

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**BADJI MOKHTAR –ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA**



جامعة باجي مختار - عنابة -

**FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE
ANNEE UNIVERSITAIRE 2005**

**كلية علوم المهندس
قسم الإعلام الألي
السنة الجامعية 2005**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

THEME

**DIMINUTION DE LA SURCHARGE COGNITIVE ET
AMELIORATION DE L'INTERFACE APPRENANT DANS UN
HYPERMEDIA EDUCATIF**

Option :

Intelligence Artificielle Distribuée (IAD)

Par :

Mr SOLTANI Mohamed

DIRECTEUR DE MEMOIRE :

Professeur : LASKRI Mohamed Tayeb

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Dr KHOLLADI. K Maître de conférence Univ. Constantine
EXAMINATEUR : Dr BALLA. A Maître de conférence L'I.N.I. Alger
EXAMINATEUR : Dr MEROUANI. H Maître de conférence Univ. Annaba
EXAMINATEUR :

Remerciements

Je remercie le professeur Mohamed Tayeb LASKRI. De m'avoir attribué un sujet fort intéressant et d'actualité, ainsi que pour ses précieux conseils et ses orientations pertinentes.

Je remercie le Docteur KHOLLADI Khieredine, de l'université de Constantine, qui me fait l'honneur de présider mon jury.

Je remercie le Docteur BALLA Ammar, de l'institut national d'informatique de oued smar Alger, qui me fait l'honneur d'être membre du jury.

Je remercie le Docteur MEROUANI Hayette, de l'université d'Annaba, qui me fait l'honneur d'être membre du jury.

Je tiens aussi à remercier tous mes collègues du PG, Mourad, Wahid, Mohamed, Douadi, Redouane, Nadjatte, Ibtissem, Karima, Sonia.

Pour finir, ces remerciements ne seraient pas complets si je n'avais pas une pensée pour les êtres qui me sont les plus chers, c'est-à-dire ma famille :

Je dédie donc ce mémoire à mes parents, qui durant toute ma scolarité m'ont toujours donné la possibilité de faire ce que je voulais, et qui ont toujours cru.

Je dédie également ce document à mes frères Samir, Mehdi, ainsi qu'à mes sœurs Radja, Sihem, pour le bonheur qu'ils me procurent tout au long de l'année.

A mon chère ami Didinne.

Je remercie chaleureusement mes amis Hamid, Hatem, Chafik, Ali, Issam, Chawki, Nacer, soufiane, samir, yazid, Halim, hamza.

Et à tous ceux que j'ai oublié, un grand pardon et un grand merci

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont apporté, un jour, le savoir, de quelque manière que ce soit, lors de notre formation

Résumé

Ces dernières années ont vu émerger ce que les médias de l'information n'ont pas hésité à nommer "*la révolution des nouvelles technologies*". La démocratisation de l'ordinateur et l'avènement du Web au début des années 90, nous ont fait pleinement rentrer dans l'ère de l'informatique grand public. L'usage de ces technologies s'impose tant dans la vie domestique que professionnelle. Cette évolution touche également, le domaine éducatif pour preuve l'apparition des TICE (Technologies de l'Information, et de la Communication appliquées à l'Enseignement). En effet avec cette évolution, on assiste à l'apparition de nouveaux besoins dans la formation et l'enseignement : d'une part, ces besoins se manifestent dans trois directions : les personnes, les lieux et les moments ; c'est ce que [DEN, 95] simplifie en disant : "*tous, tous le temps, partout*"; d'autre part, les apprenants ont de plus en plus besoin d'un apprentissage centré sur eux-mêmes, ils demandent que leur vision soit prise en compte. L'une des réponses à l'émergence des nouveaux besoins dans le domaine éducatif ainsi que dans la formation est l'utilisation des hypermédias.

Les hypermédias, dans lesquels les informations ne sont pas seulement de type texte, mais également de type image son, vidéo ou encore multimédia ont vocation à présenter l'information. Dans les applications basées sur le Web, l'information est présentée selon une approche hypermédia, mais de plus, il est possible d'effectuer des traitements à travers l'interface Web. Dès lors, il n'est pas surprenant de constater que beaucoup de travaux de recherches sur les hypermédias ont été réalisés ou sont en cours de développement.

Cette Recherche, présente l'architecture d'hypermédia éducatif dynamique générant des activités pédagogiques aux quels on tient ce compte des trois aspects très importants :

- Diminution de la surcharge cognitive chez l'apprenant..
- Amélioration de l'interface apprenant (Surcharge cognitive).

L'amélioration du format de présentation des informations dans les documents techniques est un moyen important de favoriser leur compréhension. Les avancées technologiques récentes incitent d'ailleurs à de nouveaux efforts d'analyse du potentiel des documents techniques électroniques en terme de compréhension. Dans cette recherche en propose des recommandations et des précautions qu'on doit les prendre en considération dans la conception des documents pédagogiques afin de favoriser leurs compréhensions.

Nous avons présenté un modèle inspiré des recherches sur les interfaces adaptatives et de celles sur les systèmes d'aide à l'apprentissage dans les hypermédias, qui cherche à mettre en relation les différentes dimensions du modèle apprenant, du contexte et des stratégies possible d'organisation de l'aide. Le modèle cherche à intégrer non seulement les dimensions cognitives de la tâche d'apprentissage, mais également les dimensions motivationnelles et sociales de l'activité. Nous présentons un modèle d'interface conçu pour faciliter la navigation (pour le problème de désorientation) et la définition du soutien dans un hypermédia d'apprentissage, afin d'aider l'apprenant dans sa progression. Le modèle permet même l'adaptation de ce soutien en fonction des préférences de l'apprenant.

Dans notre modèle on a proposés des recommandations qui vent améliorés même d'autres hypermédias, dont le but de diminuer la surcharge cognitive chez l'apprenant. L'amélioration de l'interface apprenant, pour que ce dernier puisse se consacrer exclusivement à l'acquisition de connaissances sans surcharge cognitive de nature procédurale de l'interface.

Mots-clés : *Apprentissage, Hypermédia adaptatif dynamique, interface, ergonomie, Compréhension des documents technique*

Abstract

These last years saw emerging what the media of information did not hesitate to name "*the revolution of new technologies*". The democratization of the computer and the advent of the Web at the beginning of the Nineties, fully made us return in the computer age general public. The use of these technologies is essential as well in the domestic life as professional. This evolution also touches, the educational field for proof the appearance of the TICE (Communication and Information Technologies, applied to Teaching). Indeed with this evolution, one attends the appearance of new needs in the formation and teaching: on the one hand, these needs appear in three directions: people, places and moments; it is what [Dcni95] simplifies while saying: "*all, all times, everywhere*"; in addition, learning them need more and more a training centered on themselves, they ask that their vision be taken into account. One of the answers to the emergence of the new needs in the educational field as in the formation is the use of the hypermedias.

The hypermedia, in which information is not only of text type, but also of image type its, video or multi-media have vocation to present information. In the applications based on the Web, information is presented according to an approach hypermedia, but moreover, it is possible. Consequently to carry out treatments through the Web. interface, it is not surprising to note that many research tasks on the hypermédiass were carried out or are under development.

This Research, presents the architecture of hypermédiass educational dynamics generating of the teaching activities with which one holds this account of the three very significant aspects:

- Reduction in the cognitive overload at learning.
- Improvement of the interface learning (cognitive Overload).

The improvement of the format of presentation of information in the technical documents is a means significant to support their comprehension. The recent technological projections encourage besides with new efforts of analysis of the potential of the electronic engineering documents in term of comprehension. In this research proposes of them recommendations and precautions which one must take them into account in the design of the teaching documents in order to support their comprehensions.

We will present a model inspired of research on the adaptive interfaces and those on the systems of assistance at the training in the hypermédiass, which seeks to connect various dimensions of the learning model, of the possible context and the strategies of organization of the assistance. The model seeks to integrate not only cognitive dimensions of the task of training, but also motivationnelles and social dimensions of the activity. We present a model of interface conceived to facilitate navigation (for the problem of confusion) and the definition of the support in a hypermédiass of training, in order to help learning it in its progression. The model allows even the adaptation of this support according to the preferences of learning.

In our model one proposed recommendations which wind improved even of others hypermédiass, of which the goal to decrease the cognitive overload at learning. Improvement of the interface learning, so that this last can be devoted exclusively to the acquisition of knowledge without cognitive overload of procedural nature of the interface.

Key words : *Training, dynamic adaptive Hypermedia, interface, ergonomics, technical Comprehension of the documents.*

ملخص

إن ظهور الوسائط الإعلامية في هذه السنوات الأخيرة و التي سميت " بثورة التكنولوجيات الحديثة "، ومع ديمقراطية أجهزة الإعلام الآلي و ظهور الويب في بداية التسعينيات، أدخلتنا في عالم الإعلام واسع النطاق، كما نلمس استعمال هذه التكنولوجيات في الحياة العادية والعملية هذا التطور شمل المجال التربوي و دليل ذلك ظهور " تكنولوجيات الإعلام و الاتصال المطبقة عل التعليم "، ومع هذا التطور نعيش الحاجة إلى التكوين والتعليم، ومن جهة أخرى فالطلبة بحاجة إلى تكوين مركز عليهم، ويطلبون أن تؤخذ آرائهم، مما يجعلنا نستعمل الإيبيرميديا.

الإيبيرميديا أين لا يوجد إلا النصوص بل يمكن أن نجد الصور و الصوت و الفيديو أو وسائط متعددة في البرامج المتعلقة بالويب، فالمعلومات مقدمة على شكل إيبيرميديا، أين يمكن أن نلاحظ العديد من الأبحاث في هذا القطاع.

هذا البحث يوضح نموذج للإيبير ميديا حيث أخذنا بعين الاعتبار :

- تخفيض الضغط على ذاكرة العمل لدى الطالب.
- تحسين الواجهة المقدمة للطالب.

إن تحسين مظهر الدروس وسيلة هامة من أجل فهم جيد لها، إن هذه الدراسة تقدم توصيات وتحذيرات يجب أخذها بعين الاعتبار عند تحضير الدروس من أجل أن تكون سهلة الفهم.

كما نقدم نموذجا مأخوذ من الواجهات المتأقلمة و النظم المساعدة على التعليم، التي تسعى الى وضع علاقة بين مختلف أبعاد نموذج الطالب، و وسائل مساعدته. هذا النموذج يسعى الى إضافة أبعاد محفزة و اجتماعية. إننا نقدم نموذج لواجهة من أجل تسهيل الملاحظة و تعريف نوع من الدعامة في الإيبيرميديا، من أجل مساعدة الطالب في تدرجه. و النموذج يسمح باختيار نوع الدعم.

في النموذج المقدم نقدم بعض التوصيات التي من أجلها يمكن تحسين أنواع أخرى من الإيبيرميديا، و هذا من أجل تخفيض الثقل على ذاكرة العمل عند الطالب، تحسين الواجهات يجعل الطالب يخصص وقته إلا من أجل التحصيل العلمي بدون أن يتقل على ذاكرة العمل لديه الناتجة عن طبيعة الواجهة.

الكلمات المفتاح: إيبيرميديا متأقلمة دينامكي، التعليم، الواجهة، فهم المستندات التقنية.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractérisation des composants dans le modèle RCO.....	24
Tableau 2 : Propositions de Mayer.....	45
Tableau 3 : Caractérisation hiérarchique des références d'interfaces intelligentes remarquables traitant de l'Enseignement Assisté par Ordinateur.....	71
Tableau 4 : tableau de bord.....	78

Liste des Figures

Figure 1 : Indexation par page	34
Figure 2 : Indexation fragmentée	35
Figure 3 : Relation directe.....	36
Figure 4 : Une page de l'hypermédia construite dynamiquement.....	37
Figure 5 : Interface de l'aide auditive présentée avec une animation explicative (en haut à gauche), d'après (Hidrio et al.,2002)	49
Figure 6 : Version intégrée et séparée des schémas, d'après Jamet (2000)	51
Figure 7 : versions statique et séquentielle (exemples) des schémas	52
Figure 8 : Début de l'architecture du site relatif à <i>Cabri-graphes</i>	60
Figure 9 : Support qui permet aux apprenants de partager leurs fiches	65
Figure 10 : Structure d'interface apprenant	77
Figure 11 : Modèle de domaine.....	80
Figure 12 : le modèle de l'apprenant.....	81
Figure 13 : Architecture du système d'évaluation	82
Figure 14 : Sélection de la tâche à l'aide de filtres.	85
Figure 15: Générateur de cours.....	86
Figure 16 : Architecture final du système.....	87

Sommaire

Introduction générale	9
Contexte de nos travaux.....	10
Éléments de la problématique.....	11
Objectifs de recherche.....	13
Chapitre I : L'évolution de L'EAO	14
<hr/>	
1. Evolution des environnements d'apprentissage par ordinateur.....	16
1.1. Les didacticiels.....	16
1.2. Les STI (Systèmes Tutoriels Intelligents).....	16
1.3. Les micro-mondes.....	18
1.4. L'apogée des environnements interactifs d'apprentissage.....	19
1.5. Les systèmes de la fin des années 90.....	20
1.5.1. Les outils de production d'items didactiques.....	20
1.5.2. Les outils de gestion d'items didactiques.....	20
1.5.2.1. Le projet ARIADNE.....	21
1.5.2.2. Le projet CDE.....	22
1.5.2.3. Le système OLA.....	23
1.5.2.4. Le projet SEMUSDI.....	24
1.5.2.5. Le projet/norme SCORM.....	25
2. Conclusion.....	25
Chapitre II : Les Hypermédias	28
<hr/>	
1. Qu'est ce qu'un hypermédia ?.....	29
1.1. Un peu d'histoire.....	29
1.2. Comment définir les termes hypertexte et hypermédia ?.....	30
1.2.1. Définition structurelle.....	30
1.2.2. Définition fonctionnelle.....	31
1.2.3. Définition sémantique.....	31
1.2.4. Modèles formels.....	31
2. Les hypermédias adaptatifs.....	31
2.1. L'adaptation.....	32
2.1.1. L'adaptation du contenu.....	32
2.1.2. L'adaptation pour faciliter la navigation.....	32
2.1.2.1. Le guidage direct.....	32
2.1.2.2. L'ordonnement des liens.....	32
2.1.2.3. Le masquage des liens.....	33
2.1.2.4. L'annotation des liens.....	33
2.1.2.5. Les cartes adaptatives.....	33
2.2. L'interconnexion entre le modèle du domaine et les pages de l'hypermédia.....	34
2.2.1. La Méthode dite d'indexation par page.....	34
2.2.2. La méthode dite d'indexation fragmentée.....	35
2.2.3. La relation directe.....	35

3. Les hypermédias adaptatifs dynamiques.....	36
4. L'utilisation d'un hypermédia dans cadre éducatif.....	37
4.1. Les hypermédia dits classiques	37
4.1.1. Avantages.....	37
4.1.1.1. Avantages issus de l'aspect multimédia :.....	37
4.1.1.2. Avantages issus de l'aspect hypertextuel.....	39
4.1.2. Inconvénients.....	39
4.1.2.1. La désorientation.....	40
4.1.2.2. La surcharge cognitive.....	40
4.2. Les hypermédias adaptatifs	40
4.2.1. Avantages	40
4.2.2. Inconvénients	41
4.3. Les hypermédias adaptatifs dynamiques	41
5. Conclusion	42

Chapitre III : Présentation du document..... 43

Quelques rappels sur le fonctionnement cognitif.....	45
1. Le principe multimédia.....	46
a. Les illustrations statiques	47
b. Les illustrations dynamiques.....	48
2. Principe de contiguïté spatiale.....	50
3. Principe de contiguïté temporelle.....	51
4. Principe de modalité.....	52
5. Principe des différences entre individus	53
6. Principe de redondance.....	54
7. Principe de cohérence	55
8. Conclusion	56

Chapitre IV : L'interface et les environnements d'apprentissage..... 57

1. Les interfaces de manipulation directe	58
1.1. Définition de la manipulation directe	58
1.2. La manipulation directe dans les environnements d'apprentissage.....	59
1.3. Les inconvénients de la manipulation directe.....	60
2. La théorie de l'activité humaine et le design d'interfaces.....	61
2.1. Les applications informatiques comme artefacts de l'activité.....	62
2.2. Qualités de médiation de l'artefact informatique	63
2.3. La théorie d'activités et les environnements d'apprentissage	65
2.4. Les inconvénients de la théorie d'activités	66
3. Les interfaces intelligentes.....	66
3.1. Caractéristiques d'une interface intelligente.....	67
3.2. Les interfaces intelligentes et les environnements d'apprentissage.....	68
3.3. Les inconvénients de quelques interfaces intelligentes.....	71
4. Conclusion	72

Chapitre V : Conception et modélisation..... 73

1. Ergonomie de l'interface.....	74
2. Caractéristiques de notre interface	75
3. Une interface facile	76
3.1. Navigateur graphique.....	77
3.2. Tableau de bord des intentions	78

3.3. Conseil et support à la navigation	78
4. L'architecture du système.....	79
4.1. Le modèle de domaine	79
4.2. Le modèle de l'apprenant	80
4.3. Le modèle d'activités pédagogiques	83
4.4. Base de données multimédias	84
5. Conclusion	87
Conclusion générale.....	90
Références bibliographiques.....	91

Introduction générale

Introduction générale

Les outils pour dispenser des cours n'ont évolué que très lentement. Un bon nombre d'enseignants utilisent encore jusqu'à maintenant des tableaux noirs. On peut noter aussi l'utilisation des outils multimédias, tels que l'on a dans les laboratoires de langues, ou encore l'utilisation des vidéos.

De nos jours, l'informatique prend une place très importante dans notre vie que ce soit sur notre lieu de travail ou dans nos loisirs. Outre son utilisation dans un cadre professionnel, depuis quelque années, l'aspect multimédia prend une importance de plus en plus grande dans notre société, notamment par le fait que la communication se fait de plus en plus en utilisant des supports qui intègrent du son, de la vidéo, du texte...etc. Les Cd-rom, les sites Web, les bornes interactives ou la télévision interactive ne sont plus maintenant considérés comme des technologies futuristes, mais entrent dans le quotidien des entreprises et du grand public, des personnes se sont intéressées à l'utilisation de l'informatique dans un cadre éducatif, ce qui implique l'utilisation de l'ordinateur (EAO).

L'EAO (*l'Enseignement Assisté par Ordinateur*) a essayé de mettre en pratique la plupart des principes énoncés par la pédagogie, que ce soit :

- Savoir ce qu'il faut enseigner si l'on ne sait pas où l'on souhaite en arriver ?
- Comment savoir si l'enseignement a été efficace sans disposer de critères clairs ?

D'autre part, les apprenants ont de plus en plus besoin d'un apprentissage centré sur eux-mêmes, ils demandent que leur vision soit prise en compte. L'une des réponses à l'émergence des nouveaux besoins dans le domaine éducatif ainsi que dans la formation est l'utilisation des hypermédias.

Les hypermédias, dans lesquels les informations ne sont pas seulement de type texte, mais également de type image son, vidéo ont vocation à présenter l'information. Dans les applications basées sur le Web, l'information est présentée selon une approche hypermédia, mais de plus, il est possible d'effectuer des traitements à travers l'interface Web. Beaucoup de travaux de recherches sur les hypermédias ont été réalisés ou sont en cours de développement. Nous citons sans être exhaustif, les travaux de Peler Brusilovsky, de Paul Debra, de Nicolas Delestre, de Claude Moulin, Ammar Bala, etc.

Contexte de nos travaux

Nos travaux se situent dans le cadre des environnements hypermédias adaptatifs éducatifs. Nous nous intéressons à la construction d'un modèle capable de diminuer la surcharge cognitive chez l'apprenant, on garantissons une meilleure présentation, un contenu plus adéquat au profil et préférences de l'apprenant et une interface plus souple.

Depuis quelques années, les hypermédias ont ouvert un nouvel axe de recherche dans le domaine des systèmes d'enseignement assisté par ordinateur, on distingue l'apparition successive de

trois types de systèmes : tout d'abord les hypermédias dits classiques, puis les hypermédias adaptatifs et enfin les hypermédias adaptatifs dynamiques :

- Les hypermédias dédiés à l'enseignement qui sont utilisés de plus en plus comme outils autres pour le développement de systèmes d'apprentissage interactif. Les apprenants ou utilisateurs sont différents en termes de formation, de compétence et de tâches à accomplir. Pour cela, deux approches différentes sont souvent considérées pour répondre aux besoins des apprenants : [BRU & AL., 1998], [DEL, 00a], [RAA, 02] ;
 - L'approche des systèmes hypermédias traditionnels qui est caractérisée par l'adaptation incorrecte et le *lost in hyperspace* ;
 - L'approche des systèmes hypermédias adaptatifs ;
 - L'approche des systèmes hypermédias adaptatifs dynamiques qui offre la liberté de l'adaptation dynamique dirigée par l'utilisateur, et qui offre également un guide intelligent afin d'aider l'utilisateur final ;
- Les systèmes explicatifs et les systèmes à base de connaissances qui répondent à un besoin plus spécifique de l'utilisateur. Leurs buts sont d'offrir de l'aide à l'apprenant [BAC & AL., 97], [CHA, 99], [KAS & AL., 02].

Les systèmes hypermédias traditionnels et les systèmes basés sur des modèles d'apprenants, sont souvent considérés comme deux approches différentes. L'hypermédia adaptatif essaye d'établir un rapprochement entre elles, en bâtissant une nouvelle direction de recherche. Les travaux dans ce domaine contribuent à modéliser des systèmes hypermédias adaptatifs dont le but est d'aider les apprenants dans le contexte d'un savoir abondant, et largement diffusé. Ces apprenants sont différents en termes de formation, de motivation, de compétence technique ou de tâche à accomplir.

Grâce à ces environnements, de nouvelles manières de lire et d'accéder à la connaissance, sont en train de se développer. Les parcours ne sont plus conçus selon une démarche progressive, dans une échelle d'apprentissage graduée, une fois construis il s'adapter aux profils de tous les apprenants potentiels. Avec les hypermédias l'apprenant s'affranchit de la linéarité des documents et accède à une information dynamiquement.

L'ouverture des hypermédias sur le public qui est potentiellement plus large. Dans le cas d'un environnement hypermédia ouvert, la population d'utilisateurs est plus importante et souvent plus diversifiée. L'hétérogénéité des utilisateurs se constate à plusieurs niveaux relatifs par exemple à leurs buts, leurs connaissances, leurs compétences, leurs préférences en terme de présentation, ou encore aux conditions matérielles dans lesquelles ils accèdent à l'environnement. Il est donc nécessaire que ces environnements hypermédias s'adaptent à leurs utilisateurs.

Le contexte de ce travail est donc, celui de la construction d'un modèle d'hypermédias adaptatifs et dynamiques capable de diminuer la surcharge cognitive chez l'apprenant, on garantissons une meilleure présentation, un contenu plus adéquat au profil et préférences de l'apprenant et une interface plus souple.

Éléments de la problématique

Les hypermédias adaptatifs et dynamiques reposent sur des caractéristiques d'hypermédia. Donc elles comportent deux risques majeurs pour l'utilisateur ; la *désorientation*, et le phénomène de "*surcharge cognitive*" [CON, 87].

Les hypermédias posent deux problèmes structureux importants. En effet, la structure hypertextuelle avec son réseau de liens et de nœuds d'informations génère deux effets ; celui de la désorientation et celui de la surcharge cognitive.

« L'apprentissage avec un hypermédia ajoute à la tâche d'appropriation d'un contenu une tâche de recherche d'information. Cette dernière, bien qu'elle ne soit qu'un moyen de l'activité d'apprentissage, impose à l'apprenant une charge cognitive importante. »

« Les systèmes multimédias conduisent l'apprenant à traiter des informations multimodales : des informations visuelles (énoncés verbaux, illustrations, photographies, graphiques) et des informations auditives (verbales et non verbales). Considérée dans une perspective cognitive, l'intégration de ces diverses informations requiert la mise en jeu de processus complexes, dont la réalisation est contrainte par les caractéristiques du système cognitif du sujet et plus particulièrement par la capacité limitée de la mémoire de travail ».

« La nature des informations utilisées, leur modalité de présentation ou leur emplacement sont susceptibles de provoquer une charge supplémentaire sur la mémoire de travail. Les démonstrations sont nombreuses et nous allons revenir plus tard, dont la perspective de présenter des travaux dont les retombées nous semblent intéressantes pour de la conception et l'utilisation de documents techniques ».

Ces idées montrent clairement qu'il ne suffit pas de mettre les apprenants devant un produit hypermédia pour qu'il y ait apprentissage. L'outil pose des problèmes spécifiques à l'apprenant et nous devons les prendre en compte. Ces effets se traduisent par des questions du type : « Où est-ce que je suis ? », « Qu'est-ce que je cherche au fait ? »

Ces phénomènes sont dus à la structure des hypermédias et donc à leur conception. En effet, au début de l'hypermédia, des hypothèses ont été formulées sur le fait que les bases d'informations organisées sur des principes hypertextuels (principe d'association d'idées) respectaient le fonctionnement de notre cerveau. Ces hypothèses, jamais vérifiées, ont conduit à la production de documents hypermédias où l'information était présentée d'une manière complètement déstructurée, non linéaire avec une multitude de liens. C'était au lecteur de reconstruire le réseau de sens, les relations sémantiques entre les informations à partir de ses connaissances préalables et de ses propres capacités cognitives.

La désorientation et surcharge cognitive ont été observées de manière répétée dans les études sur l'usage des hypermédias. Ils nuisent bien évidemment à l'efficacité des systèmes. Dans bon nombre d'expériences, lorsque l'objectif de lecture est la recherche d'informations ou la compréhension, le médium électronique s'avère inférieur à son équivalent papier. Ces phénomènes tranchent avec les discours relativement euphoriques entendus par ailleurs. Ils n'en constituent pas moins des faits scientifiquement établis, qu'il importe de mieux comprendre afin d'y remédier.

De plus, l'hypermédia peut être vu comme un artefact complexe, présentant de multiples fonctionnalités. Ces fonctionnalités et la structure de l'hypermédia représentent pour l'utilisateur un espace de navigation, éminemment sémantique, et peut être même spatial. L'interface d'un hypermédia, doivent avoir une certaine transparence des fonctionnalités de l'outil afin que l'apprenant puisse consacrer exclusivement son temps à l'acquisition de connaissances sans surcharge cognitive de nature procédurale de l'interface.

L'hypermédia peut être un outil très pertinent pour permettre à l'apprenant de s'approprier les

informations et construire ainsi du savoir. Mais comme nous nous l'avons évoqué juste dans les paragraphes précédents, la nature des informations utilisées, leur modalité de présentation ou leur emplacement, nous ont poussé à revoir les travaux sur la conception et l'utilisation de documents techniques ; aussi la nature procédurale de l'interface, nous a obligé de revoir les approches théoriques pour le développement d'une interface d'apprentissage.

Objectifs de recherche

Cette Recherche, présente l'architecture d'hypermédia éducatif dynamique générant des activités pédagogiques aux quels on tient ce compte des trois aspects très importants :

- Diminution de la surcharge cognitive chez l'apprenant.
- Amélioration de l'interface apprenant.

L'amélioration du format de présentation des informations dans les documents techniques est un moyen important pour favoriser leur compréhension. Les avancées technologiques récentes incitent d'ailleurs à de nouveaux efforts d'analyse du potentiel des documents techniques électroniques en terme de compréhension. Dans cette étude on propose des recommandations qu'on doit les prendre en considération afin de favoriser leurs compréhensions au prêt de l'apprenant.

L'interface est une configuration visuelle et sonore qui doit être perçue comme agréable, stable et facile à utiliser. Nous allons présenter une interface apprenant avec une certaine transparence des fonctionnalités de l'outil, afin que ce dernier puisse consacrer exclusivement son temps à l'acquisition de connaissances sans surcharge cognitive de nature procédurale de l'interface.

Chapitre I : L'évolution de L'EAO

Du point de vue de la pédagogie, l'informatique a un double visage [ALB, 87] : c'est une matière d'enseignement i.e. la connaissance et l'utilisation des systèmes informatiques, la connaissance et la maîtrise des concepts, l'analyse et la programmation ; c'est également un outil pédagogique puissant en tant que support de transfert de connaissance, outil de simulation, support de communication.

Historiquement, l'éducation est un domaine sensible. Des enjeux considérables sont sous-jacents : en effet, d'un point de vue économique, chaque individu de la société est concerné. D'un point de vue personnel, nous côtoyons ou côtoierons tous des enfants soumis au système éducatif. Cette implication de tous pour l'éducation est visible par la mobilisation importante que suscite toute annonce de réforme de ce secteur.

Pourtant les enjeux financiers sont certainement encore plus sensibles. Les cadres de demain sont les lycéens d'aujourd'hui. Dans une conjoncture dirigée par la mondialisation, la nécessité de créer des compétences humaines qui permettront aux entreprises de se hisser ou de se maintenir aux premières places est primordiale. Dans le même ordre d'idée, le monde industriel consacre une part importante de son budget pour la formation, la mise à niveau ou la reconversion de son personnel.

Conscients de l'importance de ces enjeux, très tôt, les chercheurs en informatique ont conçu des systèmes d'aide à l'enseignement. Que ce soit dans un milieu éducatif traditionnel, écoles, collèges, lycées, universités ou dans des structures de formation continue en entreprise, les systèmes informatisés présentent plusieurs avantages dont les principaux sont les suivants :

- Répétition *ad libitum* d'un même cours. Celui-ci peut être repris tel quel, ce qui permet à l'apprenant de confirmer ses connaissances ou de reprendre une partie plus difficile du cours;
- Simulation à moindre coût et sans danger pour les manipulateurs. En chimie, par exemple les simulations évitent le contact avec des solutions qui peuvent être nocives. Le danger que présente l'apprentissage de pilotage en milieu hostile (navettes spatiales ou super soniques) est également minimisé par les simulations comme en atteste les nombreux travaux dans ce domaine [RIC & AL., 99] ;
- Disponibilité quasiment permanente du tuteur, quelle que soit sa situation géographique. L'engouement pour l'enseignement à distance repose en partie sur le fait que l'apprenant gère son temps d'apprentissage comme le permet son emploi du temps sans contrainte pour le tuteur.
- Diminution de l'influence des facteurs humains. Ce dernier point peut être regrettable. En perdant le désir de satisfaire son maître l'élève perd une partie de sa motivation, mais on peut également considérer qu'il s'agit d'un point positif par exemple pour un adulte qui désire

apprendre à lire et qui n'est plus inhibé par la honte qu'il peut ressentir face à un de ses semblables.

L'évaluation de certains de ces systèmes d'aide à l'enseignement a été jugée satisfaisante. Néanmoins, la démocratisation de l'Internet aidant, beaucoup se sont avérés insuffisants, face à une demande des utilisateurs de plus en plus variée et des exigences technologiques toujours accrues. Les Systèmes Educatifs Intelligents (SEI) ont alors été proposés pour répondre à cette demande. Leur intelligence réside essentiellement dans leur capacité d'adaptation à un utilisateur donné ou à une situation donnée. A l'heure actuelle, le 'T' de SEI est plutôt associé à Interactif pour signifier l'adaptation du système mais également l'importance des actions de l'utilisateur.

L'intérêt suscité par de tels systèmes mène à une grande variété de logiciels, toujours plus attractifs et qui tentent de respecter des objectifs différents et de suivre des stratégies pédagogiques adaptées à l'utilisateur.

1. Evolution des environnements d'apprentissage par ordinateur

Dès leur apparition, la vocation des systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) est de faciliter et d'optimiser la transmission de connaissance, en diminuant le coût financier et humain de la formation. Ils ont pour objectif, de donner à l'utilisateur un certain regard sur un domaine particulier et de créer chez lui les dispositions nécessaires, à la compréhension et à l'assimilation des informations diffusées. Comme nous allons le voir, les techniques mises en œuvre pour satisfaire ces objectifs, ont beaucoup évolué au fil du temps.

1.1. Les didacticiels

Dans le courant des années 50 [DEL, 00a], des tentatives d'applications basées sur le schéma de Skinner, ont consisté à proposer aux élèves des exercices de consolidation des connaissances ou drill (révision de livrets, exercices d'orthographe, etc.). Les enseignants et les parents, ont été heureux d'être déchargés de la tâche fastidieuse et répétitive que constitue ce type d'exercices ; quant aux élèves, ils ont pu apprécier la grande patience de la machine à leur égard.

