

# EDPHA : un Environnement de Développement et de Présentation d'Hyperdocuments Adaptatifs

## *EDPHA: an Environment for Developing and Presenting Adaptive hyperdocuments*

Halima HABIEB-MAMMAR (1), Franck TARPIN-BERNARD (1, 2),  
Patrick PREVOT (1)

(1) Laboratoire Interaction Collaborative Télé-enseignement Télé-activité, INSA  
Lyon, France  
Halima.habieb@insa-lyon.fr, Patrick.prevot@insa-lyon.fr

(2) SBT - HappyNeuron  
Batiment CEI, 66 Bd Niels Bohr, BP 2132, 69603 Villeurbanne cedex  
Franck.tarpin-bernard@insa-lyon.fr

**Résumé.** Dans cet article, nous proposons un environnement de développement et de présentation d'hyperdocuments adaptatifs. Basé sur cinq composants, cet environnement contribue à l'adaptation de la présentation d'un hyperdocument au profil cognitif de la personne qui le consulte. Nous décrivons ces composants à savoir : le modèle cognitif de l'utilisateur, le modèle de l'hyperdocument, l'outil générateur de ces hyperdocuments, le processus d'adaptation et le processus de formatage. Une étude expérimentale menée sur 42 sujets a pour objectif de valider cette approche. Les résultats positifs issus d'un protocole de validation original démontrent qu'une telle adaptation apporte un réel bénéfice à l'utilisateur.

**Mots-clés.** Adaptativité de la présentation, modèle utilisateur, modèle de document.

**Abstract.** In this paper, we are presenting a tool for developing and presenting adaptive hyperdocuments. Based upon five components, this tool mainly contributes to the adaptation to user's cognitive profile of the presentation of hyperdocuments. Each component is fully described: the cognitive user model, the hyperdocument model, the editor, the adaptation process and the layout process. An experimental study that involved 42 subjects has been done to validate our approach using an innovative protocol. The first results are positive and show that such an adaptation can bring a real benefit for the users.

**Keywords.** Presentation adaptation, user model, document.

## 1 Introduction

Avec la prolifération –un peu anarchique– des documents sur Internet, le lecteur consommateur est face à une grande quantité d'informations qui ne

répondent pas forcément à ses besoins. L'organisation des documents et de leurs contenus a peu de chance de respecter son niveau de connaissance (ils sont soit trop rudimentaires, soit trop complexes) et ses canaux de communication préférentiels (visuel, auditif...). Par ailleurs, de par la nature non séquentielle de l'accès à l'information et aux fonctionnalités induites par les caractéristiques des hypermédias, l'utilisateur bénéficie d'une certaine flexibilité dans l'utilisation de ces hyperdocuments. Néanmoins, cette facilité de naviguer dans la structure hypermédia comporte deux risques majeurs : le syndrome de désorientation ("*lost in hyperspace syndrome*") et le phénomène de surcharge cognitive (Conklin, 1987). C'est pour apporter des solutions à ces problèmes qu'est né le concept d'adaptation de l'interaction homme-machine dans les hypermédias (Fink *et al.*, 1997) (Brusilovsky, 1996, 2001) (Stephanidis *et al.*, 1998). Suivant que l'adaptation est pilotée par l'utilisateur ou le système, on parle de système adaptable ou adaptatif. Jameson (2002) a récemment dressé un panorama très détaillé des enjeux et des approches utilisées jusqu'à présent par les systèmes adaptatifs.

Traditionnellement, l'adaptation se base sur une modélisation de l'utilisateur. La tendance actuelle consiste à prendre en considération de nouvelles données relatives à l'environnement d'utilisation (Fischer, 2001) et aux plates-formes d'interaction. En effet, avec l'apparition de nouvelles technologies d'information et de communication, l'utilisateur dispose aujourd'hui de plates-formes d'interaction multiples (ordinateur, assistant numérique, téléphone portable, etc.) qui peuvent être utilisées dans des environnements variés (localisation, ambiance, période, etc.). Le triplet <utilisateur, plate-forme, environnement> est alors appelé "**contexte d'adaptation**" (Thevenin, 2001).

Cet article s'intéresse plus particulièrement à l'adaptation de la présentation d'un hyperdocument au profil cognitif de l'utilisateur. En effet, les utilisateurs assimilent plus ou moins les concepts qui leur sont présentés suivant leurs capacités perceptives (audition, vision, etc.) et cognitives (attention, langage, etc.) (Weil-Barais, 2001). Une adaptation à ces capacités a pour objectif de réduire la charge cognitive des utilisateurs lors de l'exploration des hyperdocuments. L'environnement EDPHA : Environnement de Développement et de Présentation d'Hyperdocuments Adaptatifs à cette ambition. Il est basé sur un modèle utilisateur, un modèle de document, ainsi qu'un moteur d'adaptativité qui, à partir des deux modèles précédents et d'une feuille de style, produit un document hypermédia adaptatif. Il peut être étendu à d'autres critères d'adaptation que les critères cognitifs. Nous décrivons dans un premier temps chacun des composants de cet environnement, puis nous présentons un exemple d'hyperdocument adaptatif. Enfin, nous présentons les résultats d'une première étude expérimentale de EDPHA ainsi que les perspectives ouvertes par ce travail.

## 2 Architecture de EDPHA

Le cœur de tout système hypermédia adaptatif est composé d'un modèle d'hyperdocument (Vassileva, 1994), appelé également modèle de domaine, et d'un modèle utilisateur. Le premier composant a pour objet de fournir une structure globale du document hypermédia et détermine les différentes variantes des éléments qui le constituent ainsi que leurs relations. Il est encore appelé structure conceptuelle ou connaissances de domaine et est généralement implanté à l'aide de pages hypermédias. Le modèle utilisateur prend en compte les différentes caractéristiques de l'utilisateur : ses données sociodémographiques, ses préférences et surtout ses capacités cognitives. Nous reprenons ces deux modèles auxquels nous

ajoutons un moteur intelligent, qui, combiné à la feuille de style, génère des hyperdocuments adaptatifs.

Dans les sections suivantes, nous allons tout d'abord présenter le modèle utilisateur adopté (Tarpin-Bernard *et al.*, 2001), puis nous décrivons le modèle de document, sa structure et ses composants, ainsi que le générateur des documents hypermédias. Enfin, nous finirons par la description du fonctionnement du moteur de l'adaptation et la feuille de style générique.

La figure 1 illustre le scénario d'utilisation de l'environnement EDPHA en montrant les interactions de l'auteur des hyperdocuments et des utilisateurs avec le système.

