et vise à améliorer ses capacités et ses performances. Plus proche des préoccupations de l'ingénieur, ses axes de recherche vont privilégier tout ce qui concerne l'aide ou l'assistance dans divers domaines d'application.

Une grande part des recherches en intelligence artificielle a été dévolue à la conception de résolveurs automatiques, les mathématiques et leur enseignement étant un champ d'application particulièrement traité. En revanche, l'hypertexte a longtemps été associé aux problématiques d'informatique documentaire et de travail coopératif, puis à des questions d'argumentation et d'analyse de textes. Les mathématiques, éloignées des savoirs de type encyclopédique et faisant peu recours à la documentation, ne constituent pas l'un des domaines de prédilection des applications éducatives de l'hypertexte. D'autant moins que les complémentarités avec l'intelligence artificielle allant souvent dans le sens d'un relâchement des contraintes, l'absence de résolveur est compensée par la gestion de volumes importants de documents et de données. Mais, au-delà du simple accès aux données, l'organisation et la structuration de ressources de divers types sont des tâches dont l'intérêt éducatif est manifeste dans de nombreuses disciplines scolaires et universitaires.

Nous avons vu au chapitre II que l'un des grands problèmes de l'enseignement programmé était celui de la structuration du contenu à enseigner et de l'organisation des ressources pour les apprenants. Une telle structuration devait être faite a priori. L'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle ont permis d'effectuer cette organisation au moins en partie dynamiquement. Sans apporter de solutions définitives à ce problème encore largement non résolu, les hypertextes introduisent de nouvelles approches en rendant à l'apprenant une part du contrôle du parcours des ressources voire en lui confiant cette tâche de structuration. Cette dernière peut s'effectuer de manière inductive et constructive à partir d'une base d'information initialement faiblement organisée (Nanard, 1993).

D'une façon générale (Shneiderman et Kearsley, 1989 ; Nielsen, 1990 ; Berk et Devlin, 1991), un système hypertexte se présente comme un dispositif informatisé permettant l'interconnexion de documents de divers types, ceci non sur la base d'un modèle hiérarchique ou relationnel, mais par des mécanismes associatifs sous contrôle de l'utilisateur. L'utilisation ou la lecture d'un hypertexte s'effectue de manière non séquentielle et multidimensionnelle. Par opposition au discours oral, qui est essentiellement linéaire, et au texte imprimé, qui est de dimension plane bien qu'incluant des modes d'accès complémentaires (tables de matière, tables d'index, références croisées, notes...), l'hypertexte ajoute une nouvelle dimension. Les documents de ce type sont destinés à être lus et éventuellement complétés suivant différents chemins parcourus au gré du lecteur. Un *bon hypertexte* est un médium qualitativement différent, qui donne au lecteur le sentiment de se mouvoir sans effort dans un environnement d'informations transparent, comme un poisson dans un océan de connaissances (Davis 1990).

Au vu des applications les plus courantes, un hypertexte¹ est représenté par un réseau de *noeuds* et de *liens*, dans lequel les noeuds sont les documents (ou les ressources) et les liens, des références entre les noeuds. Le déplacement des lecteurs dans ce réseau est appelé *navigation*. Cette métaphore, à la fois spatiale et intentionnelle, souligne le rôle actif du lecteur. L'hypertexte présente plusieurs options et chaque lecteur choisit celle qu'il va suivre au fil de sa lecture. C'est le lecteur, non l'auteur de l'hypertexte, qui trace son chemin dans cette mer d'informations. Les choix possibles, c'est-à-dire les ancrs ou origines de liens, sont souvent matérialisés sur l'écran par des boutons. Un choix est activé par la sélection d'un de ces boutons ce qui amène directement le lecteur au noeud correspondant à la destination du lien ainsi choisi. Un des traits caractéristiques de cette navigation est que l'hypertexte a la charge de localiser l'information et de la présenter à l'utilisateur.

Cette notion d'hypertexte, qui correspond d'une manière assez générale à la possibilité d'établir des liens ou de naviguer à travers des ensembles de documents, recouvre en fait deux idées complémentaires :

¹ Le terme *hypermédia* est souvent employé pour désigner un hypertexte dans lequel les noeuds ne sont pas uniquement des documents textuels mais peuvent correspondre à d'autres médias comme des images, de la vidéo, du son... Cependant, l'aspect multimédia n'est pas en soi suffisant pour faire d'un programme un hypermédia. Dans la suite, on gardera le terme générique hypertexte pour désigner aussi bien des systèmes limités aux ressources textuelles qu'aux hypermédias.

- l'*intégration*, grâce à laquelle le système est capable de piloter des ressources de nature différente, éventuellement produites et gérées par d'autres programmes ;
- une *organisation* favorisant l'accès associatif aux informations.

Une telle organisation rend possible non seulement la *gestion non-linéaire* de l'information, caractéristique essentielle des hypertextes, mais aussi des formes de *gestion graphique ou spatiale* de l'information, importantes dans la conception des interfaces et facilitant la structuration d'ensembles d'informations disparates. Cette idée de visualisation, pour aider à la manipulation des connaissances, a toujours été primordiale dans les recherches liées aux hypertextes et les relie de manière profonde aux recherches sur les interfaces.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord nous intéresser à l'histoire de l'hypertexte et surtout essayer de comprendre les visions des précurseurs. Sur cette base, nous tenterons de préciser la vision actuelle de l'approche hypertexte et les principaux concepts sous-jacents. Dans un deuxième temps, les liens avec l'éducation seront présentés ainsi que divers exemples fournissant des éclairages sur ce thème. Quelques idées un peu prospectives, autour des applications de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée termineront ce chapitre.

6.2. Historique et concepts principaux

En accord avec Marc Nanard (1993), on peut distinguer trois grandes périodes dans l'histoire de l'hypertexte :

- les *précurseurs* : Vannevar Bush, Douglas Engelbart et Ted Nelson ;
- la *première génération* : elle est caractérisée par la prépondérance du rôle de la navigation en tant que moyen d'organiser l'information pour l'utilisateur. Cette navigation est directe, libre, immédiate, basée sur le cheminement. Elle n'est pas guidée et s'offre souvent sans grande intentionnalité. Les modes d'accès sont soit hiérarchisés (arbres) soit référentiels (graphes) ;
- la *seconde génération* : elle s'appuie sur une structure plus forte, dans laquelle des liens typés explicitent des relations sémantiques entre les informations.

Enfin, selon Haake et al. (1994), les applications plus récentes concernent l'aide à la structuration de bases d'information en s'appuyant souvent sur des métaphores spatiales.

Dans la suite, nous allons nous centrer sur les idées des précurseurs pour dégager les grandes lignes de leurs visions et préciser ensuite les contours de cette notion d'hypertexte.

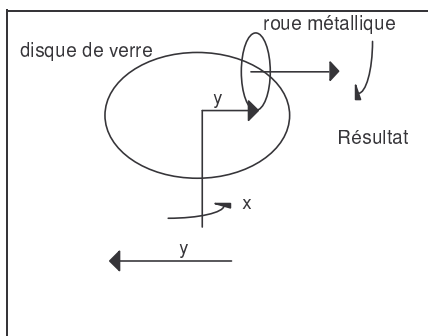
6.2.1. Historique : les précurseurs

L'histoire de l'hypertexte est relatée dans de nombreux ouvrages (Shneiderman et Kearsley 1989, Nielsen 1990, Berk et Devlin 1991, Nyce et Kahn 1991, Laufer et Scavetta 1992). De multiples liens la relient à l'émergence d'une technologie visant à fournir des outils cognitifs à l'homme, à mettre en place de nouvelles formes de travail et de pensée associant étroitement l'homme et la machine (la « pensée assistée par ordinateur » ; Rheingold, 1993). Cette histoire est d'abord celle de visionnaires (Bush, Engelbart, Nelson) décrivant des projets très ambitieux, dont les objectifs déclarés sont d'étendre les capacités intellectuelles humaines avec l'assistance des machines. Leurs idées nourrissent encore les recherches actuelles qui, depuis une dizaine d'années, aboutissent à de multiples réalisations et applications, montrant un domaine en pleine expansion.

En fait cette histoire s'entrecroise avec des éléments que nous avons déjà cités, essentiellement par le fait de sa proximité avec les travaux sur les interfaces graphiques et la manipulation directe. C'est le cas de SKETCHPAD de Sutherland (aussi précurseur dans la conception des visiocasques) ou du DYNABOOK d'Alan Kay. Nous renvoyons le lecteur aux chapitres précédents de cet ouvrage.

6.2.1.1. Vannevar Bush

Vannevar Bush est considéré comme le « grand-père » de l'hypertexte, mais son nom est aussi cité dans l'histoire de l'informatique grâce à son analyseur différentiel (Breton 1987, p. 66 ; Birrien 1990, p. 41). Cette machine, le *Differential Analyser*, conçue à l'Institut de Technologie du Massachusetts dans les années trente, est considérée comme le calculateur le plus perfectionné de l'époque (en fait la plus puissante machine permettant de faire des calculs dans le monde jusqu'au début des années quarante). Ce calculateur analogique, précurseur des machines digitales que sont les ordinateurs, permettait d'effectuer des calculs complexes, tels des différentielles et des intégrales. Le cœur du système était constitué par un *disque intégrateur* qui accomplissait un calcul intégral grâce à un disque reposant sur une roue à une distance variable de son centre. Son principe de fonctionnement est illustré par le schéma de la figure 1 (Owens 1991).



Le disque de verre est monté sur une table mobile, dont le déplacement dépend de la variable y . La rotation de son axe dépend de la variable x . La roue métallique touche le disque de verre à une distance y de son centre : elle tourne donc d'une quantité $y dx$ pour chaque rotation dx du disque de verre. Le résultat est :

$$\int y dx$$

Figure 6.1. Analyseur différentiel - Principe de fonctionnement

Sa conception même conférait au calculateur différentiel une valeur éducative considérable. Non seulement cette machine permettait de résoudre des équations mathématiques difficiles, mais elle fournissait en outre, à la personne qui l'étudiait, la « compréhension du sens profond de l'équation différentielle, ... une part au moins des mathématiques formelles se transformait en une chose vivante ». (Bush cité par Owens, op.cit. p.23). Sur ce point, Owens rapporte une anecdote révélatrice. Pour construire sa propre machine, l'Armée voulait embaucher, à un salaire de machiniste, un mécanicien qui avait travaillé, sans expérience préalable, à la construction du calculateur. Bush écrivit pour demander que ce technicien soit employé comme consultant avec le salaire correspondant. Il déclara n'avoir jamais consciemment enseigné à cet homme une quelconque notion concernant les équations différentielles, mais qu'en construisant cette machine, et en la maniant, ce dernier avait appris par lui-même ce que sont les équations différentielles. Il soulignait que cette personne avait atteint un tel niveau que, quand un professeur utilisant la machine était bloqué, il lui était possible de discuter du problème rencontré par cet utilisateur et très souvent de trouver ce qui n'allait pas. « Il était très intéressant de discuter de ce sujet avec lui car il avait appris le calcul sur le plan mécanique, une approche étrange, et il l'avait compris. Ce qui signifie qu'il ne l'avait pas compris dans un sens formel, mais qu'il en avait intégré les principes. » (Owens, op.cit. p.24). Cette histoire illustre le fait que les calculateurs analogiques avaient un pouvoir de représentation que n'ont pas, ou plutôt que n'avaient pas encore, les dispositifs digitaux. En effet, l'évolution des interfaces, le développement de la manipulation directe associé à de grandes capacités de simulation, permettent de réintroduire ces possibilités de représentation, centrales du point de vue éducatif. D'ailleurs, d'après Owens, Bush était associé à un mouvement cherchant à promouvoir des mathématiques plus concrètes pour les besoins des ingénieurs et des sciences expérimentales, ce qui peut expliquer son attachement aux machines analogiques².

Le rôle fondateur attribué à Bush dans l'histoire de l'hypertexte est lié à son article intitulé « As we may think », dont les idées ont considérablement influencé les chercheurs. Dans ce fameux article, Bush décrit un dispositif nommé *MEMEX* (memory extender ou « extenseur de mémoire ») sorte de « bibliothèque personnelle mécanisée », dans laquelle une personne stocke tous ses livres, ses documents et ses informations. Ce dispositif fonctionne par des mécanismes d'associations plutôt que des formes d'indexation artificielles, numériques, alphabétiques ou hiérarchiques, de manière à être consulté à la fois rapidement et soûplement. Conçu pour un utilisateur unique, il constitue une sorte d'agrandissement intime de sa propre mémoire. Pour Bush, ce mécanisme de liaison par associations est, bien qu'il n'en soit pas une copie conforme, analogue au fonctionnement de la pensée humaine et son objectif est de soutenir et d'améliorer les processus de pensée des humains, ceci

² En effet, l'analogique travaille sur les grandeurs tandis que le digital travaille sur les écritures. Comme le précise Von Neumann (1958, p.19), dans certaines configurations, l'intention de l'utilisateur est imprimée sur la machine elle-même. On peut avoir une forme de représentation avec des objets physiques réels, leurs connexions exprimant le problème. Dans le cas d'un contrôle en mémoire, les ordres sont des entités idéales et c'est le contenu d'un segment particulier de la mémoire qui exprime le problème.

en étendant leur mémoire. Notons que le projet de Bush se situe dans la tradition utopique américaine. La motivation de la création de MEMEX est liée à l'inquiétude face à l'explosion de l'information scientifique rendant impossible, même pour des spécialistes, le suivi des développements dans leur propre discipline.

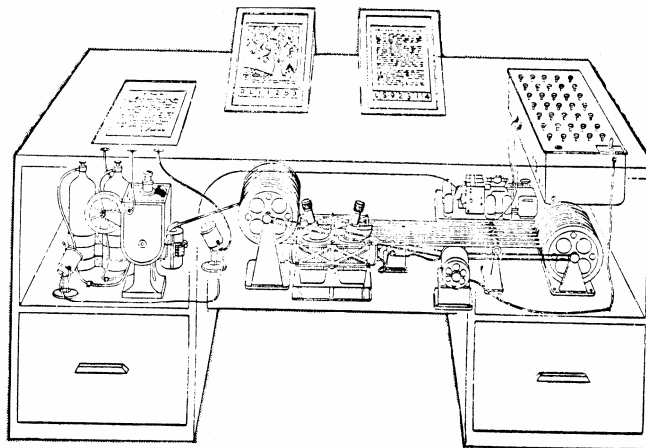


Figure 6.2. Image du bureau avec le MEMEX
(*LIFE*, vol. 19, n°11, 1945 ; Nyce et Kahn, *op.cit.*, p. 109)

Le fonctionnement du MEMEX est basé sur les technologies de l'époque, autour d'un « comparateur » et d'un « sélecteur rapide (Burke, 1992). Les documents sont stockés sur bande magnétique (pour la voix) et sur microfilm (pour le texte et l'image) dans le bureau de l'utilisateur (voir figure 6.2). Les caractéristiques principales du MEMEX anticipent de nombreuses fonctionnalités des hypertextes :

- un écran pour comparer des projections de microfilms (ce qui rappelle les systèmes actuels multi-fenêtres),
- un scanner pour insérer de nouveaux documents et des possibilités d'ajout de commentaires personnels et de notes ; de nombreux documents de toutes sortes (images, périodiques, journaux, correspondance personnelle) peuvent y être intégrés directement,
- une indexation associative, pour la sélection directe d'items reliés mais aussi pour la création de liens par l'utilisateur et l'enregistrement de ses parcours. Le lecteur visualise deux documents en même temps sur deux écrans séparés et les relie en tapant un nom. Une fois ce lien établi, activer un bouton à la lecture d'un des documents fait apparaître le deuxième. L'implémentation de cette fonctionnalité, qui n'est autre qu'un lien hypertexte, a attendu vingt ans.
- la possibilité d'échanger des parcours intéressants avec d'autres personnes ayant leur propre MEMEX.

Sur ce dernier point, Bush imagine la profession d'« ouvrier de chemins » (*trail blazer*), expert capable de définir des parcours utiles au travers de grandes masses d'informations. En reprenant l'analogie avec le fonctionnement de l'esprit humain,

les chemins du MEMEX une fois tracés ne s'effacent pas, au contraire de la mémoire. Pour Trigg (1991), les extensions de cette notion d'ouverture de chemins sont à la base des travaux récents joignant hypertexte et intelligence artificielle.

Weakland (Nyce et Kahn, op.cit. p. 60), à la lecture de l'article de Bush, souleva deux objections concernant la conception et l'usage des systèmes hypertextes :

1. Comment les associations personnelles sur le document général peuvent-elles être généralement pertinentes ?
2. Comment un chercheur peut-il trouver des choses qu'il ne connaît pas encore dans un tel système ?

Bush y répondit en soulignant les choix offerts dans les types d'accès et d'usage, soit basés sur des principes généraux, soit sur des associations individuelles et personnelles. C'est, d'après Nelson, ce qui sépare les systèmes de recherche documentaire de l'hypertexte. Néanmoins, si pour Bush, un MEMEX demeure avant tout un dispositif personnel, les problèmes de création de liens pertinents et d'appropriation de connaissances profondes dans des domaines mal connus restent posés.

Une vingtaine d'années plus tard, Bush (*MEMEX revisited*, 1967) complète sa vision du MEMEX en lui ajoutant des capacités d'adaptation (Oren, 1992). A partir d'une référence implicite au programme de jeu de dames de Samuel (1959), il imagine que le MEMEX, en s'occupant de la masse de données que nous y avons insérées, pourra apprendre à partir de ses expériences et affiner ses propres chemins (*trails*). Cependant, il ne s'agit pas de parler de « machines pensantes », expression fâcheuse selon Bush, puisque les machines « ne pensent pas, elles aident simplement l'homme à le faire ». Ce MEMEX capable de s'adapter fonctionne comme un agent, son propriétaire lui ayant délégué son autorité pour observer ses habitudes et les effets correspondants sur le stockage et la présentation du contenu.