Dans les années soixante, une transposition des ces principes a permis de construire des logiciels, au départ relativement simples. Ce furent les premières tentatives d'Enseignement Assisté par Ordinateur (ou EAO). Ils étaient souvent basés sur un mente principe : des scénarios définis dans des graphes, imposant une succession figée d'écrans, pour une succession d'actions tous aussi figées. L'évolution de tels systèmes (fermés) est difficile, et coûteuse en temps. Pourtant, cette méthode, est longtemps restée, et est, encore, à la hase de nombreuses applications

1.2. Les S T I (Systèmes Tutoriels Intelligents)

L'étape suivante est l'apparition de l'EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur, traduction de "Intelligent Computer Aided Instruction") [BAR ,94]. Ce domaine s'est développé dès 1970 aux Etats-Unis, et depuis le début des années 80 en France, à partir du constat de certaines limites des systèmes d'EAO classiques. Il s'agissait de réaliser, en utilisant des techniques d'intelligence artificielle, des systèmes plus souples, plus interactifs s'adaptant mieux à leurs utilisateurs.

Plusieurs approches ont été explorées [DEL, 00a]. La décennie 80-90 a été marquée par celle des systèmes tutoriels intelligents, fortement liée au développement des systèmes, à base de

connaissances en intelligence artificielle. Une première expérimentation dans ce sens, a été menée à l'aide d'un système expert nommé GUIDON [QUE, 91] réalisé par W.J. Clancey, à la fin des années 70. L'idée initiale était simple : si on dispose d'un système de résolution de problèmes de niveau expert avec une base de connaissances explicites, on peut l'utiliser pour former des étudiants, en lui ajoutant des modules adéquats pour assurer la transmission (l'information), et de cette compétence du système vers l'étudiant.

Il s'agissait principalement de concevoir des systèmes d'apprentissage individualisé, fondés sur des activités de résolution de problèmes ; ces activités étant généralement considérées comme complémentaires d'un enseignement du domaine effectué par ailleurs (cours magistral par exemple, ou bien autre type d'environnement informatique). Dans un STI, la résolution d'un problème proposé par le système ou par l'apprenant peut en principe être effectuée, soit par le système, avec certaines capacités d'explication, dans un mode "observation" pour l'apprenant ; soit par l'apprenant dans un mode "action" avec un guidage et un contrôle plus ou moins rapprochés du système. C'est le cas, par exemple du système APLUSIX utilisé dans le domaine de la factorisation de polynômes aux niveaux collège et lycée, dont la première version date de 1987 [NIC, 88], et du système QUIZ pour l'enseignement du bridge de J.M. Laban et M. Fattersack [LAB, 90]. Ainsi la formation sera personnalisée :

- Elle respecte le rythme d'apprentissage de chaque apprenant ; celui-ci pourra en effet, interrompre et reprendre à tout moment sa session de formation ;
- Elle adaptera en permanence le chemin d'apprentissage à la progression effective de chacun, grâce à un modèle représentant l'évolution des connaissances de l'apprenant.

Le célèbre système SCHOLAR de Carbonell [CAR, 70], relatif à la géographie de l'Amérique du Sud, mérite également d'être mentionné. Dans ce système de "dialogue à initiative mixte", la connaissance représentée dans des structures d'information était utilisée, non seulement pour être présentée, pour déterminer des questions à poser à l'apprenant et pour vérifier ses réponses ; mais aussi pour répondre à des questions de ce dernier, non explicitement prévues à la conception du système et ce en "langage naturel" (anglais limité à des phrases simples). Plus précisément, Carbonell avait représenté des objets et concepts géographiques, dans une structure globale organisée sous forme de réseaux sémantiques (oiseaux d'entités reliées entre elles par des relations). Les réseaux sémantiques, étaient vus comme des modèles de représentation et de mémorisation de connaissances utilisées par les humains. Carbonell avait aussi, doté SCHOLAR de capacités embryonnaires de modélisation de l'apprenant, plus précisément d'un mécanisme d'évaluation des connaissances de celui-ci, sous la forme de valeurs attachées aux noeuds du réseau. Outre le caractère attractif d'un tel système de dialogue pour l'apprenant, qui pouvait prendre l'initiative de poser des questions, Carbonell pensait qu'une telle approche était aussi, plus attirante pour les enseignants impliqués dans la conception du système. En effet, au lieu d'avoir à découper la connaissance en items, à intégrer précisément dans des scénarios séquentiels, comme c'était le cas en EAO classique, ils avaient à représenter les connaissances du domaine dans le cadre d'une structure conceptuelle globale et à définir des stratégies tutorielles, en terme de modes de parcours de cette structure, visant à permettre l'acquisition par l'élève, de la connaissance ainsi représentée, les procédures de raisonnements, sont indépendantes du domaine enseigné d'ailleurs SCHOLAR a été repris dans l'enseignement de la climatologie.

On trouve dans ces travaux précurseurs, et dans ceux qui ont suivi (dans la décennie 70) les idées fondamentales de l'EIAO, à savoir :

- Une représentation explicite des connaissances du domaine et des mécanismes de raisonnement, qui dotent le système de la capacité de répondre, à des questions, de résoudre des exercices, dont la solution n'a pas été explicitement prévue, et dont l'énoncé peut être proposé par l'apprenant ;
- Un processus de modélisation de l'apprenant, visant à disposer explicitement d'informations, telles que son degré de maîtrise des connaissances du domaine l'objectif général étant de permettre une adaptation dynamique et individualisée du système à son interlocuteur ;
- L'explicitation de stratégies pédagogiques pour permettre au système d'engendrer dynamiquement ses interventions, en fonction de la situation d'objectifs pédagogiques et du modèle de l'apprenant ;
- La recherche de capacités de communication souples et variées, avec des possibilités d'intervention, et de prise d'initiative de l'apprenant.

Ces idées fondamentales, servent de base à l'architecture générale, proposée classiquement pour un STI :

- a. Un modèle du domaine, qui permet au système de "raisonner", lui permettant alors de répondre aux questions de l'étudiant et de surveiller ce qu'il fait afin de le conseiller lorsqu'il commet des erreurs.
- b. Un modèle de l'apprenant, qui permet d'établir à un instant t l'état de ses connaissances.
- c. Un module pédagogique, qui, suivant le comportement de l'apprenant et le modèle de ce dernier, peut effectuer des choix d'enseignement.
- d. Un module d'interface qui transmet et décode les informations du système vers l'utilisateur et inversement.

Toutes ces recherches justifient l'adverbe "intelligemment", ajouté au sigle EAO, à la fois en terme d'intelligence du système, et en terme de problématiques et de techniques relevant de l'intelligence artificielle. Néanmoins, lorsque l'on s'attache à regarder "l'utilisabilité" des systèmes développés, on voit rapidement que les résultats attendus initialement n'ont pas été atteints. Ce manque de résultats s'est traduit par l'apparition d'une autre appellation pour le sigle EIAO, développé en "Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur" [BAL, 98], correspondant à l'appellation en langue anglaise "Interactive Learning Environments", et qui mettent fortement en évidence le caractère pluridisciplinaire de ce domaine de recherche qui s'est fortement confirmé ces dernières années, dans les communautés nationales et internationales.

1.3. Les micro-mondes

A côté des théories behavioristes de Skinner, un autre courant de pensée se développe après la seconde guerre mondiale : la théorie constructiviste. On doit cette théorie à Jean Piaget qui après un doctorat de biologie s'est intéressé au développement psychologique de l'enfant. Pour Piaget, l'intelligence permet à l'être humain de s'adapter continuellement à son environnement. Cette adaptation, que l'on appelle aussi apprentissage, est induite par les actions de l'homme sur le monde extérieur. Ainsi il ne peut y avoir apprentissage sans action, ou plus exactement sans interaction.

Issus de cette théorie, plusieurs systèmes informatiques ont vu le jour : les micro-mondes. On peut caractériser un micro-monde [DEL, 00a] comme étant un logiciel éducatif dénué de toute connaissance, mais qui de par l'interaction qu'il offre avec l'utilisateur, permet à ce dernier d'assimiler et de comprendre plus facilement des connaissances.

On considère que le langage LOGO est le premier micro-monde qui ait été développé. La première version de ce langage date de 1966, mais ce n'est qu'en 1970 qu'apparaît la première version graphique, où la tortue (élément central du langage) est représentée à l'aide d'un petit triangle. En déplaçant cette tortue, l'enfant peut alors dessiner des figures géométriques. Par la suite, une véritable tortue robot sera utilisée.

Très prisé dans les écoles du monde entier pendant les années quatre-vingt, le langage LOGO a par la suite été à l'origine de quelques polémiques (Cf. [BRU & AL 87]). Aujourd'hui son utilisation est beaucoup plus confidentielle. Il est utilisé principalement comme langage d'initiation à la programmation ou comme support pour l'initiation à la robotique.

Cabri-Géomètre, pour Cahier de brouillon informatique pour la géométrie, est aussi un micro-monde qui a connu, et connaît encore un franc succès. C'est Jean-Marie Laborde qui est à l'origine de la première version date de 1985. L'objectif initial de ce système est d'aider les élèves du collège à mieux appréhender les concepts enseignés en géométrie.

Son principe de fonctionnement est assez simple : l'enseignant seul, ou avec ses élèves, construit une figure géométrique en explicitant certaines propriétés (par exemple, un point I au milieu d'un segment [AB]). Une fois la construction achevée, les élèves peuvent manipuler cette figure, c'est-à-dire modifier la position des points, agrandir ou réduire la figure, etc. et ainsi remarquer que les propriétés mathématiques sont conservées.

En 1988, Apple attribue à l'équipe de J.M. Laborde son trophée éducation, ce qui les incitera à le commercialiser. Aujourd'hui, avec le concours de la société Texas Instrument, on peut trouver une deuxième version de ce système sur différentes plates-formes (Macintosh, Windows et même sur des calculatrices). De plus cette dernière version, de par ces nombreuses améliorations, ne s'attache plus seulement au domaine de la géométrie, mais à divers domaines scientifiques tels que par exemple la mécanique et l'optique. Enfin, une version en Java sous forme d'applet est à l'étude.

1.4. L'apogée des environnements interactifs d'apprentissage

Les EIAO sont des systèmes d'enseignement dont l'objectif est de prendre ce qu'il y a de meilleur dans les STI, c'est-à-dire les capacités du système à pouvoir raisonner sur un domaine spécifique, et de prendre aussi ce qu'il y a de meilleur dans les micro-mondes, c'est-à-dire l'apprentissage par l'interaction. Pierre Mendelsohn dans [MEN, 91] définit entre autre les EIAO de la façon suivante :

Un ILE est un système qui réalise la synthèse entre, d'une part, les avantages de l'exploration libre et de la construction progressive des objets de connaissance (comme dans les micro-mondes classiques) et, d'autre part, l'intérêt du guidage propre aux systèmes tutoriels. L'idée centrale est de permettre à l'apprenant de transformer rapidement et efficacement ses expériences en connaissances organisées.

Le mot clef de cette définition est le mot synthèse, car pour qu'un système d'enseignement soit qualifié de EIAO, il ne suffit pas de proposer d'un côté un mode libre ou l'apprenant peut faire ce qu'il

veut, et d'un autre côté un mode tutoré et dans ce cas très strict. Il faut en effet proposer un système dont le "comportement pédagogique" varie en fonction des actions et réactions de l'apprenant.

C'est par exemple ce qu'a essayé de réaliser Claude Moulin avec son EIAO basé sur le système expert Demauto (Cf. [MOU, 98]). Ce système a été réalisé à l'aide d'un système multi-agents. Les quatre composantes que nous avons dans la définition s'un STI sont ici représentées par un ou plusieurs agents. Par exemple, le module pédagogique est constitué de deux catégories d'agents. Tout d'abord, les agents d'intentionnalité, qui au début de la session d'utilisation sont initialisés avec une certaine intention, et qui durant la phase d'exercice peuvent être modifiés. Ensuite, les agents d'interprétation globale des actions de l'élève, qui déterminent à un instant t l'état de l'apprenant (il avance vers la solution, il piétine, ses actions sont logiques avec les buts qu'il s'est fixé, etc.), il y a autant d'agents que de situations. Ainsi par négociation, une interprétation est choisie, ce qui détermine le comportement pédagogique du système.

1.5. Les systèmes de la fin des années 90

A partir de 1995, le développement des nouvelles technologies parallèlement aux capacités grandissantes des micro-ordinateurs permet de créer des systèmes d'enseignement ou le maître mot est "multimédia". Ce mot qui nous semble aujourd'hui naturel n'a pu exister que par :

- L'augmentation constante de la puissance de calcul des microprocesseurs dans les micro-ordinateurs : la démocratisation des processeurs Pentium, ou compatible, pour les compatibles PC et le remplacement des processeurs Motorola (série 68000) par les tous nouveaux PowerPC sur les ordinateurs Macintosh.
- La taille de la mémoire vive qui commence à s'envoler (son coût de fabrication baisse constamment)
- Les "extensions" multimédia, c'est-à-dire carte vidéo puissante, carte audio, lecteur de CD-Rom ne sont plus considérées justement comme des extensions, mais font maintenant partis intégrantes d'un ordinateur (même de bas de gamme).

On a alors créé des outils qui permettent de développer des hypermédia (mot qui sera définie dans le chapitre suivant) éducatifs. Ces outils peuvent être catégorisés de la façon suivante :

- Tout d'abord il faut des outils de construction de documents multimédia, permettant d'intégrer et de synchroniser au sein d'une même entité différents types de média (image, son, etc.)
- Ensuite il faut gérer ces documents, c'est-à-dire les indexer correctement afin de pouvoir les retrouver et les réutiliser par la suite.
- Enfin il faut pouvoir agencer ces documents, les relier les uns aux autres afin de construire des cours cohérents.

Ce sont ces différents types de système que nous allons maintenant examiner.

1.5.1. Les outils de production d'items didactiques

Qu'est ce qu'un item didactique ?

Nous entendons par item didactique un document multimédia ou non (mais qui, dans notre problématique, devrait l'être dans la plus part des cas) qui possède intrinsèquement une qualité pédagogique, c'est-à-dire qu'il peut être utilisé dans le cadre de la transmission d'un savoir.

Dès lors, à la lecture de cette description, on peut penser que tout logiciel qui produit un document peut être utilisé pour produire des items didactiques. Si cela est vrai dans l'absolu, certains sont plus propices à ce genre de travail, tout particulièrement les logiciels auteurs, ainsi que les logiciels qui produisent des documents dans un des formats dits standards tel que le HTML.

Ainsi, par exemple, le logiciel Flash de la société Macromédia devient l'une des clefs de voûte incontournable pour la production d'items didactiques. Quoiqu'il en soit, la difficulté de mise en oeuvre est l'obstacle principal de la production d'items didactiques. Tout d'abord du point de vue technique, il n'est pas donné à tout le monde de bien maîtriser les cinq ou six logiciels leaders. Ensuite leurs productions requièrent des compétences pluridisciplinaires qui sont pratiquement impossible de retrouver chez une unique et même personne, d'où l'intervention par exemple des informaticiens pour la partie programmation, des graphistes, et ne l'oublions des pédagogues.

Il paraît dès lors opportun de mettre en commun ces items didactiques et de les indexer proprement afin qu'ils puissent être retrouvés et réutilisés.

1.5.2. Les outils de gestions d'items didactiques

Nous allons étudier cinq systèmes de gestion d'items didactiques [DEL, 00b] en commençant par le projet ARIADNE, puis le projet CDE, puis le projet OLA, puis le projet SEMUSDI et enfin le projet SCORM. Pour chaque projet, nous allons mettre en exergue les choix retenus pour :

- indexer ces items ;
- pour stocker ou référencer ces items.

1.5.2.1. Le projet ARIADNE

ARIADNE, pour *Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe*, est un projet européen, regroupant principalement la Belgique, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grande Bretagne et la Suisse, et dont l'objectif est de définir des méthodologies et de produire des outils d'échange de données pédagogiques numériques pour les différentes catégories d'enseignement (classique, continu, à distance, etc.).

Les outils créés par ce consortium se veulent transversaux :

- Il y a tout d'abord ceux dont l'objectif est la création d'items didactiques, que l'on nomme les *Authoring tools*.
- Il y a ensuite des outils de caractérisation de ces items didactiques.
- Il y a enfin des outils d'administration et de création de cours à partir de ces items didactiques.

Bien que peu spectaculaire a priori, la caractérisation des items didactiques est l'un des résultats les plus importants des travaux effectués au sein de ce consortium. Il en a résulté une norme, nommée *Learning Object Metadata*, qui permet d'indexer un élément pédagogique à l'aide de huit catégories d'attributs :

1. Catégorie Générale, qui permet de spécifier les caractéristiques générales du document, tel que le nom, l'identifiant, la langue, etc.
2. Catégorie Cycle de Vie, qui permet de spécifier les caractéristiques du cycle de vie, tel que le numéro de version, la date de création, la date d'expiration, etc.
3. Catégorie Méta-données, qui détermine la signification de tous ces attributs.
4. Catégorie Technique, qui regroupe l'ensemble des caractéristiques physiques du document, tel que le format, la taille, les *plug-ins* indispensables, etc.
5. Catégorie Pédagogique, qui détermine les spécificités pédagogiques du document tel que son type, son approche, ou encore sa granularité.
6. Catégorie Gestion des droits, qui détermine toutes les particularités juridiques du document.
7. Catégorie Relation, qui permet d'associer des documents entre eux.
8. Catégorie Annotation, qui permet d'ajouter des commentaires.

Ainsi chaque élément pédagogique (du plus petit, ce que l'on appelle les grains jusqu'au plus grand, comme par exemple un cours) peut être précisément référencé, c'est-à-dire aussi bien au niveau de ses caractéristiques physiques, de ses caractéristiques pédagogiques, de son état courant (gestion du cycle de vie) qu'au niveau de sa diffusion (gestion des problèmes juridiques).

Outre la caractérisation des items, c'est aussi grâce à son architecture répartie que ce projet est innovant.

En effet, de part le caractère européen de ce projet, les ressources ne sont pas centralisées, mais au contraire réparties sur plusieurs sites, nommés "centre de ressources". Ces centres sont organisés hiérarchiquement : il y a un centre de ressources principal, qui est relié à des centres de ressources régionaux, eux-mêmes reliés à des centres de ressources locaux.

1.5.2.2. Le projet CDE

Le projet CDE, pour *Course Designer Environment*, de l'école Polytechnique Fédérale de Lausanne, s'inscrit dans le grand projet de l'EPFL nommé *ClassRoom20002* dont le but est de développer des environnements auteurs pour la production de cours interactifs avec un haut niveau de partage et de réutilisation d'items didactiques. CDE est, comme ARIADNE, un projet transversal puisque outre la problématique de partage d'items didactiques, il propose aussi un outil nommé *CoDes Authoring Tool* pour *Course Designer Authoring Tool* permettant aux enseignants de créer, structurer et visualiser de cours interactifs [RV, 99].

Cet outil se distingue du système précédent par le fait qu'il ne stocke pas ces items, il les référence seulement. Cette caractérisation s'effectue à l'aide du langage XML. Un item est caractérisé par les quatre axes suivants :

1. Les attributs physiques, tels que le type mime, la taille, etc.
2. Les attributs logiques, tels que le copyright, la version, l'auteur, etc.
3. Les attributs structurels, tels que le contexte, ou les liens.
4. Les attributs sémantiques, tels que la description, les mots-clefs, le titre, etc.

L'entité référencée avec les informations la caractérisant est nommé un "composant de connaissance" (*Knowledge Components* KC dans les textes). Ces KC sont regroupés au sein d'une base de données qui dans le cadre de ce projet est appelée *Shared Knowledge Space* ou SKS. Ces SKS peuvent être utilisés depuis :

- un navigateur Web. Un moteur de recherche a été développé pour retrouver des KC.
- CoDes pour construire de nouveaux cours.
- toutes applications qui utilisent l'API proposée.

Enfin très peu d'information est précisée concernant la mise en œuvre éventuelle de plusieurs centres de ressources et a fortiori d'une possibilité d'échange de KC entre ces centres.

1.5.2.3. Le système OLA

Le système OLA, pour *Online Learning Application*, était, un système développé par la société Oracle, qui a été stoppé il y cinq ans.

Toutefois, il est important de ne pas oublier ce système car il a permis de définir la norme RCOS, pour *Reusable Content Object Strategy*, qui a été adoptée par plusieurs distributeurs de logiciel auteur, tels que la société Macromédia, pour caractériser les documents produits.

La norme RCOS définit quatre niveaux hiérarchiques de document [HK, 97]. Le niveau le plus bas, nommé niveau (ou catégorie) composant, est constitué de documents monomédia, dont les caractéristiques didactiques ne sont pas spécifiées. Ensuite, il y a le niveau des items didactiques simples, nommés RCO, qui sont formés d'une succession d'éléments du niveau composant. Le troisième niveau est constitué de documents pédagogiques simples (agrégation de RCOS) tels que des cours. Et pour finir le dernier niveau est constitué de documents pédagogiques complexes (agrégation de documents pédagogiques simples) pour former par exemple des modules.

Tous les éléments de la norme RCOS possèdent des attributs communs, dont les objectifs sont l'aide à la recherche (tel que le nom, la liste de mots clefs, etc.) et l'aide à la gestion (la version, la date de création et d'expiration, etc.). Ensuite chaque catégorie de documents possède ses propres attributs. Par exemple, comme le montre le tableau 1, une hiérarchie pour la catégorie "composant" a été élaborée permettant ainsi de caractériser pleinement le document ; par exemple les vidéos posséderont un attribut durée qui n'a pas lieu d'être pour les textes. De même les éléments de la catégorie RCO sont caractérisés par trois catégories d'attributs (les attributs de stratégie de sélection, les attributs de lien, et les attributs d'utilisation).

Les RCO sont renseignés et stockés dans une base de données centralisée Oracle. L'objectif du projet OLA était surtout la formation continue au sein des entreprises, la possibilité de communications inter établissements n'est donc pas proposée.

Média Visuel	Texte	Mots, phrases, paragraphes, listes, tableaux
	Image fixes	Haute définition (photo, capture d'écran) Basse définition (graphique, diagramme)
	Images animées	Haute définition (vidéo) Basse définition (Animation)
Média auditif	Langue	Anglais, français, etc.
	Son	Musique Tonalité

Tableau 1 : Caractérisation des composants dans le modèle RCO

1.5.2.4. Le projet SEMUSDI

Ce projet de l'INSA de Rouen a débuté en 1996 et se termine en 2000. Le serveur SEMUSDI est conçu pour collecter, gérer, stocker, rechercher, consulter, diffuser et organiser (pour former des ouvrages consultables ou téléchargeables) des items didactiques ciblés, pour des utilisateurs répartis sur plusieurs sites géographiques distants. Pour insister sur l'aspect réutilisable et réorganisable de ces items, les auteurs de SEMUSDI utilisent plutôt le terme de brique élémentaire. Ces briques élémentaires peuvent être de différentes formes :

- texte et hypertexte (HTML),
- images fixes ou animées,
- son,
- logiciel d'animation et de simulation,
- exercices d'application courts,
- exemples de cas concrets.

L'ensemble de ces briques est géré au sein d'une base de données accessible via le Web. En plus des fonctions utilisateurs spécifiées précédemment, des fonctions d'administration du système sont également disponibles, mais elles ne sont accessibles que par un nombre très restreint de personnes identifiées.

La fiche d'identification d'une brique élémentaire dans SEMUSDI est beaucoup moins complète que les différentes normalisations que l'on vient de voir. Tout d'abord de par son aspect francophone, il n'y a pas d'information au sujet de la langue. Ensuite, la gestion des problèmes juridiques a été écartée, car on considère que les personnes qui ont accès au site peuvent faire ce qu'ils veulent des documents une fois récupérés (ils sont libres de droit). Enfin, deux versions d'une même brique correspondent à deux briques distinctes, ce qui résout les problèmes de cycle de vie.

En somme, les briques dans SEMUSDI possèdent quatre types d'informations :

- Informations générales, tel que son nom, un texte de présentation et des mots clés,
- Informations au sujet de l'auteur, tel que son nom et prénom et ses coordonnées,
- Informations pédagogiques, tel que le thème et le type (présentation, application, etc.),

– Informations techniques, tel que le format de la brique, et s'il y a besoin, le plug-in indispensable pour la visualiser.

Les briques dans SEMUSDI sont donc moins caractérisées, mais le travail de validation et d'indexation est précis, car toute brique insérée dans le système est d'abord validée par un expert du domaine et indexée par un spécialiste avant d'être accessible aux autres membres de la communauté.

1.5.2.5. Le projet/norme SCORM

Ce dernier système [DOD, 02] est le plus récent, son développement a commencé il y a cinq ans, pour *Sharable Content Object Reference Model* est à la fois une norme que nous allons étudier tout de suite, mais aussi un prototype écrit en Java mettant en application cette norme.

La norme SCORM, de part par la composition du comité qui l'a créé, est grandement inspirée du projet ARIADNE, tout particulièrement au niveau de la caractérisation des éléments pédagogiques. On retrouve en effet les huit catégories présentées précédemment auxquelles vient s'ajouter une neuvième que les auteurs qualifient de catégorie de classification permettant de spécifier dans quel contexte d'apprentissage on peut utiliser cet élément pédagogique. Cette norme est implantée concrètement sous la forme d'une DTD, et donc tout document qui s'y réfère est un document XML.

La norme SCORM prévoit trois grands niveaux de granularité :

1. Les *assets* qui représentent les documents de granularité de plus bas niveau, qui peuvent être par exemple une image Gif, un document XML, un objet flash, une page Web, etc. Lorsque un élément de ce type est caractérisé (le document plus sa fiche XML) on parle alors de *tagged asset*,
2. Les SCO, pour *Sharable Content Object*, représentent un assemblage d'*assets* encadrés par du code Javascript. Ce code Javascript est utilisé pour référencer l'élément lors de son utilisation dans de l'environnement SCORM. Encore une fois, si un SCO est caractérisé on parle alors de *tagged SCO*.
3. Les hiérarchies de SCO forment des *tagged content aggregation*. Alors que la caractérisation des items est des plus complètes, aucun mécanisme n'est par contre spécifié quant à leurs partages. Les *assets* sont référencés par des URL (*Uniform Resource Locator*), mais le prototype et les exemples proposés n'utilisent que des éléments locaux.

2. Conclusion

L'application du béhaviorisme [BRU, 97], comme modèle positif pour fabriquer des logiciels d'enseignement assisté a consisté à la mise en place des scénarios définis dans des graphes qui imposent une succession d'écrans pour une succession d'actions. Nécessairement, à la fin de la série d'actions réussies l'apprenant doit être un connaisseur. Mais le résultat de ces travaux a été décevant. Le béhaviorisme est devenu un modèle négatif, et la plupart des travaux actuels s'attache à contrecarrer l'aspect statique imposé par cette structure, en apportant des méthodes de modélisation des connaissances d'un domaine de savoirs, de modélisation de l'apprenant, des méthodes d'adaptation par sélection de stratégies pédagogiques, et des méthodes pour varier dynamiquement les formes de présentation des contenus pédagogiques.

Si l'application stricte des méthodes de Skinner privilégie la connaissance finale de l'apprenant, comme résultant d'un processus réussi de construction, à partir d'éléments enchaînés les uns aux autres d'une manière logique ; les nouvelles idées privilégient comme moteur de l'apprentissage la dynamique cognitive de l'apprenant dynamique inconnue du modélisateur des connaissances.

Le béhaviorisme aboutit à l'idée que tout savoir, toute connaissance, possède une organisation ; qu'apprendre c'est redécouvrir cette organisation. La réaction au béhaviorisme suppose que c'est l'organisation de l'apprenant par l'expérimentation qui lui permet d'apprendre.

Les recherches actuelles basées sur ces idées [CHA, 00] [DEL, 00a] [LAR, 01], paraissent reprendre à leur compte le modèle pédagogique de Skinner car elles mettent l'accent sur la notion d'élément, forme indivisible d'information de connaissance et de matériel de représentation. Mais ces éléments sont associés entre eux, afin de produire des unités variées qui deviennent elles-mêmes des éléments, que l'on peut associer en des ensembles plus vastes. On pense pouvoir résoudre de cette manière les problèmes de stockage d'informations ou de connaissances et ceux de présentations en fonction, soit de l'apprenant, soit des buts pédagogiques de l'enseignant.

Dans les micro mondes, c'est à l'apprenant de construire son savoir au travers d'expériences concrètes. Pour le constructivisme, apprenants et enseignants appartiennent à la catégorie des utilisateurs et sont donc, des individus en interaction à travers un environnement informatique. Or, cette interaction est pour sa plus grande part visuelle et motrice. Les problèmes de la mise en œuvre de l'épistémologie constructiviste, rejoignent alors ceux rencontrés par les chercheurs en IHM dans la conception « interfaces ».

Ces modèles, s'opposent à la liberté créatrice des concepteurs, mais aussi à celle de l'utilisateur qui pourrait vouloir paramétrer ses interfaces à son goût. Alors l'idée de construction libre pour apprendre doit être abandonnée au profit d'une construction dirigée.

Dans les vingt ans on a essayé de produire des systèmes dont l'objectif pédagogique était d'améliorer le savoir-faire des apprenants, en les mettant dans des situations de résolution de problème, alors que la majorité des cours dispensés sur le web ont pour objectif surtout la transmission d'un savoir, ou sont du moins dans l'incapacité de vérifier les acquis en matière de savoir faire de l'apprenant (si l'on fait exception des STI qui ont une ouverture sur le Web, comme par exemple les STI qui peuvent être écrit à l'aide du système SAFARI[FRA & AL, 96]). Et c'est sur cette transmission du savoir que le bât blesse car cette dernière est lourde à concevoir et surtout très figée :

- Lourde, car la construction d'un cours à l'aide des systèmes que l'on vient de voir, fait directement intervenir ce qui va être utilisé pour le présenter. Les enseignants avec ces systèmes construisent leur cours directement à l'aide des items didactiques, il n'y a pas de distinction entre le fond, c'est-à-dire les notions qui sont mises en jeu dans cet apprentissage, et la forme, c'est-à-dire les items qui vont être utilisés pour présenter ces notions.
- Figé car quelque soit l'apprenant qui se trouve devant l'écran, le cours est identique.

Il serait par conséquent intéressant d'étudier l'apport que pourrait avoir les techniques

d'intelligence artificielle pour des systèmes prioritairement axés sur le transfert du savoir.

Or aujourd'hui, le Web, l'un des services du réseau Internet comme nous le verrons par la suite, est l'une des clefs de voûte des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, dont l'acquisition de l'information est basée sur le principe de l'hypertexte.

Mais, qu'est ce que l'hypertexte ?

Cette catégorie de système peut-il tout d'abord transmettre un savoir ? Et si, oui, peut-il le faire de façon intelligente ?

Chapitre II : Les Hypermédias

Les Hypermédias

Dans ce chapitre nous allons étudier les hypermédias au sens large. Nous allons commencer par préciser ce qu'est un hypermédia et quelles sont ses origines.

Puis nous allons étudier successivement deux types d'hypermédias particuliers : les hypermédia adaptatifs et les hypermédia adaptatifs dynamiques.

Enfin nous terminerons ce chapitre, en étudiant les avantages et inconvénients de l'utilisation de chaque type d'hypermédia dans un cadre éducatif.

1. Qu'est ce qu'un hypermédia ?

1.1. Un peu d'histoire

Tout le monde s'accorde à dire que le père des hypermédias est "Vannevar Bush". Il a en effet écrit un article en juillet 1945, nommé "As We May Think" [BUS, 45] où il décrit un système futuriste d'archivage de l'information. En fait ces études à l'issue de la seconde guerre mondiale ont pour objectif de réduire la perte d'information et/ou de connaissances. Ainsi écrit-il :

"Mendel's concept of the laws of genetics was lost to the world for a generation because his publications did not reach the few who were capable of grasping and extending it"

Il essaye alors de définir les fonctionnalités d'une machine bureau, nommé *Memex*, qui permettrait à quiconque de sauvegarder des milliers d'informations sous forme de microfilm.