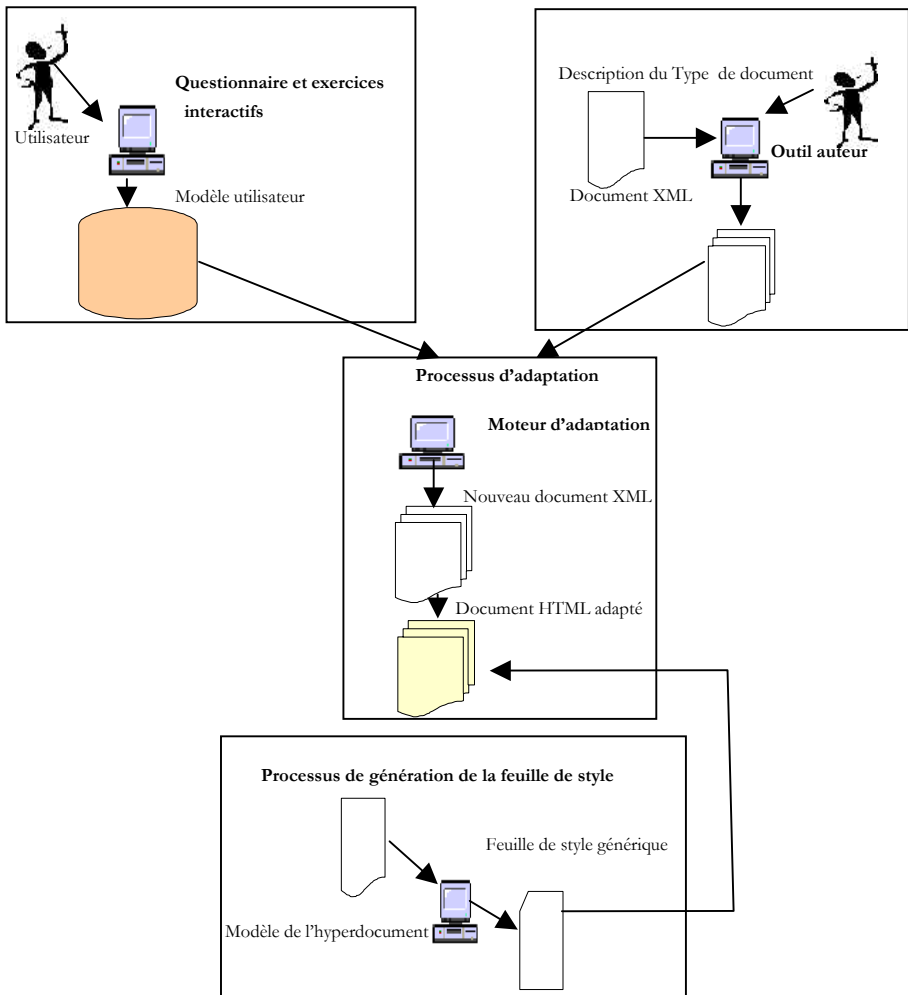


Figure 1. Scénario de fonctionnement de EDPHA

Le déroulement du scénario peut se résumer comme suit. Côté concepteur, le document hypermédia est construit grâce à l'outil de génération de cours qui

produit un document XML. La feuille de style est alors créée à partir de la description des types de données (DTD Data Type Description). Côté utilisateur, son modèle est initialisé grâce à l'exécution d'un ensemble d'exercices interactifs. Ces trois processus produisent les éléments sur lesquels se base le processus d'adaptativité du document hypermédia. Nous reviendrons sur la description de chacun d'eux dans le paragraphe suivant.

## 2.1 Modèle utilisateur

La société SBT propose un site interactif d'entraînement cognitif supervisé, appelé HAPPYneuron™. Ce service est constitué d'exercices de stimulation cognitive et d'un processus de supervision de l'entraînement. Toutes les performances réalisées sont archivées et analysées. Au fil du temps, un profil cognitif est élaboré (Tarpin-Bernard *et al.*, 2001). Ce profil décrit 5 grands domaines de compétence regroupant différentes fonctions cognitives élémentaires :

- La **mémoire** est l'ensemble des mécanismes qui permettent l'acquisition, puis le stockage et enfin la réutilisation d'informations. La mémoire n'est pas une fonction unitaire, elle est divisée en différents sous-systèmes selon la nature consciente ou inconsciente de l'apprentissage ou du rappel, le type de stratégie employée (verbale ou visuelle) la qualité du souvenir mémorisé (expérience personnelle, faits culturels, procédures motrices spécialisées).
- L'**attention** est fondamentale pour l'efficacité intellectuelle car elle est sollicitée dans la plupart des tâches cognitives. La mobilisation des ressources attentionnelles permet dans certains cas de privilégier un stimulus parmi d'autres ou au contraire de distribuer simultanément sa concentration sur plusieurs stimuli de l'environnement. La mémoire de travail est une forme spécialisée de mémoire à court terme qui maintient temporairement une information pendant l'exécution d'activités cognitives complexes.
- Le **langage** regroupe l'ensemble des processus d'expression et de compréhension selon deux codes : oral et écrit. Il constitue le plus important moyen de communication d'un individu qui dispose de modules de gestion des sons, de l'orthographe, du sens des mots, des enchaînements grammaticaux, des procédures de compréhension, d'organisation du discours.
- Les **fonctions exécutives** correspondent à des fonctions plus élaborées de logique et de stratégie, de flexibilité mentale et de planification, de résolution de problèmes, de raisonnement hypothético-déductif, et de flexibilité cognitive (changement de comportement). Ces fonctions sont amodales, c'est-à-dire non liées à une modalité sensorielle.
- Le domaine **visuo-spatial** (ou de l'imagerie mentale) est celui des systèmes de reconnaissance et d'identification des formes ainsi que des procédures d'analyse des positions relatives de plusieurs formes. Il permet aussi la réalisation de manipulations mentales de formes telles que les rotations spatiales.