Les ordinateurs permettent maintenant de rendre disponibles la plupart des fonctionnalités de MEMEX, mais en adoptant une technologie différente de celle qu'il avait imaginée. Néanmoins, les limites technologiques ont modifié la vision de Bush sur deux points importants : (1) l'accent est mis sur des systèmes publics au lieu de personnels (le sélecteur rapide a ainsi servi des communautés de chercheurs), (2) associés à l'usage d'enregistrements statiques plutôt qu'adaptatifs.

La vision défendue par Bush est d'utiliser les machines pour créer un espace de manipulation relié à l'espace mental. Le parallèle qu'il opère avec le fonctionnement humain n'a pas pour but de concevoir une machine se substituant à l'homme mais d'imaginer un dispositif capable de l'aider et de décupler ses capacités intellectuelles. Il s'agit de tendre vers une sorte de symbiose entre l'homme et la machine selon les termes du projet porté par Licklider, chercheur au MIT. Ce dernier rapporte ainsi (Rheingold 1993, p.76) ce qu'il considère comme son « expérience de conversion ». En répertoriant ces activités quotidiennes, il constata qu'il passait environ 85% de son temps dit de « réflexion » à rassembler les conditions lui permettant de penser, de prendre une décision, d'apprendre quelque chose qu'il avait besoin de savoir. En résumé, il passait beaucoup plus de temps à

rechercher et obtenir des informations qu'à les digérer. De là son souhait «... *que dans un avenir assez proche, les cerveaux humains et les ordinateurs seront associés de manière très étroite, et que le partenariat qui en résultera pensera comme encore aucun homme n'en a été capable et traitera des données de façon plus sophistiquée qu'aujourd'hui.* »

Deux idées fortes sont affirmées : affecter un ordinateur à une seule personne et adapter les interfaces aux besoins et aux capacités des hommes plutôt que de façonner le comportement humain en fonction des exigences de la technologie informatique.

6.2.1.2. Douglas Engelbart

Comme nous venons de le voir, à l'époque de Bush, le niveau technologique ne permet pas de donner corps à sa vision du MEMEX. Il faut attendre une vingtaine d'années pour voir la première réalisation d'envergure, grâce à l'opiniâtreté de Douglas Engelbart.

Ce dernier, profondément influencé par l'article de Bush (Nyce et Kahn, p. 235), est connu comme l'inventeur de la souris et par ses contributions majeures dans la définition d'interfaces utilisateur conviviales et le développement du travail coopératif. Engelbart cherche à développer un cadre conceptuel pour l'accroissement de l'intelligence humaine (*A conceptual framework for augmenting Man's Intellect*, Engelbart, 1963). L'hypothèse fondamentale, à la base de son approche, est que « l'habileté humaine à contrôler en temps réel la manipulation externe de symboles en réponse aux besoins de ses processus de pensée a un effet profond sur la structuration globale des concepts et des méthodes utilisées dans son activité intellectuelle ». Les ordinateurs peuvent être utilisés pour fournir une plus grande puissance de manipulation de symboles aux hommes et leur permettre ainsi d'explorer les possibilités qui en résultent pour reconcevoir leur structuration des concepts et leur fournir des méthodes pour les rendre plus efficaces dans la résolution des problèmes de la vie courante.

Engelbart cherche les facteurs contrôlables qui limitent l'efficacité d'une personne à un niveau donné et vise à développer des moyens pour élever ce niveau. «... Les symboles par lesquels l'homme représente les concepts qu'il manipule peuvent être ordonnés devant ses yeux, déplacés, rangés, rappelés et utilisés en fonction de règles extrêmement complexes, tout cela sous forme de réponses très rapides au minimum d'informations que l'homme fournit, grâce à des dispositifs technologiques coopératifs spécifiques ». En partant de la tâche effectuée par l'esprit humain, il s'agit de créer des espaces transformables, avec un processus de production visible. Il avance ainsi l'idée qu'en utilisant un ordinateur et un écran vidéo, on pourrait améliorer l'ensemble du processus de la composition écrite.

Ce projet commence véritablement en 1962 à Stanford. Engelbart développe d'abord NLS (oN Line System, « Système en ligne), système expérimental destiné à faciliter les activités de ceux qu'il appelle les « travailleurs de la connaissance » (knowledge workers), c'est-à-dire ceux qui créent de la connaissance et l'appliquent à des fins productives. Ce système permet aux chercheurs d'archiver leurs articles,

rapports internes et essais dans un « journal » partagé. Ils peuvent inclure dans leurs écrits des références croisées à d'autres travaux et disposent de filtres pour sélectionner uniquement des textes au contenu spécifié. Bien que ce ne soit pas à proprement parler un hypertexte, NLS/AUGMENT illustre les idées d'Engelbart d'environnement de travail coopératif.

Dans la stratégie de développement utilisée, le fonctionnement du groupe de recherche est lui-même objet de la recherche ; les techniques en train d'être explorées sont implémentées, étudiées et évaluées dans le cadre privilégié d'un usage quotidien intensif (Engelbart et English, 1968). Ce groupe d'*amorçage* (Engelbart et al., 1973) a l'intéressante tâche (récursive) de développer des outils et des techniques pour rendre plus efficace sa propre mission. Le groupe a ainsi utilisé NLS pour gérer sa propre documentation. Pour Engelbart, des systèmes homme-machine complexes ne peuvent évoluer que d'une manière pragmatique dans un environnement de travail réel et dans le cadre d'un engagement approprié lié à une évolution exploratoire consciente et contrôlée. Cette démarche pragmatique doit être suivie dans des applications comme le génie logiciel ou l'aide à la conception pour l'ingénieur. Il devrait être possible pour l'utilisateur d'ajouter ou d'interfacer de nouveaux outils et d'étendre le langage pour satisfaire de nouveaux besoins. Ceci s'effectue à l'aide d'un système unifié dans lequel l'utilisateur apprend à utiliser de nouvelles fonctions en augmentant son vocabulaire et non en devant mémoriser des langages étrangers distincts. De nombreuses personnes de son équipe ont continué sur cette voie à Xerox Parc.

Ted Nelson (Nelson 1987, DM p.16) rapporte comment Engelbart essayait d'illustrer son projet dans des conférences. D'abord, il attachait une brique à un crayon et demandait à quelqu'un d'écrire avec. Devant le piètre résultat, il proposait alors de détacher le crayon de la brique. En fait, il s'agissait de mettre en évidence les améliorations susceptibles d'être apportées par de nouveaux outils, mais, n'étant pas encore capable de monter l'*augmentation de l'intellect*, du fait qu'il n'avait pas de système à exhiber, il démontrait magistralement la *désaugmentation* de l'intellect, ce qui arrive quand les outils de l'homme pour travailler sont rendus pires qu'ils ne le sont habituellement.

6.2.1.3. Ted Nelson

En 1965, Nelson invente le mot hypertexte comme désignant « l'association d'un langage naturel avec les possibilités qu'a l'ordinateur d'établir des liaisons interactives et des affichages dynamiques d'un texte non. Alors que Bush voyait en MEMEX un dispositif personnel, Nelson, dans son projet XANADU, a l'ambition de créer une sorte de bibliothèque universelle réunissant tous les ouvrages connus et à laquelle chacun pourrait accéder. Nelson (1987, DM p.30) voit avant tout dans l'hypertexte un média non séquentiel explorable offrant de multiples avantages, notamment le fait de pouvoir suivre ses préférences et d'être motivant de par la liberté d'exploration et l'autonomie qu'il procure. En outre, il est déjà difficile de se forcer à écrire séquentiellement sur des sujets simples ; mais sur des sujets complexes qui s'interpénètrent, c'est si ardu que c'en est inutile quand la véritable structure elle-même peut être représentée à la place.

En effet, Nelson assoit sa vision de l'hypertexte sur une conception particulière de la connaissance. L'un de ses slogans est que tout est profondément inter-relié (« *everything is deeply intertwined* »). Pour lui, les structures hiérarchiques et séquentielles sont habituellement forcées et artificielles. L'entrelacement n'est généralement pas accepté, les gens continuent à prétendre qu'ils peuvent rendre les choses hiérarchiques, catégorisables et séquentielles alors qu'ils ne le peuvent pas. Dans un certain sens, il n'y a pas de domaines disjoints. Il n'y a que la totalité du savoir, du fait que les connexions croisées entre les myriades de sujets de ce monde ne peuvent être divisées vraiment proprement. « L'hypertexte offre enfin la possibilité de représenter et d'explorer tout cela sans le découper d'une manière destructive ».

En allant plus loin, Nelson voit dans l'hypertexte un moyen permettant à la véritable incertitude de pensée d'être conservée. Souvent les gens s'accordent sur les faits, non sur leur signification (ou leur interprétation). La connaissance est un vaste enchevêtrement croisé d'idées et de matériels évidents, pas une pyramide de vérités. Ainsi, préserver sa structure et améliorer son accessibilité est important pour tous. Il ajoute que, contrairement à Engelbart et Pask qui supposent généralement qu'une hiérarchie naturelle pouvant exister dans un sujet particulier doit être accentuée, toutes les structures doivent être traitées comme étant totalement arbitraires et que chaque hiérarchie que nous trouvons est un accident intéressant.

Nelson est aussi un ardent défenseur des techniques graphiques, voyant dans SKETCHPAD de Sutherland (1963) un des programmes les plus importants ayant jamais été écrit. Déplorant le déclin des capacités générales à lire des diagrammes, il cherche à développer ce qu'il appelle des *thinkertoys* (Nelson 1987, p. 50) c'est-à-dire des jouets pour penser, l'aspect *jouet* indiquant quelque chose de facile et d'amusant à utiliser. Grâce à la visualisation sur un écran, ces systèmes aident à imaginer et à prévoir des alternatives complexes. Nelson cherche à trouver les techniques de visualisation les plus générales pour faciliter les comparaisons les plus complexes et développe l'idée des structures collatérales (parallèle Textface TM, partie de Xanadu).

Le travail autour de XANADU, commencé à l'université de Brown à la fin des années soixante, se poursuit dans différents cadres (Nelson, 1980), complété par des études théoriques riches (problèmes matériels de partage, gestion des versions, problèmes juridiques...). « Nous devons une nouvelle fois devenir une communauté d'accès commun à un héritage partagé. C'est ce que disait V. Bush en 1945 dans un article que tout le monde cite mais que personne ne lit » (Nelson, 1987, p. 32). De Bush à Nelson en passant par Engelbart, on passe d'un dispositif personnel, à des ressources partagées par un groupe jusqu'à un système universel !

6.2.1.4. Les autres précurseurs

Van Dam dirige une équipe à l'université de Brown qui réalise le premier système hypertexte³ nommé Hypertext Editing System (1967). Il est suivi de FRESS (*File Retrieval and Editing System*) qui, d'après Van Dam, fut le premier système à avoir une fonction « défaire » (*undo*). Ces deux systèmes disposent des

³ Nelson participa à la conception de ce système.

fonctionnalités hypertextes à base de liens et de sauts à un autre document, mais avec une interface uniquement textuelle obligeant l'utilisateur à spécifier les sauts.

L'histoire de l'hypertexte, ou plutôt de l'hypermédia, est aussi celle de l'intégration progressive des médias audiovisuels dans l'informatique. Du côté du MIT et de l'*Architecture Machine Group*, Negroponte voit ainsi dans l'informatique un moyen d'améliorer la pensée et l'imaginaire de l'homme par combinaison du pouvoir de présentation du cinéma et des capacités de traitement de données des ordinateurs. D'après Nielsen (1990), le premier système hypermédia fut la « Carte animée d'Aspen », conçu par Lippman et ses collaborateurs. Aspen est une ville du Colorado et la Carte Animée permettait à l'opérateur de s'asseoir face à un écran tactile et de parcourir la ville à son propre rythme, en prenant l'itinéraire de son choix selon même la saison de son choix. En effet, des séquences de toutes les rues de la ville, pendant les quatre saisons, avaient été enregistrées. L'utilisateur était entouré d'images de sorte qu'il était entièrement immergé dans une représentation virtuelle de la ville. Du côté des interfaces, rappelons l'apport d'Alan Kay et des équipes de Xerox Parc. Le *DYNABOOK* (1974), correspondant au concept d'ordinateur-carnet (notebook) poursuit l'idée de Bush dans le sens d'une machine à usage personnel, non plus pour le chercheur mais pour l'enfant (Kay et Goldberg 1977).

A la fin des années soixante-dix, divers hypertextes sont développés, avant tout comme des systèmes permettant aux chercheurs de coopérer dans des réseaux de documents. Ainsi ZOG (Acksyn, McCracken et Yoder, 1988) à l'université Carnegie Mellon (entre 1976 et 1984) qui deviendra ensuite KMS, système de gestion de la connaissance (*Knowledge Management System*). Avec TEXTNET (1983), sorte de version sur ordinateur de MEMEX, Trigg (1991) déclare avoir cherché à combiner les liens basés sur le réseau à la XANADU et les structures hiérarchiques de NLS, la finalité étant de supporter la communication et la coopération pour une future communauté scientifique en ligne. A la suite de TEXTNET, NOTECARDS est conçu à Xerox (Halasz et al., 1987), en se basant moins sur des visions générales et plus sur les besoins concrets des utilisateurs et l'analyse des modes d'usage.

GUIDE est le premier système commercialisé et, en 1987, la diffusion massive d'HYPERCARD popularise le concept d'hypertexte. A partir de là, les systèmes hypertextes et hypermédias fleurissent, intervenant dans de nombreux domaines d'application. Néanmoins, avant de terminer ce bref historique, en écho aux idées visionnaires des pionniers, il paraît intéressant de relater une spéculation récente de Maurer et Carlson (1992) concernant ce qu'ils nomment l'*organe manquant*.

D'après ces auteurs, en correspondance avec son organe de l'ouïe, l'homme dispose d'un organe vocal, capable de produire des sons concrets (le langage) et abstraits (la musique). En revanche, l'organe sensitif le plus important, qui est l'œil, n'a pas de correspondant analogue : les humains n'ont aucun dispositif physiologique leur permettant de montrer une quelconque sorte de dessin. Les informations visuelles que l'on est capable de produire (gestes, expressions du visage, position du corps, etc.) ne sont que des signes visuels secondaires. On stocke des images en mémoire, on peut en imaginer, mais on ne peut rendre externes de telles images car nous ne possédons pas d'organe spécifique de génération d'images.

Nous sommes contraints de recourir à des moyens détournés comme coder en utilisant des mots, traduire ces mots en écriture, dessiner des images, utiliser des techniques de sculpture, enregistrer des photos et des films. L'idée défendue par Maurer et Carlson est que les hypermédias (multimédias) vont devenir des substituts de plus en plus efficaces de notre organe manquant de génération d'images⁴. L'usage répandu d'images, de diagrammes, d'animations et de films va ainsi influencer en profondeur l'humanité dans la façon dont la connaissance est archivée et communiquée.

En conclusion, de MEMEX à l'hypertexte, de l'extenseur de mémoire à la prothèse palliant notre organe manquant, il s'agit de construire des dispositifs capables de décupler nos facultés, tant au niveau de nos compétences intellectuelles que dans nos capacités à communiquer avec les autres. Si ces artefacts nous aident à penser et à communiquer, ils peuvent nous aider à enseigner et sont aussi susceptibles de nous aider à apprendre.

6.2.2. Hypertexte : documents et connaissances

6.2.2.1. Quelle(s) définition(s) des hypertextes ?

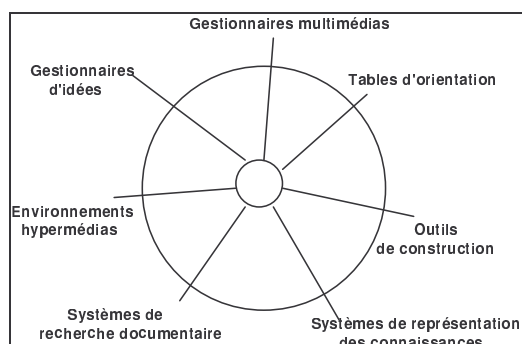
Alors qu'au milieu des années quatre-vingt, apparaît la première génération de systèmes hypertextes, aucune définition *estampillée* des hypertextes ne fait encore l'unanimité et le concept lui-même ne s'est pas encore stabilisé (Nanard, 1990). Comme le remarque Conklin (1987), il peut être tentant de décrire l'essence de l'hypertexte comme la capacité à effectuer des branchements rapides sur des blocs de textes, mais c'est un peu comme tenter de communiquer la saveur d'un grand plat par la liste de ses ingrédients !

Meyrowitz (1989, 1990), sur la base de ce constat, propose de rebaptiser le champ "*responsive document research*", « recherche sur les documents réactifs » (c'est-à-dire capables de réagir aux sollicitations du lecteur), dénomination qui a l'avantage de souligner l'aspect central de ces recherches qui est de savoir à qui et pour quoi les documents doivent réagir. Il représente ce champ de recherche comme une roue ayant de nombreux rayons :

- les outils de construction de logiciels graphiques,
- les tables d'orientation (*browser*) pour la documentation technique,
- les gestionnaires de documents multimédias basés sur le temps,
- les gestionnaires d'idées,
- les environnements hypermédias intégrés,
- les systèmes de représentation des connaissances et de support d'argumentation basés sur l'hypertexte,

⁴ Dans une étude menée par Isabel Fleury (mémoire professionnel, IUFM de Créteil) sur les représentations de l'informatique chez l'enfant de 9 à 10 ans, une idée similaire est exprimée par une enfant. A une question demandant d'expliquer pourquoi l'ordinateur vit, elle a répondu : *il fait des trucs que les hommes ne peuvent pas faire. L'ordinateur peut nous montrer une image. Alors que nos yeux ne peuvent pas montrer une image à quelqu'un d'autre.*

- les systèmes de recherche documentaire...



