

STRATÉGIES DE NAVIGATION ET STRATÉGIES D'APPRENTISSAGE : POUR L'APPROCHE EXPÉRIMENTALE D'UN PROBLÈME COGNITIF

André Tricot

CREPCO (URA CNRS n°182)
Université de Provence
29, av. Robert Schuman
13 621 Aix en Provence

Résumé : *La position défendue ici est que l'étude expérimentale des stratégies cognitives impliquées par la navigation dans les hypermédias est un préalable utile à la conception d'hypermédias d'enseignement. Cet argument est basé sur une revue de questions sur la navigation dans les hypermédias. On constate dans cette littérature que si les approches sont nombreuses, le problème est loin d'être résolu : nombreuses sont les publications sur le sujet dont on ne sait si elles donnent des solutions ou non ; nombreux sont les outils d'aide à la navigation qui se révèlent inefficaces ou qui aboutissent à une surcharge cognitive. Or, particulièrement en situation d'enseignement, on ne peut se permettre d'ajouter un problème de navigation au problème de l'acquisition de connaissances.*

Je propose une référence à l'approche de l'ergonomie cognitive, qui a l'avantage de poser le problème dans sa globalité et qui amène à des solutions. Deux stratégies d'apprentissage sont assimilées à des stratégies de navigation (exploration et approfondissement) et un ensemble d'hypothèses relatives aux limites et aux processus cognitifs propres à ces deux types de stratégies est émis. Une expérimentation en cours est évoquée, à titre d'exemple. L'idée principale est que la capacité à traiter de l'information (au sens de "nouveau") est limitée quantitativement, en fonction du temps, en fonction de l'agencement des données sur le support proposé et en fonction de l'organisation des connaissances du sujet. Cette proposition est partiellement étayée à partir de travaux sur la compréhension de texte.

INTRODUCTION

La navigation est une problématique reconnue comme primordiale au sein de la recherche sur les hypermédias (Mc Aleese & Green, 1990 ; Bernstein et al., 1991 ; Oliveira, 1992). D'un autre côté, les applications hypermédias à l'enseignement constituent sûrement le pôle de création le plus actif du domaine. Mais :

- la rencontre entre les deux problématiques est rarement proposée,

- une démarche véritablement expérimentale pour l'étude de la navigation est également peu fréquente (10 à 15 % des publications sur le sujet).

Pourtant il semble assez évident que la modélisation des stratégies cognitives impliquées par la navigation dans les hypermédias constitue un des aspects nécessaires à la conception d'outils hypermédias (Baird et al., 1989), au même titre que l'élaboration de l'interface et du contenu (si l'on admet que ces principes de base de l'ergonomie cognitive ont fait leur preuve en informatique). Dans le domaine de l'enseignement, cet effort semble plus qu'ailleurs nécessaire, les objectifs de l'enseignant, les capacités de la machine et les possibilités de l'apprenant étant les trois principaux déterminants de la conception d'un logiciel d'EIAO.

1. LE POINT SUR L'ETUDE DES STRATEGIES DE NAVIGATION DANS LES HYPERMÉDIAS

1.1 Le problème : lutter contre la désorientation

Si de nombreuses publications recensent des hypertextes efficaces dans leur domaine (par ex. Nielsen, 1990), Conklin a soulevé dès 1987 le problème de la désorientation. "Etre désorienté" ou "se perdre" c'est ne pas savoir où l'on est, ou ne pas savoir comment accéder à quelque chose que l'on croit exister (Conklin, 1987).

Foss (1988) ajoute :

- arriver à un endroit et ne plus savoir pourquoi on est là,
- se perdre en digressions,
- ne pas savoir s'il reste des documents pertinents dans le système,
- oublier quelles sélections on a fait précédemment (les éléments consultés),
- ne pas être capable de se représenter une vue d'ensemble ou un résumé cohérent de ce que l'on vient de voir (phénomène du "musée d'art").

Des auteurs comme Gray, Barber & Shasha (1991) ou Moulthrop (1991) posent que dans une structure non-linéaire, la charge cognitive est "double" car il faut à la fois traiter le contenu (lecture), et les relations qu'il y a entre différents contenus à l'intérieur d'une structure. Face à cet argument, les positions sont partagées :

- Whalley (1990) argumente que c'est une vision un peu simpliste de la lecture de texte linéaire, qui ne tiendrait pas compte des travaux de Kintsch et Van Dijk ou de De Beaugrande : il y a en effet dans les textes linéaires ce double niveau de traitement.
- Wright (1991) montre que l'interruption dans la lecture d'un texte trouble cette activité, que les lecteurs doivent relire des passages, que pour certains mots ils préfèrent ne pas comprendre plutôt que de cliquer pour avoir une définition instantanée.

Il est donc possible, dans le domaine des hypertextes, qu'il faille avoir un modèle "mixte" de l'utilisateur (Jones & Shneiderman, 1990), en s'inspirant par

exemple de l'opposition "sémantique" / "syntaxique" comme chez Shneiderman (1987) ou de l'opposition "déclaratif" / "procédural" comme chez Anderson (1983).

1.2 Les axes de la recherche

1.2.1 Les "solutions" techniques et l'ergonomie de surface

Nielsen (1990) a recensé les outils d'aide à l'utilisateur face à la désorientation :

- les backtracks (retour en arrière) : difficiles, notamment quand plusieurs mécanismes permettent ce retour, critiqués aussi par Bernstein (1991),
- les guided tours (visites guidées) : faciles, utilisent une seule touche (next node), mais trahissent le principe de l'hypertexte (cela devient en effet du linéaire). Cette solution semble particulièrement bien adaptée à une première utilisation (Oren & al., 1990).
- l'historique : le système donne la liste des noeuds consultés et le temps passé par noeud,
- les bookmarks (marques) : l'utilisateur coche les écrans qui l'ont intéressé, il peut y retourner ; ou alors il coche l'endroit où il a arrêté sa consultation, pour la reprendre à cet endroit,
- les cartes-sommaires : un sommaire sous forme de diagramme en 3D,
- les fish-eye views : sommaire avec niveau de détail variable ; possible avec un hypertexte "structuré",
- on peut placer des repères dans le sommaire : là où l'utilisateur est passé,
- on peut regrouper des noeuds en classe de noeuds reliées par des liens à partir des "héritages de liens".