Toute activité cognitive résulte du fonctionnement parallèle ou séquentiel de plusieurs fonctions cognitives élémentaires appartenant aux cinq grands domaines de compétence précédents. Dans le cadre du programme d'entraînement HAPPYneuron™, SBT a défini 25 indicateurs cognitifs à l'intérieur des cinq secteurs (Tarpin-Bernard *et al.*, 2001). Cependant, pour l'adaptation des hypermédias nous n'avons retenu pour l'instant que 11 indicateurs cognitifs (Habieb-Mammar & Tarpin-Bernard, 2003). Nous n'avons par exemple pas pris en compte les indicateurs liés aux fonctions exécutives car nous n'avons pas encore identifié de conséquences pertinentes sur la présentation des informations bien que nous

pensons que des débouchés pertinents pourraient sans doute être trouvés. Le modèle appliqué est ainsi composé de :

- **Données sociodémographique** (age, sexe, niveau d'études, etc.) issues d'un questionnaire. Ce questionnaire permet l'initialisation du profil ;
- **11 Indicateurs cognitifs** représentant les habiletés cognitives suivantes : mémoire de travail visuelle, mémoire court terme verbale, mémoire court terme visuelle, mémoire court terme musicale, mémoire long terme verbale, mémoire long terme visuelle, reconnaissance de formes, catégorisation, exploration visuo-spatiale, compréhension et glossaire (richesse lexicale).

Ce modèle est construit en une seule fois à la suite de l'exécution d'une batterie d'exercices interactifs étalonnés. Il comprend les habiletés cognitives et non pas les connaissances. C'est un choix délibéré dans un premier temps pour mieux isoler et comprendre les effets de l'adaptation de la présentation. Toutefois, ce modèle peut être ultérieurement facilement enrichi par d'autres caractéristiques des utilisateurs.

Pour établir rapidement le profil cognitif de l'utilisateur, nous avons élaboré une batterie de 6 exercices alimentant les 11 indicateurs cognitifs sélectionnés. Les exercices étant étalonnés (plusieurs milliers de personnes pour chaque exercice), il nous a été possible de bâtir un module de test dont la durée d'exécution varie entre 25 et 30 minutes. Chaque exercice a été spécialement conçu pour solliciter deux ou trois indicateurs. Les performances, exactitude et vitesse, de l'individu sont comparées aux étalons. Chaque étalon définit une courbe des performances par percentile de population de sorte que chaque score brut est converti en une note sur 100 indiquant la position de la performance de l'individu dans la population (ex : une note de 85 signifie que seulement 15% de la population obtient une performance supérieure).

## 2.2 Modèle de document

Dans EDPHA, le document est vu comme un ensemble de pages (au sens des pages Web). Chaque page est découpée en blocs de données. Un bloc est une collection d'éléments dont chacun est une description du même concept (définition, exemple, description, exercice, etc.) à partir de divers médias ("texte + image + son", "texte + son", "animation + son", etc.) (figure 2).

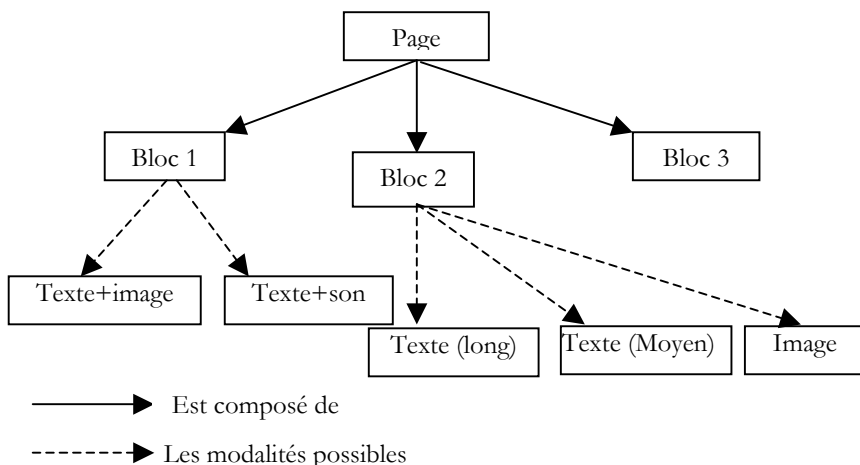


Figure 2. Structure d'une page

Les grains d'information, les éléments dans notre approche, sont représentés par une collection de médias, par exemple une image avec sa légende textuelle. Nous regroupons les données que nous jugeons indissociables sémantiquement, c'est pour cela que la granularité n'est pas la plus fine, (i.e., au niveau des médias). Ceci nous différencie des découpages dans lesquels les auteurs s'intéressent aux briques d'un seul média dans le but d'adapter le contenu aux utilisateurs (Delestre, 2000) (Crampes et al., 2000).

### **Modèle de la page XML**

Pour modéliser le document décrit ci-dessus, nous avons opté pour XML (*eXtensible Markup Language*) et les techniques qui lui sont associées (DTD, XSLT, XPATH, etc.). En effet, la DTD (Data Type Description) permet de décrire la structure de la page telle que nous l'avons présentée dans le paragraphe précédent. Toutes les pages doivent respecter la description de la structure (figure 3) représentée par la DTD (figure 4).

<b>Page</b> [title]	
<b>block</b> [name, group, position, include]	
<b>element</b> [name, signature, state]	
<b>content</b> [type="text" : "sound" [duration, autostart]	
: "image" [width, high, link]	
<b>rules</b>	
<b>combi</b>	
<b>exclude</b>	
<b>combi</b>	
<b>links</b>	
<b>link</b> [key_word, url, position]	

**Figure 3.** *Modèle XML de la page*

En résumé, une page contient différents blocs, chacun correspondant à un concept indépendant. Chaque bloc est constitué d'un ou de plusieurs éléments représentant différentes façons de présenter le concept. Selon les situations, ces éléments seront des présentations alternatives ou complémentaires (sur le plan de la forme bien sûr). Chaque élément est constitué d'un ou de plusieurs médias (*content*) indissociables.

Si l'auteur le souhaite, il peut définir des règles afin de contraindre les associations d'éléments susceptibles d'être proposées par le système d'adaptation.

Afin que les liens hypermédias soient utilisables indépendamment de la forme des objets (image, texte...) et pour simplifier le travail de l'auteur, les liens entre les pages sont externalisés des contenus dans une section *links*. Nous reviendrons en détail sur ce point plus tard.