Il remarque toutefois, qu'avoir des tonnes d'informations, c'est bien, mais savoir rechercher et retrouver l'information désirée, c'est mieux. Il définit alors un mécanisme permettant d'indexer les documents de manière assez classique (Par mot clés), mais surtout il invente un nouveau mécanisme qui permet d'associer les documents, permettant à l'utilisateur de naviguer de document en document.

Le principe des systèmes hypertextes était né. Malheureusement, Bush n'a jamais eu la possibilité ni les moyens de construire un seul *Memex*.

Toutefois, on ne retrouve le terme hypertexte, puisque ce mot a été inventé un peu plus tard, en 1965, par Ted Nelson dans [NEL, 65]. Il définit alors un hypertexte comme étant :

"a body of written or pictorial material interconnected in a complex way that it could not be conveniently represented on a paper. It may contain summaries or maps of its contents and their interrelations; it may contain annotations, additions and footnotes from scholars who have examined it".

Ce n'est cependant que trois ans plus tard qu'apparaît le premier système hypertexte. Ce système nommé NLS, pour *oN Line System*, fut conçu par Douglas Englebart. L'objectif de ce

système était de permettre à l'utilisateur de pouvoir archiver toutes sortes de documents et les relier par des liens associatifs (*on retrouve les idées de bush*). Ce système est l'aboutissement d'une dizaine d'années de recherche autour du projet *Augmentation system*, qui devrait permettre aux utilisateurs d'accroître leurs capacités cognitives et intellectuelles.

Autour de ce projet des dizaines de concepts ont été inventés permettant d'accroître la facilité d'utilisation de ce système. On peut citer entre autres l'invention de souris, de l'interface graphique fenêtrée (*concept de fenêtre et d'environnement multi-fenêtres*) ou encore du courrier électronique.

Dés lors, plusieurs systèmes utilisant les techniques hypertextes vont apparaître sur le marché. On peut citer entre autres [DEL, 00a] :

- Le logiciel DynaBook, conçu et développé par Alan Kay de la société Xerox à Palo Alto. Ce logiciel, basé sur une interface graphique qui préfigurera l'interface du Macintosh, devait permettre aux utilisateurs de pouvoir sauvegarder tout type d'information (texte, son, image, etc.). On peut noter que c'est grâce à ce projet que fut inventé le langage Smalltalk.
- Bill Atkinson, figure emblématique de la société Apple, a conçu en 1986 le premier logiciel permettant à "monsieur tout le monde" de pouvoir créer des hypermédias :

Hypercard était né. Comme le souligne [RHE, 93] :

"Ce logiciel n'était pas conçu spécifiquement pour construire des hypertextes. Pourtant sa distribution gratuite et sa facilité d'utilisation tend à populariser les hypertextes."

Enfin, aujourd'hui nous avons à notre disposition le plus grand hypermédia jamais conçu : le World Wide Web, la composante d'Internet la plus connue.

1.2. Comment définir les termes hypertexte et hypermédia ?

Les termes hypertextes et hypermédia peuvent être définis [DEL, 00a] suivant trois points de vue. On peut en effet les définir du point de vue de la structure (*ce que nous appelons la définition structurelle*), du point de vue de l'interaction entre l'utilisateur et le système (*ce que nous appelons la définition fonctionnelle*), ou bien du point de la sémantique du terme. Nous allons donc voir ces trois points de vue, puis nous ferons une présentation des quelques modèles formels définis.

1.2.1. Définition structurelle

[BAL, 94] définit un hypertexte comme étant un système composé de nœuds et de liens. Les nœuds peuvent être composés d'informations textuelles, on parle alors d'hypertexte, ou multimédia, tels que des images, des graphiques, des animations des vidéos ou bien des programmes informatiques, on parle alors d'hypermédia. Les nœuds qui sont les destinations des liens (on parle de référent).

Les liens peuvent être plus ou moins complexe : ils peuvent être unidirectionnels, permettant d'aller d'une autre page, ou bidirectionnels, afin de faciliter le retour au point de départ. Ils peuvent aussi être typés afin de spécifier la sémantique du lien. Enfin les liens peuvent être disposés n'importe où dans une page. Toutefois leurs rôles peuvent de temps en temps être définis d'une part de par leur position dans le document, d'autre part de par la sémantique de la page (par exemple si la page est une page d'index, les liens seront des index).

Ce sont ces liens qui définissent l'architecture du système, que l'on nomme hyper-space.

1.2.2. Définition fonctionnelle

L'hypertexte peut être considéré comme étant un procédé informatique permettant d'associer une entité (souvent minimale, c'est-à-dire un mot, une portion d'image ou une icône) à une autre entité (souvent plus étendue comme un paragraphe, une image ou une page).

Ce mécanisme permet donc à l'utilisateur de se diriger librement dans l'hypertexte. En activant, à l'aide d'un pointeur (une souris, un stylet ou une tablette sensitive), une zone du document qui est l'origine d'une association, l'utilisateur peut immédiatement atteindre une autre partie du document. Il n'est donc plus de suivre le cheminement prévu par l'autre, il définit son parcours en fonction de ses envies et de d'intérêt. Ainsi [RHE, 93] écrit :

"L'hypertexte est par conséquent un document virtuel qui n'est jamais globalement perceptible dont l'actualisation d'une des potentialités est conditionnée par l'effectivité de la lecture. Cette propriété de hypertexte en fait un "interactif" dans lequel le lecteur tient une place prépondérante."

1.2.3. Définition sémantique

Comme l'indique [NAN, 95], épistémologiquement le mot hypertexte signifie "plus que texte". Le mot "plus" ne signifie pas plusieurs textes interconnectés, mais une entité qui est composée de deux entités :

- Un ensemble de document,
- Une connaissance.

La représentation la plus pauvre de cette deuxième entité est le lien inscrit à l'intérieur même de la première entité, c'est ce que M. Nanard nomme le lien "en dur", qui relie deux document. A contrario, la forme la plus élaborée de cette connaissance peut être générée par un système complexe se basant sur une modélisation du domaine et sur une modélisation de l'utilisateur.

1.2.4. Modèles formels

Dans les années quatre vingt dix, la multiplication des programmes implémentant des caractéristiques hypertextuelles incita quelques chercheurs à formaliser ces caractéristiques afin de pouvoir améliorer la portabilité des systèmes, et donc obtenir une standardisation. Parmi ces modèles formels ont peut retenir entre autres [LAN, 90], qui définit toutes les composantes d'un hypertexte à l'aide d'une grammaire. Cette analyse l'a amené à définir un modèle objet implémentable qu'il a nommé Hyperbase, ainsi qu'une méthodologie de développement d'hypermédia [LAN, 96]. Il y a aussi par exemple le modèle présenté dans [MAU & AL, 93] et [MAU & AL, 94], qui se démarque des autres modèles par l'introduction d'un nouveau concept nommé S-collection.

Ayant maintenant précisé des mots hypertexte et hypermédia. Nous allons maintenant nous intéresser à deux types d'hypermédia particulier : Les hypermédias adaptatifs et les hypermédias adaptatifs dynamiques.

2. Les hypermédias adaptatifs

Les hypermédias sont devenus depuis un peu moins de dix ans des systèmes très utilisés pour obtenir de l'information. On peut les utiliser dans un cadre éducatif, mais on peut aussi les utiliser dans

des systèmes d'information en ligne (Par exemple le système de gestion de document Lotus Notes de la société IBM permet de naviguer de document en activant des liens) ou encore dans les systèmes d'aide (tous les logiciel d'aujourd'hui possèdent une aide en ligne basée sur ce principe).

Dès lors il peut être intéressant de posséder un système qui s'adapte à l'utilisateur. Cette adaptation peut être très intéressantes, et ce quelque soit le type d'hypermédia. Par exemple dans un hypermédia éducatif, ceci va permettre de mieux guider l'apprenant. Il peut en être de même dans un système d'aide. Mais, cela peut aussi être très utile dans un système d'information, pour par exemple limiter l'accès de certains documents à certaines personnes.

2.1. L'adaptation

Nous avons vu qu'un hypermédia est composé de pages et de liens. Dès lors, un hypermédia adaptatif doit pouvoir adapter le contenu de ces pages et de ces liens pour mieux guider l'utilisateur dans son cheminement.

2.1.1. *L'adaptation du contenu*

L'objectif est d'adapter le contenu des pages de l'hypermédia en fonction des caractéristiques, des volontés et des buts de l'utilisateur. Ainsi, les utilisateurs qui accèdent à une même page mais en ayant des profils différents, doivent visualiser en fait des pages différentes. Pour l'instant, très peu de systèmes effectuent une adaptation du contenu, et lorsqu'ils font, l'adaptation n'a souvent lieu qu'au niveau des données textuelles, comme dans [BRU, 92] ou [COX & AL, 99].

2.1.2. *L'adaptation pour facilité la navigation*

L'objectif est d'aider l'utilisateur à se repérer dans l'hyper-espace ou à l'inciter, voire l'obliger à utiliser certains liens plutôt que l'autres. Différentes techniques ont été développées au fil des années [DEL, 00a], entre autres le guidage direct, l'ordonnancement des liens, masquage des liens, l'annotation des liens ou encore les cartes adaptatives [BRU, 92].

2.1.2.1. Le guidage direct

Cette technique a été la première à être utilisée régulièrement, car très simple et très facilement implémentable. Elle est basée sur l'ajout d'un lien hyper texte, nommé souvent "Suivant" (ou *next* en anglais), qui permet d'accéder à la meilleur page, c'est-à-dire celle qui est en adéquation avec les objets et/ou capacités de compréhension de l'utilisateur.

On peut utiliser cette technique en laissant les autres hyper-liens existants au préalable ou en les supprimant. Dans ce dernier cas, l'hypertexte perd beaucoup de ses capacités d'exploitation, puisque le système devient totalement linéaire (il conserve toutefois son aspect dynamique).

En fait, pour être réellement efficace, cette technique doit être utilisée conjointement avec au moins une des techniques suivantes :

2.1.2.2. L'ordonnancement des liens

L'ordonnancement des liens, comme son nom l'indique, est une technique qui propose d'afficher les liens hypertextes suivant un ordre définissent l'intérêt ou l'importation des pages cibles.

Cette technique ne peut pas être utilisée dans tous les cas. En effet, on ne peut pas l'utiliser avec des liens contextuels, c'est-à-dire des liens qui se trouvent au sein de phrases. En fait on ne peut l'appliquer que sur des liens qui appartiennent à un index, ou alors à une carte décrivant l'hyper-space du système.

L'intérêt de cette technique est très controversée. Certaines études ont en effet montré que la non stabilité d'une liste de liens pour une page donnée pouvait désorienter l'apprenant. Et a contrario d'autres études ont montré qu'elle pouvait réduire les temps de navigation des hypermédia surtout ceux axés sur la recherche d'informations [BRU, 94a].

2.1.2.3. Le masquage des liens

La technique dite du masquage de lien consiste à supprimer les liens hypertextes dont les pages cibles sont soit en inadéquation avec le modèle de l'utilisateur (trop simple ou trop compliquées), soit en inadéquation avec les objectifs de l'utilisateur.

Facile à mettre en œuvre, puisqu'il suffit, avant d'envoyer la page à l'utilisateur, d'enlever les liens non désirés, cette technique permet de réduire la taille de l'hyper-space pour l'utilisateur. Elle s'applique de plus sur tous les liens, contextuels ou non, avec des activateurs très divers (texte, bouton, image, etc.).

Tout comme les techniques que nous avons vues précédemment, cette technique a aussi un défaut. La suppression de liens hypertextes peut en effet entraîner chez l'utilisateur, et surtout chez l'apprenant une mauvaise représentation mentale des tenants et aboutissants de chaque page (et donc de chaque notion si dans un système on assimile une notion et une page).

2.1.2.4. L'annotation des liens

L'annotation des liens part du principe que l'utilisateur doit savoir où il va avant d'activer un lien. Il faut donc adjoindre à chaque lien des explications sur la page cible ou alors définir une syntaxe ou un codage particulier (par exemple telle icône pour dire que c'est une aide, telle couleur pour dire qu'il s'agit d'un exemple, etc.) [BRU & AL, 95].

A la différence des commentaires que l'on peut ajouter à nos liens des images de pages html (qui apparaissent sous forme de bulle ou en bas de nos navigateurs), les annotations de liens, pour être efficaces, doivent être fonction de l'utilisateur.

Cette technique, assez simple à mettre en œuvre, peut être utilisée pour tous les types de liens, et ne semble pas avoir d'effets de bord néfastes.

2.1.2.5. Les cartes adaptatives

Les cartes, ou *maps* en anglais, permettent de présenter à l'utilisateur, l'organisation de l'hyper-espace, à l'aide de liens, soit sous forme textuelle (Dans ce cas nous avons souvent présentation hiérarchique de l'hyper-espace), soit sous forme graphique (Cf. [PIL & AL, 99]). Dès lors, il est possible de présenter à l'utilisateur une organisation plus ou moins simplifiée en fonction de son profil.

Bien entendu, l'ensemble de ces méthodes peuvent et même doivent être combinées. Par exemple dans [BRU & AL, 94b], le système ISIS-Tutor utilise les techniques de guidage direct, de masquage de liens et d'annotation de liens.

2.2. L'interconnexion entre le modèle du domaine et les pages de l'hypermédia

Pour qu'un logiciel éducatif soit "intelligent", il faut qu'il soit composé de quatre composants, que sont le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant, le modèle pédagogique et le modèle d'interface. En fait ceci s'intègre dans une définition plus large. En effet, pour qu'un système s'adapte à l'utilisateur, il faut absolument au moins deux composantes : le modèle du domaine et le modèle de l'utilisateur. Le modèle du domaine sert à organiser la connaissance, et le modèle de l'utilisateur permet d'adapter le contenu et les liens hypertextuels que l'on va présenter à l'utilisateur.

Se pose alors la question de l'interconnexion entre ce modèle du domaine qui organise la connaissance, et les pages d'hypermédias qui la présentent. [BRU, 94a] a dénombré trois méthodes permettant d'interconnecter ces deux composants : l'indexation par page, l'indexation fragmentée et la relation directe.

2.2.1. La Méthode dite d'indexation par page

L'objectif de cette méthode est d'indexer tout le contenu des pages de l'hypermédia avec les concepts du modèle du domaine. Ainsi chaque concept est associé à une page d'index (Voir figure 1) qui permet d'accéder à toutes les pages présentant ce concept.

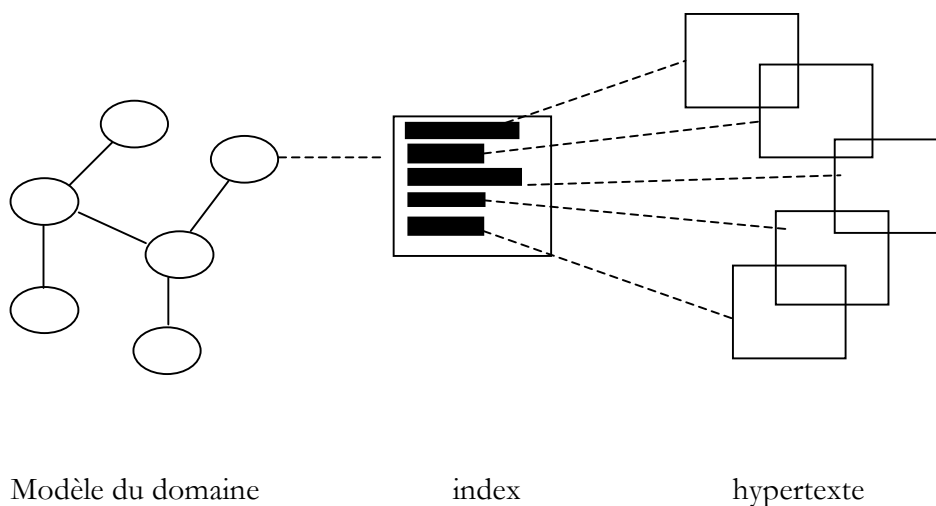


Figure 1 : Indexation par page

Il est aussi possible de créer des index relatifs aux relations définies dans le modèle du domaine. Ainsi le système peut créer un index par concept et par relation. Cet index réfère l'ensemble des pages de l'hypertexte qui contiennent des références à des concepts qui sont cibles de la relation spécifiée. Ainsi si le modèle du domaine contient n concepts et possède m types de relations, cela peut produire $n*m$ index différents.

Cette méthode a été très utilisée dans les hypermédias éducatifs, par exemple dans [BRU & AL, 94b], car le ou les index que l'on peut présenter à l'utilisateur peuvent être modifiés à l'aide des

techniques d'adaptation vues précédemment, et ainsi l'obliger, ou du moins l'inciter, à suivre telle ou telle direction.

Enfin, l'avantage de cette méthode est surtout sa facilité de mise en œuvre, mais son système d'indexation est peu grossier. En effet, si une page de l'hypertexte présente ou explicite plusieurs concepts, elle sera indexée plusieurs fois de la même façon.

2.2.2. La méthode dite d'indexation fragmentée

Cette deuxième méthode est en fait une évolution de la méthode précédente. Cette fois les pages de l'hypertexte ne sont plus indexées dans leurs globalité, mais indexées par fragment (Voir figure 2). Cela permet d'avoir une indexation plus fine. Deux index peuvent alors référencer une même page de l'hypertexte mais pas au même endroit.

Outre un guidage de l'utilisateur, cette méthode permet aussi d'obtenir une adaptation au niveau du contenu, puisque les éléments référencés au niveau des index peuvent être très spécifiques et le système peut dans certains cas avoir des informations décrivant chaque élément [BOY & AL, 98]. On voit en fait apparaître par ce biais d'adjonction de sémantiques au sein des documents hypertextuels, ce qui de nos jours semble assez normal, grâce à l'utilisation du langage XML.

2.2.3. La relation directe

Cette dernière méthode se distingue des deux méthodes précédentes par l'absence de page d'index. Ici, la structure de l'hyper-espace est totalement calquée sur la structure du modèle du domaine : Chaque concept du modèle du domaine est représenté par une page de l'hypertexte (bien que certains systèmes relient de temps à autre un concept à un hyper document, c'est-à-dire une partie de l'hyper-espace), et à chaque relation on associe un lien hypertexte (Voir figure 3).

Vis-à-vis des deux méthodes précédentes, la relation directe exige d'avoir une représentation du modèle du domaine sous forme sémantique (Ou tout autre technique apparentée) afin de pouvoir déterminer les hyperliens, alors qu'auparavant il suffisait d'identifier les concepts

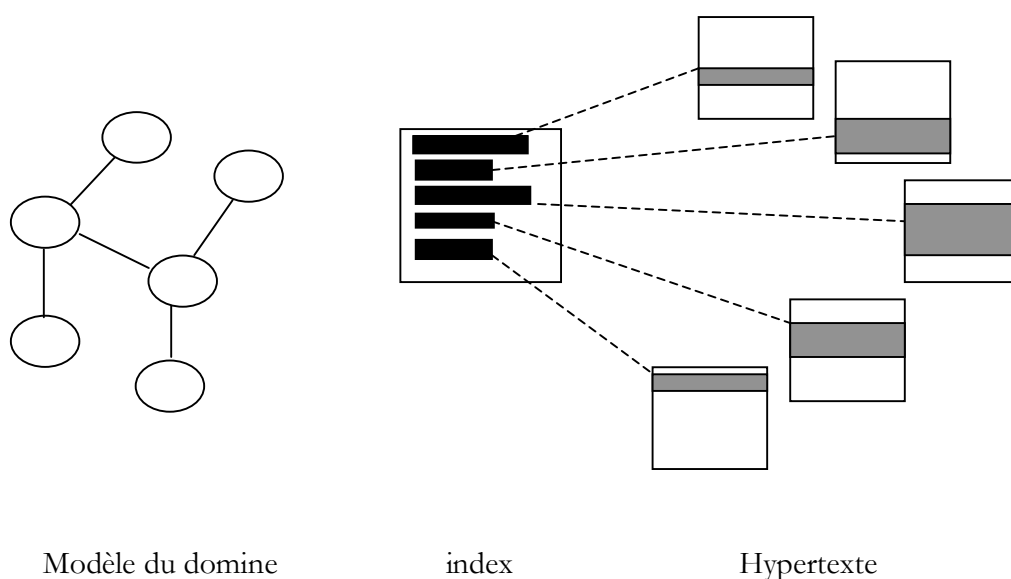


Figure 2 : Indexation fragmentée

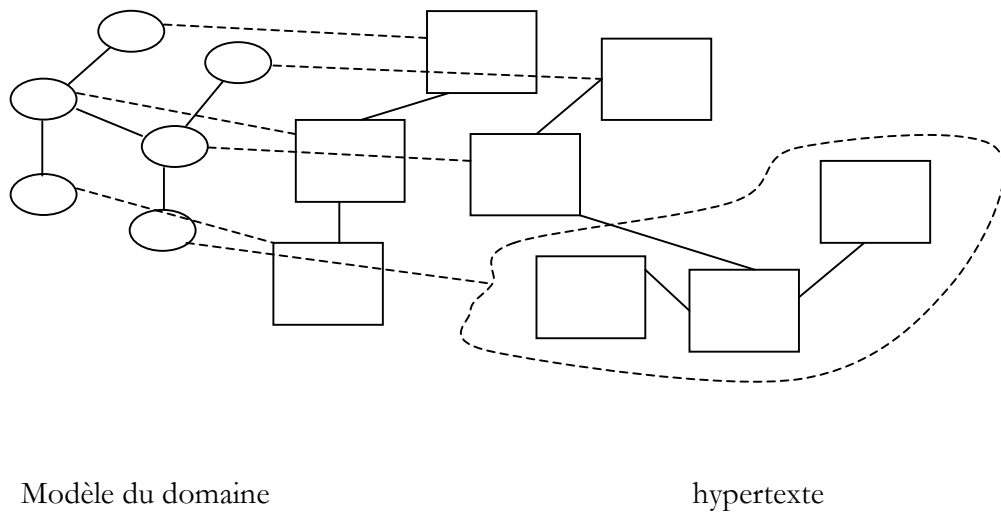


Figure 3 : Relation directe

3. Les hypermédias adaptatifs dynamiques

Afin d'améliorer la qualité de l'adaptation et de prendre en compte instantanément de nouvelles données, depuis quelques années, les recherches se sont orientées également vers les hypermédias adaptatifs dynamiques.

La principale caractéristique de ces systèmes est d'offrir un hypermédia virtuel [VAS, 95]. Le système n'est plus constitué de pages et de liens prédéfinis : ils sont construits dynamiquement. L'architecture de ces systèmes repose sur quatre composantes principales qui sont : le modèle du domaine, le modèle de l'utilisateur, une base de documents et un générateur de pages. Le modèle du domaine, comme pour la dernière génération des hypermédias, permet de définir l'architecture globale du système. Il y a par conséquent adéquation entre les nœuds du modèle du domaine et les pages de l'hypermédia virtuel, ainsi qu'entre les relations du modèle du domaine et les liens de l'hypermédia virtuel.

L'utilisateur d'un tel système présente plusieurs avantages

Tout d'abord l'adjonction d'un nouveau support peut être immédiatement prise en compte, puisque encore une fois, les pages du système sont construites dynamiquement.

Ensuite, les concepteurs de l'hypermédia ne sont pas obligés de penser à la façon d'agencer les différents documents, ils doivent juste définir l'architecture générale du système (*le modèle du domaine*) et déterminer, récupérer ou créer les documents qui vont servir à présenter chaque concept.

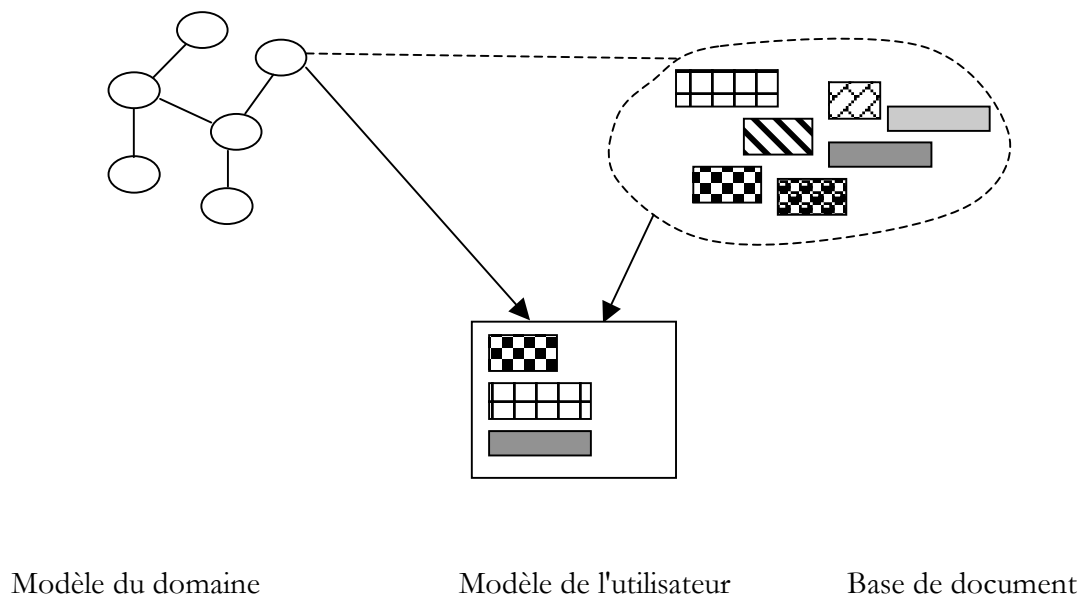


Figure 4 : Une page de l'hypermédia construite dynamiquement

4. L'utilisation d'un hypermédia dans cadre éducatif

4.1. Les hypermédia dits classiques

Dés sa création, les hypermédias de par leur structure ont semblé être un nouvel outil pour la transmission du savoir, et donc utiles dans un cadre éducatif. Aujourd'hui, cet intérêt est encore de mise, voire plus, car renouvelé grâce au développement exponentiel du réseau planétaire Internet, avec toutes les nouveautés qui l'accompagnent, tant au niveau technique (Applications distribuées, vidéo en temps réel – ou streaming – visio-conférence à bas pris, etc.) qu'au niveau conceptuel, comme par exemple le concept de classe virtuelle.

Nous allons maintenant énumérer les avantages et inconvénients de l'utilisation des hypermédia dans un cadre éducatif [DEL, 00a].

4.1.1. *Avantages*

Deux grands atouts, issus de la structure intrinsèque des hypermédias, émergent de leur utilisation dans un cadre éducatif : la composante multimédia et la composante hypertexte.

4.1.1.1. *Avantages issus de l'aspect multimédia :*

L'apport du multimédia dans l'éducation est très controversé : le multimédia apporte-t-il de réels bénéfices au transfert de la connaissances dans un cycle d'apprentissage, ou le multimédia est-il un phénomène de mode ?

A ses débuts, pour l'ensemble de la communauté scientifique, il semblait logique que l'utilisation de données multimédia dans des logiciels éducatifs, et plus généralement dans les systèmes d'information, apportât obligatoirement un plus. On se basait alors sur des hypothèses, telles que :

- Plus on stimule nos sens, plus l'information est compréhensible,
- Le multimédia permet de capter plus longtemps l'attention de l'utilisateur,
- L'aspect ludique du multimédia est bénéfique,
- Etc.

Quelques études ont alors essayées de vérifier ces hypothèses. Ainsi [HOO, 95] a mis en évidence quelques attributs, ou critères, définissant la qualité d'une donnée multimédia. Il a ensuite étudié l'impact cognitif de chacun de ces critères [DEL, 00a]. Par exemple :

- L'attribut Level of multimediality. On part du principe que l'on détermine une relation d'ordre sur les différents types de média (on considère par exemple qu'une animation est supérieur à une image fixe).

Malheureusement, dans la plupart des études, on n'a pas pu montré l'importance de cet attribut. Ainsi [HOO, 95] conclut que :

“ [...] it can be observed that a higher level of multimediality alone is not sufficient for a better task performance, only for some learning tasks is an effective information transfer noted. [] “

- L'attribut Level of man-machine interactivity. Cet attribut permet de déterminer l'importance de l'interactivité d'un média. Cela va de la passivité totale, jusqu'à la réalité virtuelle, en passant par l'émission de requêtes (dans une certaine syntaxe ou en langage naturel).

L'importance de cet attribut a été démontrée. Dans la plupart des cas, plus les média sont interactifs, plus l'information est correctement assimilée.

- L'attribut Level of Congruence, qui peut se traduire par le nombre de média utilisés de façon redondante pour expliquer une même idée. Comme indique [NEM & AL, 98], il est maintenant démontré qu'utilisé deux de nos sens (par exemple la vue et l'audition) simultanément permet de mieux appréhender une données complexe.

De plus l'utilisation simultanée de plusieurs sens permet d'éviter à l'apprenant de mal comprendre un concept. Par exemple l'analyse d'une courbe seule, peut engendrer des incompréhensions qui peuvent être évitées si en plus de ce schémas, l'apprenant entend une voix qui le décrit.

Toutefois cette juxtaposition de média est difficile à mettre en oeuvre pour qu'elle soit efficace. Pour l'instant aucune méthodologie n'a été élaborée pour obtenir de bon résultat. Mais [REC, 95] a tout de même classifié les type de média (texte, animation, image, son) à utiliser pour chaque type d'action pédagogique (présentation, explication, exemple, etc.). Par exemple, elle considère que le son est particulièrement bien adapté lorsque le système doit alerter l'apprenant, ou lui présenter un résumé du cours qu'il vient de voir.

[HOO, 97] finit par conclure que l'utilisation d'éléments multimédia si elle est judicieuse, c'est-à-dire en adéquation avec l'apprenant, et de qualité, peut améliorer le transfert de connaissances dans certains domaines. Il ajoute aussi qu'une information multimédia est souvent plus facile à mémoriser qu'une information monomédia. Enfin, et sur le point toutes les tendances se rejoignent, l'aspect ludique d'une information multimédia ne peut être que bénéfique.

4.1.1.2. *Avantages issus de l'aspect hypertextuel*

Outre la composante multimédia des hypermédias, la composante hypertexte peut aussi améliorer la qualité de l'enseignement.

En effet, les hypertextes, par leur structure, aident l'apprenant à mieux se représenter la connaissance, à mieux appréhender les tenants et les aboutissants de chaque concept. La non linéarité de la progression de l'apprenant l'oblige à se construire sa connaissance en créant des connections entre les concepts. En effet, comme l'indique F.Nadeau [NAD, 97] :

« L'apprentissage comme la pensée ne se font pas par des idées isolées mais par des relations significatives ou associatives entre idées, [...] Donc l'hypermédia devient un outil de structuration de pensée. »

On retrouve en fait les fondements de la théorie constructiviste, où l'apprenant apprend en interagissant avec le système. Dans le cas des hypertextes, l'apprenant apprend en activant les hyperliens du système, comme il le fait dans les micro-mondes en interagissant avec le système.

Pour conclure, [NAD, 97] déclare que les hypertextes ont les avantages suivants :

- Les hypertextes favorisent la pensée associative, puisqu'ils permettent de présenter les tenants et les aboutissants de chaque concept.
- Les hypertextes favorisent l'initiative de l'apprenant, puisque l'apprenant interagit avec le système, il ne peut pas rester passif.
- Les hypertextes sont un support pédagogique collaboratif, car contrairement aux autres supports pédagogiques tels que les livres, plusieurs apprenants peuvent l'utiliser simultanément. Les hypermédias sont alors un outil propice à la résolution de problèmes en groupe, ce qui peut amener des discussions, des négociations entre les apprenants.
- Les hypertextes facilitent l'apprentissage interdisciplinaire. Il est en effet tout à fait envisageable de construire des ponts entre différents hypermédias. On peut imaginer par exemple que la présentation d'une notion de science physique par un hypertexte, fasse référence à des notions mathématiques dans un autre hypertexte, et fasse aussi référence au découvreur de cette notion ou théorie dans un troisième hypertexte historique.

4.1.2. Inconvénients

Malheureusement ces avantages peuvent devenir préjudiciables. [RHE, 93] souligne en effet que plusieurs problèmes peuvent apparaître lorsque l'on utilise les hypermédias à des fins éducatives. L'apprenant peut rencontrer deux problèmes que tout utilisateur d'Internet a déjà rencontrés, c'est-à-dire la désorientation et la surcharge cognitive.