Mais l'ensemble de la littérature remarque que l'ajout de gadgets informatiques entraîne parfois (souvent ?) une surcharge cognitive.

1.2.2 Approches théoriques : les différentes façons de poser le problème

a) *L'analogie avec d'autres navigations...* L'analogie avec l'élaboration de "cartes cognitives" dans les environnements physiques (Siegel & White, 1975) est souvent citée (entre autres, Edwards & Hardman, 1989) : les sujets établiraient d'abord des repères, puis des relations entre ces repères, établissant des plans locaux, puis un plan général en reliant entre eux les plans locaux. L'analogie avec des modèles de textes classiques est encore plus souvent citée : paragraphes, titres, index, tables des matières... voire épaisseur du livre, types d'illustration, types d'information techniques (Lai & Manber, 1991), sont autant d'"outils de travail d'un texte" qui devraient être utilisés dans les environnements hypertextes. Les auteurs concluent généralement à la nécessité de simplifier les structures (van dike Parunak, 1989).

b) *Bien concevoir* : être clair, "intelligent", pertinent... Mark Bernstein (1991, Bernstein et al. 1991) argumente souvent qu'il faut prendre le temps de créer intelligemment un véritable hypertexte, définir clairement les liens, libérer l'écran... et arrêter de faire des évaluations sur des logiciels éducatifs ou touristiques, ou de s'inquiéter des problèmes posés dans l'interrogation de bases de données. L'hyper-

texte n'est pas cela. Il faut quand même signaler que Bernstein travaille dans le domaine littéraire, où les objectifs du concepteur ne sont pas les mêmes.

Une étude a montré que la satisfaction des utilisateurs et l'utilisabilité du logiciel dépend pour une grande part de leur intérêt pour le contenu (Baird & Percival, 1989).

c) L'approche connexionniste et les hypertextes adaptatifs : défendue notablement par Furuta & Stotts (1989), cette approche présente un grand intérêt dans le cadre de l'interrogation d'une grande base de données hypertextuelle : Bienner, Guirvach & Pinon (1990) proposent un formalisme dont le but est de circonscrire un certain nombre de noeuds (tissu) en fonction de la demande de l'utilisateur, ce tissu s'adaptant de façon dynamique selon la réponse de l'utilisateur. En plus, cela permet une adaptation à long terme de la base.

Partant d'une approche non-connexionniste, Holt & Howell (1992) arrivent à la même idée. Les auteurs ont testé la capacité des utilisateurs à décrire la "logique" de la conception d'un hypertexte. Ils montrent que cette "logique" est très difficile à percevoir, notamment parce qu'elle n'est souvent pas claire chez le concepteur. Ils proposent un système dans lequel l'utilisateur a la possibilité de créer lui-même des liens. Ils pensent que l'enregistrement de l'activité de l'utilisateur, et notamment la comptabilité des liens créés, pourrait permettre de concevoir une "armature" de l'hypertexte, qui serait un appariement des modèles mentaux du concepteur et des utilisateurs.

d) Les approches rhétoriques et "grammaticales" : veulent définir un certain nombre de syntagmes (suite de noeuds) acceptables. Andersen (1990) distingue trois types de syntagmes (constellation, subordination et interdépendance) qui correspondent à des relations logiques différentes (disjonction, implication, équivalence) : ainsi la relation entre syntagmes serait programmable. L'auteur suggère d'attribuer une valeur au degré de contrainte que l'on fait peser sur l'hypertexte (choix de types de syntagmes), cette valeur pouvant changer selon les envies de l'utilisateur. Il pense aussi que la rhétorique cinématographique est à étudier comme lui-même a esquissé une rhétorique du discours applicable à l'hypertexte.

Nelson (1990) propose lui aussi une analogie avec la conception de films : c'est une démarche globale dans laquelle ce qui compte c'est l'ensemble cohérent des techniques et des idées mises en place pour avoir un effet sur le spectateur. Tandis que dans les approches "métaphoriques" (par exemple les icônes de Macintosh), la métaphore devient le concept central. Ce qui est important c'est plutôt le principe directif autour duquel le reste va être élaboré / compris. Il faut que la conception d'un logiciel ressemble à celle d'un film : un réalisateur, ayant appris son métier et ayant du talent, a les pleins pouvoirs pour décider ce qui sera fait du début jusqu'à la fin. Savoir programmer ne donne pas plus de capacité à créer un logiciel que savoir taper à la machine ne donne de talent pour écrire de la poésie.

e) Les positions attentistes

- Concernant les langages : Pour Brown (in Bernstein et al., 1991), les progrès des langages de programmation vont rendre possible ce que l'on a vraiment envie de faire ; à l'heure actuelle, dès que le système est un peu complexe, les limites de programmation sont évidentes et les difficultés sans nom.

- Concernant les utilisateurs : De nombreuses études, et pas seulement dans le domaine des hypermédias, montrent qu'un des facteurs principaux de l'utilisabilité d'un système est la familiarité (avec le système, avec les ordinateurs, et avec le sujet traité) : ainsi, les questions relatives à la qualité de l'interface sont partiellement caduques, cette "qualité" évoluant dans le temps. Une étude citée plus haut (Baird & Percival, 1989) a montré que la satisfaction des utilisateurs dépend beaucoup de la familiarité avec l'environnement informatique.

f) Pas de bouton dans le système... c'est l'utilisateur qui sélectionne la zone qu'il veut approfondir (Irlor & Barbieri, 1990). L'idée des auteurs est qu'il faut donner la possibilité à l'utilisateur de surligner des passages, tout en parvenant à ne pas instaurer de confusion avec les boutons : il n'y a tout simplement pas de bouton dans leur système. Le lecteur sélectionne une partie de texte et utilise des touches claviers ayant une fonction définie (nouveaux arguments, plus de détails, etc.). L'utilisateur a aussi accès, quand il clique sur une partie du texte, à un écran d'orientation où est représenté l'endroit où il est, et les endroits où il peut aller.