A titre d'exemple, nous présentons en figure 5 le découpage et la structure de la page "mémoire" tirée du cours "La saga du cerveau". Ce cours a été développé par la société SBT pour décrire les fonctions cognitives. Cette page respecte la DTD visible en figure 6.

```

<!ELEMENT Page (include*, bloc*, links)>
<!ELEMENT include (#PCDATA)>
<!ELEMENT bloc (element*, rules?, exclude?)*>
<!ATTLIST Page title CDATA #IMPLIED >
<!ATTLIST bloc name CDATA #REQUIRED
group CDATA #IMPLIED
title CDATA #IMPLIED
position CDATA #IMPLIED
include CDATA #IMPLIED >
<!ELEMENT element (title?, content*)>
<!ELEMENT title (#PCDATA)>
<!ELEMENT content (#PCDATA | p)*>
<!ELEMENT p (#PCDATA)>
<!ATTLIST content type CDATA #REQUIRED
width CDATA #IMPLIED high CDATA #IMPLIED
duration CDATA #IMPLIED interactivity CDATA #IMPLIED
link CDATA #IMPLIED >
<!ATTLIST element name CDATA #REQUIRED
signature CDATA #REQUIRED state CDATA #REQUIRED
sign_mat CDATA #IMPLIED >
<!ELEMENT rules (combi*)>
<!ELEMENT combi ANY>
<!ELEMENT links (link*)>
<!ELEMENT link (#PCDATA)>
<!ATTLIST link mot_cle CDATA #REQUIRED
url CDATA #REQUIRED position CDATA #IMPLIED >
<!ELEMENT exclude (combi*)>
    
```

Figure 4. Description des types de données "DTD" de la page

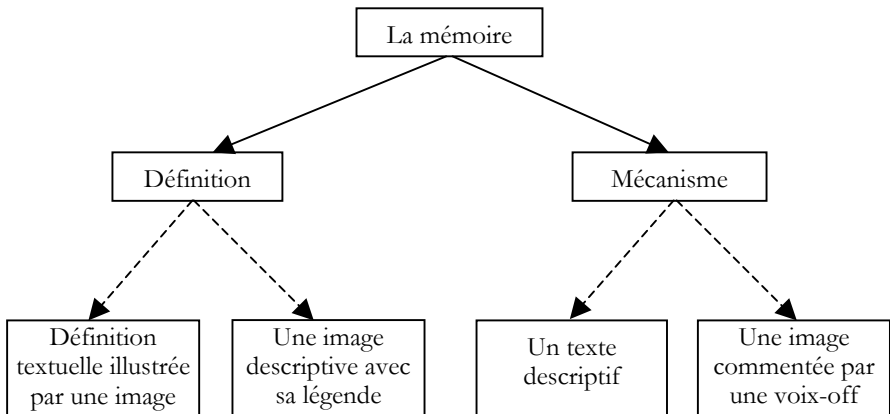


Figure 5. Découpage de la page "mémoire"

<pre> <b>Page</b> [title="La mémoire"]   <b>block</b> [name="Définition", group="Data", position="Center"]     <b>element</b> [name="Définition textuelle", signature="L3V2M0K0", state="0"]       <b>content</b> [type="text"] texte long...       <b>content</b> [type="image"] memory.jpg     <b>element</b> [name="Définition par image", signature="L1V5M0K0", state="0"]       <b>content</b> [type="image"] full_memory.jpg       <b>content</b> [type="text"] légende     <b>block</b> [name="Mécanisme", group="Data", position="Center"]       <b>element</b> [name="Mécanisme en texte", signature="L5V0M0K0", state="0"]         <b>content</b> [type="text"] texte long...       <b>element</b> [name="Mécanisme par image et son", signature="L0V5M3K0", state="0"]         <b>content</b> [type="image"] memory_mechanisms.jpg         <b>content</b> [type="sound"] description  <b>Links</b>   <b>link</b> [mémoire, saga_cerveau.xml, {1,5}] </pre>
---

Figure 6. Structure de la page "mémoire"

### Structure de la page

Après avoir présenté le découpage de la page en blocs et éléments, nous allons détailler la structure du bloc et celle de l'élément.

Un bloc tel qu'il a été défini précédemment est une partie du document qui traite un concept donné. Il contient un attribut *name* utile pour l'auteur.

Chaque bloc contient un attribut *group* qui permet de le classer dans un groupe de blocs. Ceci est très utile pour contraindre le moteur d'adaptation. En effet, tous les blocs d'un même groupe seront traités de façon identique. Ainsi, lorsque l'on a trois blocs de navigation « précédent », « sommaire » et « suivant » et que chacun d'eux possède plusieurs mises en forme, le fait de les déclarer appartenant à un même groupe garantira que les trois blocs seront présentés de la même façon.

Nous distinguons deux types de blocs :

- Bloc de données ;
- Bloc de navigation.

Dans l'optique de sa mise en forme, nous avons choisi d'appliquer un format de mise en page (cf. *layout* en Java). Ainsi, le bloc contient un attribut qui indique son positionnement dans la page. On distingue 5 positions : centre, gauche, droite, haut et bas (figure 7). Les zones de navigation peuvent être vides. Elles sont alors occupées par la zone centrale qui s'étend.

Le bloc peut appartenir à une page comme il peut être défini en dehors de celle-ci. On parlera alors d'un bloc externe ; l'externalisation des blocs permet leur réutilisation dans d'autres pages. L'hyper document peut ainsi être défini comme un graphe et non plus seulement comme un arbre. Le pointeur vers la page des blocs externes est défini par l'attribut "*include*".

Le bloc contient une liste d'éléments (ELEMENT) correspondant chacun à une variante de l'information. Pour déterminer les éléments devant être proposés à l'utilisateur, nous avons besoin de qualifier chacun d'eux. C'est le rôle des schémas associés aux éléments.



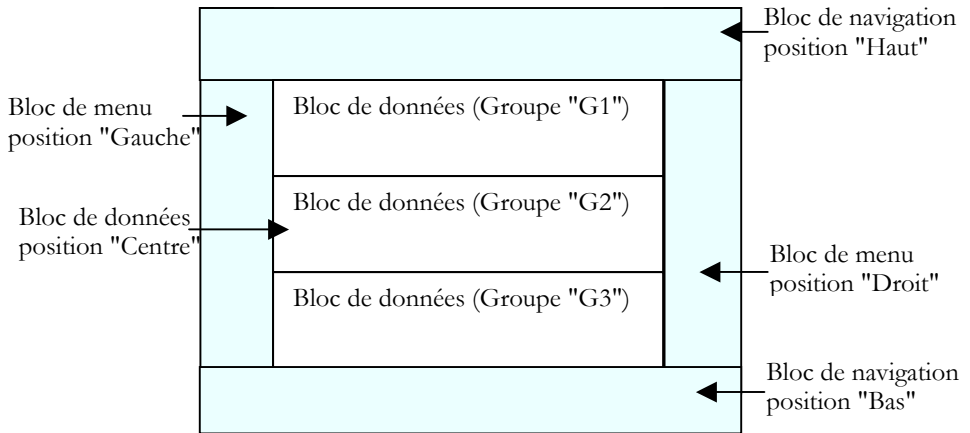


Figure 7. Découpage d'une page en blocs

Nous avons opté pour une modélisation hybride entre le modèle perceptif (visuel, auditif, kinesthésique, ...) et le modèle de la cognition (langagier, mémoriel, visuo-spatial, ...) qui comporte 4 dimensions. Un attribut appelé "*signature* cognitive de l'élément" permet de le décrire par un quadruplet constitué des composantes suivantes : **Visuelle (V)**, **Sonore et musicale (M)** et **Kinesthésique (K)** auxquelles s'ajoute la composante **Langagière (L)**.