4.1.2.1. La désorientation

La désorientation est issue de la facilité qu'a l'apprenant à se déplacer de nœud en nœud dans le système. Ainsi cette liberté de déplacement peut finir par troubler l'apprenant. Il risque de se poser des questions du type :

- Où suis-je ?
- Pourquoi suis-je là ?
- Ou encore Que dois je faire ?

[RHE, 93] explique que ceci est principalement dû à notre mémoire à court terme, puisque comme l'a montré [MIL, 56], les être humains ne sont capables de mémoriser sur le moment qu'un nombre limité d'informations (Sept items à plus ou moins deux près).

4.1.2.2. La surcharge cognitive

La surcharge cognitives, quant à elle, est provoquée par « l'avalanche d'informations » que risque de déverser le système. En effet, la redondance, pour être bénéfique, doit être construite de façon intelligente. En aucun cas, il ne faut présenter la même information à l'aide de différents média ne nécessitant pas tous le même niveau de connaissance.

4.2. Les hypermédias adaptatifs

4.2.1. Avantages

Les hypermédias adaptatifs représentent une avancée non négligeable vis-à-vis des hypermédias classiques. Ils sont un atout pour les utilisateurs du système : les enseignants et les apprenants.

Tout d'abord, les différentes techniques utilisées permettent à l'étudiant d'être guidé dans son apprentissage. Ainsi, sans toutefois annuler la liberté de navigation intrinsèque aux hypermédia, l'apprenant est constamment guidé dans son cheminement. Plusieurs études ont montré l'intérêt des hypermédia dynamiques vis-à-vis des hypermédias dits classiques ou statiques, les hypermédia dynamiques peuvent améliorer l'assimilation des connaissances, ils peuvent réduire de façon considérable le parcours de l'utilisateur dans l'hyper-espace. Par exemple [BOD & AL, 97] ont montré à travers une étude, réunissant divers types d'utilisateurs dont le but est de répondre à huit questions à l'aide d'un système hypertexte, que les chemins parcourus par les utilisateurs d'un hypermédia dynamique étaient beaucoup plus clairs que ceux qui parcouraient un hypermédia classique.

Ensuite, les hypermédia adaptatifs (surtout pour ceux qui appartiennent à la dernière catégorie, c'est-à-dire qui effectuent une relation directe entre le modèle du domaine et les pages de l'hypermédia) permettent aux enseignants de mieux structurer leur travail. En effet, le fait de distinguer la connaissance des outils qui permettent de la présenter éclaircit le travail de l'enseignant.

Ce dernier peut alors mieux structurer son travail, en pensant tout d'abord à l'organisation des connaissances, et ensuite à la façon de les exposer.

4.2.2. Inconvénients

Cependant, quelques problèmes persistent :

Tout d'abord, l'accent a surtout été mis sur l'adaptation des liens, afin de guider l'apprenant dans son cheminement. Or la deuxième composante de l'adaptation, c'est-à-dire l'adaptation du contenu, a souvent été mise de côté.

Pourquoi ?

Tout simplement parce que la méthodologie de développement et l'architecture de ces systèmes ne s'y sont pas réellement prêtées. En effet, bon nombre de systèmes ne s'y sont pas réellement prêtés. En effet, bon nombre de systèmes hypermédia adaptatifs sont issus de systèmes hypermédia classiques déjà définis, auxquels les chercheurs ont ajouté des techniques d'adaptation. Or, alors qu'il est assez aisé de cacher des liens, ou bien de les annoter, il est beaucoup plus difficile de remplacer un item d'une page, ou bien de modifier la structure d'une page.

En suite, on sait qu'un bon système éducatif doit être un système ergonomiquement uniforme (Par exemple dans les livres scolaire, les différents cours ont à peu près la même architecture, le même enchaînement logique). Or rien n'oblige les hypermédia à suivre cette démarche, ce qui peut être dommageable pour l'apprenant.

Enfin, tout comme un enseignant, il faut que le système puisse utiliser immédiatement toute nouvelle connaissance, ou tout nouveau média pour présenter une nouvelle connaissance. C'est une des caractéristiques d'un bon enseignant, il doit par exemple utiliser au maximum l'actualité pour agrémenter son cours. Ainsi, si une personne trouve ou construit un nouveau média en rapport avec un des concepts enseignés, le fait de l'ajouter doit permettre au système d'enrichir instantanément les cours sur ce concept, ce qui pour l'instant n'est pas très aisé à réaliser.

4.3. Les hypermédias adaptatifs dynamiques

A priori, il est difficile d'évaluer les avantages et inconvénients de l'utilisation de ce type de système dans un cadre éducatif, seule J. Vassileva avait développé un tel système [VAS, 97]. Depuis, outre notre étude, système sont en développement, tel que le système CAMELEON de Melle Laroussi [LAR, 98], ou encore le système de Melle Kavcic [KAV, 98].

Toutefois, d'après ce que l'on a vu précédemment, l'architecture des hypermédias adaptatifs dynamiques doit reposer sur quatre composantes principales :

- Le modèle du domaine,
- Le modèle de l'utilisateur,
- Une base de documents multimédia didactiques (ou teaching materials)
- Et un générateur de cours.

Dés lors, l'utilisation d'un tel système doit apporter les avantages suivants :

- Tout d'abord l'adjonction d'un nouveau support peut être immédiatement pris en compte, puisque encore une fois, les pages du système sont construites dynamiquement.

- Ensuite, les enseignants ne sont pas obligés de penser à la façon d'agencer les différents médias, ils doivent juste définir l'architecture générale du système (le modèle du domaine) et déterminer, récupérer ou créer les matériaux pédagogiques qui vont être utilisés pour présenter les notions introduites dans les dits cours.

5. Conclusion

Les hypermédias représentent une « nouvelle » méthode de transmission de l'information. Leur utilisation dans un cadre éducatif, qui pour les premiers types d'hypermédia posait quelques problèmes (la désorientation, la surcharge cognitive), est aujourd'hui un fait incontournable. En effet, bien que certaines études ont tenté, ou tentent encore de minimiser l'impact cognitif des hypermédia (ce qui devient de plus en plus difficile avec l'apparition des hypermédia adaptatifs), la position prédominante des hypermédia dans les nouvelles technologies de l'information et de la communication les rend pratiquement incontournables.

De plus, l'utilisation d'hypermédias implique l'utilisation d'informations de sources variées (textes, illustrations, vidéos, etc.). L'emploi de ces informations nécessite leur traitement perceptif et sémantique individuel mais aussi leur intégration dans des représentations de plus haut niveau. La question est de savoir s'il est présenté de manière à permettre une compréhension optimale de son contenu ?

Chapitre III : Présentation du document

Présentation du document

L'utilisation de documents techniques est aujourd'hui quasiment quotidienne pour chacun d'entre nous : monter un meuble, baisser le volume d'un téléphone portable, trouver la source d'un dysfonctionnement informatique ou réparer un modèle précis de photocopieur sont autant de situations où nous sommes susceptibles d'avoir recours à des documents techniques explicatifs. L'efficacité du document. Elle dépend bien sur de la quantité d'informations fournies, de leur qualité mais aussi de la manière dont elles sont présentées.

Cette dernière caractéristique insiste en fait sur le design du document. Autrement dit, la question est de savoir s'il est présenté de manière à permettre une compréhension optimale de son contenu.

Nous présenterons dans ce chapitre quelques travaux de psychologie cognitive relatifs à cette problématique. En s'appuyant sur les connaissances accumulées sur le fonctionnement du système cognitif, ils ont pour objectif une meilleure compréhension des interactions entre le fonctionnement de ce système et la manière dont l'information est présentée. Il en est ainsi par exemple des illustrations qui seront bénéfiques si certains critères sont respectés. Il en est de même de la modalité de présentation choisie, plus ou moins efficace en fonction par exemple de la présence d'une illustration.

Ces travaux prennent toute leur importance avec les avancées technologiques dans ce domaine. Les documents techniques électroniques sont de plus en plus nombreux permettant ainsi l'utilisation d'illustrations dynamiques ou de documents multimodaux. Ce sont les conditions d'efficacité de ces nouveaux médias que nous nous proposons de développer ici.

Dans un ouvrage récent [MAY, 01], Richard Mayer a proposé un certain nombre de principes (voir tableau ci-dessous) à respecter dans l'élaboration de documents explicatifs multimédias. Ces principes serviront de trame à cette présentation qui sera complétée par des travaux plus récents.

<i>Principe</i>	<i>Effet sur l'apprentissage et la compréhension</i>
Principe multimédia	Effet positif de la présence d'illustrations
Principe de contiguïté spatiale	Effet positif de la proximité physique des sources d'informations visuelles
Principe de contiguïté temporelle	Effet positif de la proximité temporelle des sources d'informations visuelles et orales

Principe de modalité	Effet positif de l'utilisation de la modalité orale pour expliquer une source d'information visuelle
Principe de cohérence	Effet positif de la suppression d'informations non pertinentes pour l'apprentissage (détails, musique, etc.)
Principe de redondance	L'utilisation d'informations redondantes dans des modalités différentes peut avoir un effet négatif sur l'apprentissage
Principe des différences interindividuelles	Les principes évoqués précédemment sont liés à des aptitudes qui varient d'un individu à l'autre.

Tableau 2 : Propositions de Mayer

Quelques rappels sur le fonctionnement cognitif

La compréhension et l'utilisation des documents pédagogiques impliquent souvent le traitement d'informations de sources variées (textes, illustrations, vidéos, etc.). L'emploi de ces informations nécessite leur traitement perceptif et sémantique individuel mais aussi leurs intégration dans des représentations de plus haut niveau. Les premiers traitements réalisés dans des mémoires sensorielles sont dépendants de la modalité d'entrée auditive ou visuelle. Traditionnellement, deux types de mémoires sont envisagés pour les traitements ultérieurs de l'information :

- La première correspond à la mémoire de travail (**MDT**) caractérisée par une capacité limitée en terme d'espace de traitement un nombre limité d'éléments peut être traité en même temps [MIL, 56] et en termes de durée ;
- La seconde appelée mémoire à long terme (**MLT**) est celle qui permet de composer les limitations de la première. Sa capacité est envisagée par beaucoup comme illimitée et durable. Elle regroupe toutes les connaissances des individus et mobilisée à tout instant pour donner sens aux stimuli perçus et traités par la mémoire de travail.

D'après la théorie des schémas, ces connaissances en MLT sont souvent organisées, catégorisées et stockées sous forme de schémas, c'est-à-dire dans un format correspondant à la manière avec laquelle elles seront par la suite utilisées [CHI & AL, 82]. Depuis les travaux princeps de Groot (1965) sur l'expertise des joueurs d'échecs, l'étendue et la qualité des connaissances contenues en MLT sont considérées comme des facteurs les plus importants à considérer pour expliquer les performances humaines, bien plus que la qualité de chaîne de raisonnements en mémoire de travail à partir des simples stimuli [KIR, 02].

Pour Sweller [SWE, 99], il n'y a pas d'expertise sans schémas. Ceux-ci fournissent le sens à l'immense quantité d'informations contenues en mémoire à long terme et permettent, en catégorisant de multiples stimuli sous forme d'un élément catégorisé à traiter, de libérer de l'espace de traitement en mémoire de travail. Les limitations de la MDT peuvent donc gêner la construction, la mise à jour, l'automatisation et le stockage des schémas en MLT, activités considérées comme à comprendre quels sont les facteurs qui déterminent le niveau de charge en mémoire de travail.

La théorie de la charge cognitive (TCC) que proposent Sweller et ses collaborateurs distingue trois types de charge :

- La charge cognitive intrinsèque (*intrinsic cognitive load*) correspondant à la demande en termes de ressources mentales inhérentes aux caractéristiques du matériel à traiter. Une charge cognitive intrinsèque importante correspond soit à un matériel hautement complexe, interactif, soit non familier (faible expertise) ;
- Par opposition, la charge cognitives extrinsèque (*extrinsic cognitive load*) correspondant au format de présentation, se décompose en deux éléments :
 - La charge cognitive inutile (*extraneous cognitive load*) correspondant à une utilisation des ressources mentales pour des opérations cognitives non essentielles liées à une mauvaise présentation l'information. Par exemple, l'apprentissage d'un document illustré peut être relativement complexe à gérer du point de vue cognitif si le système de légende ne facilite pas la référencement mutuelle des sources écrites et illustrées ;
 - La charge cognitives pertinente (*germance cognitive load*) ayant lieu lorsqu'un espace de traitement disponible en MDT est dévolu à l'enrichissement de schémas ou à l'automatisation de ceux-ci grâce à un monde des présentations de l'information qui permet ou qui incite à focaliser l'attention sur les informations importantes au regard de la tâche [SWE & AL, 98].

L'utilisation d'un document technique impose en effet de multiples opérations cognitives : reconnaissance dans le lexique des mots lus ou entendus, reconnaissance des objets illustrés, activation des connaissances, sélection et stockage en mémoire des éléments pertinents de chacune des sources, intégration de ces différentes opérations dans une même représentation, intégration avec les connaissances préalables du lecteur (auditeur), compréhension des informations implicites dans le document. Cette liste non exhaustive illustre la complexité du processus et le poids que peuvent représenter certains de ces traitements sur la mémoire de travail.

La question que l'on doit se poser concerne maintenant le document lui même. La nature des informations utilisées, leur modalité de présentation ou leur emplacement sont ils susceptibles de provoquer une charge supplémentaire sur la mémoire de travail ? C'est cette thèse que défendent beaucoup de chercheurs spécialistes du domaine. Les démonstrations sont nombreuses et nous n'en retiendrons que quelques unes avec un objectif : tenter de présenter des travaux dont les retombées nous semblent intéressantes pour de la conception et l'utilisation de documents techniques.

1. Le principe multimédia

Ce principe souligne les contributions des illustrations à la mémorisation et la compréhension de textes. La première remarque concerne le type d'illustrations discuté ici : les conclusions qu'ils ont formulées concernent exclusivement les illustrations explicatives et non des fonctions de décoration ou de représentation de l'illustration.

Deux types d'illustrations explicatives peuvent être distingués. Les premières sont statiques et sont constituées d'une ou plusieurs images illustrant par exemple le fonctionnement d'un système ou une série de procédures. Le second type d'illustration est dit dynamique. Il s'agit de ce que l'on nomme classiquement des animations. Dans ces illustrations, le système est présenté en mouvement. Il est clair

que la distinction est parfois bien mince si l'on multiplie le nombre d'instantanés d'une présentation statique.

a. Les illustrations statiques

Les apports des illustrations statiques à la compréhension de documents sont maintenant relativement bien connus [GYS, 96]. Dans ce type de travaux, un document constitué d'une explication orale ou écrite illustrée est comparé à un document constitué d'une explication verbale seule. Les effets observés sont de deux types :

- Ils concernent tout d'abord l'amélioration du rappel des éléments illustrés. La présence d'une illustration a en effet des effets positifs sur le rappel ultérieur des éléments qu'elle comporte [MAY, 89].

- Le second type d'effet positif observé concerne plus spécifiquement la compréhension du système. Elle est généralement évaluée par des questions ou des problèmes relatifs à l'implicite du document. Il s'agit de comprendre par exemple l'origine d'une panne alors qu'elle n'est pas décrite explicitement dans le document. Ce type de raisonnement inférentiel est particulièrement important dans la compréhension du fonctionnement de systèmes techniques. La présence d'une illustration permet une nette amélioration du taux de bonnes réponses à des questions de ce type. L'explication généralement proposée est relative aux représentations élaborées pendant la compréhension de texte. Le traitement d'un document passe par l'élaboration de représentations symboliques propres au langage de différentes natures. Certaines, généralement brefs, sont constitués des éléments linguistiques du document, d'autres concernent son contenu sémantique. Ces dernières sont plus ou moins élaborées en fonction des processus mis en place par le lecteur (auditeur) : hiérarchisation des informations, condensations d'informations proches, oubli d'informations non pertinentes, etc. Dans les modèles plus récents de la compréhension, il est généralement admis qu'un dernier niveau de représentation est élaboré. Ce niveau, nommé modèle mental ou modèle de situation, a une structure analogique au monde réel. Il peut par exemple prendre la forme d'images mentales sans pour autant s'y réduire. C'est à ce niveau que l'interaction entre les connaissances fournies par le texte et celles du lecteur vont permettre l'élaboration d'inférences. La qualité de ce type de processus dépend donc des connaissances elles mêmes. Ainsi, chez les novices, le raisonnement inférentiel est de moins bonne qualité que chez des experts alors que ces deux groupes ne se distinguent pas lorsqu'ils sont évalués sur les informations explicites du texte [TAR, EHR & GYS, 92]. La structure analogique de ce dernier niveau de représentation fait évidemment penser à la nature des illustrations. On peut donc légitimement faire l'hypothèse que les illustrations peuvent permettre une élaboration plus efficace du modèle mental. Cette proposition semble validée par l'effet positif des illustrations sur la réalisation d'inférences.

Les conclusions relatives à la présence d'illustrations statiques sont donc globalement positives. Il n'en demeure pas moins que cette conclusion peut être invalidée si un certain nombre de précautions ne sont pas prises au moment de la conception :

L'efficacité d'une illustration dépend tout d'abord de la présence d'informations verbales complémentaires. Des difficultés peuvent naître de l'absence de référents verbaux en mémoire lorsqu'ils ne sont pas présentés explicitement sur le document par un système de légende ou de texte explicatif. L'exemple le plus typique est le mode d'emploi inutilisable parce que constitué uniquement d'illustrations pour éviter des frais de traduction. Une illustration sans explication verbale est souvent peu efficace, voire inutile. A titre d'exemple, une barre d'icônes dans un logiciel de courrier électronique

est moins efficace si elle est constituée d'icônes seuls plutôt que d'icônes accompagnés d'une légende. Ces effets se traduisent notamment en début d'apprentissage par des échecs plus importants, des temps de réalisation plus longs et des recours à l'aide plus nombreux [WIE, 99].

De même, la compréhension de pictogrammes de sécurité peut être largement améliorée, notamment s'ils sont complexes, par une phase d'entraînement pendant laquelle les pictogrammes sont associés à des explications verbales [WOG, SOJ & BRE, 02]. Dans cette étude, des pictogrammes faciles et difficiles sont utilisés dans le domaine pharmaceutique (ne pas prendre si vous êtes enceinte) ou industriels (sortie de secours). Des tests de compréhension sont effectués aussi tôt après la présentation, après un apprentissage où quelques mots ou un texte explicatif sont associés à l'image, puis une semaine ou 6 mois plus tard. L'apprentissage permet de multiplier par deux la performance (environ 80% au final) pour les pictogrammes difficiles et cet effet se maintient à long terme.

Une autre raison de l'inefficacité observée de certaines illustrations est la difficulté d'intégration des informations fournies par l'illustrations avec les autres informations du document, notamment le texte, ou avec les propres connaissances du lecteur. Ils peuvent avoir pour source une densité d'informations illustrées qui complique la mise en relation du texte avec les éléments du schéma. Cette élaboration de liens référentiels entre sources d'informations dans les documents multimédias est primordiale. Tout ce qui pourra la faciliter aura des effets positifs sur l'efficacité du document. Nous y reviendrons ultérieurement.

Les apports des illustrations dépendent aussi de leur caractère explicite dans la description d'une procédure. En effet, même si nous avons souligné le caractère positif de la présence d'une illustration dans la réalisation d'inférences, il ne faut pas penser que le simple fait de joindre une illustration va permettre la réalisation de toutes les inférences nécessaires à la réalisation de la procédure. Ainsi, Novick et Morse ont évalué l'efficacité d'un diagramme final ou d'une séquence d'actions illustrées dans une tâche de pliage de papier (origami). La séquence est plus efficace si le pliage est complexe. Cette supériorité est liée aux inférences (étapes non explicites) à réaliser sur le diagramme plus qu'au nombre d'étapes de la procédure elle-même.

L'efficacité observée des illustrations multiples dans cette étude peut conduire à penser que des illustrations présentant explicitement les étapes d'une procédure en continu seront plus pertinentes. Les progrès technologiques permettent aujourd'hui de proposer des illustrations plus élaborées qui répondent à cette demande : les animations.

Les effets positifs de la présence d'illustrations dynamiques sur la compréhension [MAY & AND, 92] de documents techniques sont déjà largement attestés. La présence d'une animation accompagnant un document sonore facilite sa mémorisation ainsi que résolution de problèmes de compréhension par rapport à une condition où le document sonore est présenté seul.

b. Les illustrations dynamiques

Les progrès technologiques permettent aujourd'hui de proposer des illustrations plus élaborées. Il s'agit par exemple d'illustrations dynamiques (*animation*) présentant en mouvement une procédure ou le fonctionnement d'un système.

Les effets positifs de la présence d'une animation accompagnant un document sonore facilite sa mémorisation ainsi que la résolution de problème de compréhension [MAY & AL, 91, 92 ; HID, 02a] par rapport à une condition où le document sonore est présente seul.

La présence de démonstration animée serait, par exemple, utile lorsque la tâche implique de réaliser l'action dans un délai de quelques minutes après la démonstration [PAL & AL, 93].

L'utilisation de l'aide d'un moteur de recherche Internet en appuyant sur ce principe. L'aide fournie à la base est écrite, Elle présente le système de syntaxe de recherche utilisée par ce moteur. Les effets d'une telle aide si elle est complétée par une démonstration animée (figure 5) qui illustre le processus de saisie de requêtes [HID & AL ,02].

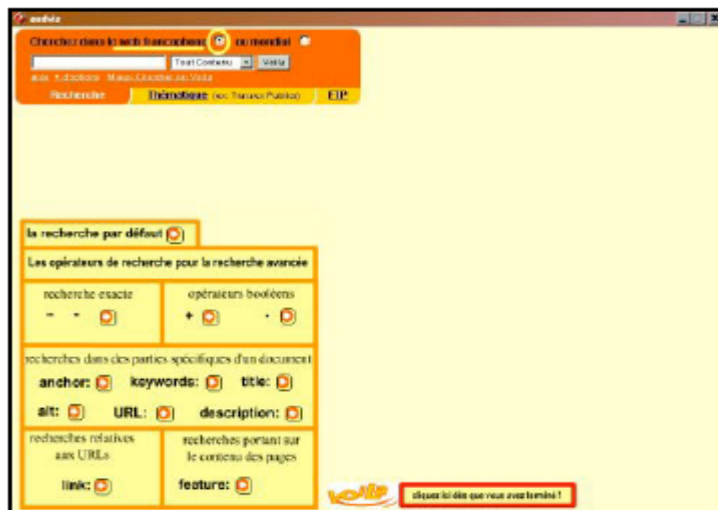


Figure 5 : Interface de l'aide auditive présentée avec une animation explicative (en haut à gauche), d'après (Hidrio et al.,2002)

Après une phase d'apprentissage du document, des utilisateurs novices sont placés dans une situation de recherche virtuelle d'information sur le web. Le nombre de requêtes correctement effectuées est mesuré. La présence d'une animation permet le passage d'une proportion de réponse correcte d'un tiers à la moitiés des requêtes. La présence d'une animation explicative ou de démonstration semble donc avoir un effet positif, si on la compare à des conditions ou elle est absente.

Néanmoins, la comparaison des deux types d'illustration (statique vs dynamique) fournit des résultats beaucoup plus mitigés. Les travaux ayant été amenés à effectuer ce type de comparant ont abouti à des résultats différents, principalement par manque de contrôle méthodologique et de cadre théorique consistant [BET & AL, 00] ; [PAR & AL., 93] ; [RIE, 90]. On peut toute fois noter que les recherches les plus récentes relèvent de plus grandes difficultés associées à l'extraction d'information visuo-spatiales à partir d'illustration dynamiques qu'à partir d'illustration statique [SCH & AL., 99]; [LOW, 99]. Ces difficultés seraient relative à :

- La fugacité des animations [SCH, 01];
- Un traitement non actif des informations imagées (l'apprenant serait passif devenant l'animation [SCH, 01]);
- Une sélection d'informations pertinente pour l'apprentissage [LOW, 99] parce que elles sont mises en saillance par l'animation.

Ces résultats ont été obtenus dans le cadre de l'apprentissage de textes écrits, et on peut s'attendre à des résultats différents avec des documents oraux. [HID & AL, 02b] ont par exemple comparé

l'apprentissage d'une explication orale (portant sur le principe de fonctionnement du cycle à quatre temps d'un moteur à essence) accompagnée de divers type d'illustration ;

- Statique simple : une seule illustration du système présentée « à l'arrêt » ;
- Statique multiple : une illustration statique caractéristique du cycle en cours illustre chaque temps (des flèches ont été ajoutées sur chaque illustration pour simuler indirectement les mouvements des éléments; une seule illustration est présente à la fois à l'écran) ;
- Dynamique : une animation est synchronisée au discours.

Une condition contrôlée sans illustration a également été testée. Il faut également noter que chaque type d'illustration disposait d'une même légende, indiquant les principaux éléments du système. Les résultats de cette expérience ont montré l'effet bénéfique des illustrations uniquement pour le format animé (meilleur rappel et réponses plus justes à un questionnaire d'inférence). Aucun effet des illustrations statiques n'est apparu, que ce soit pour le format statique simple ou le format statique multiple. L'apprentissage du document choisi. Un système mécanique ou les interactions (événement visuo-spatiaux) entre les éléments du système sont centrales à la compréhension, le format dynamique semble supérieur à tout format statique.

Des études plus récentes démontrent même que des illustrations statiques peuvent être plus efficaces que des animations. L'une des explications les plus souvent avancées concerne la nature du traitement que vont mettre en œuvre les utilisateurs devant une illustration statique. Pour comprendre le système, ils vont devoir souvent mettre en place des processus d'animation mentale. Cette mise en place implique évidemment une volonté de la part de l'utilisateur, qu'il possède les aptitudes pour le faire, nous y reviendrons, mais aussi que le document lui-même soit suffisamment informatif pour que l'animation mentale soit possible. Si toutes ces conditions sont remplies, l'animation mentale qui est un processus actif d'apprentissage, serait plus efficace que le traitement plus passif d'une animation multimédia, notamment si la tâche à effectuer implique ensuite un tel processus dynamique.

Si l'effet des illustrations est clairement établi, le rôle du dynamisme est donc beaucoup moins clair. Le bénéfice des animations existe pourtant dans certaines études, l'effort doit donc se porter maintenant sur la conception d'animations plus efficaces, et mieux adaptées aux tâches pour lesquelles elles sont proposées plutôt que d'être un simple argument commercial ou esthétique comme elle le sont trop souvent aujourd'hui.

2. Principe de contiguïté spatiale

Le principe de contiguïté spatiale s'appuie sur la capacité limitée de traitement de la mémoire de travail, et plus exactement du sous-système visuel de cette mémoire. L'utilisation de sources d'informations visuelles multiples (*texte et illustration par exemple*) peut entraîner un effet de partage attentionnel gênant pour l'apprentissage [CHA & SWE, 91]. On peut aussi faire l'hypothèse que la lecture d'un texte illustré doit être constamment interrompue pour aller chercher dans le schéma l'élément correspondant. Ces allers et retours peuvent être suffisamment longs pour qu'une partie des éléments du texte soient beaucoup moins actifs en mémoire de travail, voire tout simplement oubliés. Le rapprochement physique de ces sources d'informations visuelles devrait permettre de limiter ces effets en facilitant la mise en relations des éléments textuels et illustrés et en diminuant le temps de recherche. De fait, l'intégration spatiale des éléments textuels et illustrés permet une utilisation plus

efficace du document dans des domaines variés : apprentissage de notions d'anatomie (voir figure 6), de géométrie, d'électricité, ou d'informatique [TRI, 98].

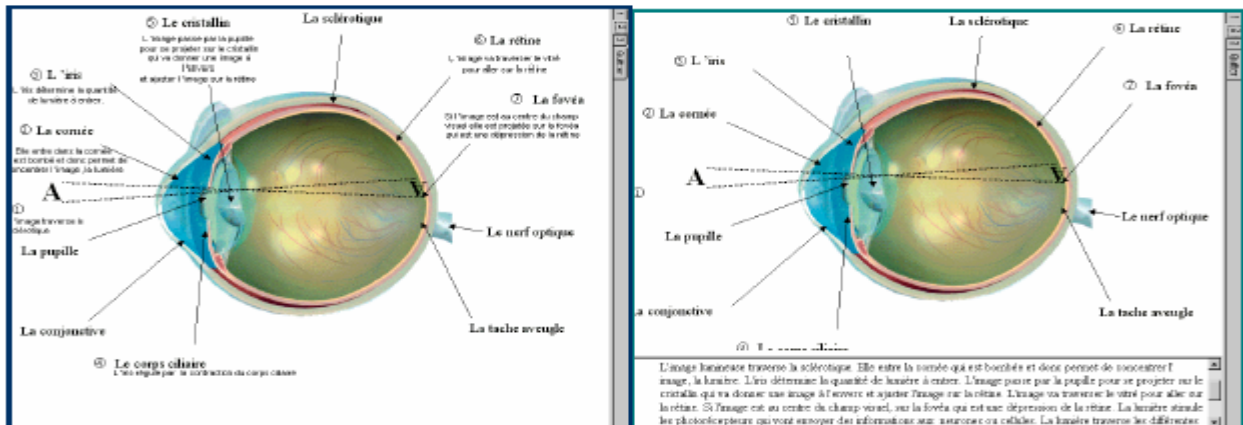


Figure 6 : Version intégrée et séparée des schémas, d'après Jamet (2000)

Si l'intégration texte-illustration a généralement des effets bénéfiques, elle a cependant un certain nombre de limites : l'aspect esthétique du document est souvent très critiquable ; la quantité d'information textuelle est très limitée et l'on contraint le lecteur à lire toutes les informations textuelles même s'elles ne lui sont pas nécessaires.

L'une des solutions à ce problème viendra peut-être du développement dans les documents électroniques des pop-up. Ces fenêtres ponctuelles apparaissent à la suite d'un clic ou d'un passage de la souris sur un lien hypertexte à l'endroit où était positionné le curseur. Il s'agit donc d'une forme d'intégration spatiale qui n'est pas soumise aux mêmes limites que l'intégration spatiale classique. L'étude réalisée par Bétrancourt et Bisseret [BET & BIS, 98] démontre les avantages en terme d'apprentissage de cette forme d'intégration. Dans cette expérience, des schémas sur le fonctionnement d'un système d'évacuation des fumées sont proposés en version intégrée ou non. La qualité du rappel est supérieure pour les fenêtres ponctuelles. Les études sont ici peu nombreuses, mais l'utilisation de ces info-bulles semble tout a fait prometteuse.

3. Principe de contiguïté temporelle

Dans le modèle de Mayer, l'intégration des informations issues de l'illustration est réalisée en élaborant des liens référentiels avec les informations textuelles correspondantes. Cette élaboration est réalisée en mémoire de travail et sa qualité dépend entre autres de la présence simultanée dans cette mémoire de travail des différentes sources d'informations. Les caractéristiques de cette mémoire sont connues : capacité limitée de traitement et caractère temporaire du stockage des informations. Ces caractéristiques impliquent que des informations ont une probabilité importante de ne plus être actives en mémoire quelques secondes après leur traitement. Si les informations d'un schéma et d'un texte doivent être intégrées mentalement, la probabilité de leur co-activation en mémoire de travail sera plus forte si elles sont présentées et traitées simultanément dans le document.

Plusieurs expériences réalisées au début des années 80 ont testé cette hypothèse en présentant de manière synchrone ou successive des éléments visuels et leurs commentaires sonores [BAG, 84]. Plus récemment, c'est l'équipe de Mayer qui a reproduit cet effet en utilisant des animations multimédias [MAY & AND, 92]. Elles démontrent toutes la supériorité d'une présentation simultanée des informations visuelles et orales.