1.2.3 Approches cognitives et travaux expérimentaux

a) L'analogie avec d'autres navigations... On a pu montrer que les utilisateurs essaient de se raccrocher à une structure usuelle (hiérarchique, linéaire, grille) (Gray, 1990), ou à une structure de texte usuelle (par exemple celle des articles scientifiques) (Dillon, 1991). Cette façon de poser le problème est bien argumentée d'un point de vue psycholinguistique par Espéret (1992).

Dillon, en particulier, montre que les lecteurs familiers de revues scientifiques sont plus performants dans la lecture d'un article de ce type sous hypertexte, que d'autres lecteurs "novices". Les lecteurs "experts" maîtriseraient une logique inhérente à la "lecture d'articles scientifiques" leur permettant d'anticiper ou de retrouver la place des divers arguments de ces textes (introduction, méthode, résultats et discussion). Ainsi, Dillon introduit une distinction entre la "rhétorique" du texte et sa structure, la structure pouvant être modifiée quand la rhétorique est maîtrisée par le lecteur.

b) La distinction entre les orientations locale et globale. L'étude de Rouet (1990) montre que l'orientation globale (soit les choix effectués en fonction des buts généraux à atteindre) dépend surtout du marquage des relations, et qu'elle ne dépend pas d'un apprentissage à court terme. L'orientation locale (soit le traitement de l'information au niveau d'un écran : carte(s), liens, barre de menu) dépend de la structure des relations, de l'expression linguistique de ces relations, de l'expérience et du développement psycholinguistique du sujet.

Une pagination groupée (plusieurs cartes par écran) fait apparaître la structure et le "déroulement" de l'hypertexte, mais aurait tendance à créer une désorientation chez le consultant inexpérimenté. La présence simultanée de textes et du menu devrait faciliter le processus de sélection. Pourtant l'auteur préconise, notamment chez les jeunes utilisateurs, de procéder en deux temps : d'abord s'assurer de la compréhension d'unités thématiques, puis passer au menu : les données locales désorientent les consultants du point de vue global, et réciproquement. Il faudrait dissocier, à l'écran, les données locales et les données sur les relations.

c) Les travaux sur la structure. D'autres travaux expérimentaux se sont penchés sur les diverses qualités des structures d'hypertextes : Edwards & Hardman (1989), Simpson & Mc Knight (1990), Mohageg (1992), Foss (1989), Silva (1992), Nielsen (1990). Il semble y avoir une convergence de résultats sur les points suivants :

- la structure "hiérarchique" permettrait aux utilisateurs de se faire une meilleure représentation de l'architecture du système, les satisferait plus, structurerait les connaissances de façon plus exacte et faciliterait la navigation (par rapport à la condition "index alphabétique"). En revanche c'est ce type de structure c'est qui entraînerait le plus d'ouvertures non pertinentes.
- l'index permet une plus grande exhaustivité dans la consultation.
- la condition "linéaire" entraîne de faibles performances, mais peut être améliorée : par exemple avec une table des matières et un index "actifs" -i.e. sur lesquels on peut cliquer-, ou avec un "plan interactif" ; le nombre de mots lus est plus important qu'avec la condition "réseau" d'un même texte (la condition "réseau" correspond à un hypertexte "normal").
- les structures véritablement hypertextuelles (réseau) favoriseraient le phénomène de "looping" : l'utilisateur passe plus de trois fois au même endroit. Un véritable hypertexte est certes très difficile mais des améliorations sont possibles, dans la définition même des "mots clés", dans l'élaboration de bon mécanismes d'interrogation ; ce type de structure serait spécifiquement inadéquat aux utilisateurs "novices" (du système, du domaine).
- la condition "combinée" (hiérarchique / réseau) paraît particulièrement pertinente. On trouve par exemple chez Girill & Luk (1992) la description d'une base de donnée hypertextuelle à structure mixte : la structure est globalement hypertextuelle, mais quand l'utilisateur découvre une information importante pour lui, une structure arborescente se "fige" autour de la fenêtre concernée. On ne dispose pas vraiment de résultats sur cette structure, simplement des "encouragements".

Nielsen modère l'ensemble des études consacrées à la navigation en disant qu'il faut d'abord prendre en compte les différences individuelles et les tâches entreprises.

1.2.4 Conclusion

Cette revue de questions permet d'identifier les principales dimensions du problème de la navigation dans les hypermédias. Ce sont :

- les objectifs du concepteur,
- le champ traité,
- le temps (particulièrement l'adaptation de l'utilisateur au système),
- les connaissances et les capacités de traitement de l'utilisateur,
- la structure et la logique du système.

Un certain nombre d'idées comme les structures mixtes, les index actifs, et de nombreuses "solutions techniques" n'ont pas encore été testées. Dans un domaine où il y a une profusion d'idées nouvelles et de produits, et ou, de plus, on a l'ambition de faire des produits utilisables et utiles, il semble très important de développer des études expérimentales, qui pourraient valider telle idée et invalider telle autre. Sous peine de discréditer globalement le domaine hypermédia.

L'approche cognitive semble particulièrement pertinente pour les études sur :

- le double niveau de traitement (celui des contenus et celui des relations entre les contenus) qui requiert des solutions différenciées,
- l'identification de structures facilitant la navigation, et leur possibilité d'évolution en fonction de la familiarité de l'utilisateur,
- l'évaluation des capacités de traitement des utilisateurs dans cet environnement non-linéaire,
- la modélisation des connaissances à stocker (qui requiert une description plus subtile que l'opposition "simple" / "complexe", ou "logique" / "non-logique"),

Il ressort aussi que les domaines de compétences restent à préciser.

2. LES PARTICULARITES DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE

Le cadre général de l'"EIAO" est une façon claire, faute d'être parfaite, de poser le problème de l'apprentissage. Le défaut majeur est la difficulté à prendre en compte le facteur temps (à ma connaissance).