Une telle énumération, bien que non exhaustive, montre que la simple connexion de noeuds par des liens n'est pas le cœur de l'hypertexte. Il s'agit plutôt d'intégrer les nombreuses fonctionnalités permettant de rendre les documents réellement réactifs en utilisant des systèmes de gestion d'idées, des liens, de la recherche de mots, des présentations multimédias synchronisées, des inférences dans des bases de connaissances. En laissant de côté les implantations informatiques et les fonctionnalités précises qui peuvent être offertes, les hypertextes sont des dispositifs conçus pour permettre à l'homme de traiter des ensembles d'informations. En ce sens, un hypertexte peut être vu comme une base de donnée d'îlots d'information, avec des références croisées utilisant différents types de liens, accessible à un grand nombre de personnes (usagers ou auteurs) et permettant différentes activités de *navigation*, *manipulation*, *communication* et de *coopération* (Maurer 1992, d'après Nelson).

Cette dernière définition, bien qu'elle ait le mérite de situer les multiples activités supportées par les systèmes hypertextes, ne permet pas réellement d'en préciser la nature, notamment pour ce qui concerne la manipulation des informations. Bernstein (1993) distingue trois catégories répondant à des objectifs différents : l'extraction dans des bases d'informations, l'organisation d'une base d'informations existantes pour la valoriser et la production d'informations ou de structures de connaissance nouvelles. Trois métaphores permettent de les illustrer⁵ :

1. Le travail de la mine (extraction minière) s'intéresse aux outils susceptibles d'une récupération de noyaux d'informations pertinentes dans de volumineuses bases de données.
2. Le travail de la manufacture (organisation industrielle) consiste à gérer des ensembles d'informations : acquérir, raffiner, assembler et maintenir.
3. Le travail du fermier ou du jardinier (agriculture) est la culture de l'information, processus coopératif continu effectué par des groupes de personnes travaillant ensemble, poursuivant des buts individuels et communs changeants. Il ne s'agit plus d'extraire ou de stocker mais de cultiver.

⁵ Ces trois métaphores sont reprises et détaillées par Nanard (1994).

Pour Bernstein, aux trois objectifs précédents répondent des styles d'hypertextes distincts. D'après lui, les buts foncièrement différents de l'extraction et de la culture ont été une source fertile d'incompréhension entre les communautés hypertextes et l'informatique documentaire. S'agissant d'extraire, de transformer ou de *faire pousser*, les outils à construire ne sont pas les mêmes et conduisent à des applications ou activités, notamment éducatives, distinctes (Nanard, 1995). Les critères d'évaluation sont eux aussi spécifiques à chacun de ces types de travaux : rappel, précision et coût pour l'extraction ; utilisabilité, facilité d'apprentissage initial, productivité et précision du travail produit pour la transformation ; pertinence des représentations, volatilité des relations construites entre les informations pour le jardinage. Cette dernière métaphore, suggérée par le système de représentation visuelle d'AQUANET (Marshall et Rogers, 1992), caractérise une certaine forme d'approche hypertexte, manière particulière d'organiser les relations entre l'homme et la machine, l'espace des informations en fonction de la tâche, souvent d'une manière inductive. Il s'agit de supporter le processus même de création et la capacité du système à clairement et effectivement présenter les changements saillants comme un phénomène dynamique est essentielle.

Ainsi, la notion d'hypertexte apparaît évolutive et difficile à circonscrire, associée à un spectre relativement large d'activités. Toutefois, sur la base de différentes réalisations, divers modèles ont été proposés pour décrire la structure d'un système hypertexte et son mode de fonctionnement.

6.2.2.2. *Modèles de structure des hypertextes et applications*

Campbell et Goodman (1988) distinguent trois composantes correspondant à trois niveaux : le niveau présentation : l'interface utilisateur ; le niveau de la machine hypertexte abstraite (HAM, Hypertext Abstract Machine) : les noeuds et les liens ; le niveau de la base de données : stockage, données partagées et accès en réseau. Ce modèle, bien qu'il ne corresponde à aucun système développé, situe l'hypertexte proprement dit entre l'interface utilisateur et un ensemble de données organisé. Il peut servir de base la définition d'un standard hypertexte facilitant les échanges entre systèmes, la composante base de données étant fortement dépendant de la machine utilisée et l'interface utilisateur, différente d'un hypertexte à l'autre. Il est cependant typique des hypertextes de première génération, caractérisés par le rôle central de la navigation libre sans guidage spécifique.

Couche d'exécution Présentation de l'hypertexte Interaction avec l'utilisateur Dynamique
Spécifications de présentation
Couche de stockage Base de données contenant le réseau de noeuds et de liens
Mécanisme d'ancrage
Couche interne Structure et contenu à l'intérieur des noeuds (incluant divers médias)

Issu d'un groupe de travail sur la standardisation des hypertextes, le modèle de Dexter (Halasz et Schwartz, 1990 ; 1994) correspond mieux aux hypertextes de deuxième génération, caractérisés par des liens typés explicitant des relations sémantiques entre les informations.

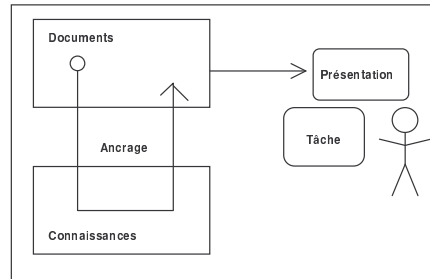
Il décompose un hypertexte en trois couches : le niveau exécution (*runtime*), le niveau mémoire ou de stockage (*storage*) et la couche interne (*within component*). Le niveau de stockage fournit les mécanismes d'organisation des noeuds et des liens formant le réseau hypertexte. Il ne tient pas compte du contenu de ces composantes (noeuds), gérées au niveau de la couche interne.

L'interface entre la couche de stockage et la couche interne est un mécanisme d'ancrage utilisé pour adresser (référer) les endroits ou les items dans le contenu d'une composante individuelle. La couche d'exécution se centre sur la façon dont chaque composante (ressource) et le réseau sont présentés à l'utilisateur. Entre les deux sont codées les informations de présentation.

Complétant le modèle de Dexter, Nanard (1993) propose une description fonctionnelle permettant de bien situer ce qui fait l'originalité du concept d'hypertexte :

- Un ensemble de *ressources*, c'est-à-dire des documents de nature diverse (textes, sons, images, vidéos, programmes) destinés à être interprétés par l'homme ;
- Un ensemble de *connaissances* sur ces ressources et sur leurs usages permettant de les organiser de multiples manières. Ces connaissances peuvent être représentées à l'aide de différentes techniques (liens, algorithmes, inférences...) et sont interprétées par la machine ;
- Un mécanisme de couplage ou d'*ancrage* de cette connaissance dans les documents ;
- Un système de *présentation* capable d'afficher les ressources (ou de les faire tourner en cas de programmes) et les indices d'accès à d'autres ressources (visualisation de points d'ancrage) suivant des modes de présentation spécifiés ;
- Une *interface utilisateur*, gestion de l'interaction entre l'utilisateur et le système, intégrant des dispositifs de pointage à l'écran pour la sélection directe des points d'ancrage.

L'hypertexte est vu comme un couplage entre un ensemble de documents et un ensemble de connaissances sur ces documents, via un mécanisme d'ancrage, permettant divers types de parcours dont la navigation (Nanard, 1995). Si l'ensemble des ressources peut être partiellement structuré, le but est de s'affranchir de leur organisation initiale.



Les ressources (documents) sont conçues pour être lues et interprétées par les humains, les connaissances ont pour rôle de les structurer et d'en faciliter l'accès. L'hypertexte constitue une *vue*, un *éclairage* particulier et plusieurs organisations différentes peuvent être projetées simultanément sur le même ensemble d'informations (Nanard, 1993), l'ensemble des documents n'étant pas affecté par l'organisation ainsi projetée.

Les hypertextes apparaissent au carrefour de trois domaines : l'informatique documentaire, les systèmes de bases de données et les systèmes à base(s) de connaissances. Dans l'informatique documentaire, il n'y a pas de connaissances externes à l'ensemble des documents (les connaissances y sont incluses). Pour les systèmes de bases de données, l'organisation initiale de l'ensemble des documents est primordiale, ce qui donne une structure rigide. Dans les systèmes à base(s) de connaissances, les connaissances priment sur les documents et la réponse à une consultation s'effectue en termes de connaissances et non par accès à des documents. L'intelligence artificielle et l'hypertexte, bien que pouvant avoir recours à certaines techniques informatiques voisines (formalisme des réseaux sémantiques, par exemple), correspondent à des approches très différentes. Alors que l'homme intervient plutôt comme modèle pour l'intelligence artificielle, on peut le considérer comme finalité pour l'hypertexte. Le contrôle lui est confié et la machine cherche à lui fournir des outils adaptés à sa façon naturelle d'appréhender l'information. Il s'agit plus d'humaniser la technologie informatique que d'automatiser les processus cognitifs humains et les activités associées.

6.2.2.3. Aide à l'écriture et à l'argumentation

Outre les applications de gestion coopérative d'une documentation volumineuse et complexe, comme dans les domaines de la documentation technique et du génie logiciel, l'hypertexte intervient pour aider les personnes ou les groupes à « formuler, structurer, comparer et gérer l'information » (définition de NOTECARDS d'après Halasz, 1988). Ainsi, gIBIS (Conklin, 1987), qui permet de conserver les justifications des divers choix dans la conception d'un logiciel, a pour but de soutenir le processus d'argumentation dans un cadre coopératif. NOTECARDS (Trigg et Suchman, 1993), d'après ses concepteurs, permet l'analyse d'informations en les structurant et cherche à favoriser la coopération et la méta-discussion, c'est-à-dire la discussion entre les collaborateurs sur le travail et l'utilisation du médium.

L'aide à la gestion de l'argumentation constitue une application privilégiée de l'hypertexte. Dans les approches les plus originales, de la connaissance est utilisée pour induire une structure sur les documents : aider l'accès à l'information ou organiser de façon constructive de l'information initialement faiblement organisée. *AQUANET* (Marshall et Rogers, 1992) en est un exemple.

Basé sur le modèle de Toulmin (1958) et sur la métaphore du placement (organisation dans l'espace), *AQUANET*, développé à Xerox Parc, est un outil d'aide à l'organisation et à la structuration des informations pour construire des interprétations multiples de domaines complexes. Une première organisation d'une grande quantité d'informations fournit une représentation spatiale, organisation que l'on peut modifier dans des espaces d'activités. Travailler sur une vue graphique du réseau donne une meilleure vision de la structure et favorise une représentation mentale de modèles de structure. Cette idée d'agencement significatif d'objets graphiques offre un support géométrique au raisonnement. En effet, la géométrie traduit des relations et autorise une manipulation spatiale de l'information. Ainsi, *AQUANET* aide à faire émerger des structures de connaissance.

La première grande application développée par les auteurs, sur le thème de la traduction automatique, a conduit à près de 2000 noeuds et plus de 20 types de représentation. La disposition spatiale a permis de traiter des relations complexes ayant conduit à l'émergence de régions. Sur la base de ce travail, Marshall et Rogers pensent que la création et la manipulation de structures de représentation (à la fois implicites et explicites) prennent une part décisive dans le processus d'interprétation. Le problème est de savoir comment les structures émergent et comment faciliter ce processus de structuration. Les recherches autour d'*AQUANET* montrent qu'une métaphore spatiale et visuelle permet aux usagers d'exprimer plus aisément des nuances de structure, spécialement si elles sont ambiguës, partielles ou émergentes. Poursuivant cette voie, pour éviter l'utilisateur à déclarer explicitement des liens, Marshall et son équipe se centrent sur la disposition des noeuds dans une représentation graphique permettant au système de rendre compte d'un niveau implicite de structuration (Marshall et Shipman 1993 ; Marshall et al., 1994). Notons que d'autres systèmes s'intéressent à la création de structures spatiales, notamment Intermedia, NoteCards, MacWeb (Nanard et Nanard, 1991).

Le thème de l'aide à l'écriture bénéficie des travaux autour de l'hypertexte (Hopper et Vandendorpe, 1995). De nombreux auteurs notent une convergence certaine entre l'hypertexte et les théories littéraires modernes, notamment les théories génétiques (Landow, 1992). Une édition électronique est un choix logique conforme à ces théories, facilitant le processus d'édition et offrant de nouvelles possibilités pédagogiques. Les traitements de texte gèrent la forme graphique du texte, les éditeurs structurés (SGML) s'intéressent à la structuration hiérarchique et les hypertextes, à la façon de lier des atomes textuels. La notion de document structuré actif (GRIF) combine ces trois approches (André, 1995). Les recherches convergent vers l'idée de créer un véritable poste de travail sur l'écrit. Bernard Stiegler (1995) s'intéresse aux supports dynamiques des textes pour lesquels *la lecture rejoint "naturellement" l'écriture* et vise à définir un ensemble structuré d'outils d'annotation des textes (Mazhoud et al., 1995). Il s'agit même d'aller vers une *géographie de la connaissance*.

Cependant, si l'hypertexte, avant tout un moyen de gestion de l'information, offre une aide non négligeable pour assister des processus complexes de rédaction, son usage n'est pas exempt de problèmes, même dans des activités de simple consultation.

6.3. Exploration et conception des hypertextes

Les hypertextes, ou tout au moins la notion d'hypertexte, interviennent dans de nombreux contextes, offrant chacun à des degrés divers, différentes activités : *navigation*, *manipulation*, *communication* et *coopération*. Même si les aspects auteur et lecteur sont théoriquement imbriqués, ils apparaissent souvent nettement séparés dans les applications. Certains systèmes n'offrent pas de possibilités de modification. Il s'agit d'applications grand public ou destinées à une classe d'utilisateurs se contentant d'activités de consultation. L'aspect navigation est alors primordial. C'est le cas des encyclopédies, des livres médicaux et des systèmes de maintenance (pouvant être associés à des systèmes experts), des dictionnaires (multilingues, synonymes...) des aides en ligne (la sensibilité au contexte étant une fonctionnalité primordiale), des livres de référence sur un auteur, un lieu, un musée...

6.3.1. Navigation et désorientation

La consultation dans un hypertexte est effectuée soit par navigation, soit par recherche. Dans le premier cas, il s'agit d'aller de *où à quoi*, tandis que dans le second, il faut aller de quoi à où. (Brown, 1988). Quand on navigue, on suit un chemin et à chaque endroit on consulte ce qu'il y a ; trouver une information revient à trouver un chemin vers cette information, tandis que, dans la recherche, on spécifie ce qui est cherché et on demande au système de le localiser. L'interaction par navigation est basée sur la visualisation de points d'ancrage, c'est-à-dire des portes d'entrée vers de nouvelles ressources à partir de l'affichage du document courant, permettant de repérer et d'activer des accès gérés par l'ensemble des connaissances.

6.3.1.1. Les problèmes de navigation

Si le pilotage est facilité pour l'utilisateur, cela ne signifie pas qu'il ne rencontre aucune difficulté. En effet, la contrepartie de la richesse des représentations non linéaires est le « risque potentiel d'indigestion intellectuelle, de perte du but poursuivi et d'entropie cognitive » (Dede, 1988). Un hypertexte mal conçu et mal structuré peut avoir un effet nocif, les utilisateurs pouvant se perdre en essayant de suivre un cheminement confus qui semble totalement aléatoire. Selon Foss (1988), les difficultés d'orientation sont principalement dues à l'ignorance de la structure du réseau et de la position courante, à la gestion de la tâche rendue complexe par l'absence de stratégie cohérente de parcours et de trop nombreuses digressions. Tout ceci conduit à une surcharge cognitive due à l'effort et la concentration nécessaires

pour maintenir différents travaux ou chemins en même temps, et au manque d'indices discursifs, ces derniers étant généralement présents dans les textes traditionnels. Ces problèmes amènent souvent une perte de contexte et le parcours dans l'hypertexte se transforme en une juxtaposition d'informations contingentes qui exclut toute compréhension. Il faut y ajouter les risques d'explosion combinatoire, les dysfonctionnements de la communication collective, pour les hypertextes incluant la collaboration, et les difficultés propres à l'interface ou au mode de représentation utilisé.

Il ne faudrait cependant pas trop noircir le tableau, les problèmes que nous venons d'évoquer n'étant peut-être pas si aigus. Trois types de réponses sont apportées : des aides à la navigation, une meilleure conception des hypertextes (ce qui est le cas avec la deuxième génération, le typage des liens assurant une meilleure expression de l'intentionnalité) et une formation minimale des usagers.

6.3.1.2. Aides à la navigation

On répartit les aides à la navigation en trois catégories (Daniel-Vatonne 1990 ; Bruillard et de La Passardière, 1994) : les aides ponctuelles, aides spatio-temporelles et aides structurales.

Les *aides ponctuelles* permettent de mieux comprendre le contenu du noeud courant et de préciser, d'une manière locale, les pistes intéressantes à explorer (manière d'explicitier la destination des liens présents).

Les *aides spatio-temporelles* fournissent des repères généraux sur la place du noeud courant dans le réseau et la façon dont ce noeud a été atteint (Utting et Yankélovitch, 1989). Les aides spatiales maintiennent la métaphore de la navigation, en fournissant boussoles et cartes : cartes globales ou tables d'orientation (*browser*) éventuellement filtrées, vues locales présentant l'environnement du point courant sous diverses formes (notamment les vues grands angles ou *fish-eye views*, sortes de vues photographiques, grossissant les objets proches et diminuant les objets distants). Les techniques de recherche offrent des modes d'accès direct à des noeuds : index, tables des matières et systèmes d'interrogation, avec langage de requête ou recherche texte intégral. Comme le petit Poucet dans la forêt, disséminer des petits cailloux le long de sa route permet de retrouver son chemin. La liste des noeuds consultés est regroupé dans un historique, accessible directement et permettant de revenir à un noeud traversé. L'utilisateur peut aussi laisser des marque-page (amers ou signets) pour retourner à des noeuds importants. Le système laisse aussi des empreintes (*footprint*) aux noeuds consultés. Une fonctionnalité importante est la possibilité constante de rebrousser chemin. Des indices de progression permettent de signaler à l'utilisateur les portions déjà traversées et ce qui lui reste à explorer.