Dans une série d'études récentes s'appuyant sur ce principe, ils ont tentés de l'optimiser dans une situation de présentation synchrone d'éléments explicatifs illustrés et oraux. Ce type de présentation est considéré comme permettant déjà un traitement contigu. La recherche des éléments illustrés correspondant au discours peut être néanmoins suffisamment longue dans un schéma complexe pour que le traitement des deux sources soit asynchrone. Si les éléments du graphique sont présentés séquentiellement au moment où ils sont évoqués à l'oral, cette mise en correspondance devrait être facilitée. Ils ont testé cette hypothèse [JAM & BOU, 02] en comparant des versions séquentielles à des versions statiques de schémas explicatifs (Voir figure 7)

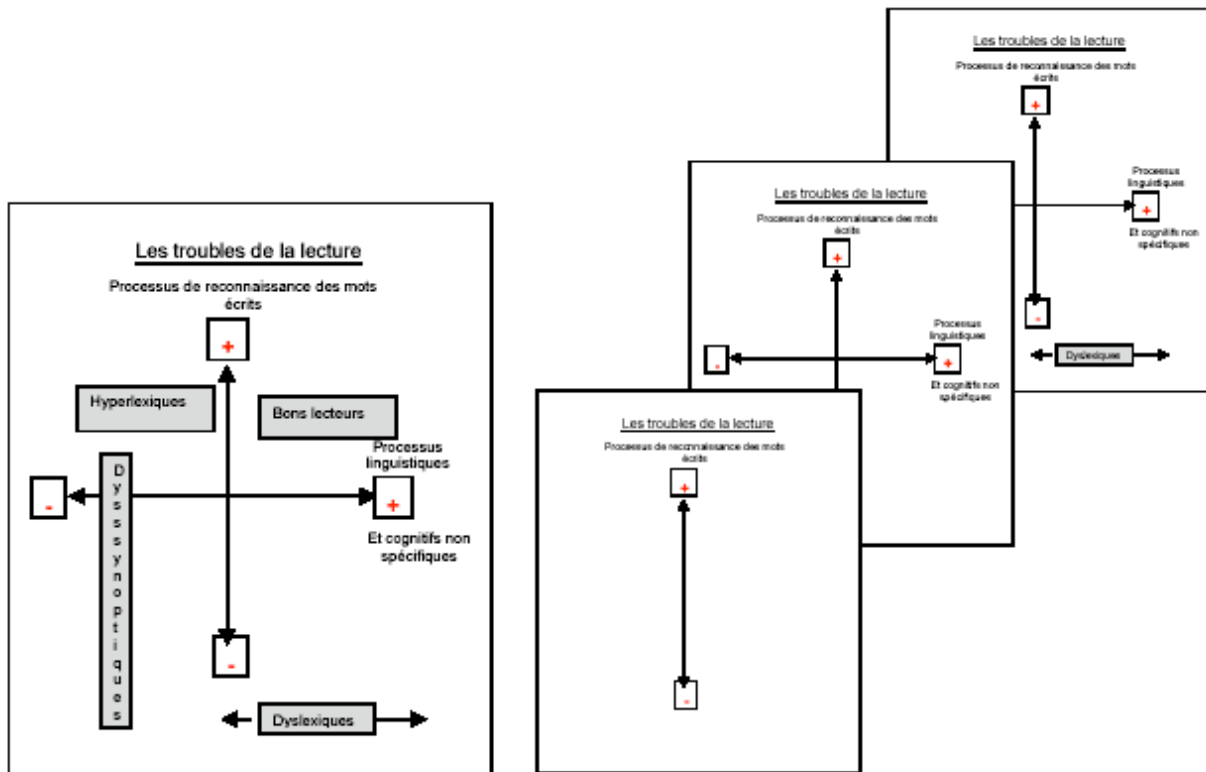


Figure 7 : versions statique et séquentielle (exemples) des schémas

Les résultats que nous observons démontrant la supériorité du format séquentiel tant au niveau de la mémorisation des éléments du documents que de la réalisation d'inférences. Pour conclure sur ce principe, on peut donc recommander de proposer les éléments oraux simultanément aux graphiques et de faciliter ce traitement contigu en mettant en saillance l'élément visuel au moment où il est évoqué dans l'explication.

4. Principe de modalité

Nous avons constaté que l'intégration spatiale était une solution intéressante pour pallier la difficulté de traitement de sources d'informations multiples visuelles. Les documents électroniques offrent une autre possibilité, celle de l'utilisation du canal auditif pour présenter certaines des informations. Cette utilisation optimisée des modes d'entrées du système cognitif devrait permettre une meilleure répartition des ressources cognitives et permettre un traitement plus synchrone des deux sources d'informations. Les comparaisons de documents comportant une série d'information écrite accompagnant un schéma à une version des documents où les informations explicatives du schéma sont proposées à l'oral montrent une supériorité des documents audiovisuels. L'effet est par exemple observé pour des documents de type schémas électriques destinés à des apprentis ou pour des animations expliquant la formation des éclairs [MAY & MOR, 98]. Dans la première étude citée, l'effet n'apparaît pas pour un matériel simple (des représentations de composants avec leur désignation). Souvent les effets de formats apparaissent pour des documents suffisamment complexes pour imposer une charge élevée sur la mémoire de travail. A titre d'exemple, l'étude réalisée sur la syntaxe de recherche du portail Internet comportait aussi une version auditive de l'explication pour accompagner les animations.

Les effets de modalité précédemment cités concernent des documents illustrés. Il ne faut pas généraliser ces recommandations à des documents non illustrés. En effet, la mémorisation de textes longs de ce type est souvent meilleure lorsqu'ils ont été lus, notamment en fonction du contrôle qu'exerce le lecteur sur sa prise d'informations (possibilité de ralentir, de faire des retours en arrière par exemple) [JAM, 98]. Pour des instructions courtes, la modalité orale peut être recommandée pour une utilisation immédiate des informations. Cette modalité a aussi l'avantage de permettre un traitement sensoriel n'exigeant pas que l'utilisateur fixe son attention au préalable sur la source d'information comme en modalité visuelle.

En termes de recommandations, il est donc préférable d'utiliser des informations verbales orales pour accompagner d'autres sources visuelles ou pour utiliser une information verbale seule immédiatement. La modalité écrite sera préférable pour des textes longs, ou quand, plus simplement, l'environnement sonore créé par le document ou son environnement compromet toute utilisation efficace de l'oral. Ces recommandations sont bien évidemment générales et de multiples situations spécifiques impliquent de les moduler : utilisateurs faiblement lettrés ou jeunes, handicap sensoriel, environnement sonore bruyant, etc.

5. Principe des différences entre individus

Pour comprendre un système mécanique présenté sur un schéma, il est souvent nécessaire de l'animer mentalement. Deux chercheurs [HEG & SIM, 94] de l'université de Santa Barbara ont évalué les aptitudes visuospatiales d'un groupe d'étudiants avec des tests classiques impliquant des épreuves de manipulation mentale de formes ou de pliages. Ils ont ensuite contrasté deux groupes d'étudiants sur la base de cette aptitude, un groupe fort et un groupe faible. On propose ensuite à ces deux groupes des épreuves de vérification de phrases à partir de schémas composés de systèmes complexes de poulies. Le groupe ayant les plus faibles aptitudes visuospatiales éprouve des difficultés importantes pour vérifier les phrases impliquant une animation mentale (par exemple : la poulie de gauche va tourner de gauche à droite). Ce type d'animation mentale, primordial pour la compréhension d'un système technique, semble donc être dépendant des capacités visuospatiales des individus.

Ces mêmes aptitudes semblent prédire aussi les bénéfices de l'effet de contiguïté temporelle que nous avons déjà évoqué. Mayer et Sims ont ainsi démontré que les bénéfices de présentation simultanée d'une animation et de son explication sont nettement plus importants pour les individus les plus efficaces dans les épreuves visuospatiales. Des différences importantes apparaissent aussi dans le niveau de connaissances préalables des utilisateurs de documents techniques. Les effets de formats de présentation seront liés à ces connaissances. Tout d'abord, ces effets sont souvent observés chez des novices. Il en est ainsi des effets positifs de l'illustration ; de l'intégration texte-image [JAM, 00] ou des effets de modalité [KAL, CHA & SWE, 98] qui disparaissent souvent avec l'expertise. L'une des conséquences de l'expertise est l'élaboration en mémoire de schémas. Ces structures d'organisation de l'information (par exemple les étapes d'une procédure technique) peuvent être facilement évoquées par l'expert avec un coût en mémoire de travail très faible. Chez un novice, la surcharge que peut provoquer l'activation d'informations multiples en mémoire de travail est aggravée par un mauvais format de présentation. Chez l'expert, l'activation de schémas en mémoire peut permettre une gestion plus aisée de ce même format. Une amélioration de ce dernier n'aura donc pas nécessairement d'effet.

De même, on sait que le raisonnement inférentiel est aussi très difficile pour le novice alors qu'il l'est beaucoup moins pour l'expert. Les illustrations qui peuvent être une aide importante pour la réalisation d'inférences auront donc un rôle primordial pour les novices uniquement. Leur effet diminuera au fur et à mesure que la qualité de ce raisonnement s'améliorera avec l'augmentation des connaissances.

6. Principe de redondance

L'effet de redondance peut avoir deux origines : la répétition d'informations dans le document ou l'inutilité, voire le caractère gênant de certaines informations parce qu'elles sont connues de l'utilisateur.

La répétition d'informations sous différentes formes est généralement bénéfique pour l'apprentissage. Cette duplication des informations peut malheureusement avoir des effets négatifs si elles entraînent une surcharge en mémoire de travail. Une étude de l'équipe de John Sweller a ainsi montré que la suppression de certaines légendes redondantes avec les flèches d'un schéma permettait une amélioration des performances.

La même équipe a pu montrer que le fait de dupliquer à l'écrit un commentaire oral accompagnant un schéma avait des effets négatifs. Le même type d'effet a été mis en évidence pour des animations multimédias : l'ajout à l'écrit du commentaire oral entraîne une baisse des performances [MAY & MOR, 99].

Dans une étude réalisée sur des documents de type diaporama informatisé au sein de Laboratoire de Psychologie Expérimentale – CRPCC Université de Rennes 2, ils ont mis en évidence un effet similaire. Ce type d'outil combine des explications orales à des informations écrites sur l'écran. L'utilisation d'une redondance totale entre ce qui est dit et ce qui est écrit est moins efficace que l'utilisation d'une simple explication orale [BOH & JAM, 02]. Ici c'est probablement la surcharge liée au traitement de l'écrit dans un temps de traitement imposé par l'oral qui explique cet effet. Il faut donc rester prudent quant à une généralisation de ces résultats à une situation où l'utilisateur maîtriserait le rythme de présentation de chaque phrase dans un système plus interactif. Il ne faut donc pas en conclure que la suppression systématique de l'écrit accompagnant une explication orale aura des effets positifs. Par exemple ; lorsque le texte explicatif est simple, la suppression de l'écrit peut avoir des effets

négatifs. Dans une expérience réalisée sur le portail Internet, la mémorisation des services offerts par le site était très peu différente en situation unimodale, qu'elle soit orale ou écrite, ou multimodale redondante. Ce type de présentation redondante doit faire l'objet de nouvelles analyses, mais il est déjà clair au regard des résultats existants qu'il semble préférable de l'éviter pour des documents complexes impliquant notamment des illustrations.

La redondance est bien sûr liée aussi au degré de connaissances de l'utilisateur. Une information peut devenir inutile du simple fait qu'elle est connue et donc cette fois redondante avec les savoirs de l'individu. Une expérience récente réalisée par une équipe australienne illustre les deux types de redondance que nous venons de citer [KAL, CHA & SWE, 00].

Des apprentis sont confrontés à un document multimédia portant par exemple sur la démarche à suivre dans une procédure de perçage des métaux. Les instructions à suivre sont présentées à côté d'un diagramme associant le diamètre du foret, la vitesse de rotation de la perceuse et la nature des métaux. Les instructions peuvent être absentes, écrites, orales ou présentées dans ces deux modalités simultanément. L'apprentissage du document est évalué une première fois, puis une seconde après une phase d'entraînement. Lors de la première évaluation, le format associant le diagramme à des instructions orales est le plus efficace. Ceci est conforme à l'effet de modalité évoqué plus en avant. Conformément à ce que nous avons énoncé, le format redondant est moins efficace (principe de redondance). Le format le moins approprié est le diagramme sans illustration, ce qui confirme la nécessité pour les novices d'explications textuelles associées aux schémas (cf. partie principe multimédia). Lors de la seconde évaluation, ce diagramme sans instruction est aussi efficace que la version diagramme plus explication orale. La croissance des connaissances des apprentis pendant la phase d'apprentissage leur a permis de se passer de ces instructions cette fois redondantes avec leurs connaissances. Au final, ce document qui était le moins efficace en début d'apprentissage s'avère être le plus intéressant non seulement parce qu'il permet des performances relativement bonnes mais aussi parce qu'il a été traité beaucoup plus rapidement que les autres documents pendant l'apprentissage.

7. Principe de cohérence

Trop d'information tue l'information. Cette affirmation pourrait résumer ce dernier principe. Le traitement d'informations non pertinentes pour la compréhension, des détails, des anecdotes, des sons est en effet susceptible d'entraîner une utilisation moins efficace du document. Les travaux de Mayer illustrent par exemple l'effet négatif de détails ajoutés dans le but de provoquer l'intérêt de l'auditeur, par exemple, les statistiques d'accident dans une animation explicative sur la foudre. Ils démontrent aussi les effets positifs de la concision sur le rappel d'un texte explicatif [MAY, BRY, MAR & TAP, 96].

D'autres études démontrent des performances moindres lorsque l'apprentissage est réalisé dans un environnement sonore. Le traitement irrépressible d'un fond sonore vocal non pertinent (musique, sons) par la mémoire de travail perturbe par exemple le rappel dans l'ordre d'éléments ou la compréhension de phrases et ce même si la source principale d'informations est écrite. Il existe dans cette interférence une composante phonologique - des sons non-linguistiques ne sont pas gênants- mais aussi sémantique. Un environnement vocal issu d'une langue étrangère est moins interférant qu'un fond sonore de la langue maternelle. Ces résultats prennent toute leur importance à l'heure où les algorithmes de compression sonore permettent la sonorisation de nombreux documents électroniques. On ne peut donc qu'inciter à la prudence les concepteurs de documents dont l'objectif serait la compréhension ou la mémorisation. En revanche, rien ne permet à l'heure actuelle de faire des

conclusions similaires pour une utilisation différente : recherche d'information ou navigation dans un site par exemple.

8. Conclusion

Les travaux présentés dans ce chapitre, nous semblent avoir un certain nombre de retombées sur la conception de documents numériques pour l'apprentissage :

- Ainsi la présence d'illustrations explicatives est généralement bénéfique notamment pour des novices. Leur efficacité peut être accrue en facilitant leur mise en relation avec le texte par un système d'intégration spatiale, notamment sous forme de pop-up ;
- L'utilisation d'illustration dynamique fait encore l'objet de controverses. Les conditions dans lesquelles elles sont plus efficaces que des illustrations statiques ne sont pas encore clairement définies alors qu'elles représentent un investissement en termes de développement informatique plus important ;
- En revanche, les travaux réalisés sur l'effet de modalité montrant clairement que l'utilisation de modalité auditive est préférable à la modalité visuelle (*schémas ou tableau par exemple*). Cet effet de modalité ne doit pas laisser penser que l'utilisation systématique de plusieurs modalités sera bénéfique. Dans le cas précédent, le bénéfice ne sera réel que si les deux types d'informations comportent des liaisons réciproques ;
- De même, le fait de dupliquer une information dans plusieurs modalités peut entraîner très rapidement une surcharge du système cognitif (*effet de redondance*), notamment lorsque l'utilisateur n'a pas la possibilité de maîtriser le rythme de présentation des informations ;
- Enfin, nous soulignons encore une fois la nécessité de prendre en compte le niveau de connaissance de l'utilisateur dans la thématique abordée. Généralement, les effets de formats de présentation sont particulièrement forts chez les novices.

Les documents doivent donc faire l'objet d'une attention particulière quand ils sont destinés à cette population. Néanmoins, il faut aussi garder à l'esprit qu'un format adapté à ce manque de connaissances peut s'avérer gênant lorsque les connaissances progressent ou lorsque d'autres utilisateurs sont « *moins novices* ».

De plus, l'hypermédia peut être vu comme un artefact complexe, présentant de multiples fonctionnalités. Ces fonctionnalités et la structure de l'hypermédia représentent pour l'utilisateur un espace de navigation, éminemment sémantique, et peut être même spatial. Ce dernier point qu'on va évoquer concerne l'interface d'un hypermédia, cette interface peut créer une surcharge cognitive chez l'apprenant, pour cela on va faire un tour sur les diverses approches de la conception des interfaces.

Chapitre IV : L'interface et les environnements d'apprentissage

Diverses approches viennent inspirer la conception d'interfaces. D'abord, les premières recherches sur l'utilisabilité des systèmes informatiques soulignent l'importance des interfaces dites « à manipulation directe », qui laissent le contrôle à l'utilisateur en lui fournissant de la rétroaction, une meilleure visibilité, en facilitant sa compréhension des composantes et des activités du système. À l'opposé l'interface soit plus intelligente et dirige davantage l'interaction, en fournissant à l'utilisateur des outils plus puissants, en réduisant la complexité de ce qu'il manipule et en lui fournissant des raccourcis. Enfin un autre courant de recherche, confronté aux difficultés d'implantation des systèmes, insiste sur la nécessité d'intégrer les outils au contexte réel des activités et aux dimensions sociales de l'interaction. Dans ce chapitre nous allons faire un tour d'horizon sur ces différentes approches.

1. Les interfaces de manipulation directe

Depuis les années 70, l'émergence de nouveaux concepts a permis la mise en œuvre d'interfaces résolument tournées vers l'utilisateur et fondées sur le concept de manipulation directe. La littérature [HUT & AL, 85] donne le travail de [SUT, 63] comme la première création basée sur la notion de métaphore, la métaphore du cahier d'essai ou du cahier de brouillon. Les contraintes techniques ont été des facteurs importants dans le retard de la généralisation de ce type d'interface. Dans les années 80, des études fondamentales, menées au centre de recherche de Rank Xerox à Palo Alto (Californie, Etats-Unis), ont conduit au développement de la "*Star Machine*" [SMI & AL, 82]. L'idée essentielle des chercheurs de Xerox Parc, qui ont travaillé sur la conception des interfaces homme-machine, est basée sur la notion de métaphore du bureau. Cette métaphore consiste dans la présentation sur un écran des symboles "familiers" d'objets sur un bureau. Ces objets pouvaient être sélectionnés et manipulés en les désignant avec un curseur contrôlé par une souris électronique. Malgré l'idée innovatrice de cette interface, il faut attendre l'apparition du *Macintosh* avec son système de "bureau électronique" et le développement de programmes comme *LisaDraw* et *MacDraw* pour rendre célèbre ce type d'interface.

1.1. Définition de la manipulation directe

Le terme de manipulation directe a été introduit dans la littérature par Ben Shneiderman [SHN 82, 83]. Dans la définition proposée, de nombreuses idées déjà mises en application avec la *Star Machine* [SMI & AL, 82] se retrouvent.

Pour Shneiderman, une interface est dite de manipulation directe si elle possède les propriétés suivantes :

1. Les objets concernés ont une représentation permanente,
2. Des actions physiques directes ou l'appui sur des boutons étiquetés sont utilisés au lieu de commandes textuelles de syntaxe compliquée,
3. Le résultat des actions sur les objets est immédiatement visible,

4. Les opérations sont rapides, incrémentales et réversibles.

Quelques précisions nous semblent nécessaires.

Au lieu d'une syntaxe compliquée, l'utilisateur utilise des actions physiques directes ou appuie sur des boutons étiquetés. Ce procédé a été traduit par le principe suivant : "voir et montrer au lieu de se rappeler et taper". Ce principe était déjà présent dans la métaphore du bureau électronique de la *Star Machine*. Sur le bureau, l'utilisateur réalise des opérations en choisissant dans une sélection proposée à l'écran. Il interagit directement au niveau de l'écran en choisissant des objets et en exécutant des opérations au moyen d'un dispositif de pointage qui sert à désigner des éléments disposés sur le bureau. Toutes les actions sur les objets de l'écran sont effectuées par l'intermédiaire d'un outil de désignation, la souris en général, et non pas par des commandes cachées. «Les objets peuvent être compris purement au point de vue de leurs caractéristiques visibles. Les actions peuvent être comprises au point de vue de leurs effets sur l'écran.».

Les premières et les troisièmes règles constituent un principe des interfaces de manipulation directe qui est le fameux WYSIWYG, de l'anglais "What You See Is What You Get", ou "Tel écran, tel écrit". Ce principe est attribué principalement à Don Hatfield d'IBM (Etats-Unis) pour décrire l'approche générale de ce type d'interface. Il n'y a pas de différence significative entre ce que l'utilisateur voit à l'écran et ce qu'il obtient après impression.

1.2. La manipulation directe dans les environnements d'apprentissage

Dans le cas d'un modèle mathématique complexe, la manipulation directe ne suffit pas à appliquer toutes les actions possibles pour la construction ou la manipulation d'objets. Dans certains cas, les manipulations peuvent être précédées de déclarations de la part de l'utilisateur, afin de préciser la nature de son action, afin que le système dispose des informations en quantité suffisante permettant de transformer cette action. Cependant, dans cette transformation, une part importante à l'interprétation concerne ce qui n'est pas déclaré par l'utilisateur. Cette interprétation peut encore être traitée par le système afin que les actions de l'utilisateur aient un sens par rapport au modèle mathématique. Elles se traduisent par la mise en œuvre des intentions de ce dernier.

Le principe de la manipulation directe énoncé par Nanard insiste toutefois sur le fait que les articulations entre les intentions de l'utilisateur et les actions qu'il peut entreprendre doivent être réduites. Dans le cas de l'apprentissage, l'utilisateur doit pouvoir exprimer ses intentions suffisamment librement pour avoir l'impression d'engagement direct, c'est-à-dire d'agir librement sur les objets. Les contraintes liées aux manipulations des objets et les relations représentées dans l'environnement doivent apparaître, dans les rétroactions de cet environnement vis-à-vis des actions de l'utilisateur, uniquement comme des contraintes qui déterminent les actions de l'utilisateur [BEL, 92].

Ainsi, pour parvenir à ce fonctionnement, le système doit disposer, en plus des caractéristiques du domaine mathématique, des connaissances sur l'utilisateur afin de pouvoir déterminer ses intentions. Le système doit avoir la capacité d'interpréter le plus d'actions possibles, qu'elles soient conformes à des opérations permises sur les objets ou en marge de ces opérations. Cette capacité d'interprétation doit remplacer ce qui n'est pas explicitement déclaré par l'utilisateur pour préciser la nature de ces actions.

De la même façon que la formulation de commandes, le système a aussi, avec la manipulation directe, le rôle complexe d'interpréter, en fonction de multiples critères, les actions de l'utilisateur. Cependant, même si cette interprétation du système reste pauvre et qu'elle ne permet pas une réelle manipulation directe, elle n'a pas les mêmes exigences ni les mêmes manifestations lorsqu'elle gère la

manipulation physique de représentations que lorsqu'elle gère des commandes. La manipulation directe offre en particulier la possibilité à l'utilisateur d'effectuer des actions souvent accompagnées d'implicites, sans qu'il ne soit forcé par une formulation spécifique à expliciter ces implicites. Par ailleurs, les réponses du système aux formulations de l'utilisateur peuvent porter sur des problèmes syntaxiques spécifiques du langage ou des aspects formels n'ayant pas toujours un sens pour l'utilisateur.

1.3. Les inconvénients de la manipulation directe

Le premier des problèmes posés par la manipulation directe est la représentation à l'écran des entités abstraites. Selon les outils dont on dispose, cette représentation est plus ou moins facile.

Le problème est de trouver un moyen de représenter des données, pour permettre leur compréhension et leur manipulation. La représentation spatiale des objets et leurs symboliques, la sélection directe des objets, et les commandes complexes ou répétitives sont d'autres problèmes à résoudre pour obtenir une interface de manipulation (voir figure 8).

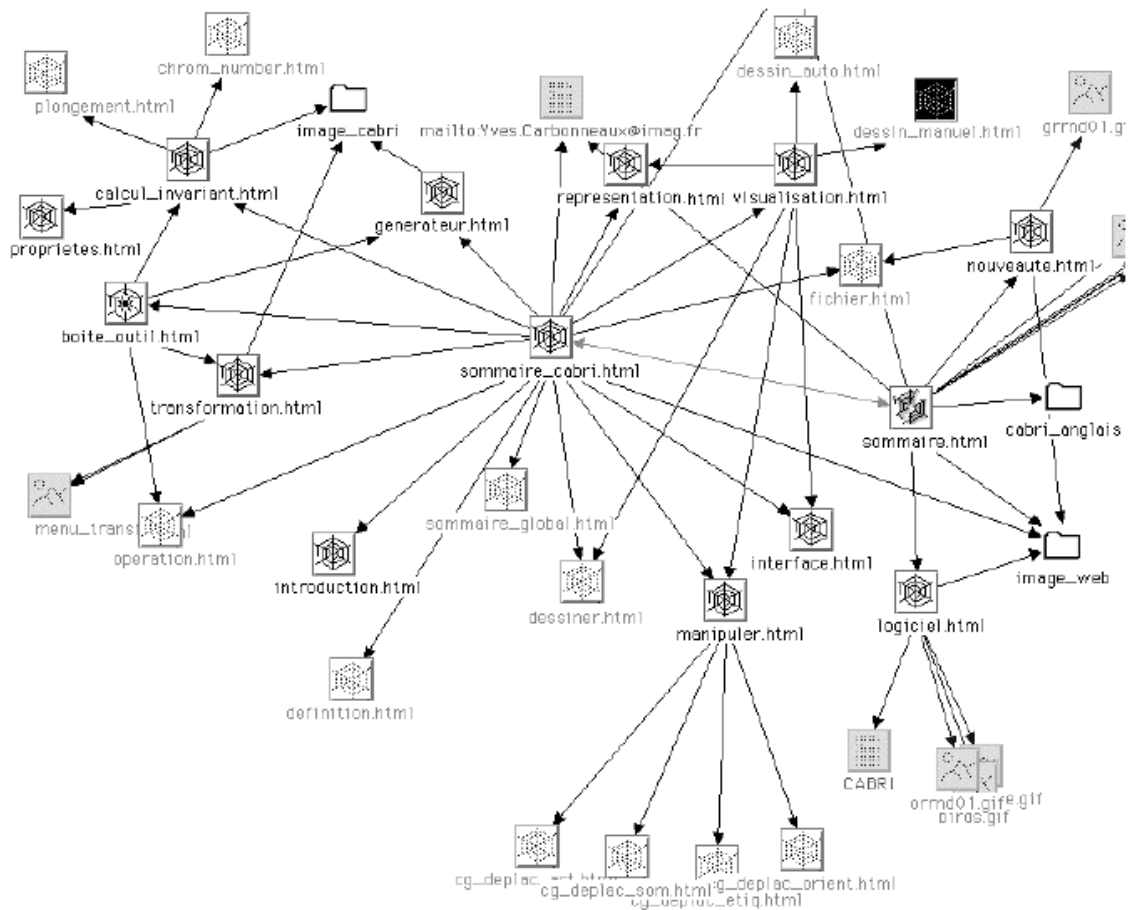


Figure 8 : Début de l'architecture du site relatif à *Cabri-graphes*

2. La théorie de l'activité humaine et le design d'interfaces

Il est important d'ajouter que l'individu n'entre jamais vraiment en relation directe avec le monde qui l'entoure du fait des différents moyens qu'il emploie pour agir, à commencer par les plus fondamentales - bien que très insaisissables - médiations que sont la culture (avec toutes ses sous-cultures, professionnelles, etc.) et le langage. Par ailleurs, si l'activité humaine individuelle est conduite par le biais d'actions qui sont motivées par des besoins, ils peuvent être incertains ; tout comme l'activité collective est menée par l'intermédiaire des activités individuelles qui peuvent avoir des objectifs différents de celui qui est poursuivi au niveau collectif.

Comme le terme l'indique, les opérations se situent encore à un autre niveau, celui de l'exécution opérationnelle des actions. Dans la mesure où le coeur de l'interaction humain-ordinateur en rapport à l'interface-usager concerne le niveau opérationnel et les changements de niveaux d'action, il nous semble important de citer ici les définitions-clés que nous offre Bødker :

«Operations are sensomotor units that a human being performs in a specific situation, without consciousness, to carry out the actions of which the human being is conscious.» [BØD, 91].

«Actions can be operationalized, that is turned into operations. Operations can be conceptualized. Conceptualization means to articulate for oneself what is other self-evident.» [BØD, 91]

Ces concepts sont puissants d'un point de vue du design car ils permettent de faire concrètement ressortir les points incertains du « mécanisme » de l'activité humaine médiatisée par ordinateur et l'imbrication « pratico-conceptuelle » que cela constitue.

Comme l'écrit Bødker:

«For the purpose of design, it is interesting to focus on the character of the operations and their material conditions: in design we are going to change operations and their conditions for a specific activity, and for that reason we need to focus on both actual operations and conditions, and future changed ones.» [BØD, 91].

Il est d'autant plus capital de faire ressortir ces points que l'usage étant nécessairement situé, les opérations qui prennent cours sont généralement non-articulées, et les conditions matérielles qui les provoquent sont le plus souvent non-articulables, car elles nous dépassent dans leur interconnection. Suchman [SUC, 87] souligne clairement le fait que l'action en contexte est fondamentalement imprévisible et indicible. C'est par la pratique des choses que l'individu développe des répertoires d'opérations qui se déclenchent d'elles-mêmes dans les conditions semblables au moment où elles sont nécessaires à l'individu dans son action.

«A group of human beings who conduct a collective activity with a specific object or goal shares a practice.» [SUC, 87].

La pratique est donc quelque chose de fondamentalement social qui se transmet de façon culturelle au sens large de tout ce que cela peut inclure comme sous-cultures (cf. la « culture familiale », la « culture d'entreprise ») et qui appartient finalement en partie à la collectivité de façon explicite (ce qui peut être partagée d'une pratique parce que articulable) et complètement à l'individu de façon personnelle et tacite (le perceptible indicible).

Ainsi, il existe un lien étroit entre ce qui est collectif et communicable et ce qui est individuel et instrumental. Plutôt que de risquer une traduction confus, je préfère ici citer à nouveau Bødker qui écrit:

«What exists on the instrumental side in a certain combination of actions realized through operations triggered by the appearance of the material conditions is on the communicative side a combination of actions realized through operations triggered by communicative actions and operations conducted by another human being.» [BØD, 91]

Une telle vision de l'activité de travail socio-instrumentale fait nécessairement ressortir à la fois la nature et le rôle sociaux de l'apprentissage. Le défi du design de système médiatisé par ordinateur est de construire sur la pratique déjà existante des usagers, et non de faire d'eux des débutants dans leur domaine du fait qu'ils doivent modifier leur pratique afin d'y intégrer l'artefact informatique. Il n'en demeure pas moins que la pratique va être nécessairement modifiée d'une certaine façon et que la transition peut être grandement facilitée si elle est accompagnée pour les usagers, d'une formation adéquate au nouveau système.

2.1. Les applications informatiques comme artefacts de l'activité

Comme nous l'avons précisé précédemment, l'idée de l'auteur demeure de développer un cadre théorique qui parte de la théorie de l'activité humaine et qui permette de conceptualiser les systèmes médiatisés par ordinateur et surtout les interfaces, de telle sorte que ces nouveaux concepts soient applicables sur le plan du design de système et d'interface-usager.

Pour commencer par le début, Bødker définit le terme artefact comme un médiateur d'actions, qu'il s'agisse de l'action d'un individu envers un autre individu ou de l'action d'un individu envers un objet (au sens d'objectif). Les artefacts ne constituent donc pas en soi la finalité de l'activité humaine, leurs utilisateurs ne sont pas sensés poser d'actions dirigées vers eux puisque pour un utilisateur, l'artefact est toujours associé à son usage originel. L'artefact est donc fortement lié à sa conception au sens où c'est l'usage auquel il est prédestiné qui lui confère sa raison d'être, son utilité, et c'est également l'usage auquel il est soumis à travers le temps qui le fait évoluer sur le plan du design. C'est également la raison pour laquelle traditionnellement, les artefacts étaient conçus par un artisan-usager versé dans le domaine d'utilisation future de l'objet afin d'assurer la dimension conceptuelle réflexive [BAR, 95].

L'artefact informatique se retrouve donc dans une situation « anormale » dans la mesure où sa création est presque toujours séparée de son usage et que de plus, sa courbe d'évolution (*learning curve*) est en général trop courte pour qu'un usage significatif permette une rétroaction utile au design suivant ou même une révision du design (*redesign*).