2.1 L'EIAO comme modèle de la situation d'apprentissage

Après le relatif échec des programmes d'EAO des années 80, (une certaine linéarité des parcours proposés, pas de prise en compte de l'état des connaissances de l'apprenant), l'EIAO est un retour à plus de modestie et de sérieux. Il y a, semble-t-il, trois axes principaux dans la démarche :

a) prise en compte de l'environnement éducatif : l'ordinateur est un des éléments du dispositif éducatif (avec les objectifs d'enseignement, les enseignants, l'étudiant, les outils annexes, des lignes téléphoniques, etc.), il est intégré avec ses spécificités, ses qualités et ses limites,

b) prise en compte du niveau et des connaissances de l'apprenant, des différences individuelles,

c) adaptabilité des parcours et multimédia : soit la contribution directe des hypermédias à cette nouvelle génération d'EAO. Les hypermédias permettraient d'assouplir le caractère procédural pour permettre à chacun de choisir son trajet parmi les contenus.

Les caractéristiques d'un Tuteur Intelligent (TI) sont donc (Vivet, 1991) :

- la "compétence" dans le domaine,
- la production d'explications et la gestion du dialogue,
- la flexibilité dans la conduite tutorielle,
- une représentation de l'élève.

2.2 "Logiques" et apprentissages

D'un autre côté, le secteur "représentation des connaissances" de l'IA nous montre l'extrême difficulté qu'il y a à formaliser les connaissances humaines (par ex. Kayser, 1991) et les apprentissages (par ex. Kodratoff, 1991) selon des logiques classiques. En contre coup, les aspects procéduraux et linéaires des actes d'enseigner

et d'apprendre ne vont plus "de soi", ou, du moins, apparaissent maintenant comme deux aspects limités du problème.

On a aussi montré (Bastien, 1987) que l'analyse logique d'un problème par l'enseignant ne correspondait pas toujours au travail cognitif effectué par les élèves pour résoudre le problème, ces stratégies de résolution variant d'un élève à l'autre.

Au premier abord l'hypermédia apparaît donc comme particulièrement pertinent : on disposerait enfin d'un outil capable de briser la linéarité d'un enseignement, laissant à chacun le choix de se faire SA représentation du contenu, et favorisant l'aspect (supposé) associatif de la mémoire. Allons plus loin : de la même façon que les premiers langages informatiques ont permis de modéliser des activités de résolution de problème, les hypermédias pourraient nous permettre de modéliser les activités cognitives d'"élaboration de concepts", de "mises en relation de concepts", et d'"appréhension d'un champ".

2.3 Les problèmes "évidents" des hypermédias d'enseignement

Le problème est que l'on considère un peu trop vite la "navigation" dans un hypermédia comme adaptée au consultant "puisque'il est libre de naviguer comme il veut". En dehors des problèmes de navigation recensés plus haut, il n'est pas certain que la liberté, pour belle qu'elle soit, constitue un principe pédagogique fondamental (Serres, 1991).

On sait par ailleurs que les travaux sur la mémoire sémantique (chaque sujet aurait une organisation mnémonique plus ou moins particulière où les associations n'obéiraient pas forcément à une logique formalisable) constituent une sorte de légitimité des hypermédias. Ainsi, si l'utilisateur consulte un ensemble de données où de très nombreuses associations entre données sont proposées, il pourra choisir celles qui lui conviennent. Mais, outre l'assimilation un peu rapide entre "liberté de choix" et "pertinent pour le sujet", un raisonnement fallacieux tend à s'immiscer chez les concepteurs : "puisque la structure cognitive n'est pas logique, il faut présenter du non-logique". Et le problème reste entier : qu'est-ce que le "non-logique" ? Ce qu'on veut ? N'importe quoi ? Autre chose ?

Une expérimentation a conduit Dufresne (1992) à écrire que les environnements hypermédias en général et la consultation libre en particulier sont inadéquats à l'apprentissage "d'une tâche complexe et abstraite". Dans le même sens, Amigues (1992) remarque que ce type d'environnement est incompatible avec une démarche d'EAO, qu'il décrit comme un guidage précis et une évaluation presque pas à pas.

Le point de vue que je défends est opposé aux deux points de vue précédents. Je crois notamment que le constat d'échec d'Aude Dufresne n'est pas lié à la complexité de la tâche, mais à son caractère procédural, qui, comme J.R. Anderson l'a montré, ne peut pas être directement acquis à partir d'une forme déclarative. Les travaux de Mireille Bastien (1992) sont une réponse à l'argument d'Amigues. Elle montre bien le type de "guidage intelligent" que l'on peut faire à partir d'Hypercard et le rôle accru du sujet dans l'apprentissage.

3. CADRE PROPOSE

Globalement, le travail mené au CREPCO sur ce thème (Tricot, 1991 ; Bastien 1992) consiste à essayer de répondre à la question : "comment arriver à une compatibilité entre le fonctionnement cognitif de l'utilisateur et les caractéristiques du système". Plus précisément, nous voudrions arriver à définir des environnements adéquats à la mise en place de stratégies de navigation compatibles avec des objectifs d'apprentissage. Ainsi posée, la problématique entre dans le cadre de l'ergonomie cognitive, dont un des objets est de concevoir des "Interfaces Intelligentes".

3.1 Les Interfaces Intelligentes (Bastien, 1992)

L'ergonomie cognitive se préoccupe de l'architecture et de la fonctionnalité de l'interface homme-machine, non pas de ses aspects pratiques (ergonomie de surface), sinon dans une approche globale, en tant que ces aspects sont dépendants du "niveau profond".

Le problème : la structure logicielle du système informatique est forcément logique alors que la structure cognitive est souvent peu logique chez l'utilisateur. Pourtant il faut définir une communication entre les deux.

Les solutions habituelles sont d'attendre que l'utilisateur apprenne (mais ce n'est plus de l'aide) ou de faire en sorte que l'ordinateur s'adapte, ce qui est difficile (en attendant l'implémentation de logiques non-monotones).