Les *aides structurales* s'appuient sur la (ou les) structure(s) logique(s) des documents. La création de noeuds composés incluant des liens hiérarchiques permet de distinguer une navigation verticale (liens hiérarchiques) et une navigation horizontale (liens de référence). Des chemins privilégiés peuvent aussi être tracés dans le réseau, des sortes de noeuds repères permettant d'indiquer des points de

départ de navigation (*home frames* dans KMS, documents clés dans Intermédia). Ces chemins sont l'analogie des *trails* décrits par Bush, et constituent des visites guidées (*guided tours*) d'une partie signifiante du réseau, adaptées à des utilisateurs particuliers ou à des tâches spécifiques.

Les chemins sont le plus souvent prédéfinis, mais des techniques plus fines sont aussi employées pour adapter le parcours aux besoins de l'utilisateur. Il y a un compromis à trouver entre la liberté totale de parcours d'un hypertexte et le guidage de l'utilisateur, c'est-à-dire des parcours respectant dynamiquement des règles de cohérence sans imposer à l'utilisateur des chemins prédéfinis. Cela revient à définir une sémantique de l'exploration. Furuta et Stotts (1990) séparent : (1) le contenu informationnel, (2) la structure permettant l'exploration de ce contenu et (3) la spécification du contrôle de la navigation. Dans leur système, des réseaux de Pétri sont utilisés pour s'adapter à l'utilisateur ou à un usage particulier.

Au delà de la notion de chemin, on aboutit à la notion de guide, capable de tracer un chemin au fur et à mesure, laissant une certaine liberté d'action à l'utilisateur. La notion de guide est aussi une métaphore intéressante pour maintenir une cohérence dans la traversée de chemins particuliers. Le guide est un rôle pouvant être tenu par un *agent* artificiel (Oren, 1991). Les aides structurelles peuvent être pertinentes au départ, lorsque l'utilisateur n'a pas d'idée claire de l'information souhaitée ou est incapable de la formuler afin de fournir un aperçu du contenu par des cartes sémantiques.

6.3.1.3. La notion de point de vue

Typier les noeuds et les liens permet de représenter plus d'information sémantique et de rendre mieux perceptible à l'utilisateur les buts. L'usage de points de vue (Bruillard et Weidenfeld, 1989), associé à une visualisation dynamique des ancrés⁶ des liens, permet de différencier les destinations d'un lien donné. En prenant l'exemple d'un document de nature textuelle (avec le système SEVE que nous détaillerons un peu plus loin), on peut séparer les explications associées aux mots du texte. Un point de vue courant est défini et les mots expliqués dans ce point de vue courant sont mis en surbrillance dans le texte. Un changement de point de vue modifie dynamiquement les surbrillances affichées. Un même mot peut être associé à des explications différentes dans divers points de vue. Modifier le point de vue a

⁶ En général, les ancrés peuvent être incluses dans le texte lui-même et visualisées soit par un attribut de caractère particulier (soulignement, surbrillance...), soit par des icônes ou des symboles ajoutés au texte. La première technique offre plusieurs avantages : transparence du lien (le mot ou groupe de mots support donne une idée plus claire de la destination de ce lien), absence de marqueurs, donc aucun intrus ne cache ou gêne la continuité du texte, simplicité de création qui s'effectue par marquage de mots ou groupe de mots, indépendance du lien par rapport à la disposition spatiale du texte : la modification du texte (ajout, insertion, suppression) ne modifie pas les liens qui lui sont directement accrochés. En outre, cela donne une structure supplémentaire sur le texte affiché, la visualisation de l'ensemble des liens et leurs supports renseigne sur la structure du document (forme de réification). Le défaut majeur est le conflit possible avec les formes traditionnelles de mise en évidence de certaines parties de textes (italique, gras, soulignement...).

donc deux effets : un changement de présentation du documents (visualisation des ancrés) et l'accès éventuel à des explications différentes. Ceci confère au texte un aspect dynamique en relation avec un contexte de lecture particulier : l'objet ne change pas mais il apparaît différemment. « *C'est comme éclairer une scène, un tableau, une vitrine pour faire ressortir des relations. L'éclairage n'altère pas la scène, il la valorise.* » (Nanard 1993). Cependant, par contre-coup, il dévalorise tout ce qui n'est pas éclairé.

A l'aide de cette notion de point de vue, on peut mieux représenter le contenu à acquérir et faciliter l'exploration de l'utilisateur ou de l'apprenant. Il est ainsi possible d'adapter l'hypertexte au contexte général qui dépend essentiellement de trois paramètres : *le profil de l'utilisateur*, c'est-à-dire ses connaissances générales sur le domaine considéré, *le type de lecture choisi*, correspondant aux buts de la consultation et à *l'historique de la consultation*, le chemin suivi et ce qui a été réalisé. L'aspect dynamique des points de vue renforce la réification due à la visualisation des liens hypertextes. Elle donne une forme de vie à de l'écrit considéré comme inerte et entraîne des lectures non univoques intégrant de multiples significations. L'idée centrale consiste à jouer sur la dynamique de la forme pour refléter le fond. Nous verrons un exemple d'utilisation de cette notion de point de vue pour faciliter la lecture méthodique d'un texte littéraire.

Représenter explicitement et formellement le type des ressources permet de traiter les informations de manière nouvelle, dans une approche qui rejoint celle communément utilisée intelligence artificielle. En effet, des techniques issues de ce domaine s'avèrent utiles pour faciliter la reconnaissance du contexte courant de l'utilisateur et déclencher des aides, notamment lorsque le système juge que l'usager est noyé. Un système hypertexte *idéal* devrait prendre en compte le contexte de la consultation : le but de l'utilisateur (ou la tâche en cours), ses connaissances préalables et l'historique de cette consultation. A partir de ces éléments et d'une requête de l'utilisateur, requête pouvant être la simple activation d'un élément affiché à l'écran, le système devrait pouvoir retrouver l'ensemble des documents pertinents, les filtrer, faire éventuellement un document de synthèse, structurant divers niveaux d'informations utiles, et présenter cette synthèse à l'utilisateur avec des ancrés créés dynamiquement pour accéder à des compléments ou un plus grand niveau de détail⁷.

Toutefois, le recours à des techniques sophistiquées ne peut sans dommage restreindre le contrôle dévolu à l'utilisateur. Ainsi, Akscyn et al. (1988) ont remarqué que les traversées de liens très rapides, moins d'un soixantième de

⁷ On distingue souvent deux approches (Daniel-Vatonne, 1990) : une approche *réseau* intégrant dans l'hypertexte même, de manière figée, la structure logique des documents et une approche *document fugitif*. Dans cette dernière approche, un document n'existe qu'au moment de la consultation ce qui permet de séparer le réseau des moyens permettant de l'organiser en structure logique. Nanard et Nanard (1989), dans MacWeb, introduisent le mécanisme des documents conceptuels pour effectuer la synthèse de documents de base. Un document conceptuel est une description formelle qui spécifie comment extraire du réseau un sous-ensemble de noeuds et de liens de référence, comment l'organiser, comment le présenter et comment agir sur lui.

seconde, sont jugées moins utilisables que les traversées prenant un quart de seconde. Bernstein (1993) l'explique par le besoin de perception d'un changement ressenti par l'utilisateur. Ce dernier doit pouvoir prendre acte d'une modification, ce qui préserve sa sensation de contrôle et d'orientation.

6.3.2. Conception des hypertextes

Une part non négligeable des difficultés rencontrées dans la navigation provient certainement d'hypertextes mal construits et d'interfaces inadaptées, ce qui est somme toute normal dans l'utilisation d'un médium récent et encore mal connu. La conception et la génération d'hypertextes et d'hypermédias sont loin d'être triviales. Créer des applications de toutes pièces nécessite un travail considérable. Structurer des sources existantes, les *hypertextualiser*, est un exercice périlleux (surtout si on en juge par une quantité de produits de piètre qualité) pour lequel on ne dispose d'aucune méthodologie suffisamment générale. Shneiderman (1989) a énoncé ce qu'il intitule les trois règles d'or de l'hypertexte⁸, mais, ces règles de bon sens s'adaptent plus à des hypertextes encyclopédiques (comme HYPERTIES) qu'à des hypertextes littéraires, dans lesquels le choix, l'écriture et l'organisation des ressources et leur typage éventuel (pour des interrogations « intelligentes ») sont des tâches complexes. En fait, la création d'un hypertexte impose le réexamen complet des connaissances d'un domaine, le passage d'un mode séquentiel d'exposition des connaissances, à un mode partagé ou distribué. Il faut faire apparaître les liens entre les diverses connaissances utiles sans imposer un cheminement préétabli. Il faut intégrer de plus de nouvelles conventions qui ne sont pas encore bien établies. Il faudrait « développer et employer des figures stylistiques et rhétoriques qui vont au-delà de celles associées à l'écriture de textes destinés à être publiés dans des livres. En faisant cela, il faut soigneusement séparer l'adaptation de travaux imprimés à l'hypertexte et la création de nouveaux travaux dans ce nouveau médium d'information » (Landow, 1990).

Des outils destinés aux auteurs d'hypertexte commencent ainsi à apparaître, comme les réseaux sémantiques et divers algorithmes spécialisés facilitant la structuration et l'organisation de l'hypertexte. Ainsi, Hamlin et Stemp (1990) créent des sortes de cartes sémantiques en prenant un concept, en listant chacun des concepts auquel il est lié et en notant les forces et intensité de leurs relations. L'hypertextualisation automatique (ou plutôt semi-automatique) en est encore à ses débuts, et ne peut concerner pour l'instant que des classes d'applications restreintes. On ignore encore les types de documents adaptés à de tels processus pour obtenir un hypertexte satisfaisant. Néanmoins, une meilleure structuration des hypertextes et un typage des liens rendant perceptible l'intention qui leur est associée ne suppriment pas pour autant tous les problèmes. En effet, indiquer la nature d'un lien n'est pas immédiat. Les icônes permettent d'exprimer graphiquement la signification d'un bouton. Les couleurs peuvent être employées bien qu'on ne puisse en utiliser de trop nombreuses pour des raisons évidentes de lisibilité. Dans les deux cas, il est

⁸ Un large corpus d'informations organisé en nombreux fragments, des fragments reliés les uns aux autres, une utilisation par fraction à chaque fois.

dangereux de multiplier les types si on veut éviter de désorienter le lecteur. Se pose d'ailleurs un problème délicat de conventions. Ainsi, quand les ancres incluent un label (texte ou icône), sa signification n'est pas toujours très claire puisqu'elle peut concerner : l'origine (pour une note, l'explication d'un mot), un mode de parcours (page précédente, page suivante) ou la destination. Quand on active un lien, on ne sait pas toujours où on va atterrir. Avant d'afficher un article, HYPERTIES fournit un résumé, l'utilisateur a ainsi une idée de qui l'attend avant de confirmer son choix. Il reste à inventer des dispositifs spatiaux de représentation de la destination des liens et l'établissement d'un ensemble de conventions pour ce que Landow (1989) appelle la rhétorique de l'arrivée.

Des méthodes particulières de conception se dégagent peu à peu, par exemple, partant d'un ensemble fortement structuré pour réaliser un hypertexte intégré à un système d'EAO (Wentland et Forte, 1995), ou partant d'un fond documentaire faiblement structuré (Fraïssé 1995). Les techniques d'hypertextualisation plus ou moins automatique émergent (Balpe et al., 1996), s'appuyant notamment sur la structuration physique des documents sources, censée refléter leur structuration logique. Les cartes de concepts, utiles autant pour l'utilisateur que pour le concepteur (Zeiliger et al., 1996), peuvent aussi être constituées avec les utilisateurs ou les apprenants (Paquelin, 1996).

En fait, si la liberté d'association, qui caractérise la première phase des hypertextes, conduit à des risques de désorientation et de surcharge cognitive, elle présente un troisième défaut majeur (Haake et al., 1994), l'obligation d'une organisation prématurée des informations face à la nécessité de décider très tôt comment segmenter l'information et la structurer. Typer les ressources permet de nouvelles formes de traitement, mais il semble que la computation sur des réseaux hypertextes ne fait que renforcer les problèmes de charge cognitive et d'organisation prématurée. Marshall et Rogers (1992) se sont ainsi aperçus que les utilisateurs se basent plus volontiers sur de simples couches de textes organisées spatialement pour exprimer des relations plutôt que de recourir à des modèles relationnels pour les exprimer de manière sémantique et graphique. Ainsi, VIKI (Marshall et al., 1994) infère la structure à partir de la mise en niveau spatiale. Des algorithmes examinent l'organisation spatiale des objets, leurs types et leur occurrence dans des collections. Comme les personnes n'aiment pas utiliser des structures rigides, et qu'elles n'ont pas forcément besoin de le faire, un simple système graphique s'avère peut-être suffisant pour assister la tâche de structuration de l'information.

6.3.3. Les livres électroniques

Une des applications importantes des hypertextes est celle de livre électronique, soulignant d'une part la parenté avec le livre imprimé et, d'autre part, montrant les améliorations susceptibles d'être apportées par l'informatique. Cette notion de livre électronique incarne, en partie, les rêves d'Alan Kay et de Vannevar Bush et leur vision d'un dispositif personnel voire intime de gestion. En revanche, elle semble reprendre l'idée de « livre sur écran », exemple paradigmatique de ce que d'aucuns pouvaient qualifier d'inepties informatisées, c'est-à-dire la transposition directe d'un

livre imprimé sur un écran d'ordinateur. En fait, la technologie actuelle permet de donner une certaine réalité aux visions optimistes.

Le livre fait partie intégrante de notre culture. Il a de nombreux avantages, mais il est avant tout statique et il n'est pas possible de manipuler ce qu'il contient. C'est cet aspect statique qui est à la fois son plus gros atout et son plus grand défaut (voir figure 3). Dans un livre, on distingue la structure logique, qui correspond à l'organisation en chapitres, sous-chapitres... et la structure physique, constituée de pages imprimées. Des instruments de recherche sont fournis : table des matières, table d'index. Leur rôle est de permettre d'accéder directement à des endroits spécifiques. Ils intègrent des correspondances entre les informations cherchées et l'endroit du livre où elles se trouvent. Le lecteur doit assurer lui-même la recherche, lire la page correspondante et ouvrir le livre à cette page. Un livre électronique permet de s'affranchir de ces contraintes et libère le lecteur de la tâche de recherche de la page. Mais au-delà des facilités d'accès que procurent les liaisons électroniques, l'ordinateur permet au livre de devenir dynamique et interactif.

<i>Caractéristiques</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Intégrité de l'information	Valeur historique Jamais inaccessible	Les lecteurs ne peuvent ni modifier le contenu, ni bénéficier d'informations sur mesure ni avoir leurs préférences (taille, largeur des marges, ...)
Entité physique	Portable Permet le survol et l'exploration Permet l'annotation et le soulignement Attrait esthétique	Limité à l'information 2-D (texte et graphique) Coûteux à reproduire pour de l'information qui se démode rapidement. Souvent difficile d'y localiser une information spécifique
Aspect statique		Ne peut gérer le son et le mouvement Difficile de créer des index multiples
Aspect technique	Standards bien définis et suivis Typographie, conception graphique, reproduction de photos perfectionnée Haute-résolution (écriture et graphique) Facile à lire	Autorat multiple difficile Retoucher le texte est propice à la production d'erreurs

Figure 6.3. *Avantages et inconvénients du médium imprimé (Yankelovich et al., 1985)*

Les livres électroniques offrent de nombreux avantages : aide à la connectivité, multimédia, aspect dynamique et sur mesure, interactivité, recherche d'information rapide, historique, édition coopérative, orientation spatiale... Mais si un livre électronique offre plus de possibilités qu'un livre classique, il est plus complexe à manipuler par son lecteur, plus difficile à créer par son auteur et nécessite la mise au

point d'un système informatique complexe pour être utilisé dans de bonnes conditions (Pasquier et Monnard, 1995). Les techniques hypertextuelles autorisent une intégration importante (multimédias, multi-applications) et offrent des possibilités de connexions permettant de multiples structurations. Un livre électronique peut être à la fois un livre, un cahier de brouillon, un cahier d'exercices⁹, un support de simulations multimédias, etc. Pasquier-Boltuck et al. (1989) considèrent un livre électronique comme un ensemble organisé de connaissances sur un sujet donné, correspondant à un ensemble d'objets interconnectés : des textes, des figures, des modèles logico-mathématiques, des index... Leurs expériences avec EBOOK3 et son successeur WEBS donnent des résultats prometteurs. Une des originalités essentielles du livre électronique (intégré à un dispositif portable) est d'être à la fois personnel, mais aussi public, grâce aux fonctionnalités d'extraction et de copie et la grande modularité qui peut présider à sa conception.

Avec le développement de livres électroniques, arrivent de nouvelles formes de ressources éducatives, synthèse entre les livres imprimés classiques et les environnements d'apprentissage, qu'ils soient de type tutoriel ou ouvert. En effet, les livres électroniques fournissent des environnements intégrés où les aspects « livre sur écran » sont complétés par diverses ressources (exercices, simulations, etc.) pour des formes d'apprentissage autonomes.

6.4. Applications éducatives de l'hypertexte

Nous nous sommes attardés assez longuement pour décrire l'évolution du concept d'hypertexte, afin de mieux situer les applications éducatives s'y rapportant. En effet, cette notion est popularisée maintenant depuis la fin des années quatre-vingt, mais ce qui est généralement connu ne rend compte que d'une fraction de ce que recouvre la gestion non-linéaire de l'information et donc de son impact potentiel sur l'éducation. La nature même de l'hypertexte, outil de gestion de l'information conçu pour aider l'homme dans ses activités cognitives, n'en fait pas un outil prioritairement orienté vers l'éducation au contraire des tuteurs intelligents ou des micromondes. L'hypertexte n'est pas intrinsèquement un instrument éducatif, mais les activités qu'il permet ou induit peuvent par contre avoir un fort potentiel éducatif. Si nous trouvons des applications éducatives que l'on peut qualifier vraiment d'hypertextes, plutôt liées à la littérature et aux sciences humaines, de nombreuses applications intègrent des fonctionnalités hypertextes dans des ensembles directement issus des recherches en EIAO. En reprenant la métaphore de Bernstein, les environnements éducatifs intègrent plutôt l'hypertexte dans le travail de la mine ou de la manufacture, peu vraiment dans le jardinage.