L'artefact informatique peut être également très différent de l'artefact traditionnel à d'autres égards. Il présente notamment la capacité d'une apparence active et non seulement passive (*active/passive externalized*), ce qui signifie que non seulement l'artefact informatique facilite le déclenchement de certaines opérations mais de plus, il peut en exécuter de lui-même, supplantant ainsi ponctuellement l'utilisateur. Par ailleurs, l'artefact informatique ne permet pas un contact direct, physique avec l'objet comme c'est le cas, par exemple, du marteau et du clou. L'artefact informatique ne permet pas d'avoir directement accès à la personne et/ou à l'objet physique envers lesquels sont menées les actions par sa médiation. Fondamentalement cependant, on peut saisir qu'en situation d'usage, les artefacts - quels qu'ils soient - jouent tous le même rôle de médiation.

Ainsi, l'artefact informatique dans son entièreté tient lieu de médiation, et à la différence de l'usage abusif courant du mot interface qui se limite au «*software*» visible à l'écran, l'auteur considère le mot interface dans son sens large, celui qui englobe les parties matérielles (*hardware*) autant que la partie logicielle (*software*) qui entrent en contact avec l'utilisateur : ce sont toutes les conditions relatives au niveau opérationnel de l'action « amenées » par l'artefact informatique.

«*The user interface is the artifact-bound conditions for how actions can be done.*» [BØD, 91]

Le terme « fonctionnalité » présente également un sens particulier pour l'auteur. Il ne s'agit pas de ce que peut faire l'application comme l'entend le sens commun dans une perspective rationnelle où tout se planifie et s'effectue par étapes. Selon la théorie de l'activité humaine, la fonctionnalité n'est pas quelque chose de fixé d'avance. Elle est plutôt une chose qui comprend certains types de situations tels la rupture ou la réflexion et qui est liée à l'usage, au sens de ce que le système rend possible par rapport à ce à quoi il est sensé servir. On peut noter ici le lien étroit avec la notion de réinvention et d'usages braconniers avancés par de [CER, 80].

Ultimement, selon la perspective théorique de l'activité humaine choisie par l'auteur, l'interaction humain-ordinateur se définit comme étant « l'opération humaine d'une application informatique ». La symétrie traditionnelle réduisant l'humain à la machine est radicalement levée dans cette re-conceptualisation de l'interaction, qui souligne en revanche bien mieux le rôle médiateur de l'artefact informatique.

2.2. Qualités de médiation de l'artefact informatique

Bødker décrit ensuite les cinq cas de figure qui résument ce qui se produit et ce que cela signifie lorsque l'utilisateur manipule un objet « à travers » l'artefact informatique et lorsque l'utilisateur communique avec un autre individu par l'intermédiaire de l'artefact. Pour le cas de la relation usager-objet :

1. l'objet n'existe vraiment qu'au sein de l'artefact (cf. la feuille de calcul qui ne conserve pas les mêmes propriétés une fois imprimée) ;
2. l'objet a une existence physique indépendante de l'artefact mais n'est présent dans l'interaction/la situation d'usage que sous forme de représentation (cf. un document dans un traitement de texte);
3. l'objet est présent physiquement en dehors de l'artefact durant l'interaction (cf. objets manipulés par des écrans de contrôle et qui existent réellement, contrairement à une situation de simulation).

Pour le cas de la relation usager-sujet:

1. le sujet avec qui l'utilisateur communique n'est pas physiquement présent durant la situation d'usage (cf. le courrier électronique);
2. le(s) sujet(s) est/sont physiquement présent(s) mais communiquent partiellement par le biais de l'artefact (cf. un terminal commun servant à une activité collective où chaque entrée de donnée(s) dans le système a une signification pour les autres, communique quelque information aux autres membres de l'équipe de travail).

Ces précisions sont utiles pour comprendre la distinction que l'auteur introduit entre les trois aspects que peuvent permettre voire même favoriser l'interface-usager au niveau opérationnel de l'action. En premier lieu, il s'agit des aspects physiques qui correspondent aux conditions de

manipulation physique de l'artefact et qui seconde les opérations de l'individu envers l'application en tant qu'objet physique.

En second lieu, il y a les aspects de manipulation de l'application qui permettent à l'utilisateur d'agir sur l'objet ou de communiquer avec un autre sujet par le biais de l'application tel que vu précédemment. Enfin, Bødker fait référence aux aspects relatifs à l'objet ou au sujet comme tels dans la mesure où ils constituent en soi des conditions d'opérations sur d'autres objets ou sujets par l'intermédiaire de l'artefact.

Vue de façon aussi détaillée et concrète, la médiation de l'interface se révèle dans toute sa complexité, ce qui vient renforcer le leitmotiv de Bødker, à savoir qu'une interface ne se divulgue réellement et pleinement qu'en situation d'usage. Selon une telle perspective, il est plus qu'intéressant de préciser ce que l'auteur entend par design de système médiatisé par ordinateur et d'interface. Vu comme un phénomène social, le design de quoi que ce soit correspond au fait de remplir un besoin, comme toute activité humaine (et non à créer une technologie se cherchant des besoins auxquels répondre).

Dans le design d'applications organisationnelles, la conception du système informatique répond surtout et avant tout à un besoin administratif au sens où c'est l'organisation qui sent la nécessité de justifier une restructuration par exemple. Dans ces cas là, le design correspond souvent à un processus résultant de négociations entre groupes et/ou individus ayant des intérêts divergents où le plus puissant l'emporte toujours (dirigeants, actionnaires, employés, etc.) Pour sa part, Bødker s'intéresse plutôt à décrire des conditions dans lesquelles selon elle, un véritable design souple, réfléchi et adéquat peut avoir lieu. Ainsi, selon elle, la situation d'usage est - et doit toujours être - à l'origine du design, dans la mesure où la véritable conception ne peut se faire qu'avec cela présent à l'esprit. Comme nous l'avons répété, le design doit partir avant tout de la pratique actuelle des futurs usagers (vs des intentions d'usage), s'effectuer selon un processus créatif voire heuristique d'apprentissage mutuel et individuel des différents participants et de leurs pratiques de travail, et s'accompagner de la formation nécessaire pour intégrer le futur artefact dans les pratiques en cours. Pour les designers, le défi est de (re)penser le design comme quelque chose qui ne peut vraiment se faire indépendamment de la pratique, ce qui implique de concevoir l'artefact tout en désignant le prototype papier ou informatique (*a materialized vision*) qui permet de se rapprocher le plus possible de la situation d'usage futur, avant qu'elle ne se concrétise définitivement.

La matérialisation de l'idée que l'on se fait de l'artefact futur oriente, favorise et facilite la discussion entre les différentes parties impliquées dans le processus qui peuvent plus concrètement s'imaginer les positions, les options, les contraintes, etc. avancées par chacun. Certes aucune approche de design n'est la panacée, mais de la même façon, aucune méthode de design n'est neutre, et bien souvent, le formalisme général des méthodes de design traditionnel vise autant à compenser un manque de compétence en design ou dans le domaine d'application qu'à respecter une méthode rigoureuse par conviction d'efficacité.

Bødker dit espérer que son soit davantage perçu comme une source d'inspiration par et pour les designers de systèmes informatisés, afin de les encourager /aider à modifier leurs pratiques, qu'une solution ou recette miracle à suivre à la lettre. Cette approche est d'autant plus appropriée lorsque l'on se trouve au début du processus de design, mais Bødker reconnaît que les méthodes de spécifications formalisations sont également utiles en toute fin de parcours, alors qu'il ne reste plus qu'à programmer d'une certaine façon.

On résumé le design doit partir des besoins de l'utilisateur dans le contexte précis de son activité. Bødker fait ressortir le fait qu'un design d'interface efficace est un design qui supporte pleinement l'utilisateur dans le contexte de la réalisation de sa tâche, et qu'une façon d'aborder cette imbrication de l'artefact technologique dans l'activité, est de l'observer aux trois niveaux qui constituent l'activité :

1. l'activité comme objectif ou intention ;
2. les actions comme étapes logiques et conscientes ;
3. les opérations d'exécution comme commandes.

2.3. La théorie d'activités et les environnements d'apprentissage

Le téléapprentissage nous offre un contexte d'activité dans lequel il est intéressant d'observer l'impact de la qualité du design des outils mis à la disposition des apprenants. [LIN, 95] renchérit notre propos en écrivant ce qui suit au sujet de l'apprentissage médiatisé par la technologie:

«When they assimilated knowledge to automatic information treatment through symbolic representation, the cognitive sciences and technologies neglected a crucial point in human knowledge: its rooting in situated activity.» (Linard, 1995, p.249)

Nous pouvons cité le prototype global du Campus Virtuel effectuée à l'été 97 par le LICEF (un laboratoire de recherche de la Télé-Université). Il s'agit de l'Atelier-FX v.8.0 (ou Fiches-FX6), développé conjointement par le LICEF et le centre ATO (Analyse de Texte par Ordinateur) de l'UQAM.

En contexte d'apprentissage de type académique, une des tâches centrales de l'apprenant est la prise de notes. Pour l'élève, l'annotation de ses différentes lectures est un des principaux moyens de s'appropriier la matière du cours pour mieux l'assimiler [MIL, 98]. Les apprenants devaient prendre des notes de lecture sous forme de fiches électroniques via l'Atelier-FX, catégoriser ses fiches à l'aide d'un ensemble de catégories prédéfinies (appelé « programme de catégories » dans le logiciel) qui leur était fourni au sein de l'application, et enfin, partager leurs fiches avec les autres apprenants. Il est clair qu'au delà de ces devoirs et consignes relatives à l'Atelier-FX, les apprenants disposaient du logiciel et pouvaient s'en servir de la façon qui leur semblait la plus appropriée et la plus utile.

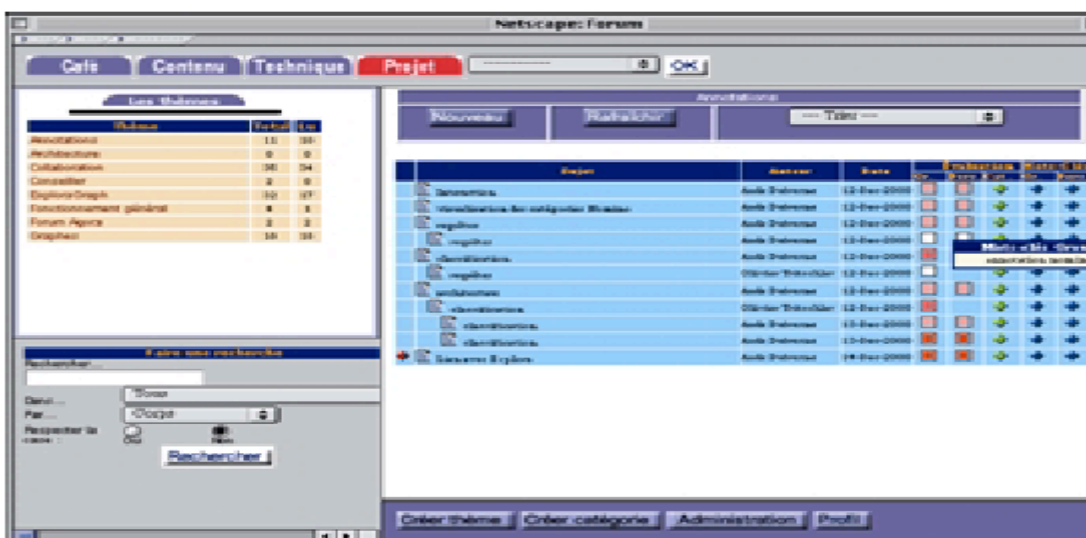


Figure 9 : Support qui permet aux apprenants de partager leurs fiches

De façon plus spécifique, l'Atelier-FX et ses différentes fonctionnalités relatives à la prise de notes, supportaient effectivement et efficacement via son interface, cette activité d'appropriation selon les trois niveaux suivants:

1. l'objectif principal de sa tâche : l'activité prise de notes ;
2. la réalisation de sa tâche : les étapes de l'activité découpées en actions relatives à l'intention première (c'est-à-dire l'objectif principal de la tâche) ;
3. l'actualisation des actions à poser dans le système : les séquences d'opérations concrètes de l'interaction du sujet avec les éléments de l'interface de l'Atelier FX pour mener à bien ses actions et l'ensemble de son activité d'annotation.

Il est facile de constater que cette façon de concevoir l'activité selon les trois niveaux qui la constituent, peut se subdiviser à l'infini ou presque, soit autant de fois qu'il y a de sous objectifs dans le principal objectif visé par une tâche, ou encore de sous-intentions dans une intention. Il est d'ailleurs intéressant d'établir ici un parallèle avec le célèbre modèle prédictif d'analyses de tâches de [CAR, MOR & NEW, 83] intitulé GOMS.

2.4. Les inconvénients de la théorie d'activités

Le premier s'appuie tout d'abord sur la notion de barrière d'utilité [DIS, 86], qui postule qu'un usager doit nécessairement percevoir l'utilité d'une fonctionnalité pour s'en servir.

D'autre part, le champ d'étude de l'ergonomie des interfaces a largement fait valoir et reconnaître l'importance du respect de critères fondamentaux d'utilisabilité pour la conception d'interfaces conviviales et efficaces. On devrait donc s'attendre à une utilisation accrue d'une fonctionnalité selon l'utilité perçue. De ce fait, une « bonne » interface ne relève pas seulement de la qualité de son design ergonomique mais aussi de sa finalité, à savoir dans quelle mesure elle supporte effectivement l'activité à laquelle le logiciel qu'elle représente est destiné.

Enfin, quelle que soit la fonctionnalité, elle est véritablement utile à l'utilisateur lorsqu'elle lui permet de faire ce qu'il veut faire en respectant la contrainte que constitue la façon dont les gens font les choses en général, mais idéalement aussi de façon idiosyncratique.

3. Les interfaces intelligentes

L'adjectif « intelligent » fait davantage référence à une qualité reconnue à l'interface considérée, une caractéristique subjective qui demande une définition rigoureuse, tant elle reste aujourd'hui plus ou moins justement utilisée et implémentée.

De plus, l'amélioration d'une interface passe obligatoirement par l'intégration d'une intelligence la plus adaptative, voire auto-adaptative, possible. Il nous apparaît donc indispensable d'établir la définition détaillée d'une « interface intelligente », caractérisation aussi pratique et orientée vers les utilisateurs « grand public ».

Des termes composant l'expression « interface intelligente », c'est avant tout le second qui appelle une définition explicite. Cependant, nous devons garder à l'esprit que des propriétés importantes sont requises aujourd'hui pour une interface homme-machine. Ces indéniables attributs regroupent, en plus d'une absence de situations insolubles (que l'on nomme plus précisément *deadlocks* en anglais) et d'une prédictibilité de chaque commande (traitement identique dans un même contexte donné), la réinitialisabilité d'une interface (possibilité de toujours atteindre l'état initial ou un état prédéfini)

et la disponibilité d'une commande, ce à tout moment (commande d'aide par exemple). En outre, la succession des commandes doit être fidèle aux actions de l'utilisateur (respect de l'ordre de lancement des commandes).

En pratique, toutes les interfaces graphiques de qualité sont du type *WIMP*, ce sigle anglophone signifiant *Windows, Icons, Menus et Pointing*. Les interfaces se caractérisent alors par la recherche d'une facilité d'utilisation, d'une concision, d'une cohérence et d'une flexibilité vis-à-vis de ses utilisateurs tendant à être améliorées. Toutes requièrent également un contrôle efficace, c'est-à-dire l'intégration d'applications relevant de la « programmation par événements » où l'utilisateur reste maître de l'interaction tout au long de la session de travail. Il demeure primordial pour cet utilisateur de pouvoir visualiser, à tout moment, l'ensemble des commandes mises à sa disposition par l'application concernée. Enfin, toute action autorisée doit rester activable et être présentée comme telle à l'utilisateur, ce qui confère une grande liberté d'action et un niveau de guidage important, les actions illicites étant clairement inactivables.

3.1. Caractéristiques d'une interface intelligente

Cette interface devient alors « intelligente » et intègre une certaine mesure ou capacité d'intelligence dès l'instant où elle travaille avec des méthodes d'Intelligence Artificielle dans la perspective de l'utilisateur et incorpore une ou de préférence plusieurs, voire un maximum des "fonctionnalités" que nous listons maintenant. Ces dernières permettent donc la caractérisation d'une intelligence mise en exergue par une interface :

- Adaptation (c'est-à-dire capacité à faire face aux changements) du système à son utilisateur, en agissant, en travaillant sur le comportement de l'utilisateur de manière *a priori* au vu d'une situation ou *a posteriori* au vu d'un résultat ou d'un comportement ; mais aussi adaptation de tous les messages d'erreurs, de conseil et d'explication au niveau global de connaissance et de compétence de l'utilisateur.
- Automatisation et par conséquent auto-adaptation, exécution de fonctions sélectionnées indépendamment du contrôle immédiat de l'utilisateur, bien que sous l'entière conduite des requêtes précédentes de l'utilisateur.
- Autonomie par compréhension de l'état courant de son environnement et action indépendante pour faire progresser les buts, agissement simultané et sans intervention de l'utilisateur, que ce dernier soit occupé ou non.
- Modularité et appropriation, en traitant les besoins individuels et changeants des utilisateurs, en suggérant des solutions spécifiques pour des tâches particulières de l'utilisateur, avec les raisons pour lesquelles elles ont été considérées comme appropriées et en réalisant une réponse ou une action appropriée pour l'utilisateur selon un certain degré d'initiative.
- Interprétation des directives de l'utilisateur, de ses buts ou de ses actions d'entrée dans un environnement ou contexte particulier, tout en fournissant aussi une réaction, une sortie compatible avec un modèle mental d'utilisateur.
- Aide à l'utilisation de systèmes de plus en plus complexes, à la réduction des erreurs de l'utilisateur.
- Mise en valeur de l'expérience des utilisateurs face aux nouvelles possibilités logicielles offertes par la facilité, l'aisance et la rapidité à comprendre puis apprendre les fonctionnalités de base du système initial, de même que le plaisir à assimiler les caractéristiques avancées.

- Simplicité de l'application en temps réel, puisque les utilisateurs peuvent immédiatement voir si leurs actions ont atteint leurs buts.
- Individualisation et personnalisation des systèmes, retrouvées notamment pour les experts dans la rapidité à exécuter un large éventail de tâches et par la possibilité de définition de nouvelles fonctions et caractéristiques.
- Intégrité et compréhension de l'information, accessibilité universelle d'un support compréhensif et de haute qualité.
- Prédiction active de ce que l'utilisateur va écrire, anticipation par présentation d'alternatives sans que l'utilisateur n'ait à les demander
- Non-restriction et non-insistance, contrôle et ajustement par l'utilisateur, en laissant ce dernier libre de choisir d'ignorer les actions prévisibles et de définir manuellement les paramètres du système; confiance et maîtrise pour l'utilisateur puisqu'il est l'initiateur des actions, qu'il cherche à contrôler et que les réponses du système sont dans ce cas prévisibles.
- Surveillance de l'interaction et identification de certaines actions de l'utilisateur comme des erreurs, protection de l'utilisateur des conséquences de ces erreurs, explications et conseils pour aider l'utilisateur à les éviter.
- Tolérance de la variation et de l'imperfection des entrées de l'utilisateur, pas de rejet de commandes ou de données du à des erreurs triviales.
- Conseil de l'utilisateur sur des méthodes appropriées pour atteindre ses buts, commentaire des méthodes adoptées par l'utilisateur dans le passé.
- Assistance active et personnalisée qui "regarde par-dessus l'épaule de l'utilisateur", qui apprend ses centres d'intérêts afin d'agir sur son comportement, par compréhension riche et incorporation d'informations sur la connaissance et l'ensemble des croyances de l'utilisateur.
- Apprentissage (c'est-à-dire adjonction de connaissances) non-visible des habitudes et des préférences de l'utilisateur, en prenant l'initiative d'aborder la discussion de certains concepts que l'utilisateur semble ignorer et dont il pourrait tirer profit dans la situation où il est, et en profitant également du temps de réflexion et de l'information que l'utilisateur fournit librement, sans avoir recours à une interaction séparée.
- Convivialité par la facilité d'utilisation de l'interface, la qualité de la documentation accessible et la clarté des messages d'erreurs fournis par le système en cas de fausse manipulation ou de situations anormales.
- Efficacité des opérations tout en dépendant au minimum des données provenant de l'utilisateur.

3.2. Les interfaces intelligentes et les environnements d'apprentissage

Vitrine de l'informatique très prisée et en constante amélioration ces dernières années, l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO), ou encore l'Environnement d'Apprentissage avec Ordinateur, nous emmène au cœur scientifique de l'Intelligence Artificielle : conception de programmes donnant aux apprenants les moyens de réaliser des tâches, capables également d'observer et d'interpréter leur comportement, puis d'intervenir au moment opportun et de manière appropriée sur la base de leur analyse.

Un exemple opérant une transition appréciable entre la découverte des techniques d'Intelligence Artificielle et le présent domaine de l'Enseignement Assisté par Ordinateur nous est fourni par la méthodologie de conception centrée sur l'utilisateur (*User Centered Design* ou *UCD*) et développée dans le cadre de solutions logicielles pour la célèbre firme américaine IBM. Application aidant tous les types d'utilisateurs à construire des règles pour manipuler la tâche universelle du courrier électronique, cette interface-utilisateur s'attache à rejoindre les besoins de l'utilisateur en se laissant conduire par tous les aspects de l'expérience de celui-ci et en intégrant ses diverses réactions dans le but de produire plans, priorités et décisions. Ce logiciel présente un « format d'interview » interrogeant les utilisateurs sur des critères de règles (expéditeur ou sujet) et des conditions (priorité) de manière amicale. Les utilisateurs sont guidés à travers une série de questions et de réponses pour construire autant de règles qu'ils en ont besoin. Des écrans de confirmation et d'autres éléments d'interface-utilisateur donnent à l'individu l'assurance que ses différentes règles opèrent comme souhaité.

Loin d'être réellement automatisée, cette approche *UCD* est néanmoins basée sur quatre principes intéressants. Si la compréhension des utilisateurs demeure la force motrice permettant toute conception, la considération de l'expérience totale de l'utilisateur, c'est-à-dire tout ce que voit et touche l'utilisateur, ainsi que le recueil fréquent, rigoureux et rapide de ses réactions, dirigent, par une estimation permanente de la compétitivité, le développement d'un produit. De plus, plusieurs objectifs atteints lors de l'élaboration pratique renforcent et mettent en valeur la réalité de ces procédés. Il est nécessaire de noter ici la fourniture d'un moyen enfin simple pour la construction de règles dédiées au courrier électronique. Dans beaucoup d'autres produits, les formats de règles sont compliqués, les expressions logiques (*et / ou / non*) et leurs multiples combinaisons sont confuses, et le véritable nombre de règles possibles est trop impressionnant. En conséquence, les utilisateurs trouvent la tâche d'établir des règles trop difficile, et donc les capacités de construction de règles de beaucoup d'applications ne sont pas utilisées.

Par suite, [MUR, SCH & WIL, 97] a cherché à minimiser le temps de démarrage de l'application. Il s'avère en effet que, cette tâche faisant partie du « travail réel » d'un utilisateur, le courrier électronique doit permettre à l'utilisateur d'entrer et de sortir rapidement. L'adressage des règles les plus courantes et la limitation des tâches à celles les plus fréquemment utilisées sont alors basés sur l'analyse de tâches et les préférences de l'utilisateur. En outre, la création d'un ensemble limité de tâches pour lesquelles la plupart des personnes sont susceptibles d'établir des règles présente les prémisses d'une anticipation auto-adaptable des actions.

Nous arrivons ainsi à une description instructive de la distinction possible entre trois différents styles d'interaction au sein d'une interface. Une première approche pas-à-pas pour la construction de règles propose une série de questions à l'utilisateur, avec affichage d'une liste de critères et actions à choisir, puis construction à partir des données recueillies. La seconde version est caractérisée par l'emploi de modèles de règles sous forme de phrases à deux ou trois champs d'entrée pour des attributs-clés. Toutes deux se différencient d'une ultime interaction structurée incluant des champs de conditions et d'actions désirées que l'utilisateur complète aisément pour construire une de ses propres règles.

Il nous faut alors définir le statut de la notion de connaissance, celle-ci conditionnant les directions de recherche et les types de solutions préconisées dans la réalisation de tels systèmes informatiques. Le point délicat dans l'éducation est de savoir qui dispose des connaissances nécessaires : l'apprenant cherche à acquérir des connaissances et dispose d'instruments, mais ne détient pas toujours,

contrairement à l'enseignant, des connaissances lui donnant l'autonomie nécessaire face aux instruments qu'on lui confie. Aussi, la compréhension du comportement de l'apprenant devient primordiale. On passe alors de la simple analyse de la réponse ou du résultat à celle du processus-même de résolution ou de recherche d'une solution. En cherchant constamment à traiter la démarche de l'apprenant pour le comprendre ou lui donner les moyens de se comprendre et de modifier ses comportements et ses connaissances, nous découvrons finalement la difficulté à capturer et à représenter la connaissance individuelle de chaque élève, conduit en conséquence à se limiter à des domaines très procéduraux.

Reconnue en tant qu'approche « utilisateur comme étudiant » [BRU & SCH, 97], la seconde référence abordée dans ces lignes paraît alors plus fortement dédiée à l'enseignement auto-adaptatif recherché. Apportant grande assistance aux débutants, à l'aide d'un apprentissage incrémental, elle présente aussi surtout un procédé de séquençement adaptatif d'actions. En effet, en plus du développement d'interfaces auto-explicatives pour des applications avancées, cette approche implémente plusieurs adaptations destinées à aider les débutants dans l'utilisation d'applications complexes sur le *Web*. L'ordre d'explication, d'apprentissage ou d'habilitation des caractéristiques de l'interface est déterminé par un séquençement adaptatif, une technologie d'enseignement intelligent qui est basée sur un modèle pédagogique de l'interface et sur la connaissance de l'utilisateur.

Différentes caractéristiques des utilisateurs sont ainsi obligatoirement prises en compte, comme leurs capacités dans le domaine informatique, leurs expériences respectives du *Web*, les connaissances générales et la formation.

Enfin, nous découvrons, au sein des systèmes *CALL* (*Computer-Assisted Language Learning*), une autre interface orientée vers l'utilisateur, associée à la conception d'une application tenant compte cette fois des forces, des faiblesses, des préférences et du niveau de compétences de chaque individualité étudiante durant les cours. Appuyée sur une architecture purement fonctionnelle, cette interface intelligente se compose de modules fournissant respectivement une analyse linguistique détaillée de chaque réponse de l'apprenant aux exercices du programme, la création d'un modèle dynamique de tout apprenant, un contrôle des réactions du système face aux entrées des étudiants ainsi que de la structure du matériel offerte à chacun d'eux.

Un premier module dit « d'instruction » entretient le façonnage d'exercices de langage pour chaque apprenant et détermine le moment d'intercession dans la leçon en utilisant les approches d'instructions, les stratégies et les techniques incorporées dans le système. Ces dernières correspondent à la représentation explicite des concepts grammaticaux et linguistiques, à un ensemble d'exercices, à une librairie stockant le texte des réactions et une série de gabarits adaptatifs, à un ensemble de pages grammaticales disponibles à la demande de l'étudiant. Associé à ces différents mécanismes intelligents, nous retrouvons ici un modèle de l'utilisateur répertoriant notamment le stéréotype de l'étudiant, les règles d'acquisition implicite et le moteur d'inférence le caractérisant, toujours sous la forme de librairies dynamiques. Un troisième module, « de diagnostic » cette fois, vérifie l'exactitude de l'entrée de l'étudiant par analyse grammaticale et description détaillée de l'erreur linguistique, dans le cas d'une entrée erronée et le tout sur la base d'une hiérarchie de classes d'erreurs.

En définitive, un modèle général nommé « modèle du contexte » se charge de gérer un répertoire central de stockage de toutes les données pertinentes concernant l'opération courante du système, à savoir, à la fois, les informations du modèle de l'apprenant comme le moyen d'expression préféré de l'apprenant et les définitions de l'exercice courant, ainsi que la cause de l'erreur de l'apprenant, identifiée par le module de diagnostic.

3.3. Les inconvénients de quelques interfaces intelligentes

Le tableau 3 représente la caractérisation hiérarchique des références d'interfaces intelligentes remarquables traitant des aides automatiques et tutoriels informatiques.

A noter alors que la valeur relativement faible obtenue par [MUR, SCH & WIL, 97] au niveau de notre système hiérarchique des interfaces intelligentes est due essentiellement à un important vide propre à l'automatisation des procédés mis en avant au cours de ces travaux. Quant au même résultat attribué par nos définitions à [BRU & SCH, 97], il résulte de son côté du fait que ces recherches sont focalisées sur l'étude de mécanismes d'auto-adaptation, au détriment malheureusement d'autres points pourtant nécessaires à une interface intelligente dédiée, qui plus est, à l'EAO. Nous noterons par exemple, à ce stade de nos réflexions, le manque de traitement d'erreurs éventuelles émanant d'un utilisateur, des modèles très intrusifs et insistants aussi vis-à-vis de celui-ci, ainsi qu'une absence de surveillance propre aux données recueillies, sécurité indispensable pourtant dans un outil opérant au niveau d'*Internet*.

En règle générale, les références d'interfaces intelligentes faisant état de travaux récents effectués dans le cadre de l'Enseignement Assisté par Ordinateur faillissent quelque peu au niveau de la liberté, de l'initiative laissée aux étudiants, voire encore en ce qui concernent des éventuelles suggestions de manipulations pouvant être portées à la connaissance des utilisateurs. Cela provient, sans modification ou solution *a priori* nécessaires, du rôle et de la définition-même de l'EAO qui demeure un outil destiné à instruire et à simplement fournir des informations à l'utilisateur, certes de manière aussi automatique et adaptée que possible.

Référence abordée	Valeur obtenue pour HII	Classe de l'interface	Principaux qualificatifs de l'intelligence
[MUR, SCH & WIL, 97]	8	Intelligence faible	besoins, expérience et réaction de l'utilisateur - construction de règles - format d'interview - assurance - compréhension des utilisateurs - compétitivité - expressions logiques - minimisation du démarrage - rapidité - limitation des tâches à celles les plus fréquemment utilisées - champs d'actions
[BRU & SCH, 97]	8	Intelligence faible	interfaces auto-explicatives - aide aux débutants - apprentissage incrémental - séquençement adaptatif - enseignement intelligent - modèle pédagogique - connaissance de l'utilisateur - capacités - expérience
[MUR & MCT, 97]	12	Intelligence moyenne	modèle dynamique de l'individualité étudiante - stockage de données pertinentes - moyen d'expression préféré - diagnostic - vérification d'exactitude - hiérarchie de classes d'erreurs - moment d'intercession - série de gabarits adaptatifs - moteur d'inférence

Tableau 3 : Caractérisation hiérarchique des références d'interfaces intelligentes remarquables traitant de l'Enseignement Assisté par Ordinateur

4. Conclusion

Comme nous l'avons décrit, diverses approches viennent inspirer la conception d'interfaces. D'abord, les premières recherches sur l'utilisabilité des systèmes informatiques soulignent l'importance des interfaces dites « à manipulation directe », qui laissent le contrôle à l'utilisateur en lui fournissant de la rétroaction, une meilleure visibilité, en facilitant sa compréhension des composantes et des activités du système. À l'opposé l'interface soit plus intelligente et dirige davantage l'interaction, en fournissant à l'utilisateur des outils plus puissants, en réduisant la complexité de ce qu'il manipule et en lui fournissant des raccourcis. Enfin un autre courant de recherche, confronté aux difficultés d'implantation des systèmes, insiste sur la nécessité d'intégrer les outils au contexte réel des activités et aux dimensions sociales de l'interaction.

Dans un contexte d'apprentissage, on a vu qu'il est important d'établir un dialogue entre le système d'apprentissage et l'apprenant, de façon à ce que le contrôle soit partagé, pour que l'apprenant puisse approcher la matière à son rythme en fonction de sa compréhension. Mais il est également intéressant que des mécanismes de surveillance et de soutien puissent le guider et l'appuyer dans sa démarche. Les interfaces adaptatives visent ainsi à adapter l'environnement au fur et à mesure de la progression de l'apprenant de façon à suggérer ou soutenir l'activité tout en laissant l'initiative à l'apprenant. De façon générale elles cherchent à fournir une meilleure rétroaction sur la progression et à contrôler ce qui est accessible à un moment donné ou à suggérer par des propriétés visuelles, par exemple : les items en vert sont suggérés, les items en rouge sont trop difficiles. Un nombre restreint d'interfaces adaptatives ont été définies.