Les interfaces intelligentes définissent le problème en trois points :

- a) *La représentation du système* : elle doit spécifier ce que le système "sait", la nature et le format des connaissances implémentées et les types de fonctions que le système est susceptible de remplir.
- b) *La représentation de l'utilisateur* : les modalités perceptives, la nature et la structure de ses connaissances dans le champ considéré, et leurs modalités d'accès. Il est nécessaire de se baser sur une théorie cognitive pour cette modélisation, par exemple avec ACT*, il faut savoir décrire les modes d'accès aux représentations procédurales et déclaratives.
- c) *L'interpréteur* : il convertit les sorties de l'un des deux systèmes en entrées pertinentes pour l'autre. Au minimum il peut être constitué par un processeur d'appariement d'items lexicaux, au plus il se comporte comme un traducteur.

La conception de l'interface et celle du système doivent être simultanées. Elles passent par une définition stricte (voire exhaustive) du domaine de connaissance concerné. Enfin, une interface devrait être adaptable en fonction de l'évolution de la familiarité de l'utilisateur, et en fonction de l'évolution (apports externes ou auto-développement) du système.

3.2 Application aux hypermédias d'enseignement

Dans ce cadre là, il me semble qu'il y a trois points particulièrement importants à aborder :

a) *les données à stocker* : "nature", "type", "quantité", "grain", "structure". Il faudrait :

- a1 : se baser sur un formalisme extrêmement précis et clair (au niveau des noeuds et des liens) : voir par exemple les modèles objets de Nanard & Nanard (1991) ou de Andonoff et al. (1992).
- a2 : se baser sur un formalisme assez souple pour intégrer différents formats de connaissances : entre deux connaissances déclaratives on doit pouvoir intégrer une relation d'"analogie vague" par exemple (i.e. "voir aussi").
- a3 : d'autre part, un vrai travail d'analyse intelligente du corpus à stocker doit être mené : les hypertextes ne peuvent pas se réduire à du tronçonnage automatisé de texte linéaire ; ce ne sont pas non plus des outils a priori inadéquats au stockage et à la transmission de connaissances complexes, au contraire.

Exemples :

- dans "nature des données", on choisit entre image, texte et son. Si ce choix est évident pour les contenus à stocker, il doit être bien étudié en ce qui concerne l'information sur la structure : on peut imaginer que le texte convient mieux à une information locale et que l'image convient mieux à une information de type "planification générale" (Bastien, 1992).

- dans "type de données" on peut distinguer des connaissances déclaratives et des connaissances procédurales. Si le système doit stocker des connaissances procédurales (par exemple on veut faire un logiciel pour enseigner un langage de programmation) alors on devra forcément intégrer des exercices, et un feed-back immédiat (on peut voir l'étude de Lee (1992) sur le problème du délais du feedback, en environnement hypermédia d'enseignement).

- dans "grain", il faut se poser la question de la segmentation des connaissances : vaut-il mieux faire beaucoup de petites unités ou peu de grosses ? Patricia Wright (1991) a remarqué que la mémorisation se faisait plus facilement avec un écran sur lequel il y avait "toute l'information" qu'avec un écran sur lequel il fallait cliquer pour avoir des détails (cette étude est malheureusement peu fiable statistiquement, d'après l'auteur elle-même). Dans le travail sur AUTODOC 92 (voir § 3.3), j'ai pu montrer que l'apprentissage était significativement meilleur avec un nombre moyen de mot par écran autour de 65-70, qu'avec un nombre moyen autour de 40-45 (ceci n'étant probablement valable que pour ce logiciel et pour certains sujets [14-15 ans]).

- la question de la "structure" peut être en partie reliée à la question "type de connaissances" : si les connaissances sont de type logique, alors il y a souvent une relation "nécessaire" entre deux éléments reliés, ce qui n'est pas le cas d'un domaine non-logique. La charge cognitive devrait être plus lourde dans le cas où le sujet doit gérer "l'ensemble des possibles" : du coup, il faut simplifier la structure.

b) *le modèle des connaissances de l'utilisateur* : Un premier problème est à résoudre, celui de l'"empan structurel" (capacité de traitement, capacité de la mémoire à court terme) : c'est le point que j'aborde dans mes recherches (voir § 3.3). Il faut ensuite pouvoir établir un modèle dynamique prenant en compte les connaissances sur le domaine traité, sur les systèmes informatiques en général, sur les hypertextes et, enfin, sur le système particulier. Ce qui implique qu'il faut être capable de modé-

liser les processus de transformation des connaissances de l'utilisateur dans le temps (autrement dit, il faut avoir un bon modèle de l'apprentissage, capable de prendre en compte le court et le long terme).

c) le modèle de la tâche : Il doit principalement décrire les objectifs du concepteur (didactique, stockage, ou autre) et les différents objectifs envisageables par l'utilisateur.

3.3 Un cadre expérimental pour l'étude des stratégies cognitives de navigation

3.3.1 Problématique

L'axe choisi est de mesurer la capacité de traitement des sujets en fonction de la structure de l'hypertexte. La structure de l'hypertexte est définie selon deux dimensions : la longueur des chemins (suite de cartes) et le nombre de boutons par carte. Nous cherchons donc à mesurer une éventuelle "compétence syntaxique".

Nous voulons faire cette mesure pour deux stratégies de navigation différentes, identifiées par Alain Rufino à l'Institut de Biométrie Humaine et d'Orientation Professionnelle de Marseille en 1978, dans le cadre de la consultation d'une documentation papier par des élèves de collèges et de lycées :

- l'exploration qui est un parcours en surface de tous les éléments de la structure à la recherche d'une vision globale,
- l'approfondissement qui enchaîne des séquences de questions reliées par des exigences logiques sur des domaines focalisés.

Tous les consultants utilisaient alternativement des séries d'exploration et d'approfondissement. Les stratégies mises en jeu étaient loin d'être optimales en terme de théorie mathématique de l'information : en effet, la tendance dominante était à approfondir des rubriques déjà connues plutôt qu'à explorer des zones nouvelles.

Les hypothèses émises plus bas utilisent aussi d'autres résultats de Rufino :

- l'augmentation du flux d'information n'est en aucun cas une garantie d'amélioration des connaissances,
- il faut donner aux supports une structure stable et transparente directement en rapport avec les problématiques d'élèves.