**La composante visuelle** est liée à la complexité de l'information visuelle véhiculée par l'élément (principalement dans l'image ou la vidéo),

**La composante sonore** est relative à la complexité de l'information sonore contenue dans l'élément (i.e. dans un bruit, un jingle, une musique, une voix-off),

**La composante kinesthésique** est liée au degré d'interactivité de l'élément (dans l'image, l'animation, les schémas, etc.) ainsi qu'à sa dimension « concrète ».

**La composante langagière** correspond à la complexité de l'information verbale contenu dans l'élément (que cela soit dans le texte, dans l'image, l'animation, le son, etc.).

Le niveau de chaque composante est défini par l'auteur du document. La valeur de chacune de ces composantes est comprise entre 0 et 5 (0 correspond à l'absence de la modalité alors que 5 signifie que la modalité en question est très prégnante). Ainsi, un schéma comporte à la fois des composantes visuelles et langagières. Une vidéo interactive peut avoir une signature non nulle dans chacune des 4 modalités. Pour aider l'auteur, nous avons défini une grille de référence (tableau 1). Les valeurs de ces composantes sont confrontées au profil de l'utilisateur pour trouver les médias qui lui conviennent le mieux.

Le bloc comprend également la liste de tous les hyperliens contenus dans les items, leurs positions ainsi que les mots clés qui leur correspondent. Par exemple, si le texte contient plusieurs occurrences du même mot, l'auteur doit préciser les positions qui doivent être considérées.

Enfin, s'il le désire, l'auteur du document peut spécifier la liste exhaustive des combinaisons d'éléments qui doivent être pris en compte (les éléments, qui, selon l'auteur se complètent) ; pour cela le bloc est complété par une partie "*rules*". A l'inverse, l'auteur peut également préciser les combinaisons d'éléments qui ne doivent pas être proposées. Les éléments qui s'excluent mutuellement sont référencés par la partie "*exclude*".

**Tableau 1.** Exemples d'assignation de signatures à des items

Composante Signature	V	M	K	L
1	Icône, bouton...	Beep, fond sonore sans sens	Élément cliquable	Légende, titre, mots clefs...
2	Schéma simple	Gingle ou bruit simple à reconnaître (2-3 secondes)	Animation simple	Phrase 2 lignes
3	Schéma, dessin simple	Voix off simple (3 à 10 secondes)	Animation avec menus	Paragraphe 5 lignes
4	Schéma complexe, Photographie taille moyenne	Voix off longue (10 à 30 secondes)	Animation avec manipulation directe	Paragraphe 10-15 ligne
5	Photographie riche	Voix off très longue (plus de 30 secondes)	Animation interactive complexe	Page entière
remarque	Valeur incrémentée si nombreux détails	Valeur incrémentée si la prise de son est directe et avec ambiance		Valeur incrémentée si vocabulaire ou structure complexe

### 2.3 Générateur des hyperdocuments

Plusieurs outils auteur existent actuellement, comme SEPHYR et OPHELIA utilisés dans le projet ARIADNE (ARIADNE, 2002). SEPHYR permet une segmentation conceptuelle à la volée de documents HTML en éléments sémantiquement cohérents. Ainsi, un réseau conceptuel est créé et simultanément affiché. Un hypertexte pédagogique est alors généré, il pourra être utilisé via un navigateur Web. OPHELIA permet, en plus de la segmentation à la volée, de modifier ou de créer le contenu et la structure du document source.

Notre démarche diffère de celle de ces deux outils dans le sens où l'auteur ne fournit que les contenus élémentaires qui composent son cours. En effet, ces contenus sont assemblés en respectant la DTD décrite précédemment. L'auteur insère au fur et à mesure les contenus et établit les règles de leurs compositions (figure 8). Dans le cas où aucune précision n'est fournie par l'auteur, des combinaisons sont attribuées aux contenus et seront filtrées dans une étape ultérieure. Un document XML est alors généré, il sera utilisé par le processus d'adaptativité

La philosophie principale de notre outil consiste à proposer un grand nombre de degrés de liberté à l'auteur tout en adoptant des comportements par défaut permettant un apprentissage progressif et un développement incrémental de l'hyperdocument. L'auteur peut basculer de la vue arborescente du document XML (avec visualisation des contenus) au code XML. Il peut également demander une visualisation du document en sélectionnant un profil cognitif spécifique ou type (figure 9).