Sur la base d'une classification des usages éducatifs des hypertextes, nous présentons quelques applications qui nous semblent caractéristiques, puis nous

⁹ L'idée du livre cahier est assez ancienne. Elle a notamment été réalisée sous la forme de classeur avec des feuilles imprimées et des feuilles vierges. Ce n'est pas un livre entièrement préfabriqué, chaque élève en est en quelque sorte le co-auteur.

reviendrons sur les problèmes de navigation et de structuration des hypertextes conçus pour des contextes éducatifs.

6.4.1. *Essai de classification des usages éducatifs des hypertextes*

S'il n'existe pas vraiment de classification établie des hypertextes, bien que plusieurs auteurs aient tenté d'en fournir (Concklin, 1987 ; Halasz et al., 1987 ; Leggett et al., 1990), il est possible de proposer une typologie d'activités éducatives associées à l'hypertexte. Duffy et Knuth (1990) distinguent quatre grands types d'usage :

1. explorer un réseau d'informations important,
2. accéder précisément à des noyaux d'information (avec un critère d'efficacité dans la navigation),
3. opérer (par exemple annoter, extraire...) sur un réseau d'informations,
4. construire un réseau d'informations.

Dans cette classification, qui ne recoupe pas celle des systèmes, plusieurs usages pouvant être possibles avec un même système, chacune des catégories précédentes inclut une grande diversité d'applications. Sur cette base, trois critères principaux (Bruillard et de La Passardière, 1994) orientent une classification des usages éducatifs des hypertextes : (1) les *activités de l'apprenant*, (2) le type d'aide ou de contrôle du système sur ces activités et (3) les formes d'apprentissage visées par la navigation ou l'exploration, par la résolution de problèmes et par la construction ou la production d'objets informatiques.

En première approximation, la prise en compte de ces différents critères croise la classification de Taylor (1980) concernant l'usage des ordinateurs dans l'éducation, classification basée sur les différents rôles de la machine. Rappelons que Taylor distingue l'ordinateur comme *Outil (Tool)*, *Enseignant (Tutor)* et *Apprenant (Tutee)*. Un quatrième rôle peut éventuellement être ajouté, celui du *Jeu*¹⁰ (*Toy*). Une telle classification a été proposée par Romiszowski (1990) pour les applications éducatives de l'hypertexte. La superposition de ce point de vue lié au statut de la machine au regard du type d'activités de l'apprenant, donne une image assez complète de l'usage des hypertextes en éducation (figure 4).

Nous avons vu au chapitre précédent que la classification de Taylor n'est plus tout à fait d'actualité. Les rôles que peut jouer l'ordinateur sont en effet à la fois multiples et souvent localisés. Néanmoins, les trois pôles (*Tool*, *Tutor*, *Tutee*) semblent conserver un pouvoir attracteur important. Ainsi, cette classification n'est peut-être plus totalement opératoire mais elle reste indicative d'un certain mode d'appropriation de l'hypertexte par les communautés éducatives.

¹⁰ Notons que la notion de *jeu* entretient des rapports ambigus avec l'éducatif, contentons nous de remarquer que l'aspect ludique s'il offre souvent une motivation intrinsèque non négligeable ne préjuge pas des activités réelles effectuées par le joueur ou l'apprenant.

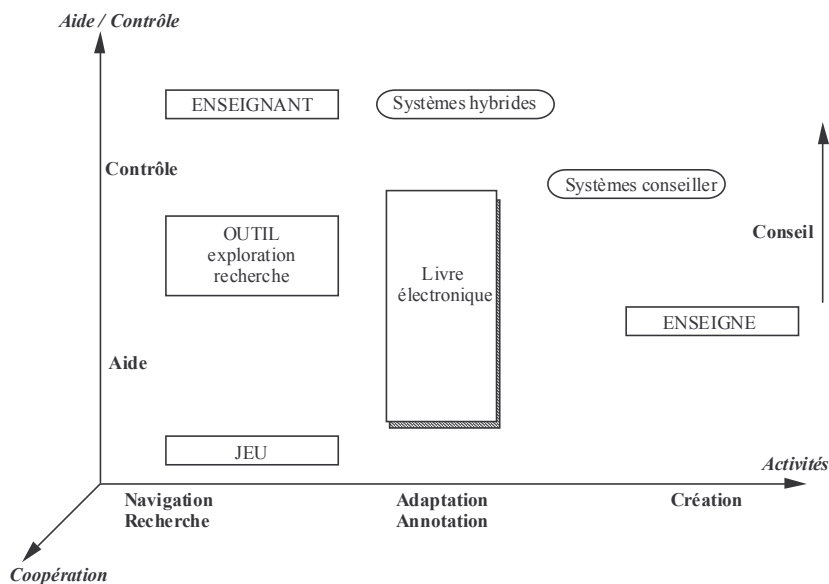


Figure 6.4. Classification des usages éducatifs des hypertextes

Confier un rôle d'enseignant à la machine correspond à des systèmes dans lesquels cette dernière garde une bonne partie du contrôle, même si elle se contente d'être un conseiller plus ou moins actif. La distinction entre Outil et Apprenant (ou Enseigné) semble de moins en moins pertinente. Si elle se traduit par une plus ou moins grande marge d'activité octroyée à l'apprenant, elle suppose un écart entre les connaissances elles-mêmes et les différentes façons de les manipuler, écart largement mis en question, d'autant plus si on prend en compte des aspects sociaux de la construction du savoir. L'ambition de l'hypertexte se situe bien au-delà de la simple fourniture de quelques outils et tend à modifier la notion même de document dans sa production, sa gestion et sa manipulation. Il s'agit d'en faire un *outil cognitif* pédagogique (Kommers et al. 92, Mayes 93). Cette vision qui semble prometteuse se situe finalement en droite ligne des idées développées par les précurseurs (Bush, Engelbart, Nelson). En fait, l'hypertexte a pour vocation de construire un environnement travail, constituant un cadre favorable à la mise en œuvre de nombreuses activités éducatives.

6.4.2. Des usages éducatifs centrés sur l'hypertexte

Dans les différentes applications éducatives centrées autour de l'hypertexte, les activités proposées aux apprenants vont de la simple consultation jusqu'à la création complète, en passant par la modification et l'annotation de bases existantes. Quelques exemples caractéristiques, bien que ne rentrant pas dans un cadre aussi restreint, illustrent ces grandes classes d'activités.

6.4.2.1. *L'hypertexte comme outil de consultation : PERSEUS*

PERSEUS, commencé dès 1986 et développé pour l'essentiel à l'université d'Harvard sous la direction de Gregory Crane (Mylonas et Heath, 1990 ; Mylonas, 1993), est une base de données multimédias, images et textes, sur la culture grecque classique, incluant une grande variété d'outils de manipulation des informations qui y sont contenues. PERSEUS est en effet très riche. Il renferme un précis d'histoire ancienne, une bibliothèque d'auteurs, un Atlas, des documents portant sur l'art et l'archéologie, un inventaire d'outils et références, une encyclopédie. Toute la documentation est accessible, non seulement les textes (420 textes originaux), mais l'architecture, l'histoire, les plans, les vases, les mosaïques, la statuaire... (Charpin, 1994a).

Chaque document est inséré dans un réseau d'informations multiples et il est possible de convoquer à l'écran les documents figurés qui lui sont associés. En quelques secondes, l'utilisateur « *dispose du musée imaginaire du monde antique*¹¹ ». L'exhaustivité enfin permise, c'est-à-dire l'accès à tous les documents répertoriés à un moment donné, induit des changements profonds dans l'activité du chercheur et sans doute dans celle de l'enseignant. Disposer de la totalité des documents rend d'autant plus nécessaire les connaissances pour être à même de les choisir et de les interpréter. En outre, les outils lexicaux fournis avec PERSEUS, le fait de pouvoir rechercher un vocable anglais ou grec à travers la totalité des documents, permettent d'espérer la reconnaissance exhaustive de tous les concepts présents dans une œuvre¹².

Présentant les résultats d'une série d'expérimentations pendant une durée de quatre ans, Neuman et al. (1995) rappellent les hypothèses sous-tendant la conception de PERSEUS : l'accès à une collection intégrée des sources facilite l'émergence d'une pensée synthétique et indépendante, la liberté de construire une connaissance personnelle améliore et étend la compréhension, la coopération entre apprenants et enseignants est naturelle dans un tel environnement. En fait, un apprentissage plus profond est espéré dans l'exploration conjointe d'authentiques problèmes.

¹¹ « *L'utilisation de l'informatique rend caducs pratiquement tous les manuels existants. Pourquoi donner des extraits de textes, douze pages de Platon, cinq pages d'Homère et quatre pages de Démosthène ? Désormais l'utilisateur dispose de toute la littérature grecque... Pourquoi proposer une réduction de vase ? Désormais l'utilisateur dispose de plus de huit mille vases, entièrement commentés, dont certains sont représentés par une centaine de diapositives numérisées... Pourquoi présenter de vulgaires plagiats de l'Antiquité alors que l'on peut disposer des textes, des sculptures et des vases des Anciens ?* » (Charpin, 1994b).

¹² Charpin (1994c) donne l'exemple d'une recherche sur le thème de la liberté. A l'aide des deux équivalents anglais *liberty* et *freedom*, on peut trouver les mots grecs qui les contiennent dans leur définition du dictionnaire de Liddell et Scott et les rechercher dans n'importe lequel des documents inclus dans PERSEUS (Charpin, 1994c).

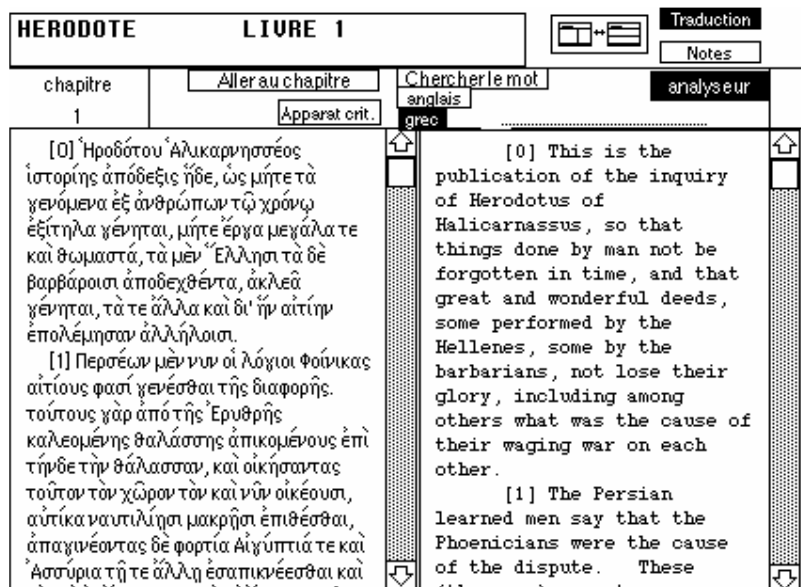


Figure 6.6. Ecran de PERSEUS (Charpin, 1995)

Sur la base d'une première expérimentation en collège en France, Ko (1994) souligne l'intérêt de mettre en contact de jeunes élèves avec un corpus qui a l'avantage d'être clos, tout en étant immense et nécessairement lacunaire. Si les élèves apparaissent motivés, il semble que cela va bien au-delà du simple attrait de la nouveauté. D'autres tentatives en 4^{ème} et en 3^{ème} (Charpin, 1995), le confirment. Créer des chemins est une activité intéressante que les élèves pratiquent avec un certain succès. Pour Binet, au travers de la lecture de textes grecs, les élèves se sont aperçus que la manière d'aborder les thèmes n'était pas la même dans nos deux civilisations. Dans PERSEUS, la rigueur scientifique est grande, qualité qui fait naître chez les élèves une même exigence. D'après Bourillon, ils ont appris à citer leurs sources. Si le travail avec PERSEUS permet d'espérer combler le trou entre l'étude de la langue et l'approche effective de la civilisation, les multiples croisements possibles induisent une sorte d'éclatement de la recherche et complexifient la tâche de par l'abondance excessive des documents. La conception de fiches d'activités est sans doute une première réponse, mais les pratiques restent encore à inventer.

Le cycle de développement et d'évaluation de quatre ans qui s'est déroulé dans plusieurs sites des Etats Unis concerne des apprenants plus âgés (d'au moins dix-huit ans). Il a conduit à un certain nombre de résultats assez contrastés (Morrell et al., 1993 ; Marchionini et al., 1995 ; Neuman et al., 1995). Il semble que des efforts importants soient requis pour créer les types de présentation et les consignes nécessaires pour exploiter le potentiel d'un environnement interactif aussi riche en informations.

D'une part, les principaux bénéfices retirés par les apprenants sont pour l'essentiel de nature quantitative : ils voient plus de choses en moins de temps et sont capables de citer plus de textes. Mais les étudiants en archéologie, au grand dam de leurs enseignants, continuent à se fier plutôt aux commentaires des experts qu'à ce qu'ils ont pu eux-mêmes observer, malgré le nombre important d'images consultées. D'autre part, aux contraintes matérielles, qui posent communément des difficultés, il faut ajouter des contraintes conceptuelles, celles exigées pour qu'enseignants et apprenants puissent se « débrouiller » avec un système aussi complexe et exploiter ses possibilités. Le manque de modèle auquel se raccrocher pour concevoir des tâches d'apprentissage appropriées complique la tâche des enseignants.

Toutefois, il semble que la présence d'images ait permis de favoriser une compréhension plus profonde des textes et quelques expériences remarquables se sont produites¹³. Même si ces dernières ont été rares, elles montrent que l'apprentissage qualitativement différent souhaité par les concepteurs peut effectivement avoir lieu. L'ensemble des résultats obtenus suggère que les stratégies et compétences nécessaires pour permettre un tel apprentissage doivent être identifiées et expliquées. En effet, l'apprentissage profond et complexe souhaité par les concepteurs de PERSEUS ne peut se produire que si les apprenants et les enseignants acquièrent des compétences dans la manipulation productive d'un tel environnement.

A l'exemple de PERSEUS, accompagnant la diffusion des cédéroms, un grand nombre d'applications permettent la visite de musées ou d'expositions, de sites archéologiques, etc., multipliant les sources disponibles pour les activités éducatives. L'usage de tels environnements multimédias pour supporter l'apprentissage pose les mêmes questions.

6.4.2.2. *L'hypertexte comme outil de structuration : INTERMEDIA*

La première application éducative significative des hypertextes est certainement INTERMEDIA, système multi-utilisateur, tournant sur Macintosh, conçu pour l'enseignement en milieu universitaire. Il a été développé à l'université de Brown (Yankelovich et al., 1985).

Au plan technique, INTERMEDIA intègre de nombreux outils, éditeurs textuels et graphiques, gestionnaires de bases de données..., et offre une riche panoplie de fonctionnalités pour la création et l'évolution d'hyperdocuments par plusieurs utilisateurs. Le cœur de ce système est un mécanisme de liaison définissant le mode

¹³ Un étudiant était intrigué par le fait que les hommes de l'infanterie grecque (les hoplites), représentés sur plusieurs vases, portent des armures mais pas de sandales. Il s'attaqua à ce problème délicat. Aucune référence dans un texte ne parlait d'hoplites chaussés, aucune représentation sur les vases de PERSEUS, un vase montrant même un hoplite aux pieds dénudés à côté d'un soldat ennemi muni de sandales. Il en conclut que les grecs, bien que connaissant les chaussures, avaient choisi de ne pas en porter, contredisant les sources secondaires illustrées montrant des hoplites chaussés de sandales.

d'intégration d'autres applications aux documents INTERMEDIA. Les liens sont bidirectionnels et leurs ancres sont attachées à des endroits spécifiques des documents, qui peuvent être de différentes tailles. A l'activation d'un lien, le système ouvre une fenêtre avec le document correspondant et fait défiler le texte jusqu'à ce que l'ancre soit visible. La notion de *Web View* (vue d'un sous-réseau) permet l'affichage automatique d'une représentation d'un sous-réseau, c'est-à-dire d'une organisation spécifique d'un ensemble de documents.

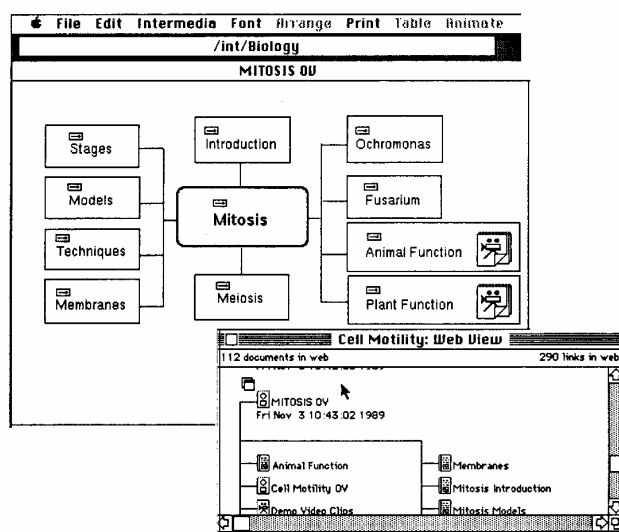


Figure 6.7. Une vue du réseau d'INTERMEDIA (Nielsen, 1990, p. 98)

Ce système est opérationnel et est utilisé depuis la fin des années quatre-vingt par les étudiants. Les professeurs peuvent organiser des hyperdocuments et les mettre à disposition des étudiants afin qu'ils puissent les étudier, les annoter, créer de nouveaux liens et produire des rapports. Plusieurs cours ont été développés dans des domaines différents comme la biologie cellulaire et la littérature. Context32, le premier hyperdocument créé avec Intermédia, sur la littérature anglaise, contient 1600 documents et plus de 3000 liens bi-directionnels (Landow, 1992). A partir d'un sous-réseau de Context32 sur la poésie victorienne, un étudiant peut consulter des documents sur l'environnement artistique, religieux et philosophique d'un auteur. Une grande partie des nouveaux hyperdocuments sont maintenant introduits par les étudiants.