Autrement dit, nous voudrions montrer qu'il ne faut pas figer un hypertexte autour d'une structure limitant les liens et les cartes, mais laisser la place à différentes configurations possibles, chacune répondant à un objectif précis.

3.3.2 Hypothèses

Pour arriver à modéliser les processus cognitifs impliqués par la navigation, il semble raisonnable de mesurer d'abord "l'empan structurel" de l'utilisateur d'un hypermédia (Tricot, 1991, 1992), soit :

a) le nombre de cartes ouvrables "à la suite" : le niveau de profondeur, {A2 spécifie A1, A3 spécifie A2 qui spécifie A1, etc.}. Au bout d'un certain moment (niveau 3), le sujet ne sait plus "remonter la chaîne de spécification" : il ne sait plus exactement sur quel élément porte la spécification A_i . Il se pourrait que ce problème soit un

problème cognitif que l'on retrouve par exemple en psycholinguistique dans la compréhension des phrases enchâssées complexes (Bastien & Noizet, 1976 ; Amy & Noizet, 1978). Ces travaux mettent en évidence la nécessité d'une double stratégie de traitement (niveau des noyaux et niveau des relations entre noyaux). Je pense qu'il est important de retrouver dans des environnements hypertextes la notion de pivot, "c'est à dire une structure nucléaire éventuellement modifiée mais elle-même non modificatrice".

b) le nombre d'ancrages partant d'une carte d'origine, qui, selon Oren (1987), serait un problème de capacité de la mémoire de travail.

c) une éventuelle relation entre ces deux facteurs.

Je fais l'hypothèse selon laquelle cet empan peut se modifier selon le type de stratégie du sujet :

d) une stratégie d'exploration, flânerie : dans ce type de stratégie le "niveau de profondeur" serait infini, ou presque. Dans ce cas en effet, l'utilisateur ne sait généralement pas précisément ce qu'il cherche. Le degré de pertinence des différentes cartes n'est donc pas établi par avance, et la consultation va passer par des cartes qui ne vont quasiment pas être traitées. Ainsi, dans ce type de stratégie, il n'y aurait a priori, pas de surcharge cognitive. Cependant, une fois qu'une carte pertinente est trouvée, le problème se pose comme en (e).

e) une stratégie d'approfondissement, recherche : dans ce type de stratégie les quantités indiquées en (a) et en (b) doivent être strictement limitées si l'utilisateur veut prendre connaissance de chaque carte considérée. Toutefois, il est possible que différents types d'inférences aient des limites sensiblement différentes.

Ces deux types de stratégies correspondent à deux types de buts différents et complémentaires que l'on peut, entre autres, rencontrer dans des apprentissages :

f) dans le contexte défini en (d), la réorganisation de connaissances déjà acquises serait facilitée (réorganisation censée être plus opérationnelle). Ce type d'environnement favoriserait la multiplication de contextualisations de connaissances.

g) dans le contexte défini en (d), l'acquisition de notions nouvelles serait forcément partielle ou imprécise,

h) dans le contexte défini en (e) et dans lequel différents accès sont possibles, l'acquisition de notions précises serait facilitée. On dispose en effet d'un environnement dans lequel la quantité d'information est réduite et la structure claire. De plus, cet environnement permet à chacun de "rentrer" dans le système selon sa propre problématique.

3.3.3 Le travail expérimental

...est mené simultanément sur deux terrains

- en collaboration avec le Centre TransMéditerranéen de la Communication, l'étude porte sur "AUTODOC 92", une base de données hypertextuelle d'information sur les métiers et les études (Rufino & Tricot, 1993 a,b).
- en collaboration avec l'équipe Hermès (Transfert et Représentation des Connaissances), sur "CORREL..." un hypermédia d'enseignement de physi-

que à l'université et en école d'ingénieurs sur le thème "Ondes et Propagations" (Coste, 1991 et ce volume).

Une pré-expérimentation sur AUTODOC 92 semble indiquer qu'en deçà des seuils 3 pour la longueur des chemins et 6-7 pour le nombre d'ouvertures par carte, il n'y a pas de problème de navigation. J'ai aussi conduit une étude dans laquelle 24 sujets devaient consulter l'hypertexte sur un seul métier. Un groupe consultait des métiers basés sur un réseau "simple" (peu de liens, chemins courts), un autre groupe des métiers à réseau "intermédiaire" (plus de liens, chemins moins courts) et le dernier groupe des métiers à réseau "complexe". J'ai mesuré l'apprentissage (soit la différence du nombre de bonnes réponses entre un post-test et un pré-test équivalents) : l'analyse de variance ne montre aucune différence significative dans les apprentissages, les trois types de réseaux étant en deçà des seuils indiqués ci-dessus. Ce dernier résultat demande à être confirmé, avec un échantillon plus important.

4. CONCLUSION

Ce texte a présenté une revue de questions sur la navigation dans les hypermédias, qui montre combien de problèmes importants restent à étudier. Des travaux expérimentaux dans ce domaine pourront être très utiles aux concepteurs d'hypermédias pour l'enseignement, particulièrement pour ce qui concerne la configuration des données dans le système et les capacités de traitement des apprenants. A ce titre, la recherche présentée (3.3) n'aborde qu'une petite partie du problème, laissant de côté, entre autres, les aspects sémantiques (!).

J'espère avoir montré, d'autre part, que le cadre méthodologique de l'ergonomie cognitive peut convenir à certains travaux du domaine didactique.

Je voudrais finir en soulignant combien me semble raisonnable la piste proposée par l'équipe du HUSAT (Mc Knight, Dillon & Richardson, 1991 et nombreuses autres publications). S'il semble assez évident que deux niveaux de traitement sont en jeu comme on l'a vu dans la recension présentée plus haut, Mc Knight et ses collaborateurs ont le mérite de faire référence à un formalisme relativement précis : celui des "macro-structures sémantiques" (travaux de Kintsch & van Dijk, particulièrement van Dijk, 1977). On sait que ces derniers ont élaboré un modèle de la compréhension de texte où un micro-traitement fonctionne "en parallèle" avec un macro-traitement. L'application de règles de sélection, de généralisation et de condensation permet l'élaboration de la macrostructure sémantique, soit un résumé, une représentation globale du texte. Dans leur(s) modèle(s) la quantité de propositions pouvant subir simultanément ce type d'opération est limitée. Et l'"arrangement" de ces propositions détermine tout autant la "lisibilité" du texte.