Par ailleurs, si l'apport possible du contrôle de la visualisation et de la rétroaction est indiscutable, il ne suffit pas toujours à soutenir suffisamment les apprenants qui naviguent dans un hypermédia. D'une part, la dimension asynchrone des apprentissages rend souvent nécessaire l'introduction de conseils en fonction du déroulement, du cours pour encourager la complétion et la convergence des activités des apprenants. D'autre part, certains apprenants peuvent vouloir une aide ponctuelle, par rapport à un élément du cours et il peut être intéressant de rendre une telle aide accessible en fonction du contexte.

Chapitre V : Conception et modélisation

L'interface est un dispositif visuel et sonore pour représenter les fonctionnalités (utilisabilité) du dispositif de formation (navigationnelle). Le problème à résoudre sera envisagé comme la capacité d'un ensemble d'affordances à suggérer une action pertinente à l'utilisateur. De plus, l'interface est une configuration visuelle et sonore qui doit être perçue comme agréable, stable, facile à utiliser... etc.

1. Ergonomie de l'interface

La perspective ergonomique suggère de faciliter l'interaction homme-machine en rapprochant les systèmes informatiques des activités humaines. Selon Norman [NOR, 86] [NIE, 90b], il faut rendre l'interface transparente, c'est-à-dire que l'utilisateur peut agir naturellement en minimisant l'effort requis pour transcrire ses intentions dans le langage du système. L'approche ergonomique suggère un certain nombre de **lignes directrices** qui sont essentielles pour faciliter l'interaction. Ces principes ont été revus et décrits par divers auteurs :

- **Métaphore** : Dans la pratique, les concepteurs qui ressentent ce besoin de construire une logique implicite font souvent appel à des métaphores. Une métaphore est un ensemble organisé d'actions possibles via un autre ensemble organisé d'actions possibles. Des études ergonomiques ont montré que l'utilisation de métaphores liées à un environnement socioprofessionnel est efficace et utile à l'utilisateur pour installer des repères de navigation [BAR, 00] ;
- **Cohérence et simplicité** : Sur un plan purement formel, les critères de cohérence et de simplicité sont prédominants afin de répondre à une logique interne de déplacements possibles. Derrière la trivialité de cette affirmation, on ressent une logique implicite de déplacement ;
- **Visibilité** : Visibilité des tâches d'interaction, et de la visibilité des contenus associés à une focalisation de l'attention adéquate [SCA, 97] ;
- **Flexibilité et protection contre l'erreur** : la flexibilité d'une part, c'est-à-dire la faculté du système à s'adapter à des utilisateurs différents faisant des choix différents ; la protection contre les erreurs d'autre part, c'est-à-dire le fait que le système ne provoque pas d'erreurs d'utilisation, de pannes...etc. [SCA, 97] ;
- **Contrôle sur l'activité** : en particulier la possibilité de revenir en arrière, d'interrompre, de recommencer ou de sortir de l'application ;
- **La fermeture** : découpage des activités en séquences courtes, ce qui permet à l'utilisateur de suivre plus facilement ce qui se passe et de libérer rapidement sa mémoire à court terme ;
- la rétroaction de l'utilisateur sur ses opérations et sur celles du système.

- *le soutien* : documentation, aide adaptative ;
- *L'adaptabilité* : préférences, options.

Dans le domaine des environnements d'apprentissage, certains de ces principes ergonomiques sont plus importants que d'autres. L'organisation et la cohérence externe des représentations choisies favorisera pour l'apprenant, la compréhension et le transfert futur de ce qu'il apprend dans l'environnement d'apprentissage. La visibilité des composantes de la matière et l'accès en survol peuvent favoriser : L'organisation des concepts en mémoire et leur rétention future (Surcharge cognitive). Il est important de choisir une métaphore et des représentations qui suggèrent bien aux apprenants les manipulations et les effets possibles [NON, 96]. Enfin, les interfaces adaptatives permettent de fournir à l'apprenant une rétroaction sur la matière visitée qui font ressortir l'historique et l'organisation de ce qui a été fait et incite l'apprenant à compléter son apprentissage.

De plus, comme le suggèrent Gentner et Nielsen [GEN, 96], il peut être parfois intéressant pour l'utilisateur que le système soit plus intelligent et prenne d'avantage le contrôle de l'interaction. Les auteurs suggèrent en effet que le système ait plus d'initiative afin de faciliter la tâche à l'utilisateur. Ainsi, pour les tâches répétitives, pour celles où l'ordinateur peut efficacement utiliser des fonctions intelligentes, une bonne interface doit selon eux diriger l'interaction.

2. Caractéristiques de notre interface

Notre modèle reprend certains éléments des activités de l'apprenant et des ressources dont il devrait disposer au sein de l'environnement d'apprentissage. Il vise à proposer un environnement adapté et intégré pour diminuer la complexité et assurer un meilleur soutien aux activités. Selon les principes de conception des interfaces, il est important de laisser aux utilisateurs le plus de contrôle possible sur leur activité, tout en fournissant au système des moyens de suivre, de guider ou de soutenir à l'occasion l'activité. Il s'agit ici de laisser à l'environnement toute la puissance des interfaces à manipulation directe dans une perspective constructiviste, où l'apprenant décide des objets de connaissances à construire en fonction de sa progression et de son but.

L'analyse des observations sur les apprenants a fait ressortir les différentes activités en cours et les dimensions que devaient soutenir un environnement d'apprentissage. Le modèle proposé est défini de façon à ce que le contrôle donné à l'utilisateur serve aussi au système pour suivre et guider l'interaction.

Pour pallier à la désorientation qui est inévitable dans les hypertextes [CON, 87] [NIE, 90a], nous avons cherché à proposer un modèle qui favorise une navigation flexible pour l'apprenant. Il était important de fournir une interface générale, qui permettrait de structurer cet accès à l'information, de façon à établir un système cohérent au sein duquel l'apprenant se retrouve d'un cours à l'autre. Le modèle devait favoriser la visualisation des structures, le survol et le grossissement pour aider l'apprenant à suivre le contexte entourant sa navigation.

Il est également important de chercher à intégrer des fonctions d'appropriation et de recherche pour que l'apprenant puisse non seulement accéder à l'information, mais aussi construire ses connaissances en s'appropriant la matière.

De plus, il peut être intéressant de guider la navigation, voir de la contraindre, pour que l'apprenant en arrive à un juste équilibre entre la concentration cognitive qu'il accorde à la compréhension du contenu et celle qu'il attribue à la gestion de la navigation et à la compréhension du contexte.

Nous avons vu que la facilité d'accès de l'utilisateur à son modèle apprenant, permet de lui guider dans sa progression. Enfin, afin d'éviter que le soutien non sollicité soit inapproprié (comme le trombone dans Microsoft Office), nous avons proposé à l'apprenant un outil lui permettant d'adapter l'interaction en communiquant ses intentions au système afin d'obtenir de l'aide contextuelle. En retour, le système pouvait lui donner des conseils, mais aussi activer des démonstrations visuelles, contrôler l'interface en modifiant l'affichage de son environnement de travail pour l'inciter ou le contraindre dans ses activités. Nous pouvons aussi proposer d'intégrer des fonctions permettant à l'apprenant de spécifier des préférences au niveau de l'aide qu'il reçoit.

3. Une interface facile

Nous présentons maintenant notre interface qui facilite les activités de l'apprenant au sein de notre modèle d'apprentissage :

- naviguer dans le cours et ses activités,
- demander et recevoir du soutien,
- gérer son apprentissage,
- s'approprier la matière.

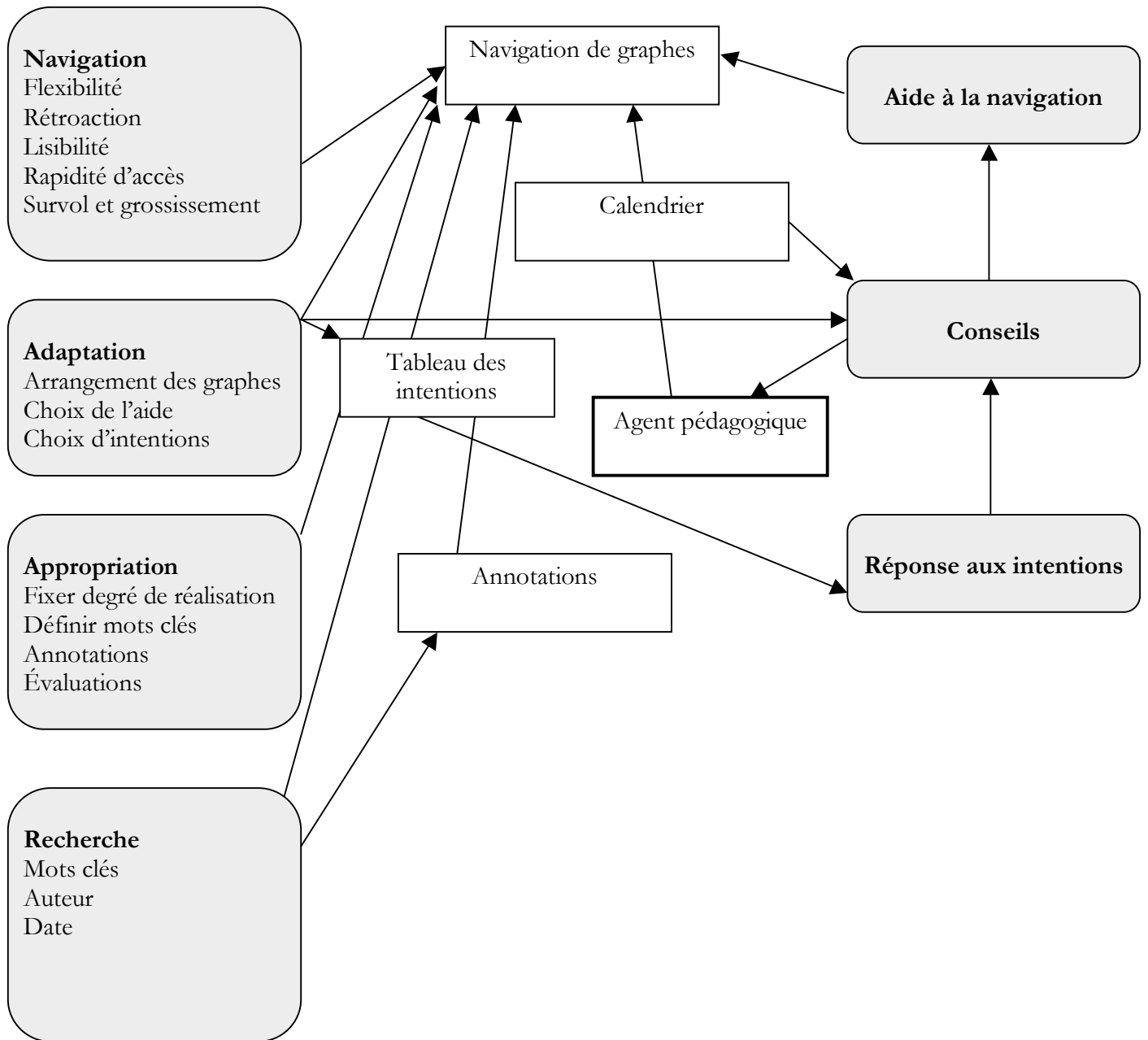


Figure 10 : Structure d'interface apprenant

3.1. Navigateur graphique

Pour favoriser la navigation, la métaphore générale des graphes a été choisie car elle permet de faire ressortir la structure sémantique des éléments tout en favorisant une visualisation plus grande et plus flexible par l'utilisation d'une hiérarchie de graphes et de focales variables :

- types de nœuds : connaissances, activités, ressources, documents : spécifiés davantage par des icônes
- types de liens (associés à des couleurs) : précédence, composition, régulation, instanciation, etc.

Le cours est ensuite décrit en créant des instances de graphes hiérarchiques décrivant les activités, les structures de connaissances, les structures de ressources.

Des fonctions de placement automatique peuvent être définies en utilisant un modèle physique pour le navigateur graphique. Le modèle tient compte des paramètres physiques des liens et des nœuds (masse et répulsion) dans le placement. Il tient également compte des propriétés sémantiques des liens dans le placement : précédence = arrangement de gauche à droite, composition = arrangement de haut en bas.

Pour la navigation on a proposé à l'utilisateur trois niveaux. Au premier niveau, il voit la structure des activités ou des concepts ; au deuxième niveau, il consulte, avec le bouton droit de la souris, les propriétés des nœuds - dates d'une activité, description brève, pondération ; au troisième niveau, il double-clic pour lancer un document, une application ou un sous-graphe. Le système ajoute des annotations aux nœuds, il spécifie pour chaque nœud dans quelle mesure il juge l'apprenant d'avoir terminé l'activité ou la consultation du document (évaluation de l'apprenant). Le graphe affiche cette propriété de même que le nombre de fois où le nœud a été visité.

3.2. Tableau de bord des intentions

Un tableau de bord est ajouté à notre modèle qu'est proposé par Ruelland [RUE, 00]. Ce tableau permet à l'apprenant de spécifier une intention ce qui déclenche un raccourci et des conseils de façon contextuelle (Tableau 4).

Intentions	Résultats
Parcourir : la matière, le scénario d'apprentissage ou le calendrier	Ouvre l'outil approprié en fonction du calendrier et de la progression de l'apprenant
Planifier	Affiche le scénario qui est à compléter avec un aperçu du degré de visite.
Faire le point	Affiche les niveaux de réalisation des activités et conseille par rapport à la progression.
Personnaliser l'aide : plus ou moins et choisir un agent pédagogique.	Permet d'ajuster le degré de support offert à l'apprenant et de choisir parmi différents agents conçus pour supporter les différents styles d'apprenants.

Tableau 4 : tableau de bord

Le tableau de bord favorise entre autres l'autogestion de l'apprenant, il permet à celui-ci de s'extraire de la navigation pour demander où il en est, ce qu'il doit faire ensuite. Celui-ci fournit des raccourcis pour exécuter une série d'actions qui sont adaptées par le système conseiller en fonction du contexte.

3.3. Conseil et support à la navigation

L'environnement de navigation garde une trace structurée des activités de l'apprenant : actions faites, niveau de réalisation et de visite des activités et des concepts du cours.

C'est sur cette trace que vient se greffer le système conseiller [DUF, 00b]. En effet, des règles peuvent être définies pour utiliser les niveaux de visite et de réalisation, l'intention choisie, de même que la date par rapport aux activités prévues dans le cours afin d'orienter l'apprenant.

Le système conseiller peut afficher des messages d'aide, en utilisant des agents pédagogiques, ceux-ci affichant les messages de la base de données. Ils peuvent lire ces messages en synthèse vocale ou utiliser des messages parlés, jouer des expressions animées, se déplacer ou indiquer vers un point donné.

Le système conseiller peut également contrôler l'application et ouvrir un graphe, cliquer sur un nœud pour montrer la description, afficher les propriétés de réalisation ou exécuter la mise à jour du modèle apprenant de façon dynamique.

Notre proposition d'interface apprenant repose sur une architecture d'hypermédia adaptatif dynamique générant des activités pédagogiques, dont le but de diminuer la surcharge cognitive liée au contenu présenté à l'apprenant.

4. L'architecture du système

4.1. Le modèle de domaine

Le modèle du domaine est la composante, qui permet au système de savoir ce que va être enseigné à l'apprenant. Ce modèle est défini par un ou plusieurs experts du domaine. Ce modèle structurel correspond ainsi à un réseau de concepts. Les concepts sont reliés entre eux, formant ainsi un réseau sémantique représentant la structure des connaissances du domaine.

L'enseignant est tout d'abord en charge de décrire la structure générale d'un cours, aussi bien au niveau macroscopique, qu'au niveau microscopique. Ainsi, si on définit une notion comme étant une unité d'information pédagogique minimale. Dans [DEL, 00b], quatre types de relations peuvent être définies :

1. La relation **de pré-requis** qui indique que l'apprentissage d'une notion B est assujéti à la maîtrise de la notion A.
2. La relation **d'analogie** qui indique que la maîtrise d'une notion A peut aider l'apprentissage d'une nouvelle notion B.
3. La relation **de conjonction** qui indique que l'apprentissage d'une notion A s'effectue via l'apprentissage séquentiel d'une succession de notions A_i .
4. La relation **de disjonction forte** qui indique que l'apprentissage d'une notion peut s'effectuer via l'apprentissage de telle ou telle notion.

Ce modèle peut cependant être amélioré. En effet, si on prend la relation d'analogie entre deux notions ; cette relation peut être dans certains cas très claire et dans d'autres, être moins clairement, d'où la nécessité de pondérer cette relation avec une valeur qui indique le degré d'analogie entre deux notions liées. Ce raisonnement peut aussi être étendu à la relation de pré-requis.

Notre modèle du domaine représente le savoir des enseignants, qui va par la suite être utilisé pour construire des cours. Nous n'allons donc pas effectuer des inférences compliquées sur ce modèle, nous allons juste extraire de l'information suivant différents critères (par exemple prendre le point de vue d'un enseignant). Par conséquent, au vue de ce que l'on vient de voir, nous avons décidé d'utiliser un formalisme basé sur les graphes, le principe de cette représentation est d'associer un noeud à chaque notion du cours, est un arc à chaque relation sémantique entre deux nœuds, ce formalisme va nous aidez par la suite de construire notre interface.

Dans cette représentation, le savoir est représenté par le réseau sémantique et le savoir-faire est représenté par un mécanisme permettant d'inférer sur le réseau [DEL, 00b].

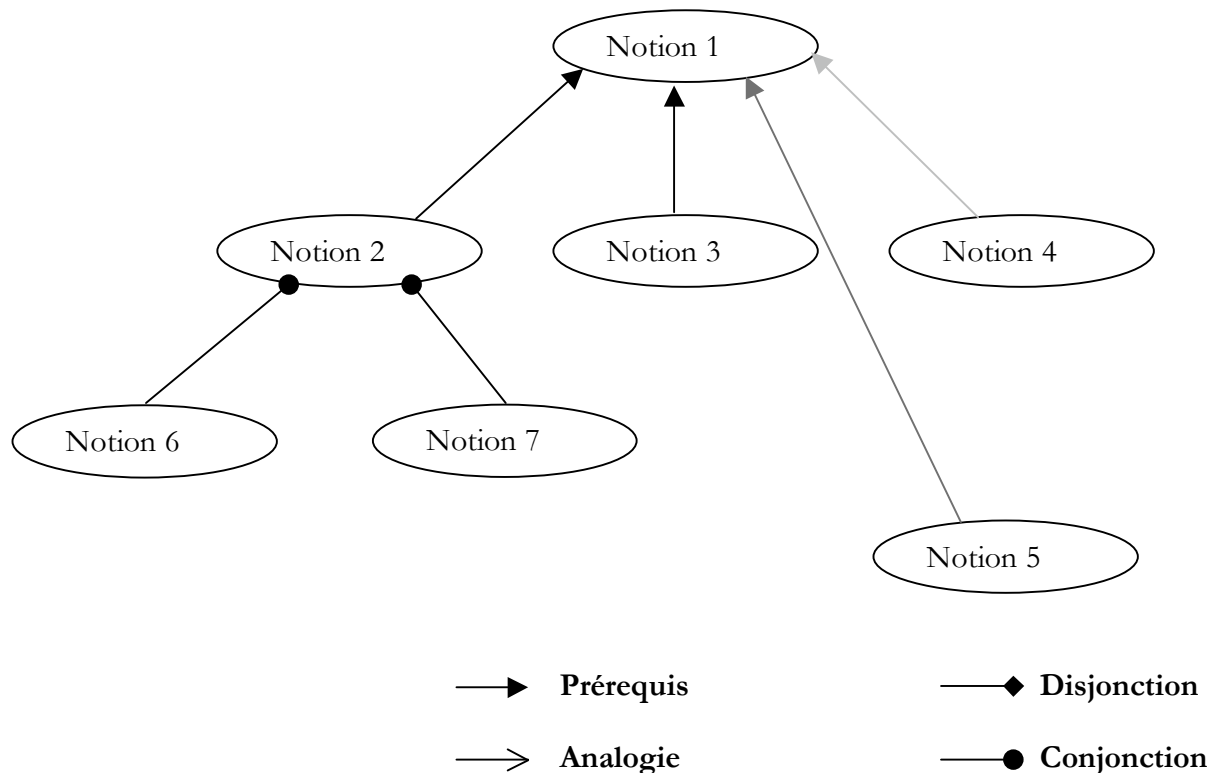


Figure 11 : Modèle de domaine

Pour la navigation on a pris deux types de lien, les liens pré-requis avec une pondération qui va être utilisée dans le choix de couleur de lien dans le graphe de navigation (Par exemple : du noir foncé au plus clair tous dépend du pondération), aussi bien pour le cas du lien conjonction qui va être présenté sous la forme présentée dans la figure.

4.2. Le modèle de l'apprenant

Le modèle de l'apprenant permet au système d'avoir des connaissances sur l'apprenant. C'est-à-

dire, son niveau par rapport à chaque concept, aussi sur ses particularités comme ses préférences, ses objectifs pédagogiques, ses aptitudes sensorielles, etc.

De là on peut noter deux sous modèles :

Le modèle épistémique, qui a pour objectif d'apprécier à sa juste valeur l'état des connaissances de l'apprenant pour les notions présentes dans le modèle du domaine. L'expérience montre que lors du premier contact qu'il est à priori très difficile d'acquérir ces informations. Cela ne peut donc être obtenue que par une phase d'initialisation, induite par l'une, ou la combinaison, des trois méthodes suivantes :

- Une méthode associée au cursus : à chaque niveau scolaire, on assigne un certain niveau de connaissance. Ainsi les apprenants ont tous le même modèle lors de la première utilisation.
- Une méthode associée aux résultats scolaires : on initialise le modèle de l'apprenant en fonction de ses résultats scolaires.
- Une méthode d'auto-évaluation: c'est l'étudiant qui détermine les caractéristiques de son modèle.

Le **modèle comportemental** est le plus souvent très limité, voire absent. Or tout système adaptatif, il doit prendre en compte aussi bien ses préférences, ses objectifs, que ses capacités naturelles.

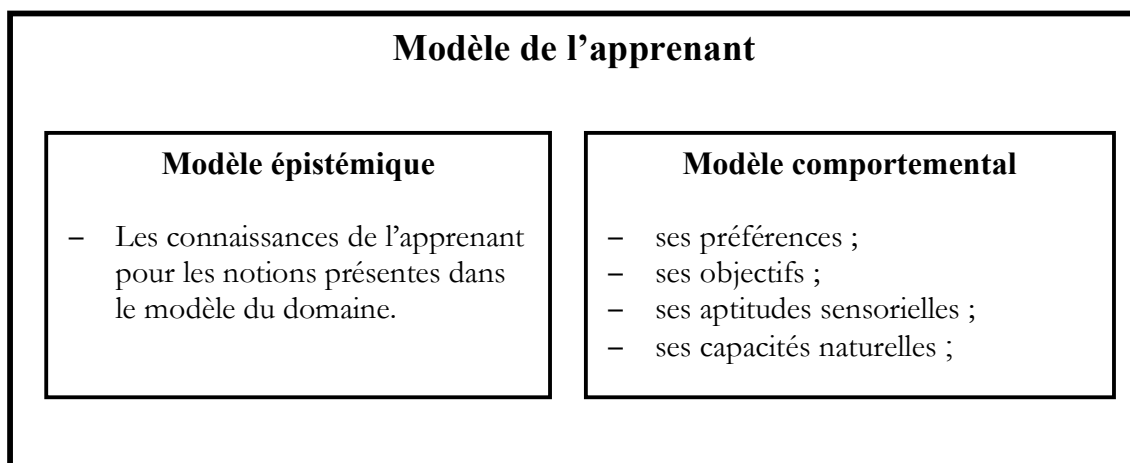


Figure 12 : le modèle de l'apprenant

Pour le premier sous modèle on a choisie le modèle overlay [CHA, 00], qui consiste, à modéliser l'apprenant en rapportant ses connaissances supposées, par recouvrement de la modélisation du domaine. Ce modèle est construit au fur et à mesure que l'apprenant avance dans le cours (nœuds visités). Chaque représentation de concepts est alors stockée avec une estimation de la connaissance de l'apprenant pour ce concept : binaire (su, pas su) ou (connu, inconnu), qualitative (bon, moyen, faible) ou quantitative (la probabilité que l'utilisateur connaisse ce concept), un modèle par recouvrement, peut être représenté comme un ensemble de paires "concept - valeur", une paire pour chaque concept du domaine, qui doit être étudié, la valeur qui représente le degré de connaissance de ce concept : pas su, en cours d'apprentissage ou bien su.

Ce modèle est qualifié de puissant et flexible, puisqu'il permet de rendre compte du niveau de connaissance de l'apprenant [HAB, 03], pour les différents concepts du cours, et il peut représenter les connaissances de l'utilisateur sur différents sujets, ces niveaux vont être présentés au niveau de notre interface (le navigateur) au dessous de chaque nœud pour que l'apprenant puisse avoir une vision sur le degré de terminaison de l'activité (*ce calcul par un processus d'évaluation de l'apprenant*). Ainsi le graphe affiche le nombre de fois où le nœud a été visité.

On a choisie la mesure qualitative ; on associe une valeur d'estimation des connaissance de l'apprenant à chaque concept du modèle de domaine « concept-valeur » (faible, moyen ou fort), qui permettra d'assigner à chacune des mesure une activité pédagogique. On aura donc :

- Novice → familiarisation
- Moyen → Clarification
- Fort → Renforcement

Ces correspondances permettent de déclencher l'activité pédagogique adéquate.

La construction du profil, se fait au fur et à mesure de l'évolution de l'apprenant dans le système. La figure 13 montrent respectivement l'évaluation de l'apprenant ainsi que la construction de son profil.

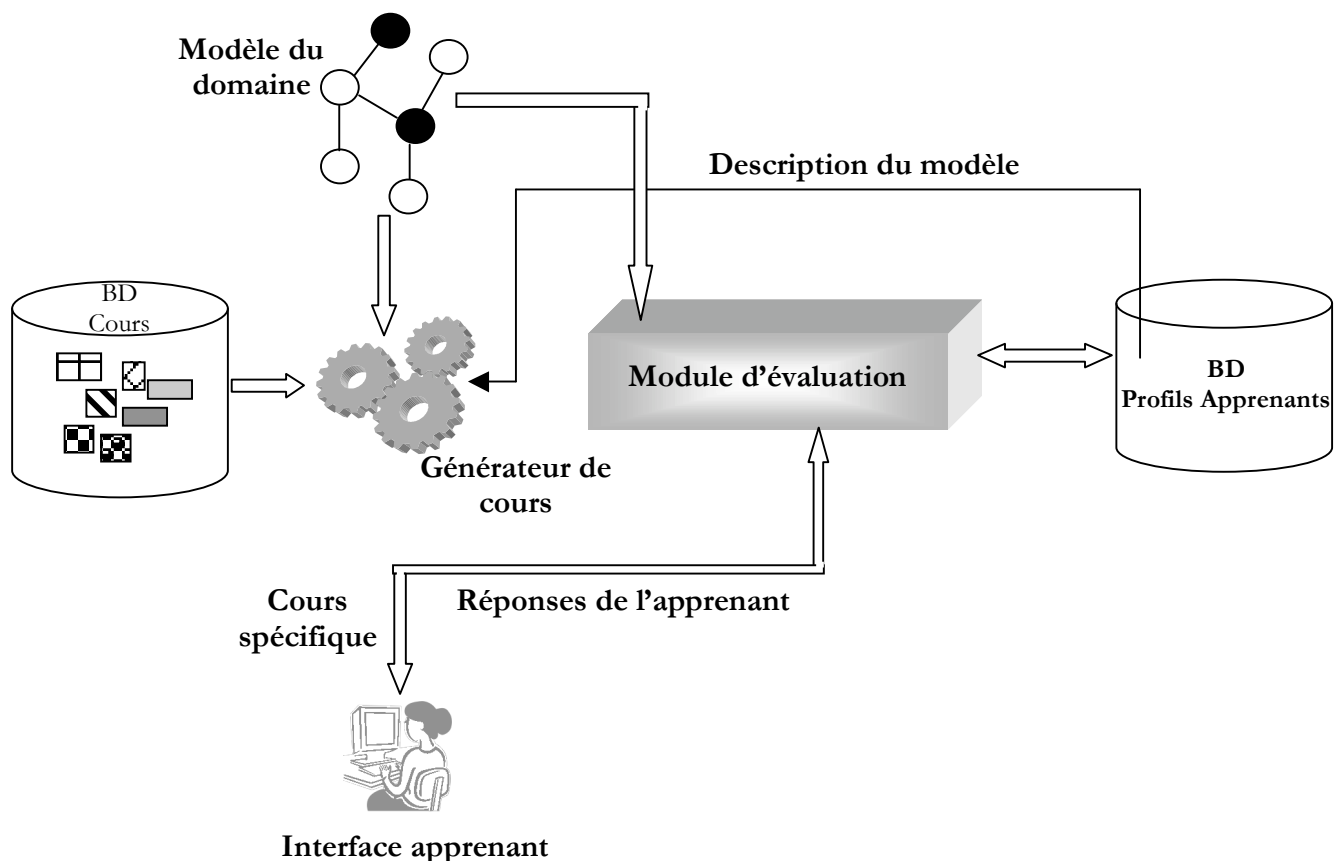


Figure 13 : Architecture du système d'évaluation

La figure présentée, montre la possibilité de mise à jour du profil apprenant dans un contexte général. La communication entre le générateur et le module d'évaluation, se fait à travers la base de données des profils d'apprenants.

4.3. Le modèle d'activités pédagogiques

Le modèle est constitué par les activités, qui permettent au système de présenter les concepts de différentes façons, de sorte à trouver la meilleure présentation possible. A partir de ces activités, le système déduit l'ensemble des activités à présenter à l'apprenant afin de consolider ses connaissances. Les activités pédagogiques permettent d'avoir plusieurs vues du même concept, ce qui permet sa compréhension. Les activités pédagogiques sont [BAL, 04], [LAO, 02] :

1) **Familiarisation** : elle a pour but d'habituer l'apprenant à manipuler un concept. Ses tâches sont définies comme suit :

- Introduction qui sert à introduire les concepts du domaine ;
- Simplification qui correspond au besoin de présenter le concept essentiel, proche de ce que connaît l'apprenant ;
- Comparaison qui place le concept dans un cadre de référence connu ;
- Rappel: pour rafraîchir la mémoire de l'apprenant sur des informations déjà données avant ou supposées connues, mais qu'il peut être utile de se remémorer dans un autre contexte ;
- Digression : permet de s'écarter temporairement du sujet traité, pour faire allusion à un sujet connexe, ou aborder un autre domaine, et ensuite revenir au thème principal enrichi de notions nouvelles.

2) **Clarification** : elle correspond à la nécessité d'éclaircir un concept. Ses tâches sont définies comme suit :

- Observation c'est une remarque dont la portée n'est jamais démenti ;
- Démonstration qui a pour but d'établir la vérité de la proposition ;
- Description qui porte sur le fonctionnement du concept auquel elle se rapporte ;
- Reformulation : présenter le même concept sous un aspect différent pour en construire un sens plus complet.

3) **Renforcement** : elle correspond à la consolidation d'un concept. Ses tâches sont :

- Illustration : qui sert à présenter un ensemble d'exemples ;
- Justification : qui sert à démontrer ce qu'on allègue ;
- Discussion : qui correspond à une généralisation faite à partir d'une succession d'exemples ;
- corroboration : pour un renforcement de ce qui est dit.

A chaque concept du domaine, l'auteur joint un certain nombre d'activités, suivant le degré de difficulté de compréhension, et de la nature du concept. Ainsi, durant la phase d'apprentissage, le système choisira l'activité adéquate.

Les activités pédagogiques, sont exploitées pour définir la structure du document à présenter l'apprenant. Les différentes structures (canevas) sont définies par les enseignants.