Utilisant INTERMEDIA dans son enseignement universitaire depuis plusieurs années, Landow tire diverses leçons de l'usage du système. Ce dernier favorise le développement de la pensée critique, habitue les étudiants à faire leurs propres connexions et à formuler des problèmes avec des approches multicausales et multidisciplinaires et encourage le travail coopératif. Landow rapporte que sa propre approche de l'enseignement avec INTERMEDIA a peu à peu évolué. A l'origine, les

activités menées par les étudiants étaient centrées sur la lecture et l'exploration. Graduellement, les activités d'écriture et de création de liens sont devenues importantes correspondant plus à la vision des concepteurs d'INTERMEDIA d'une fusion entre les rôles d'écrivain et de lecteur. D'après sa propre expérience, des étudiants, même débutants, peuvent produire des matériaux utiles et une telle activité est profitable pour eux-mêmes et pour les autres étudiants.

6.4.2.3. L'hypertexte comme outil de création individuelle ou coopérative

Des générateurs hypertextes permettent de créer, individuellement ou en groupe, un réseau structuré d'informations. Le ou les apprenants ont le rôle d'auteur, auquel il est nécessaire de fournir des outils de construction adaptés. L'hypertexte s'apparente fortement à la notion de micromonde et, comme le note Alan Lesgold (1987) à propos de NoteCards, il possède les caractéristiques des meilleurs outils autorisant un apprentissage par la découverte, et plus particulièrement les procédés de réification qui permettent de rendre plus explicite, plus compréhensible et plus manipulable, en tant qu'objet de la pensée, le processus qui consiste à modifier le texte en jouant sur les relations existant entre des réseaux complexes d'idées et un texte linéaire.

L'aspect coopération s'accompagne souvent d'une perspective de construction sociale du savoir, conduisant à privilégier les travaux collectifs par rapport aux travaux individuels. L'hypertexte rend alors externe la connaissance personnelle et structure le discours public. Dans le projet CSILE (Computer-Supported Intentional Learning Environments), un système hypertexte est construit autour d'une base de données générée par les apprenants (Scardmalia 1991, Barrett 1992).

Du point de vue de l'enseignement, l'hypertexte constitue une aide appréciable, comme ressource de présentation collective ou comme assistance à la production des documents que l'enseignant est amené à réaliser. Ce dernier devrait pouvoir jouer le rôle d'ouvreur de chemins pour les apprenants ainsi que celui de collecteur de ressources dans une perspective de construction d'hypertextes par les apprenants. Des expériences en collège (Beaufils, 1996) montrent que des élèves jeunes sont aptes à créer des hypermédias de complexité raisonnable.

Mais si les hypertextes fournissent des outils et des ressources nouvelles aux enseignants et aux apprenants, s'intégrant dans des activités fondées sur la recherche, la structuration et l'élaboration de bases de documents, ils peuvent aussi intervenir dans des logiciels d'EIAO similaires à ceux décrits dans les chapitres précédents.

6.4.3. Les hypertextes intégrés dans des EIAO

6.4.3.1. Des systèmes hybrides

Les techniques et systèmes hypertextes peuvent s'intégrer dans les traditions déjà existantes, soit pour pallier certaines difficultés théoriques, telle la conception d'un modèle élève, en rendant partiellement le contrôle à l'apprenant, soit pour améliorer les interfaces et faciliter la gestion des aspects multimédias. Des fonctionnalités complémentaires doivent alors être ajoutées et deux approches différentes sont essentiellement suivies pour la conception de tels systèmes hybrides :

1. Ajouter des fonctionnalités hypertextes à un logiciel d'enseignement, l'hypertexte est vu comme une ressource complémentaire, ayant un rôle de nature essentiellement documentaire (présentation du contenu, messages d'aide et messages d'erreurs...)
2. Ajouter des fonctions liées à l'enseignement (guidage, exercices, évaluation...) à un système extensible bâti sur la navigation ou à un générateur hypertexte, comme HyperCard (Beltran, 1991).

Dans le premier cas, il s'agit d'une évolution des langages auteurs par ajout de ressources hypertextes ; dans le second, on transforme des générateurs hypertextes en des langages auteurs. Introduire des fonctionnalités générales de contrôle de l'activité de l'apprenant revient à établir une gestion des liens. Par rapport aux logiciels d'enseignement traditionnels, il s'agit de rendre, au moins partiellement, le contrôle à l'apprenant dans un environnement riche bénéficiant de ressources multimédias et d'une organisation hypertextuelle. Dans l'une ou l'autre de ces approches, pouvoir offrir le maximum de liaisons entre les fonctionnalités hypertextes et les activités proposées, notamment le contrôle éventuel d'accès contextuels aux documents hypertextes, apparaît déterminant. Dans cette perspective, Forte propose une classification distinguant hypertexte de documentation, hypertexte d'aide en ligne et hypertexte pédagogique, ce dernier remplissant la fonction de base d'aide théorique du didacticiel auquel il est couplé (Forte et al., 1993).

On constate cependant que, à partir d'outils génériques (du type HyperCard, Toolbook...), sont bâties des couches spécifiques pour développer du matériel d'EOA somme toute assez classique, octroyant à l'apprenant une marge de manoeuvre minimale et relativement contrôlée. Offrant sans doute un gain de productivité important par rapport aux outils traditionnels, ces nouveaux générateurs ne sont que de nouveaux langages auteurs plutôt orientés vers le multimédia.

Un des premiers exemples de système hybride est SEVE (Brouaye et al., 1987 ; Bruillard, 1991a), conçu au Centre Mondial de l'Informatique dans le cadre du groupe didacticiels dirigé par Gérard Weidenfeld. L'intuition à la base de sa conception est la reconnaissance de l'importance primordiale de disposer d'un environnement adaptatif pour expliquer des textes, notamment des documents de nature administrative, à diverses classes d'utilisateurs. Mais l'expérience a montré qu'une telle fonctionnalité s'avère utile dans bien d'autres contextes, par exemple pour aider des élèves bloqués dans des activités de résolution de problèmes à cause d'une incompréhension de l'énoncé.

SEVE, écrit en langage C, présente les caractéristiques suivantes :

- un gestionnaire de documents structurés hiérarchiquement avec des pages, des chapitres et des sections,
- des champs de saisie pouvant s'étendre sur plusieurs lignes avec un éditeur associé,
- un système hypertexte et un système de fenêtres, des ancrs, visualisées par des surbrillances, pouvant être associées à des entités (mots ou groupes de mots) et des champs,
- des points de vue associés à l'hypertexte (attributs des liens), permettant de changer les explications et de transformer dynamiquement le document par la visualisation des ancrs,
- un langage PROLOG écrit également en C, communiquant complètement avec le reste du système pour les entrées/sorties, des programmes pouvant être attachés à des touches, des champs ou des entités;
- des gestionnaires de menus et de bases de données.

Il ne s'agit donc en aucun cas d'un langage auteur au sens classique du terme mais plutôt d'un système de développement riche et ouvert intégrant un langage de programmation complet et puissant (PROLOG) et un générateur d'hypertextes très simple d'emploi, l'environnement général étendant d'une manière appréciable les possibilités de Prolog pour les entrées / sorties.

L'hypertexte de SEVE supporte divers types de liens, des liens figés ancrés dans le document sur une entité (un mot ou un groupe de mots) ou associés à des champs. La dépendance vis-à-vis du contexte est assurée par une hiérarchie de dictionnaires (suivant l'arborescence des répertoires) et un attribut associé aux noeuds destinations. La couche PROLOG contrôle éventuellement l'accès aux fiches hypertextes, ce qui permet la flexibilité des destinations calculées ou déduites¹⁴. L'hypertexte en interne se présente comme un système de notes récursif (d'où l'appellation de dictionnaires donnée aux fichiers hypertextes). Les notes sont affichées dans des fenêtres munies d'un titre et dont le contenu peut défiler à l'écran. Quand plusieurs notes sont ouvertes, les fenêtres sont automatiquement décalées, la suite des titres reste visible et facilite le repérage.

Une application SEVE est organisée de manière arborescente en chapitres, pages et sections. Les chapitres sont accessibles par des menus, la circulation est libre entre les différentes pages d'un même chapitre. Cependant, un chapitre ne peut donner accès directement à un autre chapitre. Il est nécessaire de remonter à la table des matières. C'est la nature éducative des applications développées avec SEVE qui a justifié ce choix, un chapitre pouvant être considéré comme une leçon, dans la perspective initiale du système.

Le système SEVE a permis de réaliser plusieurs applications éducatives dans des domaines très divers comme l'aide à la rédaction d'une démonstration mathématique

¹⁴ D'autres systèmes offrent la possibilité de liens calculés (i.e. leur destination est l'objet d'un calcul ou d'une déduction), c'est le cas pour le système StrathTutor (Kibby & Mayes 1989). Il est aussi possible d'attribuer plusieurs destinations possibles à un lien, des éléments de contexte permettant de choisir une destination dans un contexte donné (ou laisser l'utilisateur faire ce choix).

(ARRIA), un système d'auto-formation au langage Prolog (APILOG), une aide à la rédaction d'un commentaire composé (LYRE) et à la lecture de textes philosophiques (PHILO) et système de formation à un progiciel (AIP). Ces applications fournissent des exemples de diverses formes d'intégration de l'hypertexte dans des outils d'enseignement.

6.4.3.2. Deux exemples : APILOG et LYRE

APILOG, programme d'auto-formation au langage PROLOG, illustre certaines potentialités des livres électroniques. (Bruillard, 1991a). Il se compose d'une partie cours, d'un manuel sur les prédéfinis du langage, d'exemples de programmes complets commentés et d'un environnement de programmation. L'utilisateur apprend PROLOG en écrivant des programmes en PROLOG dans un environnement contrôlé et riche en explications. Le fait d'écrire véritablement du PROLOG règle la plupart des problèmes de plus bas niveau et évite une séparation trop grande entre la phase d'appropriation et la mise en application éventuelle.

L'hypertexte gère l'interface active de lecture et donne une documentation en ligne de tous les prédéfinis (mots de base du langage) et des concepts généraux de PROLOG, accessibles directement pour la conception des programmes. Les points de vue (attributs des liens) permettent de différencier deux profils distincts (utilisateur débutant en informatique ou connaissant déjà un peu de programmation) et de fournir des explications plus adaptées. Des dictionnaires locaux (attachés à chacun des chapitres) offrent des explications spécifiques à des concepts particuliers. Un éditeur permet d'entrer les paquets de clauses et les requêtes, PROLOG intervient à la fois comme langage cible et comme vérificateur pour les exercices. Aucune analyse fine des erreurs de programmation n'est effectuée, les vérifications étant essentiellement d'ordre syntaxique.

APILOG fournit un tour d'horizon assez complet du langage PROLOG. L'utilisateur (lecteur / apprenant) n'est pas contrôlé et a toute liberté de se déplacer dans les chapitres, naviguer dans les explications de l'hypertexte, regarder les exemples, faire des exercices, écrire des programmes. La documentation propose diverses cartes de circulation et suggère des stratégies (comme aller rapidement aux exercices, chercher les explications en cas de besoin, revenir en arrière, etc.).

Une évaluation rapide, effectuée par deux trinômes à l'Ecole Supérieure d'Electricité durant l'année scolaire 1987-1988 alors que la notion d'hypertexte était encore très peu connue en France, souligne deux difficultés¹⁵ : la nécessité

¹⁵ Les deux groupes ont rencontré des difficultés, en partie dues à une ergonomie insuffisante du programme, mais surtout liées à des stratégies de travail peu adaptées. Ils adoptent en effet une démarche analytique de lecture linéaire, page par page, antinomique de la conception même du logiciel. S'ils apprécient en général les exemples et les exercices, ils ne gèrent pas leur parcours, reviennent rarement en arrière et n'explorent jamais en avant. Un groupe a fait une étude détaillée en suivant systématiquement le déroulement séquentiel du programme, pour être sûr d'en évaluer toutes les possibilités, et a perdu beaucoup de temps à parcourir en tous sens des chemins dans l'hypertexte. Aucun n'avait lu la documentation accompagnant le logiciel.

d'apprendre des nouvelles stratégies de lecture pour utiliser les hypertextes et le manque de soutien ou de guidage qui rend l'apprentissage parfois difficile (comme l'apprentissage autonome avec un livre).

D'après Nanard, l'hypertexte est une « vue », un éclairage particulier, plusieurs éclairages différents pouvant être projetés sur un même ensemble d'informations sans l'affecter. Le logiciel LYRE (Bruillard, 1991a), système d'aide à l'analyse de textes littéraires en vue de la rédaction d'un commentaire composé, destiné à des élèves de lycée, illustre cette idée. Sur un poème ou un texte littéraire, LYRE offre divers points de vue de lecture (lexique, images, niveaux phonique et prosodique, syntaxe, sémantique), des possibilités de croiser ces divers points de vue en les visualisant sur le texte initial et d'effectuer une recherche transversale à l'aide d'un point de vue global.

Le point de vue IMAGES	Le point de vue GLOBAL ¹⁶			
<p>LE DORMEUR DU VAL</p> <p>C'est un trou de verdure où chante une rivière Accrochant follement aux herbes des haillons D'argent; où le soleil, de la montagne fière, Luit : c'est un petit val qui mousse de rayons.</p> <p>Un soldat jeune, bouche ouverte, tête nue, Et la nuque baignant dans le frais cresson bleu, Dort; il est étendu dans l'herbe, sous la nue, Pâle dans son lit vert où la lumière pleut.</p> <p>Les pieds dans les glaïeuls, il dort. Souriant comme Sourirait un enfant malade, il fait un somme: Nature, berce-le chaudement: il a froid.</p> <p>Les parfums ne font pas frissonner sa narine; Il dort dans le soleil, la main sur sa poitrine Tranquille. Il a deux trous rouges au côté droit.</p> <p>Arthur RIMBAUD</p>	<p>LE DORMEUR DU VAL</p> <p>C'est un trou de verdure où chante une rivière Accrochant follement aux herbes des haillons D'argent; où le soleil, de la montagne fière, Luit : c'est un petit val qui mousse de rayons.</p> <table border="1"> <tr> <td> Un s Et l Dort Pâle Les Sour Natu </td> <td> Point de vue : HOMME NON-MOUVEMENT REJET SYNTAXE </td> <td> verte, tête nue, e frais cresson bleu, 'herbe, sous la nue, la lumière pleut. ort. Souriant comme , il fait un somme: : il a froid. </td> </tr> </table> <p>Les parfums ne font pas frissonner sa narine; Il dort dans le soleil, la main sur sa poitrine Tranquille. Il a deux trous rouges au côté droit.</p> <p>Arthur RIMBAUD</p>	Un s Et l Dort Pâle Les Sour Natu	Point de vue : HOMME NON-MOUVEMENT REJET SYNTAXE	verte, tête nue , e frais cresson bleu, 'herbe , sous la nue , la lumière pleut . ort. Souriant comme , il fait un somme : : il a froid .
Un s Et l Dort Pâle Les Sour Natu	Point de vue : HOMME NON-MOUVEMENT REJET SYNTAXE	verte, tête nue , e frais cresson bleu, 'herbe , sous la nue , la lumière pleut . ort. Souriant comme , il fait un somme : : il a froid .		

Figure 6.7. Deux exemples de point de vue dans LYRE

La figure 6.7 illustre la dynamique de consultation dans LYRE sur le poème de Rimbaud, « Le dormeur du val », avec les points de vue *IMAGES* et *GLOBAL*.

L'intérêt de cette notion de point de vue, associée à des types de lecture, ne se limite pas aux textes littéraires. La même idée est employée dans APILOG pour différencier les explications associées à un programme PROLOG suivant l'instanciation des variables (le comportement d'un programme incluant des générations et des tests peut radicalement changer, un même code étant utilisé dans

¹⁶ Toutes les expressions expliquées suivant un point de vue quelconque sont mises en surbrillance. En cliquant sur un mot, ici le verbe « Dort », on peut choisir l'explication liée à un point de vue particulier.

des contextes distincts). Cette notion de point de vue renforce la réification due à la visualisation des liens hypertextes. Elle est très proche de la notion de point de vue qui se développe dans les recherches sur les tuteurs intelligents (Moyse, 1989) : mise en évidence dynamique d'un objet ou d'une représentation particulière d'un objet dans le cadre d'un but spécifique. On représente la même information sous différents formalismes d'où l'obtention de modes complémentaires d'analyse qui peuvent être requis dans un contexte donné, référant aux mêmes objets mais les identifiant et les structurant de façons différentes.

6.4.4. Navigation libre, aidée ou guidée

La possibilité offerte par l'hypertexte de rendre une partie du contrôle à l'apprenant, lors des sessions de formation, séduit les chercheurs intéressés par l'éducation. En revanche, déterminer la bonne marge d'initiative déclenche des controverses. Faut-il octroyer une liberté totale, au risque de laisser l'apprenant s'égarer, ou l'assister dans son parcours, quitte à le contraindre à suivre un chemin balisé de manière stricte et ne lui laisser consulter que quelques chemins de traverses ? Le problème de la structuration de la matière à enseigner, thème de recherche important depuis l'enseignement programmé, revient d'actualité. La multiplicité des types de ressources (textes, images fixes, vidéo, sons...), leur complémentarité éventuelle, ouvrent des champs de recherche immenses. Même si une dualité auteur / lecteur est la plupart du temps maintenue, l'hypertexte étant figé et l'utilisateur ne disposant pas de la possibilité de le modifier, se pose la question d'organiser une base d'information, d'orienter le lecteur et de faciliter ses choix. Peut-être faut-il aider les apprenants à acquérir de nouvelles stratégies de lecture ?