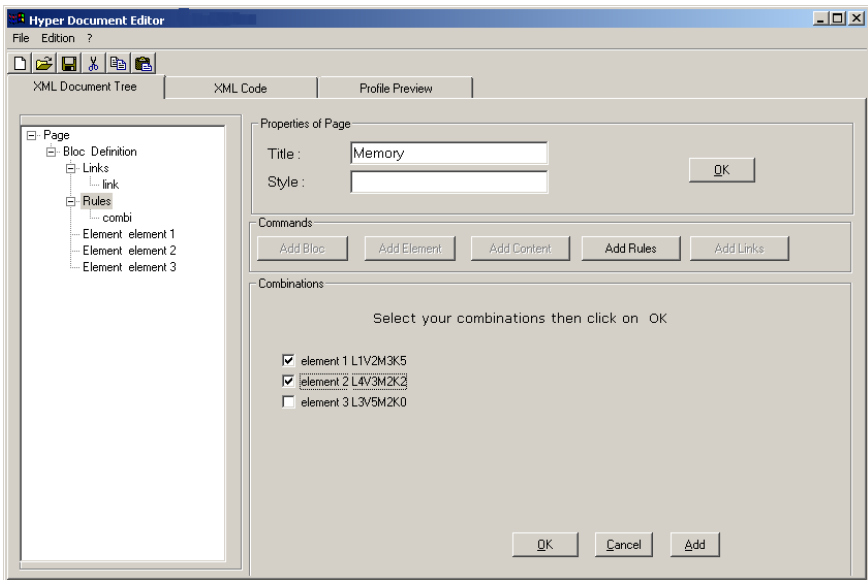


Figure 8. Outil de génération des hyperdocuments

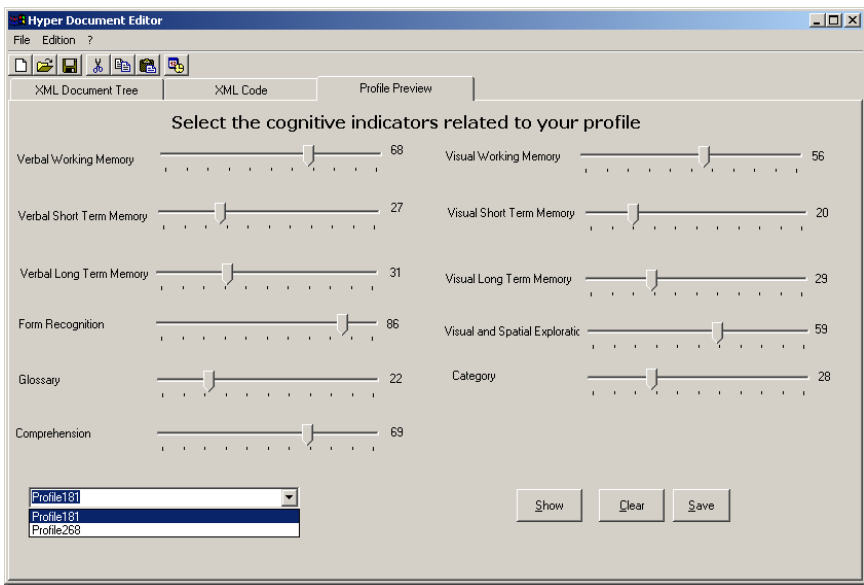


Figure 9. Sélection d'un profil cognitif pour une prévisualisation d'un document

## 2.4 Moteur de l'adaptativité

Dans tout système adaptatif les composants (modèle utilisateur, modèle de document, modèle d'interaction, etc.) sont traités par un processus intelligent qui génère une adaptation. Le processus de base consiste à manipuler ces données en leur appliquant des règles d'inférence (Kobsa, 1994), des règles de sélection (De Bra,

1998, 2003) ou des probabilités d'apparition (Pazzani & Billsus, 2002). Dans EDPHA, le processus d'adaptation est basé sur la sélection d'une combinaison d'**éléments** la plus "compatible" avec le modèle utilisateur. La figure 10 présente les étapes suivies par le moteur d'adaptation.

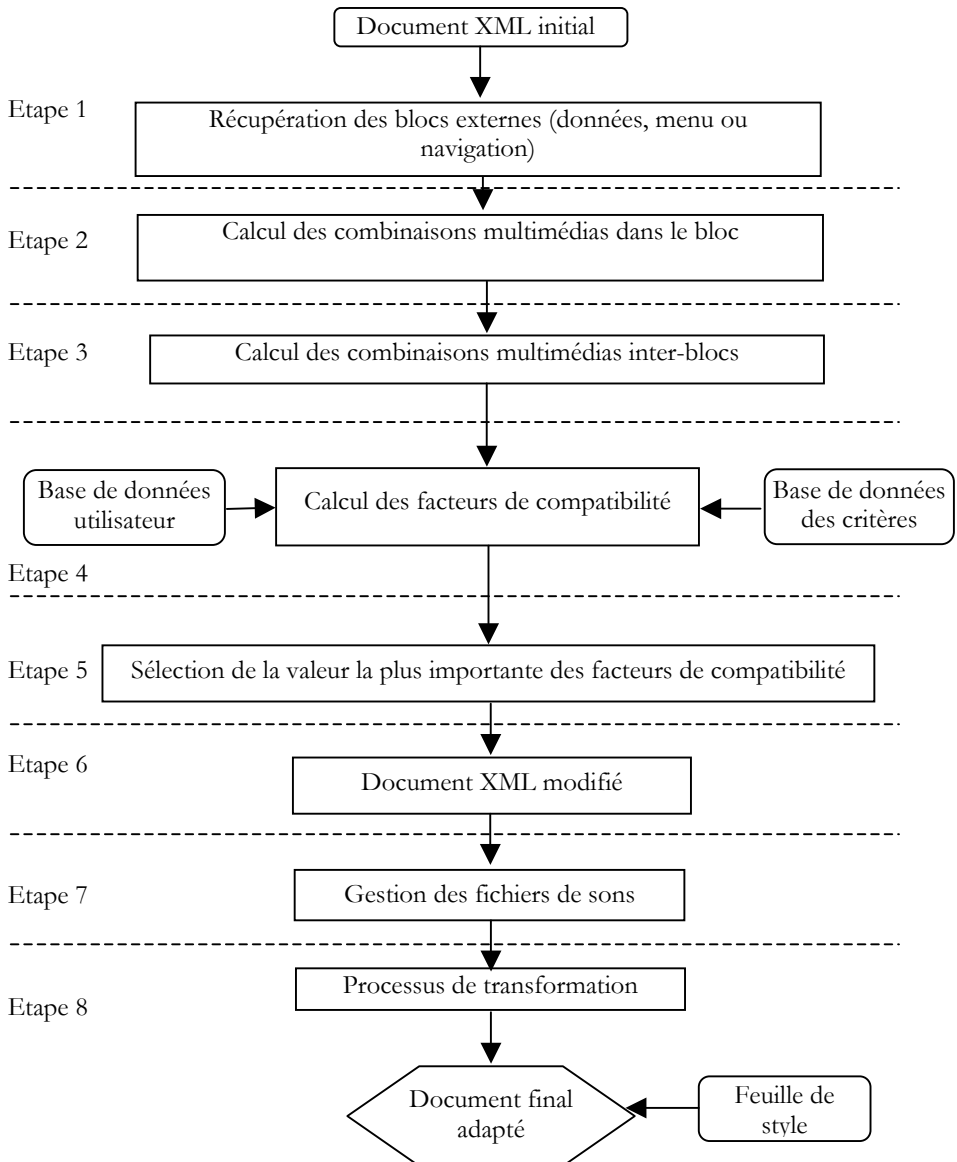


Figure 10. Etapes du moteur d'adaptation

### Etape 1

La première étape du processus consiste à récupérer les blocs externes et à les inclure dans le document XML à traiter. L'attribut "**include**" du bloc renseigne sur

le nom du fichier externe qui contient les éléments du bloc en question. Une recherche selon le nom du bloc permet de les récupérer.