Ce travail est financé par une allocation de recherche du Ministère de la Recherche et de la Technologie. Je voudrais remercier les deux lecteurs anonymes pour leurs remarques.

BIBLIOGRAPHIE

- Amigues (R.), 1992- "Les technologies éducatives : entre sciences cognitives et sciences sociales", in R. Attabou & R. Chabot (Eds) *Actes du colloque "Sciences sociales et IA"*, Aix-en-Provence, 8-10 Avr 92, Technologies Idéologies Pratiques, n° X Vol. 2-4, p. 267-278.
- Amy (G.), & Noizet (G.), 1978- "Stratégies de compréhension de phrases doublement enchâssées par relativisation", *L'Année Psychologique*, n° 78, p. 407-423.
- Andersen (P.B.), 1990- "Towards an aesthetics of hypertext systems : a semiotic approach", in A. Rizk, N. Streitz & J. André (Eds) *Hypertext : Concepts, systems and applications, Proceedings of the European Conference on Hypertext*, Versailles, Nov, Cambridge University Press, Cambridge 90, p. 224-237.
- Anderson (J.R.), 1983.- *The architecture of cognition*. Harvard University Press, Cambridge (MA) 83, 345 p.
- Andonoff (E.), Canillac (M.), Mendiboure (C.), & Zurfluh (G.), 1992- "OHQL : A hypertext approach for manipulating object-oriented databases", *Information Processing & Management*, n°28 Vol. 5, p. 567-579.
- Baird (P.), & Percival (M.), 1989- "Glasgow on-line : database development using Apple's HyperCard", in R. Mc Aleese (Ed) *Hypertext : Theory into practice*, Ablex Publishing, Norwood (NJ) 89, p. 75-92.
- Baird (P.), Egan (D.), Kinch (W.), Smith (J.), & Streitz (N.A.), 1989- Panel : "Cognitive aspect of designing hypertext systems", in *Hypertext'89, Proceedings of the ACM conference on hypertext*, Pittsburg, Nov 5-8, ACM Press, New-York 89, p. 397.
- Bastien (C.), 1987.- *Schémas et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*, PUF, Paris 87, 200 p.
- Bastien (C.) & Noizet (G.) 1976- "Propositions pour une formalisation du traitement psycholinguistique des phrases", *Mathématiques et Sciences Humaines*, n° 14 Vol. 53, p. 31 - 62.
- Bastien (C.) 1992- "Ergonomics for hypermedia courseware", in A. Oliveira (Ed) *Hypermedia courseware : structures of communication and intelligent help*. Proceedings of the NATO ARW, Espinho, April 19-24, 1990, Springer Verlag, Berlin 92, p. 183 - 187.
- Bastien (M.), 1992- "Cognitive ergonomics in a language learning task", in A. Oliveira (Ed) op. cit. p. 120-130.
- Bernstein (M.), 1991- "The navigation problem reconsidered", in E. Berk & J. Devlin (Eds) *Hypertext / Hypermedia handbook*, Mc Graw Hill, New-York 91, p. 285-298.

- Bernstein (M.), Brown (P.J.), Frisse (M.), Glushko (R.J.), Landow (G.), & Zellweger (P.), 1991- Panel : "Structure, navigation and hypertext : the status of the navigation problem", in *Hypertext'91, Proceedings of the ACM conference on hypertext*, San Antonio, Dec 15-18, ACM Press, New-York 91, p. 363-366.
- Biener (F.), Guivarch (M.), & Pinon (J.-M.), 1990- "Browsing in hyperdocument with the assistance of a neural network", in A. Rizk, N. Streitz & J. André (Eds) op. cit., p. 288-297.
- Conklin (J.), 1987- "Hypertext : an introduction and survey", *Computer*, n°20 Vol.9, p. 17-41.
- Coste (J.-P.), 1991- "Gestion de stratégie d'accès à l'information", *2° journées ELAO de Cachan*, 24-25 Jan 91.
- Dillon (A.), 1991- "Reader's models of text structures : the cases of academic articles", *International Journal of Man-Machine Studies*, n° 35, p. 913-925.
- Dufresne (A.), 1992- "Ergonomie cognitive, hypermédias et apprentissages", in B. de La Passardière & G.-L. Baron (Eds) *Hypermédias et Apprentissages, Actes des 1° journées scientifiques*, Châtenay-Malabry, 24-25 Sep 91, INRP, Paris 92.
- Edwards (D.M.), & Hardman (L.), 1989- "Lost in hyperspace : cognitive mapping and navigation in a hypertext environment", in R. Mc Aleese (Ed) op. cit. p. 105-125.
- Espéret (E.), - "Hypertext processing : can we forget textual psycholinguistics", in A. Oliveira, (Ed) op. cit. p. 112-119.
- Foss (C.L.), 1988- "Effective browsing in hypertext systems", in *Proceedings of the RAIO Conference*, User-oriented content-based text and image handling, March 21-24.
- Foss (C.L.), 1989- "Detecting lost users : Empirical studies on browsing hypertext", *Rapport de recherche INRIA*, n°972, Sophia Antipolis, Nice 89, 41p.
- Furuta (R.), & Stotts (P.D.), 1989- "Programmable browsing semantics in Trellis", in *Hypertext'89*, op. cit. p. 27 - 42.
- Girill (T.R.), & Luk (C.H.), 1992- "Hierarchical search support for hypertext on-line documentation", *International Journal of Man-Machine Studies*, n° 36, p. 571-585.
- Gray (S.H.), 1990- "Using protocol analyses and drawing to study mental model construction during hypertext navigation", *International Journal of Human-Computer Interaction*, n° 2 Vol. 4, p. 359-377.
- Gray (S.H.), Barber (C.B.), & Shasha (D.), 1991- Information search with dynamic text vs paper text : an empirical comparison, *International Journal of Man-Machine Studies*, n° 35, p. 575-586.
- Holt (P.O'B.), & Howell (G.), 1992- "Making connections : the logical structuring of hypertext documents", *Instructional Science*, n° 21, p. 169-181.