6.4.4.1. Vers de nouvelles stratégies de lecture ?

En effet, la maîtrise de la lecture avec un hypertexte réclame des aptitudes nouvelles et spécifiques que les utilisateurs n'ont pas encore développées, aptitudes pour la navigation, l'intégration d'informations, etc.. De nouvelles stratégies sont nécessaires, elles devraient naître et croître avec l'usage grandissant des hypertextes. Une étude en contexte scolaire de Rouet (1990) montre que l'utilisation d'un système hypertexte demande la mise en œuvre de conduites de lecture spécifiques. Les élèves ne disposent pas d'emblée de stratégies optimales. Ce constat amène à poser la question des méthodes d'apprentissage permettant de familiariser les sujets avec la situation-hypertexte. En effet, l'efficacité de l'hypertexte est loin d'être prouvée, la forme imprimée semblant encore supérieure (Rouet, 92); ne serait-ce que parce qu'elle culturellement mieux établie. Ainsi, non seulement un apprentissage minimal semble s'avérer indispensable, mais il est nécessaire de mieux comprendre les relations complexes entre les options de conceptions et les besoins requis pour les tâches devant être effectuées. Rouet et Tricot (1995) décrivent ainsi la consultation d'un hypertexte comme un cycle de traitement comprenant trois phases principales : la sélection de l'information, le traitement de cette information et l'évaluation de la pertinence de cette sélection selon le but visé par l'utilisateur.

Tracer un chemin dans un hypertexte consiste à récupérer des éléments épars, les grouper dans des blocs signifiants et trouver une forme de circulation linéaire au travers de ces blocs pour constituer un tout auquel un lecteur pourra trouver un sens ou une finalité. Pour sa part, le lecteur devra reconstruire ce sens dans son parcours le long du chemin tracé. Ce problème d'organisation des ressources, reliées entre elles localement, pour permettre la création d'un ou de plusieurs chemins pour les parcourir se retrouve dans de nombreux contextes. C'est par exemple celui de la planification d'un cours. Les langages auteurs, conçus pour la production de logiciels d'EAO, privilégient une logique d'exposition, proche du paradigme des langages impératifs : on crée un déroulement, en répartissant les connaissances le long des divers chemins prévus à l'avance. L'introduction de techniques issues de l'intelligence artificielle amène une plus grande flexibilité. La représentation explicite des liens entre les connaissances confère une grande indépendance vis-à-vis des modes d'exposition ou de travail. Les recherches s'orientent vers un aspect organisationnel de la matière à apprendre en molécules, articulées ensuite au moyen de structures gérées par des interprètes généraux. Les problématiques de navigation dans les hypertextes et de planification de cours ou de gestion d'un curriculum se rejoignent. Les techniques utilisées sont voisines : découpage en unités et recherche des liens entre elles.

L'utilisateur d'un hypertexte, conservant une grande part d'initiative dans les choix successifs de parcours, doit faire face à une certaine fragmentation du contenu. Son exploration peut être finalisée par une tâche de production (un rapport, une analyse) se rapprochant de la création d'un chemin incluant des commentaires justifiant les liaisons établies. La maîtrise de ces processus nécessite de développer des stratégies adaptées et d'acquérir des compétences spécifiques. Il apparaît possible d'aider à l'apprentissage de ses stratégies et de faciliter le développement de telles compétences. Pour Tricot et Bastien (1996), le concepteur doit, par une structure claire, relativement indépendante du contenu, permettre au sujet de localiser les informations et de comprendre les liens qu'il y a entre elles dans le système.

Un parallèle intéressant existe entre la problématique hypertexte et la démonstration en mathématiques. L'effet fragmenté d'une démonstration rejoint la construction d'un hypertexte. La rédaction de la démonstration obéit à une rhétorique particulière, et correspond au parcours d'un chemin dans un graphe ou un hypergraphe. Peut-on et faut-il apprendre les règles de cette rhétorique à partir d'un contenu déjà constitué ? ARRIA (Bruillard, 1992), système d'aide à la rédaction d'une démonstration, montre la voie à des systèmes de construction d'argumentation par organisation de fragments donnés. L'organisation interne d'ARRIA constituée de fragments ayant des propriétés et de relations entre ces fragments est finalement très voisine de celle d'un hypertexte contrôlé par un gestionnaire de navigation : trouver un chemin est analogue à la construction d'une argumentation.

6.4.4.2. *Dépasser les risques de désorientation*

L'exploration libre dans des bases d'information, privilégiant un mode d'apprentissage par la découverte (ou par *vagabondage*), soulève deux problèmes. Tout d'abord, l'interactivité, même forte, n'est pas suffisante. L'engagement de

l'apprenant a plus de chances d'être réel si une tâche lui incombe, c'est-à-dire si son exploration est finalisée, par la production d'un document ou par la résolution d'un problème, d'une part pour maintenir une certaine motivation et, d'autre part, pour éviter des errances sans grande intentionnalité favorisant les risques de désorientation. Une seconde difficulté réside dans la capacité d'un néophyte à accéder et à comprendre quelque chose dans un domaine qui lui est étranger. Le matériel brut, suffisant pour les experts, est le plus souvent inadéquat pour les néophytes.

Même si divers aménagements et améliorations apparaissent possibles, notamment dans la conception des documents hypertextes et dans des outils d'aide à la navigation, les problèmes de navigation sont révélateurs de difficultés profondes. C'est au lecteur qu'incombe la responsabilité de donner du sens à son parcours ou de le maintenir au cours de ses pérégrinations dans l'enchevêtrement des liens de l'hypertexte. L'acte d'interprétation est essentiel. Il y a un risque certain que l'utilisateur se contente de rester à la surface et n'intègre rien de ce qu'il parcourt. D'un autre côté, des chemins trop fortement balisés suppriment l'intérêt de l'hypertexte. Ainsi, on oscille entre une liberté totale et un parcours fortement guidé, voire fermé. Un tuteur ou un guide expérimenté s'avèrent peut-être nécessaires et les techniques d'intelligence artificielle amènent des compléments utiles. Les vertus éducatives de la navigation dans les hypertextes ne sont pas aussi claires que l'on a parfois trop vite tendance à l'affirmer.

Fort de son expérience avec Intermédia, Landow (1989) pense que l'orientation n'est pas un problème majeur, position corroborée par d'autres expériences (par exemple Legget et al., 1990). Dans un cadre éducatif, la tâche à effectuer est structurante et donne un sens global à la recherche (si les documents sont bien organisés pour cette finalité !) ce qui diminue les risques de noyade. D'autres auteurs adoptent une position plus radicale, en considérant que le fait de surmonter la désorientation incombe à l'utilisateur, c'est un obstacle qu'il doit franchir pour accéder à une bonne connaissance du domaine présenté. Si les aides conventionnelles à la navigation sont nécessaires pour que les lecteurs trouvent leur chemin dans le réseau, elles sont de peu de valeur dans la navigation plus fondamentale dans l'espace conceptuel qui concerne l'apprentissage. « Se perdre ne dépend alors pas de la possibilité de trouver une carte mais de savoir si l'apprenant peut en créer une » (Mayes et al., 1990). Cette complexité est dans la nature même de l'hypertexte, il faut travailler avec, non la traiter comme un défaut à surmonter (Slatin, 1988). Confier au lecteur la responsabilité d'accéder à l'information, de trouver des pistes et dériver du sens à partir des informations requiert de sa part un investissement intellectuel plus important. Mais cette augmentation de charge cognitive apparaît consistante avec les conceptions constructivistes de l'apprentissage et semble donc nécessaire (Jonassen et Grabinger, 1990).

Il convient toutefois de rester prudent. En effet, comme le notent Neuman et al. (1995) dans leur évaluation des usages éducatifs de PERSEUS, apprendre avec un tel système exige, pour l'essentiel, de construire de nouveaux modèles mentaux basés sur les interactions avec la vaste information verbale et iconique fournie. Un tel comportement d'apprentissage, consistant avec les théories constructivistes contemporaines, semble étranger à beaucoup d'étudiants qui ont été associés à

l'évaluation de PERSEUS. Peut-être ne sont peut-être pas suffisamment armés pour tirer véritablement parti d'un tel système ?

Les processus d'appropriation des connaissances par navigation dans des hypertextes sont donc complexes. Une simple exploration peut aboutir à des résultats décevants. Le lecteur risque de traverser sans rien retenir, se contentant d'un contact superficiel, ayant l'impression d'avoir compris sans n'avoir rien retenu. Le mélange de différents médias assure des effets spectaculaires pas toujours convaincants (beaucoup de recherches sont à mener sur la pertinence des différents médias dans les processus d'apprentissage). Les fonctionnalités les plus actives, comme la prise de notes, la planification de la recherche, les questionnements, sont souvent peu utilisées et en tout cas, pas de manière spontanée. Ainsi, il faudrait engager l'apprenant dans des processus d'exploration très actifs, mais cela ne garantit pas que cet apprenant sera capable de se construire une bonne carte : « à quoi peut servir un MEMEX si les matériaux, une fois collectés demeurent obscurs et incompréhensibles à l'oeil non entraîné » (Crane, 1991).

6.4.4.3. Conception et re-crédation

La conception d'un hypertexte nécessite une mise en forme des ressources et l'ajout d'une expertise, une sorte de guide vers la connaissance. La pertinence de l'hypertexte est directement liée à la capacité qu'aura l'utilisateur de relier les informations glanées dans sa navigation et son contexte de travail, c'est-à-dire de se poser des problèmes, de chercher des réponses, ou tout au moins des indices de solution, dans l'hypertexte, puis de les contextualiser dans la tâche en cours. Cette capacité est fortement dépendante du domaine traité par l'hypertexte et des compétences générales des utilisateurs (niveau de maîtrise de la tâche et familiarité avec l'usage des ressources informatiques). Comme le souligne Rhéaume (1991), « l'hypermédia est un révélateur de sens informatisé mais seul un usager éveillé peut en prendre conscience ».

L'idéal est peut-être à trouver dans les activités de création d'hypertextes par les apprenants. Après plusieurs années de travail avec le StrathTutor, Mayes (1993) constate que l'expérience la plus profitable, au niveau de l'apprentissage, est vécue par les auteurs, non par les étudiants. Landow (1992) dresse un constat similaire. Il propose finalement de revenir aux sources des hypertextes, considérés comme des outils cognitifs pour l'apprentissage. Une étude effectuée par Kacmar (1993) montre que, bien que le parcours d'hypertexte n'offre pas de difficulté notable, en créer un avec un système coopératif peut être délicat pour la moyenne des utilisateurs déjà expérimentés. L'étude de systèmes existants semble ne fournir qu'une aide minime, les difficultés les plus importantes concernant la structuration de l'hypertexte et la quantité d'informations à intégrer dans un nœud.

La création collective est séduisante et son intérêt éducatif semble fondé. Cependant, sa mise en place dans des contextes réels paraît encore très difficile. La manipulation d'informations présentes dans des grandes bases hypertextes est aussi une voie prometteuse, mais les supports actuels (cédéroms) restreignent ces possibilités. Si on peut fonder de légitimes espoirs sur l'intérêt des hypermédias pour la formation, force est de constater, qu'au delà de la sphère technicienne, leur impact

se heurte à de nombreux problèmes d'appropriation. En particulier, on peut craindre que les aspects les plus prometteurs, permettant de structurer, de modifier ou d'extraire des ensembles de documents disparaissent en raison des contraintes du marché de consommation en train de se créer et de manque d'intérêt ou de motivation des usagers. Toutefois, la spécificité de l'approche hypertexte, dans sa conception distribuée de la connaissance et dans l'apport d'outils de traitement graphique et spatial de l'information ainsi que de structuration dynamique et a posteriori de masses de données, ouvre des voies intéressantes qui restent à creuser.

6.5. Multimédia, réseaux, *réalités* différentes

Les développements de l'informatique conduisent à des extensions importantes dans les divers modes de communication entre les personnes et les machines. Caelen (1996) distingue trois grandes catégories :

- la communication de personne à personne médiatisée par la machine (collecticiel, télétravail, téléconférence, *médiaspace*¹⁷, etc.),
- la communication multimodale et les interfaces à composante langagière et gestuelle, généralisant les interfaces graphiques,
- la simulation comme support de communication et moyen d'interaction sur un réel virtualisé.

Les applications de ces nouveaux modes de communication, même si elles sont encore en grande partie émergentes, donnent une première image des applications éducatives potentielles, tant au niveau de la conception des environnements d'apprentissage qu'au niveau du cadre même de travail des apprenants. Au-delà des aspects cognitifs, elles devraient permettre d'intégrer des aspects sensoriels dans l'apprentissage.

6.5.1. Multimédia et multimodal

Si depuis les premiers temps de l'enseignement programmé les dispositifs conçus pour la formation sont souvent multi-médias, la convergence récente vers le *tout numérique* renouvelle les questions de recherche. Comment intégrer le texte, l'image fixe et animée, le son dans les applications éducatives. De nombreuses questions techniques semblent résolues, demeurent toutefois les interrogations sur la réelle pertinence éducative de ces différentes modalités et sur leurs complémentarités

¹⁷ D'après Beaudouin-Lafon (1996), le terme *médiaspace* a été inventé par des chercheurs de Xerox en 1985 qui avaient installé une liaison audio-vidéo entre deux sites, Palo Alto en Californie et Portland en Oregon. Il désigne une liaison audio-vidéo permanente offrant des possibilités de communication humaine presque aussi grande que la présence physique. Des outils informatiques peuvent compléter de telles liaisons, notamment des systèmes collecticiels. Les objets informatiques sont ainsi partagés et le médiaspace offre une communication naturelle entre les humains qui peuvent échanger à propos de ces objets communs.

éventuelles. La présentation simultanée de textes et d'images semble favoriser l'apprentissage (voir notamment Mayer et Anderson, 1992). Les nombreuses recherches, depuis les premiers temps de l'enseignement programmé, notamment sur l'articulation entre le visuel et le verbal, devraient se poursuivre.

Les éditeurs graphiques sont maintenant diffusés, mais l'aspect temporel demeure délicat à prendre en compte. L'intégration de données ayant des dimensions temporelles comme la vidéo, l'audio et les interactions de l'utilisateur dans des documents électroniques introduit de nouveaux besoins à prendre en compte dans une nouvelle dimension : la dimension temporelle. De nouveaux standards émergent, tels HyTime, MHEG ou HyperODA. Les systèmes d'édition multimédia s'intéressent à la conception de modèles de documents (documents structurés) supportant la structure temporelle, en vue de créer des éditeurs structurés prenant en compte cette dimension (Layaïda et Sabry-Ismaïl, 1996).

S'agissant, en quelque sorte, de mettre un enseignant dans une machine, la pauvreté des canaux de communication offerts par les premières machines rendait ce projet plus que difficile. Alors que les échanges entre humains sont largement multimodaux (gestes, parole...), les interfaces disponibles encore à l'heure actuelle sont fortement réductrices. La prise en compte de modalités sensorielles multiples ouvre de nouvelles perspectives. Si on qualifie de média un support d'information et un dispositif physique qui acquiert ou qui diffuse de l'information, l'aspect multimédia, pour un système informatique, signifie qu'il est capable d'acquérir ou de restituer, par l'intermédiaire des médias, des informations de natures et/ou de formes différentes (parole, musique, vidéo...). Une modalité¹⁸ est alors une forme particulière d'un mode de communication (bruit, musique et parole sont des modalités sonores), mais aussi une technique d'interaction. Ce qui différencie un système multimédia d'un système multimodal est que ce dernier traite les discours en « comprenant » leur signification, aussi bien en entrée qu'en sortie. Il est ainsi capable d'intégrer plusieurs modes de communication (un mode faisant référence à un des cinq sens de l'être humain) ou plusieurs modalités de communication, même s'il n'intègre qu'un seul mode. Dans la comparaison entre le multimédia et le multimodal, en sus de traiter le sens, le multimodal permet d'aller au-delà du cognitif.

Avec le développement des réseaux, un autre *multi* intervient de manière croissante, le multi-utilisateur. Au chapitre précédent, nous avons souligné l'intérêt des chercheurs vers les processus de coopération. Les dispositifs informatiques introduisent une nouvelle gestion de la distance et supportent les processus de travail coopératif, de manière synchrone ou asynchrone, entre des personnes distantes¹⁹. INTERNET permet la recherche d'informations dans d'énormes bases

¹⁸ Voir Nigay et Coutaz (1996) pour une discussion en profondeur de ces questions de multimédia et multimodal.

¹⁹ Bien que les collecticiels, systèmes intégrant traitement de l'information et activités de communication pour aider le travail de groupe, fassent l'objet de recherches depuis une dizaine d'années, il semble que leurs applications professionnelles soient encore très limitées (Chatty et al., 1996). Leur arrivée dans l'éducation n'est donc sans doute pas pour demain !

distribuées et ouvre d'importantes perspectives de communication entre les personnes. WWW, qui intègre certains principes hypertextes, est une technologie trop récente aux usages multiples et suscite des discours variés qu'il est encore difficile de démêler. Notons le cas très particulier de l'enseignement à distance. Associé à de nouvelles formes d'organisation, intégrant les technologies de multiples façons (pour la communication, pour des activités éducatives), revisitant finalement tous les dispositifs techniques inventés ou adaptés pour la formation, ce thème nécessite des développements importants qui sortent en grande partie du cadre de cet ouvrage. Les idées de livre électronique, de classe ou de campus virtuel interviennent dans ce contexte très différent.

Laissant de côté l'aspect réseau, on peut noter qu'avec les nouvelles interfaces, il s'agit de prendre en compte les différentes modalités sensorielles humaines, projet qui est en grande partie celui de la réalité virtuelle.

6.5.2. *Réalité virtuelle et réalité augmentée*

Les premiers développements de la réalité virtuelle remontent au milieu des années soixante²⁰. Vers 1966, Sutherland, dont nous avons parlé à propos de SKETCHPAD a effectué des expériences sur différents types de visiocasques et le premier dispositif d'immersion, encore rudimentaire, fut opérationnel en 1970 (Cadoz, 1994, p. 13).