### Etape 2

La deuxième étape consiste à calculer les combinaisons intra-bloc. Nous avons vu plus haut que le bloc est constitué de plusieurs éléments. L'auteur du document peut préciser les combinaisons qu'il juge cohérentes (la partie **rules**) ou bien en exclure d'autres (la partie **exclure**). Si ces précisions ne figurent pas dans le document c'est alors au moteur de calculer toutes les combinaisons possibles.

### Etape 3

Cette étape complète la précédente ; il s'agit de calculer cette fois-ci les combinaisons inter-blocs (i.e., de toute la page) en appliquant le même principe que dans la première étape (i.e., les parties **rules** et **exclure**)

### Etape 4

Pour chaque combinaison un **facteur de compatibilité** est calculé à partir d'un ensemble de critères numériques (paramètres) tels que la maximisation d'une variable. Ces paramètres sont appliqués, d'une part, sur le modèle utilisateur (visuel ou verbal, sa possibilité de gérer deux types de médias, etc.) et, d'autre part, sur le document lui-même (nombre de médias impliqués, degré de complexité de chaque média, etc.). Nous présentons les 2 premiers paramètres utilisés dans notre processus :

Le paramètre P1 est la moyenne des scores cognitifs de l'utilisateur pondérée par les caractéristiques des éléments constituant la combinaison évaluée. Il est utilisé pour calculer la combinaison dont la signature est la plus compatible avec le profil cognitif de l'utilisateur :

$$P1 = (Nb\_Vi * Sc\_Vi + Nb\_Ve * Sc\_Ve + Nb\_M * Sc\_M) / (Nb\_Vi + Nb\_Ve + Nb\_M) \quad (1)$$

Le paramètre P2 sera utilisé pour favoriser la sélection d'une combinaison multimédia :

$$P2 = 100 * (Nb\_Vi + Nb\_Ve + Nb\_M) / Nb\_Max \quad (2)$$

Ces paramètres utilisent les variables suivantes, qui correspondent aux scores visuels, verbaux, sonores :

$$Sc\_Vi = (WM\_Vi + STM\_Vi + LTM\_Vi + Rec + Exp) / 5 \quad (3)$$

$$Sc\_Ve = (STM\_Ve + LTM\_Ve + Glos + Cat + Comp) / 6 \quad (4)$$

$$Sc\_M = (STM\_M + STW\_M) / 2 \quad (5)$$

Où :

*WM\_Vi* : Visual Working Memory (Mémoire de travail visuelle)

*STM\_Ve/Vi/M* : Verbal/Visual/Musical Short Term Memory (Mémoire court terme verbale / visuelle / musicale)

*LTM\_Ve/Vi* : Verbal/Visual/Musical Long Term Memory (Mémoire long terme verbale / visuelle / musicale)

*Rec* : Reconnaissance de formes

*Exp* : Exploration visuelle et spatiale

*Glos* : Glossaire (richesse lexicale)

*Cat* : Catégorisation

*Comp* : Compréhension

*Nb\_Ve / Vi / M* : Poids des médias verbaux, visuels et musicaux

*Sc\_Vi / Sc\_Ve / Sc\_M* : scores verbaux, visuels et musicaux

*Nb\_Vi/Ve/M* : Nombre de médias (respectivement visuels, verbaux et musicaux)

*Nb\_Max* = Max(Nb\_Vi+Nb\_Ve+Nb\_S) pour toutes les combinaisons possibles.

Chaque critère peut être pondéré d'un poids. Dans notre première expérimentation, nous n'avons pas exploité la dimension kinesthésique.

Si l'on dispose d'un modèle de l'utilisateur plus riche (informations comportementales, modèle des connaissances...) il est possible d'insérer de nouveaux critères.

### Etape 5

Cette étape consiste à sélectionner la combinaison pour laquelle la somme des scores est la plus importante. L'évaluation se fait au vu de l'ensemble de la page, ce qui signifie que la compatibilité est optimale d'un point de vue global. Ceci est très important si l'on souhaite avoir une cohérence globale du résultat, c'est-à-dire du document adapté.

### Etape 6

Pour chaque élément dont les signatures appartiennent à la combinaison sélectionnée, les valeurs des attributs *state* sont changées (dans le document XML). Les valeurs initiales sont nulles avant traitement. Elles prennent soit la valeur "1" qui signifie que l'élément est entièrement affiché (il appartient à la combinaison retenue à l'étape 5) soit la valeur "2" afin d'afficher une version réduite de l'élément. Nous avons introduit cette fonctionnalité car l'élément non sélectionné peut être plus riche dans une des dimensions cognitives que celui ou ceux retenus. Par exemple, une définition peut être affichée textuellement à l'utilisateur avec une petite illustration graphique alors que cette même définition existe également sous forme d'un grand schéma. La forme non retenue sera proposée sous forme d'une icône. Nous donnons ainsi un degré de liberté à l'utilisateur final en lui permettant d'accéder tout de même aux éléments qui n'ont pas été retenus par le processus d'adaptation.

A la fin de cette étape, le système définit automatiquement pour chaque élément sélectionné une seconde signature dite "*signature matérielle*" qui est directement liée aux caractéristiques physiques des médias de chaque item. Le volume du texte correspond à sa taille en caractères, celui de l'image est relatif à ses dimensions ; quant au son, son volume dépend de sa durée. Cette information sera utilisée dans les étapes suivantes pour le formatage de la page (i.e. sa mise en page).

### Etape 7

Le moteur détecte si les fichiers des sons doivent être lancés au démarrage de la page ou bien sur clic. Dans le premier cas, il crée une liste de fichiers qui sont lancés les uns à la suite des autres à des intervalles choisis selon la signature matérielle des éléments affichés (i.e. leur volume).

### Etape 8

Le document XML final est formaté grâce à une feuille de style générique (un document XSLT). Cette feuille de style tient compte des attentes de l'auteur et est

appliquée sur les éléments du bloc. Le traitement de la feuille de style est décrit dans la section suivante.