Le rapport de l'utilisation de ce modèle, réside dans le fait que celles-ci permettent d'avoir plusieurs visions d'un même concept, ce qui facilite sa compréhension. Par exemple dans le cas « familiariser », on peut envisager différentes structures telles que :

- introduction.
- rappel.
- comparaison,
- simplification

Ou bien

- simplification,
- digression,
- comparaison,
- rappel

4.4. Base de données multimédias

Cette base contient les documents à présenter à l'apprenant. Le contenu de ces documents diffère selon les tâches qui sont en cours. Comme dans d'autres systèmes, les documents dans notre cas sont caractérisés par des attributs ; qui sont utilisés pour identifier le document qui est présenté à l'apprenant On distingue trois types d'attributs : [DEL, 00a]

- **La position**, qui permet de répondre à la question “Où se trouve le document ?”.
- **Le type physique**, qui permet de répondre à la question “Quel est l'aspect physique de le document ?”.
- **Le type cognitif**, qui permet de répondre à la question “Comment s'insère le document dans un cursus pédagogique ?”, selon l'activité en cours (clarifier, familier, renforcer).
- **Le niveau cognitif**, qui permet de répondre aux questions “Quel doit être le niveau de connaissance de l'apprenant pour appréhender correctement le document ?”, et “A quelle notion est-elle associée ?”.

Ou quel on ajoute l'attribut :

- **L'aptitudes cognitives sensorielles**, qui permet de répondre à la question “Quel doit être l'aptitudes de l'apprenant pour appréhender correctement le document ?”, qui a pour but de spécifier l'aptitude demandée (elle peut être vide).

Ces aptitudes peuvent être : aptitude verbale, aptitude spatiale, aptitude mathématique et logique.

De plus, cette base contient aussi les documents d'évaluations, les conseils qui vont être déclenchés selon le contexte et l'intention de l'apprenant.

4.5. Le Générateur du cours :

Les objectifs de cette dernière composante est pour une notion choisie par l'apprenant, le GC se charge de la construction dynamiquement d'une page de l'hypermédia, en fonction de l'état courant du

modèle du domaine, du modèle de l'apprenant, de l'activité pédagogique et de la base de documents élémentaires.

La construction d'une page de l'hypermédia est principalement en fonction du modèle de l'apprenant dans sa globalité, c'est-à-dire fonction du modèle épistémique et du modèle comportemental, et de l'activité pédagogique déclenchée, ainsi que de la base de documents élémentaires.

En fait la construction d'une page débute lorsque l'apprenant décide d'activer un cours (donc une notion), ou lorsqu'il clique sur un nœud qui l'amène sur une nouvelle notion. Le GC récupère alors le niveau de l'apprenant pour le concept courant. Ce niveau est automatiquement réévalué en fonction de la date de la dernière mise à jour, du champ d'enseignement de la notion courante et du modèle comportemental de l'apprenant.

Ensuite le GC récupère le canevas associé à l'apprenant afin de déterminer la structure du cours. Il va donc essayer pour chaque élément de ce canevas de trouver le meilleur média. Pour cela, il va récupérer l'ensemble des documents élémentaires associées à la notion courante en se restreignant pour l'instant au point de vue choisi par l'apprenant.

Delà le générateur de cours récupère le niveau de l'apprenant sur ce concept. Ceci détermine l'activité à utiliser, donc le type cognitif qui peut contenir plusieurs tâches. C'est le type physique qui permettra au générateur de cours de sélectionner la tâche adéquate.

Pour choisir le meilleur document élémentaire, le GC va alors appliquer deux filtres : l'objectif pédagogique et le type physique la figure 14 présente la sélection de la tâche d'ordre 1 à l'aide de filtres [BAL, 03].

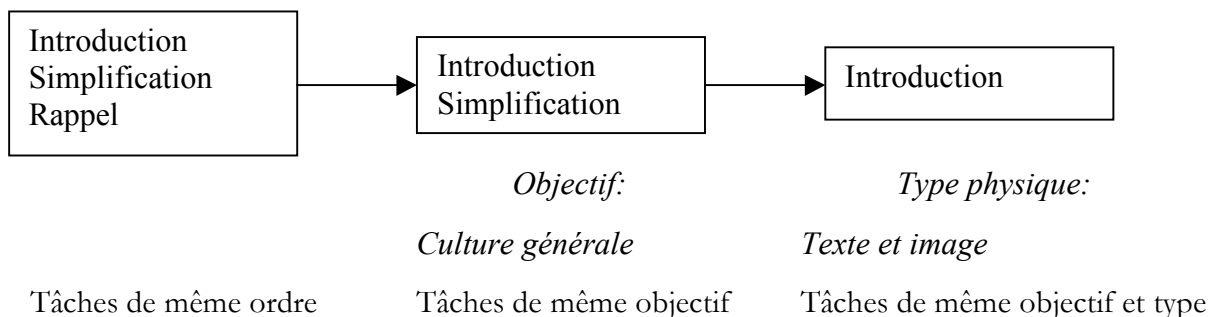


Figure 14 : Sélection de la tâche à l'aide de filtres.



Figure 15: Générateur de cours

Une fois que l'on a construit le contenu d'une page, il faut que le système détermine les liens permettant à l'utilisateur d'accéder à d'autres notions. Ici pas de problème, il suffit de prendre en compte

- Les relations du modèle du domaine,
- Le modèle épistémique,
- Type de cours que désire l'apprenant:
- En vue d'un parcours plus libre : dans ce cas l'apprenant peut choisir de suivre un point le système ne guide pas du tout l'apprenant.

Enfin, il faut déterminer le type de lien entre les nœuds pour chaque type de relation pour le modèle du domaine (déjà expliquer).

De la l'architecture final du système [SOL, 05] :

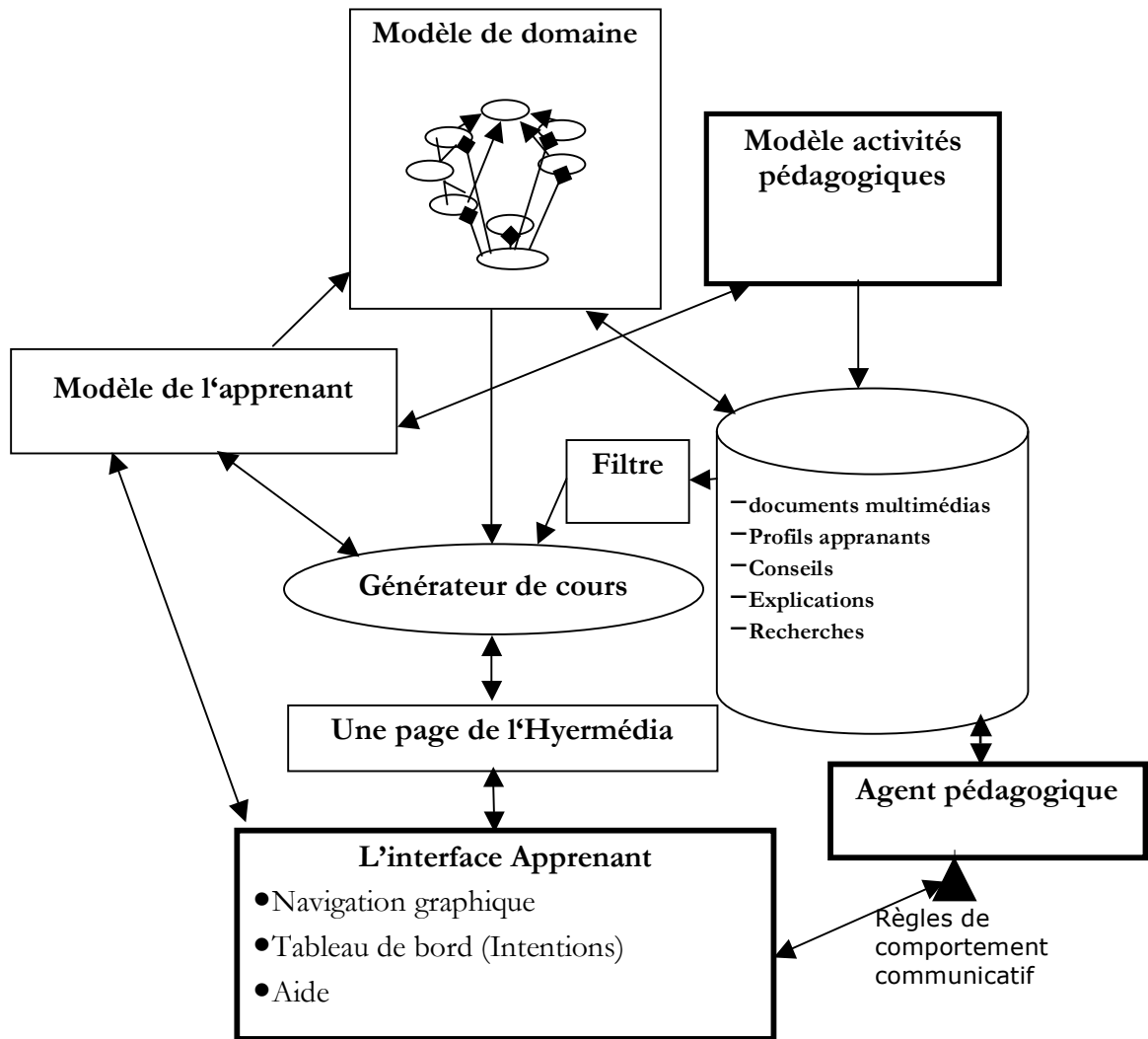


Figure 16 : Architecture final du système

5. Conclusion

Au premier niveau, le navigateur de graphes favorise la navigation dans la matière et les activités dans le respect des lignes directrices de la théorie ergonomique. Les graphes conceptuels offrent une

métaphore cohérente et adaptée pour évoquer la métaphore de la toile, celle du cerveau et aussi celle de l'exploration spatiale vers des mondes nouveaux et complexes. Au plan pragmatique, les graphes fournissent un accès rapide aux différentes parties du cours et aux ressources; ils illustrent de façon structurée les relations entre les composantes. Les icônes et le choix des couleurs ont été définis pour maximiser la compréhension. Les graphes peuvent être animés pour une meilleure rétroaction à l'apprenant sur son activité.

De plus notre modèle ajoute des annotations, en signifiant ce qui a été réalisé. Delà l'apprenant peut voir ainsi où il en est dans sa progression, ce qui l'aide à s'orienter et devrait le motiver.

L'environnement permet l'intégration de fonctions pédagogiques de soutien et de contrôle. À ce niveau, le fait que l'interface de navigation soit fondée sur des modèles des activités et des concepts et permet à l'apprenant de spécifier ses intentions, facilite l'intégration du soutien par le concepteur du cours. En effet, l'aide peut alors se situer au niveau supérieur des intentions plutôt qu'au niveau des actions élémentaires.

L'environnement repose sur l'architecture d'un hypermédia adaptatif dynamique générant des activités pédagogiques, qui permet d'adapter le contenu présenté à l'apprenant. De là, une page de l'hypermédia est principalement en fonction du modèle de l'apprenant dans sa globalité, c'est-à-dire fonction du modèle épistémique et du modèle comportemental, dans la perspective est de diminuer la surcharge cognitive de l'apprenant en terme de contenu pédagogique, présentation (préférences).

Conclusion générale

Conclusion générale

Les hypermédias représentent une « nouvelle » méthode de transmission de l'information. Leur utilisation dans un cadre éducatif, qui pour les premiers types d'hypermédia posait quelques problèmes (la désorientation, la surcharge cognitive), est aujourd'hui un fait incontournable. En effet, bien que certaines études ont tenté, ou tentent encore de minimiser l'impact cognitif des hypermédia (ce qui devient de plus en plus difficile avec l'apparition des hypermédia adaptatifs), la position prédominante des hypermédia dans les nouvelles technologies de l'information et de la communication les rend pratiquement incontournables.

Afin d'y remédier, nous avons cherché de trouver une solution qui essaie de diminuer la surcharge cognitive chez l'apprenant, et de réduire les problèmes liés à la désorientation.

Pour le premier problème (Surcharge cognitive) qu'est dû aux documents présentés à l'apprenant, car comme nous l'avons vu que l'efficacité de documents dépend bien sur de la quantité d'informations fournies, de leur qualité mais aussi de la manière dont elles sont présentées. Dans cette recherche on propose des recommandations et des précautions qu'on doit les prendre en considération dans la phase de conception des documents en terme de présentations afin de favoriser leurs compréhensions.

De même on a liée la surcharge cognitive à l'interface, car ce type d'interface doit avoir une certaine transparence des fonctionnalités de l'outil afin que l'apprenant puisse consacrer exclusivement son temps à l'acquisition de connaissances sans surcharge cognitive de la nature procédurale de l'interface. De ce fait notre modèle d'interface essaie de diminuer la surcharge cognitive liée à l'interface et le problème de désorientation.

De plus nous avons choisi pour notre modèle d'interface un appui fondé sur un modèle d'hypermédias adaptatifs, basé sur la notion d'activités pédagogiques, afin de répondre au deuxième point qui peut aussi créer une surcharge cognitive (Quantité d'informations et qualité). Les activités pédagogiques sont formées à partir d'unités de connaissances, qui représentent des objets multimédia comme par exemple les images, les textes, les vidéos et autres supports d'information, stockés sous formes de fichiers.

Nous avons présenté un modèle inspiré des recherches sur les interfaces adaptatives et de celles sur les systèmes d'aide à l'apprentissage dans les hypermédias, qui cherche à mettre en relation les différentes dimensions du modèle apprenant, du contexte et des stratégies possible d'organisation de l'aide. Le modèle cherche à intégrer non seulement les dimensions cognitives de la tâche d'apprentissage, mais également les dimensions motivationnelles et sociales de l'activité. Nous présentons un modèle d'interface conçu pour faciliter la navigation (pour le problème de désorientation) et la définition du soutien dans un hypermédia d'apprentissage, afin d'aider l'apprenant dans sa progression. Le modèle permet même l'adaptation de ce soutien en fonction des préférences de l'apprenant.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [ALB, 87] Albert. Education pour l'an 2000. Compte rendu du colloque organisé à Nantes le 26 octobre 1987 par la fondation Frederik R. Bull, Formation et techniques de la communication, A. Principal : Yanowski Jean, 1987.
- [BAG, 84] Baggett, P. (1984). Role of temporal overlap of visual and auditory material in forming dual media associations. *Journal of Educational Psychology*, 76, 408-417
- [BAL, 94] V. Balasubramanian, "State of the Art Review on Hypermedia Issues And Applications", Graduate School of Management, Rutgers University, Newark, NJ, 1994.
- [BAL, 98] BALACHIEFF N. "Formalisation des connaissances et modélisation des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain". Actes du colloque Assises nationales du GDR PRC 13, Lyon, juin 1998
- [BAL, 04] BALLA. A « Un modèle générique d'environnement de développement des hypermédias adaptatifs et dynamiques générant des activités pédagogiques ». Thèse de doctorat de l'IN.I Alger (Algérie), Décembre 2004.
- [BAL, 03] BALLA A., LASKRI M T., LAOUDI L., : « HYPERGAP : HYPERmédias adaptatifs et dynamiques Générant des Activités Pédagogiques », paru dans la revue international Document numérique Volume 7 n° 1-2/2003, ISSN N° 1279-5127., 2003.
- [BAR, 94] M. Baron, "EIAO : quelques repères.", *Revue Terminal* N°65, 67-84, 1994.
- [BAR, 95] BARDINI, T. (1995). "The Social Construction of the personal Computer User" in *Journal of Communication* 45 (3), Summer.
- [BAR, 00] Barrié, G. (2000). *Internet, clefs pour la lisibilité, se former aux nouvelles exigences de l'hypermédia*. Paris : ESF.
- [BEL, 92] Bellemain Franck (1992), *Conception, réalisation et expérimentation d'un logiciel d'aide à l'enseignement de la géométrie : Cabri-géomètre*, Thèse de 3-ème cycle, Université J. Fourier, Grenoble I, France.
- [BÉT & BIS, 98] Bétrancourt, M. & Bissere, A. (1998). Integrating textual and pictorial information via pop-windows: an experimental study. *Behaviour and Information Technology*, 17 (5), 263-273 306
- [BAT & AL, 00] Bétrancourt, M., & al. (2000). Effect of computer animation on user's performance: a review. *Le travail humain*, 63(4), 311-330.
- [BOD & AL, 97] R. Bodner, M. Chignell, J. Tam, "Website Authoring using Dynamic Hypertext", *Proceeding of WebNet'97*, Toronto, p59-64, 1997.
- [BØD, 91] BØDKER, S. (1991). *Through the Interface: A Human Activity Approach to Interface Design*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- [BOH & JAM, 02] Le Bohec et Jamet (2002) *Quantity of visual redundant information in the use of multimedia lessons*, paper accepted at the SIG meeting on « multimedia comprehension, Poitiers, 2002
- [BOY & AL, 98] C. Boyle, A. O. Encarnacion, "Metadoc : An Adaptive Hypertexte Reading System", *Adaptive Hypertext and Hypermedia*, Kluwer Academic Publishers, p71-89, 1998

- [BRU, 92] P. Brusilovsky, "Intelligent Tutor, Environment and Manual for Introductory Programming", Educational and Training Technology International, 29(1), p26-34, 1992.
- [BRU, 94a] P. Brusilovsky, "Adaptative Hypermedia : An attempt to Analyze and Generalize", Multimedia, Hypermedia and Virtual Reality, First International Conference, MHVR'94, p288-304, 1994.
- [BRU & AL, 94b] P. Brusilovsky, L. Pesin, "ISIS-Tutor : An Intelligent Learning Environment for CDS/ISIS Users", CLCE'94, 1994.
- [BRU & AL, 95] P. Brusilovsky, L. Pesin, "Visual annotation of links in adaptative hypermedia", CHI'95, Denver, Etats-Unis, 1995.
- [BRU & SCH, 97] Brusilovsky P., Schwarz E., *User as Student: towards an Adaptive Interface for Advanced Web-Based Applications*, Human-Computer Interaction Institute, Department of Psychology, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, United States of America, User Modeling: Proceedings of the Sixth International Conference (UM'97), Springer Wien New York, pp. 177-188, 1997.
- [BRU, 97] BRUSILOVSKY P. "Efficient techniques for adaptive hypermedia". In Nicholas C. & Mayfield J.(Eds.), intelligent hypertext : Advanced techniques for the World Wide Web, LNCS 1326, Berlin, Springer-Verlag, pp. 12-30, 1997. <http://www2.sis.pitt.edu/~epeterb/papeb.html>
- [BUS, 45] V. Bush, "As We May Think", The atlantic monthly, 1945.
- [CAR, 70] J.R. Carbonell, "AI in CAI: An Artificial Intelligence Approach to Computer Assisted Instruction", IEEE Transactions on Man-Machine Systems, Vol. 11, N. 4, p190-202, 1970.
- [CER, 80] DE CERTEAU, M. (1980). L'invention du quotidien, Collection:Arts de faire, Paris:UGE 10/18.
- [CHA & SWE, 91] Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- [CHA, 00] CHABERT-RANWEZ S. "Composition Automatique de Documents Hypermédia Adaptatifs à partir, d'Ontologies et de requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur-. Thèse de doctorat, université Montpellier 2 décembre 2000.
- [CHA, 99] CHARNAY L. "ADEX, un système expert explicatif dialogique". Thèse de doctorat de LIMSI (France), 1999.
- [CON, 87] CONRTOIS J. "Hypertext : An introduction and survey". IEEE computer, September, pp. 17-41, 1987.
- [COX & AL, 99] R. Cox, M. O'Donnell, J. Oberlander, "Dynamic versus static hypermedia in museum education: an evaluation of ILEX, the intelligent labelling explorer", Artificial Intelligence in Education - AIED'99, p181-188, 1999.
- [DEL, 00a] DELESTRE N. METADYNE « Hypermédia adaptatif dynamique pour l'enseignement ». Thèse de l'université de Rouen (France), Janvier 2000.
- [DEL, 00b] DELESTRE N. "La construction automatique de cours hypermédia adaptés à l'apprenant par agencement de briques élémentaires". IC'2000, Toulouse, p35-46, 2000.
- [DEN, 95] DENIS B., LECLERCQ D. "Apprentissage et multimédia". Actes de la Journée d'information sur le multimédia. Presses Universitaires de Namur, pp. 119-141, 1995. <http://www.fapse.ulg.ac.be/lab/Ste/laean-nett/ressources/multimedia.html>
- [DIS, 86] DISESSA, A. (1986). "Notes on the Future of Programming: Breaking the Utility Barrier", in User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction, D.A. Norman (ed.), Hillsdale, N.J.
- [DUF, 00b] DUFRESNE, A., Model of an Adaptive Support Interface for Distance Learning, ITS'2000. Montréal, Springer Verlag, p.334-343.

- [FRA & AL, 96] C. Frasson, E. Aimeur, "SAFARI, a University-Industry Cooperative Project", International Conference on Success and Pitfall of Knowledge Based Systems in Real-World Application, Bangkok, 1996.
- [GEN, 96] GENTNER, D., & NIELSEN, J. (1996). The Anti-Mac interface. *Communications of the ACM*, 39, 70-82.
- [GYS, 96] Gyselincq V. (1996) Illustrations et modèles mentaux dans la compréhension de textes. *L'année Psychologique*, 96, 495-516
- [HAB, 03] HABIEB-MAMMAR H., TARPRIN-BERNARD F., PREVOT P. "Adaptive presentation of multimedia interface Case study: 'Brain Story. Course'". 9eme Conférence Internationale sur le Modèle Utilisateur (UM 03), Pittsburgh, USA. pp. 15-24, Juin 2003.
- [HID & AL, 02] Hidrio, C., & al. (2002). Using dynamical illustrations and aural explanations in web sites: An application to a search engine's syntax. Accepted Visual Presentation at the Eleventh European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE11) on Cognition, Culture and Design. Catania, September 2002
- [HOO, 95] M. Hoogeveen, "Toward a New Multimedia Paradigm : is Multimedia Assisted Instruction Really Effective ?", ED-MEDIA 95 World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia, p348-353, 1995.
- [HOO, 97] M. Hoogeveen, "Towards a Theory of the Effectiveness of Multimedia Systems", *International Journal of Human Computer Interaction*, 9(2), p151-168, 1997.
- [HUT & AL, 85] Hutchins E. L., Holland J. D. & Norman D. A. (1985), *Direct manipulation interfaces*, *Human Computer Interaction* (1), pp. 311-338.
- [JAM & BOU, 02] Jamet et Boucher (soumis) Les effets de présentation séquentielle sur l'apprentissage de documents électroniques multimédias. Colloque international sur le document électronique. Hammamet, octobre 2002.
- [JAM, 98] Jamet E. (1998) L'influence des formats de présentation sur la mémorisation, *Revue de Psychologie de l'éducation*. 1, 9-35.
- [JAM, 00] Jamet E. (2000) L'intégration spatiale d'éléments textuels et illustratifs améliore-t-elle la performance? *Revue d'intelligence artificielle : Les Interactions Homme-Système : perspectives et recherches psycho-ergonomiques*. 14, 167-188
- [KAV, 98] A. Kavcic, "A Model of An Adaptive Hypermedia Educational System", NTICF'98, Rouen, France, p345-350, 1998.
- [KAL, CHA & SWE, 98] Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- [KAL, CHA & SWE, 00] Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of Educational Psychology*, 92, 126-136
- [LAB, 90] ABAT J-M. "QUIZ : une amélioration des capacités pédagogiques des tuteurs intelligents". Thèse de l'université, Paris V), décembre 1990.
- [LAN, 90] D. Langue, "A formal model of hypertext", *Hypertext standardization Workshop*, Gaithersburg, 1990.
- [LAN, 96] D. Langue, "An object-oriented design approach for Developing Hypermedia Information Systems", *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce* 6(3), p269-293, 1996.
- [LAO, 02] LAOUDI S. "Architecture d'un hypermédia éducatif générant des activités pédagogiques", *Mémoire de Magister*, INI, Alger (Algérie), 2002.

- [LAR, 01] M. Laroussi, M, "Conception et réalisation d'un système didactique hypermédia adaptatif :CAMELEON". Thèse de doctorat, université Manouba, cycle de formation doctorale en informatique ENSI/FST, Tunisie, Mars, 2001.
- [LIN, 95] LINARD, M. (1995) "New Debates on Learning Support" in Journal of Computer assisted learning, 11, 239-253.
- [LOW, 99] Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. European journal of psychology of education, 14, 225-244.
- [MAU & AL, 93] H. Maurer, N. Scherbakov, P. Srinivasan, "A new hypermedia data model", Database and Expert Systems Applications - DEXA'93, p685-696, Prague, 1993.
- [MAU & AL, 94] H. Maurer, N. Scherbakov, K. Andrews, P. Srinivasan, "Object Oriented Modeling of Hyperstructure: Overcoming the static link deficiency", Information and Software Technology, Vol.36 (6) p315 -322, 1994.
- [MAY, 01] Mayer, R. E. (2001). Multimedia Learning. Cambridge University Press.
- [MAY, 89] Mayer R.E. (1989). Systematic thinking fostered by illustration in scientific text. (1989), Journal Of Educational Psychology, 81(2), 240-246
- [MAY & AND, 92] Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1992). The instructive animation : Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. Journal of Educational Psychology, 84, 444-452.
- [MAY & AND, 92] Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1992). The instructive animation : Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. Journal of Educational Psychology, 84, 444-452.
- [MAY & MOR, 98] Mayer, R.E., & Moreno, R.(1998). A split-attention effect in multimedia learning : Evidence for dual processing systems in working memory. Journal of Educational Psychology, 90 (2), 312-320.
- [MAY & MOR, 99] Mayer R.E. & Moreno R. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: the role of modality and contiguity, Journal of Educational Psychology, 91(2), 358-368.
- [MAY, BRY, MAR & TAP, 96] Mayer, R. , Bove, W.Bryman, A., Mars, R. & Tapangco, L. (1996). When less is more : meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons. Journal of Educational Psychology. 88, 64-73.
- [MEN, 91] P. Mendelsohn, "Les environnements intelligents d'apprentissage", Cahiers de la Fondation Archives Jean Piaget, Université de Genève, p75-86, 1991.
- [MIL, 56] G. A. Miller, "The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information", Psychological Review, p81-97, 1956.
- [MIL, 98] MILLERAND, F. (1998). Examen de synthèse. Université de Montréal.
- [MOU, 98] C. Moulin, "Adaptation dynamique d'un système d'aide à l'apprentissage de la géométrie : Modélisation par un système multiagent", Thèse de l'Université de Rouen, 1998
- [MUR, SCH, WIL, 97] Murray J., Schell D., Willis C., *User Centered Design in Action : Developing an Intelligent Agent Application*, IBM Corporation, Research Triangle Park, 15th Annual International Conference on Computer Documentation Conference Proceedings (SIGDOC'97), Crossroads in Communication, Salt Lake City, ACM, New York, United States of America, pp. 181-188, 1997
- [MUR & MCT, 97] Murray J., Schell D., Willis C., *User Centered Design in Action : Developing an Intelligent Agent Application*, IBM Corporation, Research Triangle Park, 15th Annual International Conference on Computer Documentation Conference Proceedings (SIGDOC'97), Crossroads in Communication, Salt Lake City, ACM, New York, United States of America, pp. 181-188, 1997.
- [NAD, 97] M. Nanard, "Les hypertextes : au-delà des liens, la connaissance", Sciences et techniques éducatives, Vol 2, n°1, Edition Hermes,1995.
- [NAN, 95] M. Nanard, "Les hypertextes : au-delà des liens, la connaissance", Sciences et techniques éducatives, Vol 2, n°1, Edition Hermes,1995.

- [NEL, 65] T. Nelson, "A File Structure for the Complex, The Changing and The indeterminate", ACM 20th National Conference 1965.
- [NEM & AL, 98] F. Nemetz, P. Johnson, "Developing Multimedia Principles from Design Features", dans A. Sutcliffe, J. Ziegler & P. Johnson (eds.), *Designing Effective and Usable Multimedia Systems*, Kluwer Academic Publishers, pp.57-71, 1998.
- [NIC, 88] NICAUD I.F., VIVET M. "Les tuteurs intelligents : réalisations et tendances de recherches". TSI n 7, Vol 1, 1988.
- [NIE, 90a] The art of Navigating through Hypertext. *Communications of the ACM*, 33, 1990, p.296-310.
- [NIE, 99] NIELSEN, J., *Designing Web Usability*, New Riders Publishers. [NON 86] NONNON, P. (1986). *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*. Montréal: Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 1996.
- [NON, 96] NONNON, P. (1986). *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*. Montréal: Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 1996.
- [NOR, 86] NORMAN, D. A., & DRAPER, N., *User Centered System Design: New perspectives on human-computer interaction*, Hillsdale, Earlbaum, 536p.
- [PAL & AL, 93] Palmiter, S., & al. (1993). *Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks*. *Human Computer Interaction*, 8, 193-216.
- [PIL & AL, 99] C.J. Pilgrim, Y.K. Leung, "Site Maps - Where are we now ?", *Web-Net'99*, Hawaï, Etats-Unis, p883-888, 1999.
- [QUE, 91] QUERE M. "Systèmes experts et enseignement assisté par ordinateur". Paris : Ophrys, 1991.
- [RAA, 02] RAAD H. CAUSE B. "Modelling of an Adaptive Hypermedia System based on Active Rules", *ITS 2002*, Biarritz (France), pp 149-157 juin 2002.
- [REC, 95] M. Recker, "Cognitive Media Types for Multimedia Information Access", *Journal of Education Multimedia and Hypermedia*, 1995
- [RHÉ, 93] J. Rhéaume, "Les hypertextes et les hypermédia", *Revue Educa Technologie*, Volume 1, numéro 2, Décembre 1993.
- [RIC & AL, 99] Luc Richard and Guy Gouardères. *An Agent-operated Simulation-based Training System - presentation of the CMOS project*. In *proceedings of the ninth international conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99*, Suzanne P. Lajoie and Martial Vivet (Eds.), IOS Press, pp. 343-351, 1999.
- [RUE, 00] RUELLAND, D., *Les outils d'autogestion*. Thèse de Ph.D., Université de Montréal, 2000.
- [SCA, 97] Scapin, D.L. et Bastien, J.M.C. (1997). *Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems*. *Behavior and Information Technology*, 17(4/5), 220-231.
- [SCH, 01] Schnotz, W. (2001). *Sign systems, technologies and the acquisition of knowledge*. In J. F. Rouet, J. J. Levonen & A. Biarreau (Eds.), *Multimedia learning: cognitive and instructional issues* (pp. 9-29). Amsterdam: Elsevier.
- [SMI & AL, 82] Smith D. C., Irby C., Kimball R. & Verplank B. (1982), *Designing the Star User Interface*, *BYTE*, April 1982, pp. 242-282.
- [SOL, 05] SOLTANI. M, «Diminution de la surcharge cognitive et amélioration de l'interface apprenant dans un hypermédia éducatif», *The international Conference : Science of Electronic, Technologies of Information and Telecommunication SETIT2005*
- [SUC, 87] SUCHMAN, J. (1987) . *Plans and situated action: the problem of Human-Machine communication*, Cambridge University Press.

- [SWE, 99] Sweller, J., « Présentation du document numérique », paru dans la revue international Document numérique Volume 7 n° 1-2/2003, ISSN N° 1279-5127., 2003.
- [TAR, EHR & GYS, 92] Tardieu, H. Ehrlich M.F. & Gyselinck, V. (1992) Levels of representation and domain specific knowledge in comprehension if scientific texts, Language and cognitive processes, 7, 335-351
- [TRI, 98] Ces travaux ont été réalisés majoritairement en australie par l'équipe de J. sweller. Pour une revue : Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. Revue de Psychologie de l'Éducation, 3, 37-62.
- [VAS, 95] J. Vassileva, "Dynamic Courseware Generation : at the Cross of CAL, ITS and Autoring", the International Conference on Computers in Education, ICCE'95, Singapore, p290-297, 1995.
- [VAS, 97] J. Vassileva, "Dynamic Courseware Generation on the WWW. Pro- ceedings of the workshop : Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web", Sixth International Conference on User Modeling, 1997.
- [WIE, 99] Wiedenbeck, S. (1999) The use of icons and labels in an end user application program: An empirical study of learning and retention. Behaviour and Information Technology. Vol 18(2): 68-82
- [WOG, SOJ & BRE, 02] Wogalter, M., Sojourner R.J. & Brelsford J. (2002) Comprehension and retention of safety pictorials, Ergonomics, 40, 5, 531-542