Les techniques de réalité virtuelle fournissent des solutions nouvelles à l'ensemble des problèmes de simulation de commande/contrôle et de communication. En effet, les simulations sont utilisées dans une grande variété de situations dans lesquelles l'exposition au « réel » peut être considérée comme trop dangereuse ou trop onéreuse ou que ce « réel » est inaccessible pour des contraintes de temps, de distance ou de dimension (rapport de taille important avec l'homme). La réalité virtuelle se présente comme une amélioration notable de la simulation. C'est d'abord une façon de produire des simulateurs à moindre coût du fait du remplacement de nombreuses fonctions du matériel par le logiciel. En outre, par rapport à la simulation, les environnements virtuels héritent d'une conception centrée sur l'opérateur, prenant en compte de manière importante les facteurs humains et les canaux d'interaction : il s'agit de plonger l'utilisateur dans un univers cohérent, bien que simulant le réel, en utilisant le maximum de ses sens. Voyant la simulation comme une sorte de monde miroir d'un monde de référence, la réalité virtuelle cherche à faire passer l'utilisateur de l'autre côté du miroir²¹, à l'intérieur des choses, et non plus seulement à le laisser à l'extérieur comme simple observateur. Pour mettre l'usager à l'intérieur du monde virtuel, il faut que ce dernier puisse lui envoyer les mêmes signaux sensoriels que le monde réel correspondant. Ce monde virtuel doit réagir et se modifier en fonction des interventions humaines. La figure 6.8 (Coiffet, 1997) décrit la structure générale d'un système de réalité

Signalons toutefois les travaux de Derycke cherchant à faire converger hypermédias et outils d'aide à l'apprentissage coopératif.

²⁰ Pour un historique, on pourra consulter Rheingold (1991) et on trouvera des éléments dans Cadoz (1994).

²¹ Une métaphore souvent citée est celle d'Alice passant à travers le miroir.

virtuelle, séparant les composants d'un système à utilisation locale des éléments situés à distances.

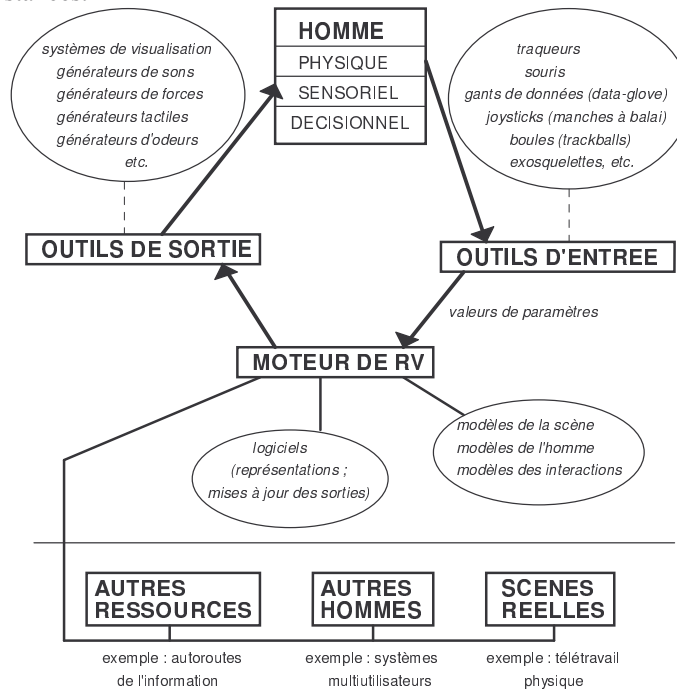


Figure 6.8. Structure générale d'un système de réalité virtuelle (Coiffet, 1997)

Au-dessus du trait : composants d'un système à utilisation locale. Système dédié à la simulation interagissant avec un seul opérateur.

En dessous du trait : communication ou interaction avec des éléments situés à distance.

Jonction avec d'autres ressources, avec d'autres opérateurs et surtout avec des mondes réels qui peuvent alors être contrôlés ou commandés (téléprésence).

Une distinction apparaît essentielle. S'agit-il de faire croire au réel comme une fin en soi ou de chercher dans la relation avec la machine les conditions d'une optimisation fondée sur la meilleure exploitation de nos facultés naturelles ? En effet, recréer technologiquement une illusion de la réalité, c'est-à-dire le sentiment pour un utilisateur immergé d'appartenir à ce monde artificiel est une tendance avérée à travers l'idée de création d'une *sensation de présence*. Le rapprochement avec l'intelligence artificielle est éclairant. Comme le notent Poulain et Cavazza (1996), le test ultime de la sensation de présence serait sans doute une sorte de test de Turing destiné à mesurer l'illusion. Il apparaît en revanche qu'une telle voie concerne peu l'apprentissage.

Des simulateurs sont utilisés depuis de nombreuses années dans des formations spécialisés (à l'exemple des simulateurs de vol pour l'entraînement des pilotes) et dans des domaines difficiles à enseigner, où la pratique est indispensable.

L'immersion dans un monde virtuel peut s'avérer très fructueuse pour l'apprentissage. Bien que de nombreuses recherches soient nécessaires pour clarifier les variables qui interviennent dans cette sensation d'immersion, elle induit une motivation intrinsèque essentielle. En outre, le fait pour l'utilisateur, le joueur ou l'apprenant, d'être quasiment projeté dans un univers qu'il peut explorer et manipuler par ses divers organes des sens permet, au delà du cognitif, d'intégrer des aspects sensoriels essentiels dans de nombreux contextes. L'apprentissage de gestes professionnels peut tirer bénéfice de ce type de dispositif. On peut ainsi citer l'enseignement de l'anatomie et de la physiologie, notamment l'entraînement du geste chirurgical. En effet, dans ces deux spécialités, on ne peut apprendre que sur des cadavres ; disposer de cadavres virtuels est une solution qui élimine de nombreux problèmes délicats²². L'archéologie est également un domaine d'application privilégié de la réalité virtuelle, et des applications éducatives (Chambers et al., 1996) sont ainsi consacrées à la visite de sites archéologiques reconstitués.

De plus, les environnements de réalité virtuelle n'ont pas à se cantonner à des choses réalistes et peuvent être associés à des mondes imaginaires (Dede 1993). La possibilité d'agir magiquement de façon impossible dans le monde réel ouvre de nouvelles dimensions pour l'éducation. Par la visualisation, les apprenants peuvent manipuler des entités normalement intangibles (comme des molécules, des modèles mentaux). Au travers de communautés virtuelles, les étudiants peuvent interagir dans des environnements psychosociaux riches peuplés d'êtres simulés. La réalité virtuelle permet de s'abstraire de l'espace textuel de l'hypertexte pour se mouvoir dans un espace perceptif. Si les potentialités et les champs d'application apparaissent immenses, les contraintes et les coûts de tels dispositifs ne les destinent pas à l'éducation dans un avenir proche (plutôt pour des marchés grand public, des lieux d'exposition ou des formations hautement spécialisées). L'écueil à éviter est ce qu'on pourrait appeler le syndrome du musée, c'est-à-dire des visites plaisantes mais peu profitables au niveau de l'acquisition des connaissances.

ScienceSpace (Dede et al., 1996) est un ensemble de mondes virtuels conçus pour aider les étudiants à maîtriser des concepts importants en science. Leur but est de montrer comment l'apprentissage de concepts difficiles et abstraits peut bénéficier de l'immersion multisensorielle : des représentations en 3D, des perspectives multiples et des cadres de référence, une interface multimodale, des rétroactions simultanément visuelles, auditives et haptiques, des types d'interaction impossibles dans le monde réel. Pour les apprenants, il ne s'agit pas seulement d'observer un phénomène, mais d'y prendre part. Trois mondes ont été élaborés :

- Le monde de Newton est destiné à l'exploration des lois du mouvement. Les apprenants peuvent lancer et attraper des balles de différentes masses et observer les collisions suivant différents points de vue. Des avertissements multisensoriels les aident à avoir une meilleure vision du phénomène et focalisent leur attention sur les facteurs importants comme la masse, la vitesse et l'énergie.
- Le monde de Maxwell est dédié à l'étude des forces et champs électrostatiques.

²² Ou des applications scolaires dont la nature même est sujette à controverse telle la dissection de la grenouille (Larsen et al., 1996).

- Le monde de Pauling est consacré à l'étude des structures moléculaires au travers de diverses représentations.

Sur la base de leurs expérimentations, les concepteurs essaient d'induire des heuristiques généralisables à une grande variété d'environnements éducatifs.

On pourrait croire que les dispositifs de réalité virtuelle ont tendance à éloigner de la réalité. Toutefois, dans de nombreuses applications, cette recreation de la réalité a pour objectif d'agir sur le monde réel. Or, la maîtrise ou le contrôle aisé par l'opérateur des transformations souhaitées du monde de par son action peuvent buter sur des erreurs d'appréciation humaine (sur des distances ou des efforts par exemple). Dans le monde virtuel, il semble tout-à-fait possible d'afficher " en clair " ces paramètres à l'estimation difficile par l'homme. Les méthodes qui poursuivent cet objectif sont appelées techniques de réalité augmentée. Elles permettent la visualisation d'informations pertinentes cachées dans la scène : flèches pour désigner des forces, texte écrit pour donner des distances, icônes pour attirer l'attention sur des situations à risque, etc. On peut même créer des caméras virtuelles redonnant des points de vue ou des détails non accessibles par l'équipement de l'opérateur. Une seconde possibilité a trait à la superposition d'images "réelles" (issues de caméras situées dans le monde réel par exemple) sur des images purement de synthèse permettant ainsi d'éclairer l'homme sur la qualité ou la vraisemblance de la scène virtuelle dans laquelle il agit. En ce sens, la réalité augmentée est un complément de la réalité virtuelle. Ainsi, l'usage des visiocasques à superposition (Cadoz, 1994, p.28) permet de conserver la vision du monde réel. Un tel dispositif s'intègre à SuperCockpit (1982), superposition à la vision réelle d'une représentation simplifiée, dans lequel la coïncidence de la représentation et de la réalité est assurée par l'utilisation d'un radar et de capteurs de position sur le casque.

D'autres chercheurs séparent nettement réalité augmentée et réalité virtuelle. Beaudouin-Lafon (1996) voit dans la réalité augmentée l'incarnation de tâches informatiques dans des objets réels. La réalité augmentée offre une alternative à la réalité virtuelle et à l'intelligence artificielle ; elle permet d'utiliser les capacités naturelles de l'homme et il apparaît plus facile de compléter le monde réel que de le reproduire à l'identique. La réalité augmentée part des objets réels et leur adjoint de nouvelles fonctionnalités en leur greffant des adjuvants électroniques, sans masquer leurs fonctions ou leurs attributs originaux (Cadoz, 1994 p. 63). En quelque sorte, le but est de capturer le contexte afin de réconcilier le monde physique et le monde informatique. Alors que la finalité de l'hypertexte est de rendre les documents réactifs, il s'agit de rendre l'environnement sensible. Des objets courants acquièrent des propriétés électroniques sans perdre leur propriétés physiques familières.

Ajouter aux objets du monde physique des capacités computationnelles peut s'effectuer selon trois approches différentes : en incluant l'informatique dans l'objet, en la projetant sur l'objet ou en la superposant pour l'utilisateur. La robotique s'inscrit dans la première approche.

L'exemple du Digital Desk (Wellner, 1993), outil de calcul, de dessin, est clairement dans la deuxième. Il apparaît comme un bureau amélioré et permet aux utilisateurs de conserver leurs habitudes de travail tout en simplifiant leurs tâches. Contrairement à ce que l'on aurait pu croire, l'apparition de l'ordinateur, loin de

diminuer la consommation de papier, a plutôt tendance à l'augmenter. Comme nous sommes toujours enclin à utiliser du papier, le Digital Desk montre comment l'améliorer (dans le sens de l'augmentation prônée par Engelbart). Un document papier devient en quelque sorte un document électronique. A l'aide de caméras placées au dessus du bureau et reliées à un ordinateur, des colonnes de nombres peuvent ainsi être reconnues. L'ordinateur peut par exemple effectuer leur somme et projeter le résultat obtenu sur la feuille de papier à l'endroit indiqué par l'opérateur.

Pour illustrer la dernière approche, un dispositif comme FAST (Ockerman et al., 1996), incluant un ordinateur pilotée à la voix et un visiocasque à superposition, permet d'aider l'utilisateur en cours de tâche, en lui fournissant de l'information contextuelle, tout en lui laissant les mains libres. Dans KARMA (Knowledge Based Augmented Reality for Maintenance Assistance), Feiner et al. (1993), utilisent également un visiocasque afin de superposer de l'information graphique sur les objets physiques. Dédié à l'explication de tâches de maintenance et de réparation, l'usage du visiocasque permet de fournir des descriptions de caractéristiques importantes ou des instructions pour réaliser certaines tâches. Ainsi, pour remplir le bac à feuilles d'une imprimante, l'intérieur de l'imprimante peut être montré, de même que l'action de retirer le bac et l'état résultant.

Réalité virtuelle et réalité augmentée s'apparentent aux avatars les plus modernes des micromondes dans des formes particulières de gestion conjointe d'un monde de référence et d'un monde représenté. L'idée de micromonde est souvent d'opérer sur le monde virtuel en utilisant ses connaissances du monde réel. La lunette cognitive (Nonnon, 1986) a pour objet la manipulation conjointe de l'expérience et d'une représentation mathématique. La réalité augmentée offre la possibilité de superposer les deux mondes en temps réel. Mélangeant images directes (ou images vidéo) et images de synthèse, elle fusionne ainsi le réel et le virtuel. On retrouve dans l'opposition réalité virtuelle, réalité augmentée, des thèmes que nous avons discuté tout au long de l'ouvrage : problématique de substitut ou de complément entre le monde informatique et le monde réel. La réalité virtuelle se présente comme une extension des environnements exploratoires, plutôt proches du jeu. La réalité augmentée permet de changer l'environnement de travail sans modifier le contexte de travail. Les deux se rejoignent dès qu'il y a des effets sur le monde réel (dès qu'interviennent des effecteurs).

6.6. Bilan et perspectives

Comme nous l'avons vu dans les premiers chapitres de cet ouvrage, la résolution de problèmes a été au centre d'un certain nombre de recherches dans le domaine de l'EIAO. L'intelligence artificielle s'est intéressée aux experts pour étudier la façon qu'ils ont de résoudre des problèmes. Ce travail a conduit à la mise au point de solveurs, que l'on a peu à peu contraint pour les rapprocher des modes supposés

de résolution humaine. Le point de vue adopté est cependant celui de l'expert, et l'enseignement est vu comme une sorte de transfert d'expertise. C'est ainsi que la machine montre sa résolution, explique ses choix. Le paradigme sous-jacent est finalement : enseigner, c'est expliquer, même si les recherches se sont aussi centrées sur les apprenants. De l'autre côté, l'hypertexte se situe d'emblée du côté de l'apprentissage, cherchant à faciliter les processus de pensée, à améliorer la gestion des éléments nécessaires dans la résolution d'un problème et à faciliter la communication d'une de ses solutions. Il s'appuie sur des formes de représentations particulières, notamment graphiques et iconiques, des outils de manipulation de ces représentations et des mécanismes de recherche intelligents permettant d'explorer les points qui peuvent avoir une relation avec le problème courant.

Une telle opposition est somme toute classique en intelligence artificielle. Si on veut que la machine résolve à notre place, on va privilégier le calcul, mais si on considère la machine comme un partenaire, on veut tirer parti de représentations plus intuitives. (Laurière 1987, p.19). Mais, au-delà de la résolution de problèmes, la compréhension est un processus complémentaire qui est, par bien des aspects, plus difficile à comprendre. Pour Rissland (1978), comprendre une théorie ne se limite pas à la compréhension de ses composantes, mais inclut des liens qui relient cette théorie à d'autres. En ce sens, la notion d'hypertexte peut intervenir, pour faciliter des compréhensions plus profondes, nécessitant l'établissement de nombreux liens de toutes sortes. Comme le note Rissland (1978), l'intérêt pour la résolution se déplace vers une tentative de comprendre la compréhension.

Alors que les micromondes de type LOGO ont cherché à développer principalement l'aspect procédural de la pensée, les hypertextes travaillent essentiellement sur l'information et son organisation, non pas sur la façon d'appliquer telle ou telle connaissance pour résoudre un problème mais sur les nombreux liens que l'on peut tisser entre les diverses connaissances. Les deux sont complémentaires, et on peut imaginer des réseaux de micromondes intégrés dans un système hypertexte autorisant des liens entre des représentations multiples. En quelque sorte, l'hypertexte remplace la problématique du super-enseignant par celle du super-stylo. Ce dernier pouvant être fortement personnel, voire intime, extension des calculatrices actuelles, tout en autorisant des activités de coopération dans des groupes. Les problématiques se sont déplacées. Il s'agit d'acquérir les compétences nécessaires à l'utilisation de ces super-stylos pour résoudre des problèmes de complexité croissante. Il ne s'agit plus d'enseigner mais de changer l'environnement de travail des apprenants pour créer de meilleures conditions d'apprentissage. A ce propos, on peut regretter que les systèmes disponibles à l'heure actuelle ne s'intègrent encore que très imparfaitement à l'environnement de travail quotidien et n'arrivent pas à se fondre dans les autres programmes utilisés (Meyrowitz 1989).

Les nouvelles possibilités de communication, entre les humains ou entre les humains et les machines, prolongent les environnements d'apprentissage, ajoutant une dimension sensorielle à une perspective auparavant essentiellement cognitive. En écho avec les visions des précurseurs de l'hypertexte, Cadoz voit émerger, dans les derniers développements de l'informatique, une nouvelle forme d'écriture (op. cit., p.100) : « Une écriture dans laquelle les lettres et les mots, ces petits objets seulement virtuels et nullement interactifs, seront remplacés par des objets

manipulables, audibles, visibles, touchables. Définis de plus dans leurs propriétés intrinsèques comme dans leurs règles d'assemblage, ils pourront être les éléments de nouveaux systèmes de représentation, de langage, dont nous n'avons pas encore notion et dont les « multimédias » d'aujourd'hui ne sont qu'une pâle préfiguration. »