- Irler (W.J.) & Barbieri (G.) 1990- "Non-intrusive hypertext anchors and individual colour markings", in A. Rizk, N. Streitz & J. André (Eds) op. cit. p. 261-273.
- Jones (T.), & Shneiderman (B.), 1990- "Examining usability for a training-oriented hypertext : can hyper-activity be good", *Electroning publishing*, n° 3 Vol. 4, p. 207-225.
- Kayser (D.), 1991- "La représentation des connaissances en intelligence artificielle", in G. Vergnaud (Ed) *Les sciences cognitives en débat*, Editions du CNRS, Paris 91, p. 89-106.
- Kodratoff (Y.), 1991- "Techniques d'apprentissage symbolique et numérique", in G. Vergnaud (Ed) op. cit. p. 73-88.
- Lai (P.), & Manber (U.), 1991- "Flying through hypertext", in *Hypertext'91*, op. cit. p. 123-132.
- Mc Aleese (R.), & Green (C.), Eds. 1990.- "Hypertext : state of the art", *Proceedings of Hypertext II*, University of York, Jun 29-30, 1989, Intellect Ltd, Oxford 90, 268 p.
- Mc Knight (C.), Dillon (A.), & Richardson (J.), 1991.- *Hypertext in context*, Cambridge University Press, Cambridge 91, 166 p.
- Mohageg (M.) 1992 -"The influence of hypertext linking structures on the efficiency of information retrieval, *Human Factors*, n° 34, Vol 3, p. 351-367.
- Moulthrop (S.) 1991- "Beyond the electronic book : a critique of hypertext rhetoric", in *Hypertext'91*, op. cit. p. 291-298.
- Nanard (J.), & Nanard (M.), 1991- "Using structured types to incorporate knowledge in hypertext", in *Hypertext'91*, op. cit. p. 329-343.
- Nelson (T.), 1990- "The right way to think about software design", in B. Laurel (Ed) *The art of HCI design*, Addison Wesley, Reading (MA) 90, p. 235-244.
- Nielsen (J.) 1990.- *Hypertext and hypermedia*, Academic Press, San Diego (CA) 91, 263 p.
- Oliveira (A.), Ed. 1992.-Hypermedia courseware : structures of communication and intelligent help. *Proceedings of the NATO ARW*, Espinho, April 19-24, 1990, Springer Verlag, Berlin 92, 239 p.
- Oren (T.), 1987- "The architecture of static hypertexts", in foreword to *Hypertext'87 Proceedings, ACM conference on hypertext*, Chapel Hill, NC, ACM Press, New-York 87, p. v - vii.
- Oren (T.), Salomon (G.), Kreitman (K.) & Don (A.), 1990- "Guides : characterising the interface", in B. Laurel (Ed) op. cit. p. 367-382.
- Rouet (J.-F.), 1990- "Interactive text processing in inexperienced (hyper-) readers", in A. Rizk, N. Streitz & J. André (Eds) op. cit. p. 250-260.
- Rufino (A.), & Tricot (A.), 1993a- "La représentation des métiers : concevoir un tutoriel d'information", *Les Cahiers Pédagogiques*, Dossier "Représentations", 312.

- Rufino (A.), & Tricot (A.), 1993b- "Présentation psychopédagogique du système assisté par informatique AUTODOC 92", *L'Orientation Scolaire et Professionnelle*, à paraître.
- Shneiderman (B.), 1987.- *Designing user interface : strategies for effective human-computer interaction*, Addison Wesley, Reading (MA) 87.
- Serres (M.) 1991.- *Le tiers-instruit*, François Bourin / Folio, Paris 92, 249 p.
- Siegel (R.), & White (T.), 1975- "The development of spatial representations of large-scale environments, in H.W. Reese (Ed) *Advances in child development and behaviour*, 10, Academic Press, New York 75.
- Silva (A.P.), 1992- "Hypermedia : influence of interactive freedom degree in learning processes, in A. Oliveira (Ed) op. cit. p. 145-156.
- Simpson (A.), & McKnight (C.), 1990- "Navigation in hypertext : structural cues and mental maps", in R. Mc Aleese & C. Green (Eds) *Hypertext : state of the art, Proceedings of Hypertext II*, University of York, Intellect Ltd, Oxford 90, p. 73-83.
- Tricot (A.), 1991- *Quelques préalables à la modélisation des processus cognitifs impliqués par la navigation dans les hypermédias*, Mémoire de DEA, CREPCO, Université de Provence, Aix en Provence 91, 63 p.
- Tricot (A.), 1992- "Une approche cognitive de l'aide à la navigation dans les hypermédias : l'hypothèse de l'empan structurel", communication affichée au "Forum des Sciences Cognitives", Marseille, CNRS, 4-5 Déc 92
- Van Dijk (T.A.), 1977- "Semantic macro-structures and knowledge frames in discourse comprehension", (trad. fr. : Macrostructures sémantiques et cadres de connaissances dans la compréhension du discours), in G. Denhière (Ed) *Il était une fois*, PUL, Lille 84, p. 49-142.
- Van Dyke Parunak (H.), 1989- "Hypermedia topologies and user navigation", in *Hypertext'89*, op. cit. p. 43 - 50.
- Vivet (M.) 1991- "Expertise pédagogique et usage des tuteurs intelligents", *Journées Francophones : Formation Intelligemment Assistée par Ordinateurs*, Genève 91, 9-10 Jan.
- Whalley (P.), 1990- "Models of hypertext structure and learning", in D.H. Jonassen & H. Mandl (Eds), *Designing hypermedia for learning, Proceedings of the NATO ARW*, Rottenburg/Neckar, July 3-8, Springer Verlag, Heidelberg 90, p. 61-70.
- Wright (P.), 1991- "Cognitive overheads and prostheses : some issues in evaluating hypertexts", in *Hypertext'91*, op. cit. p. 1-12.