## 2.5 Formatage de la feuille de style

Le processus d'adaptation se termine avec l'utilisation d'une feuille de style qui se charge du formatage du document produit par le moteur d'adaptation. Le traitement de la feuille de style que nous avons élaborée consiste à subdiviser tout d'abord l'écran selon 5 régions renseignées par les attributs du document (figure 7). Les blocs sont placés dans les régions en fonction de leur nature. Les blocs de navigation occupent les régions « gauche, droite, haut et bas ». Seul le centre est affecté aux blocs de données. En l'absence de blocs de navigation, la région centre sera élargie en occupant les autres régions. Ensuite, selon la nature des éléments et leur signature matérielle, ces derniers seront positionnés. Enfin, la page est envoyée au navigateur pour la visualiser. D'autres feuilles de style plus sophistiquées sont envisageables. Ce traitement est développé dans une feuille de style XSLT (*eXtensible Stylesheet Transformation*).

## 2.6 Exemple d'hyperdocument adapté

Dans cette partie, nous présentons quelques exemples obtenus suite à l'application du programme décrit dans la section précédente. Nous avons retenu 3 profils types d'utilisateurs dont le modèle est donné par le tableau 2. D'autre part, le document contient deux blocs (B1, B2) ayant chacun 3 éléments dont les signatures sont les suivantes:

**B1** (E1:L[4]V[1]M[0] + E2:L[1]V[5]M[0] + E3:L[2]V[0]M[4]), soit 3 éléments  
E1 un texte long, E2 une image riche avec sa légende et E3 une voix-off accompagnée d'un résumé textuel.

**B2** (E'1:L[5]V[0]M[0] + E'2:L[2]V[0]M[4] + E'3:L[1]V[4]M[0]), idem.

Le tableau 2 montre le profil de 3 utilisateurs fictifs (Pr1, Pr2 et Pr3) présentant une dominante verbale, visuelle ou auditive.

**Tableau 2.** *Profils Cognitifs de trois utilisateurs types*

Indicateurs	<i>Wm_ve</i>	<i>Stm_ve</i>	<i>Stm_vi</i>	<i>Stm_m</i>	<i>Ltm_ve</i>	<i>Ltm_vi</i>	<i>Ltm_m</i>	<i>Rec</i>
Profil 1 (verbal)	70	70	30	30	70	30	30	50
Profil 2 (visuel)	50	50	70	30	30	70	30	50
Profil 3 (auditif)	30	30	50	70	30	50	70	50

Indicateurs	<i>Glos</i>	<i>Cat</i>	<i>Exp</i>	<i>Comp</i>
Profil 1 (verbal)	70	70	50	50
Profil 2 (visuel)	30	50	70	50
Profil 3 (auditif)	50	30	30	50

<i>Sc_ve</i>	<i>Sc_vi</i>	<i>Sc_m</i>
66	38	30
43	66	30
36	46	70

Les valeurs des scores du tableau 3 correspondent à la valeur moyenne des paramètres P1 et P2 calculés pour un ensemble de 15 combinaisons d'éléments

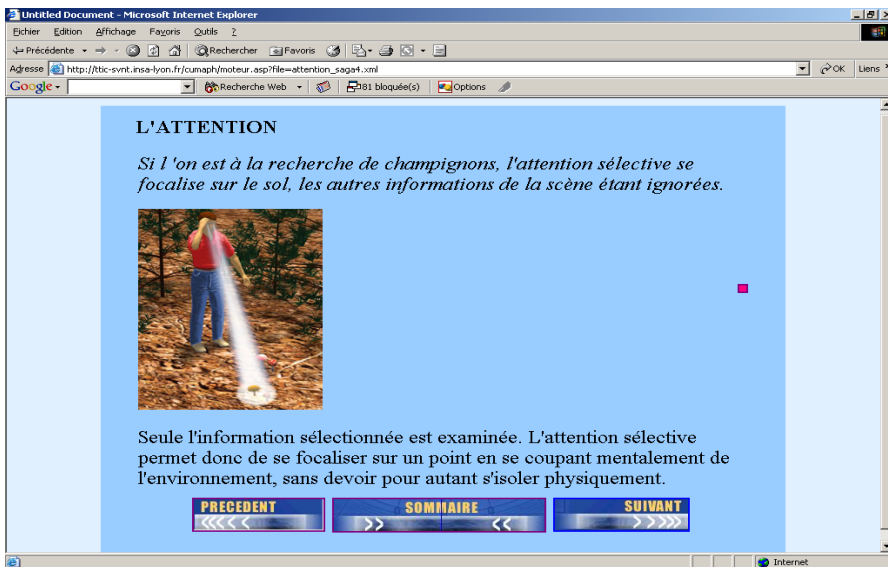
choisis dans B1 et B2. La meilleure combinaison pour chaque utilisateur est donnée en gras dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Scores correspondant à chaque profil

N°	Combinaisons	Score Pr1	Score Pr2	Score Pr3
1	B1(E2+E3), B2(E'1+E'3)	49,47	56,93	42,27
2	B1(E2+E3), B2(E'2+E'3)	46,82	51,43	43,12
3	B1(E2+E3), B2(E'1+E'2)	56,43	51,43	40,00
4	<b>B1(E1+E3), B2(E'1+E'3)</b>	54,38	53,05	<b>43,13</b>
5	B1(E1+E3), B2(E'2+E'3)	52,33	54,67	41,33
6	<b>B1(E1+E3), B2(E'1+E'2)</b>	62,26	46,82	38,10
7	B1(E1), B2(E'1+E'3)	53,93	53,41	40,81
8	B1(E1), B2(E'2+E'3)	50,29	56,29	42,00
9	<b>B1(E1), B2(E'1+E'2)</b>	<b>66,67</b>	43,33	36,67
10	B1(E2), B2(E'1+E'3)	49,47	56,93	42,27
11	B1(E2), B2(E'2+E'3)	46,82	59,03	40,67
12	<b>B1(E2), B2(E'1+E'2)</b>	56,43	<b>59,03</b>	40,00
13	B1(E3), B2(E'1+E'3)	54,38	53,05	40,67
14	B1(E3), B2(E'2+E'3)	52,33	54,67	41,33
15	B1(E3), B2(E'1+E'2)	62,26	46,82	38,10

...

La valeur maximale des scores permet de sélectionner la meilleure combinaison. Dans ce qui suit, nous prenons l'exemple du bloc 1 de l'hyperdocument précédent. La figure 11 correspond à l'élément E2, les deux médias (texte et image) sont de niveaux respectifs 1 et 5. Le choix de cet élément correspond au profil visuel (cf. tableau 3). La figure 12 correspond à l'élément E1 où les dimensions verbales et visuelles sont respectivement de niveaux 4 et 1. Cet élément est présent pour les deux profils « verbal » et « auditif » (cf. tableau 3).



**Figure 11.** Page adaptée au profil visuel



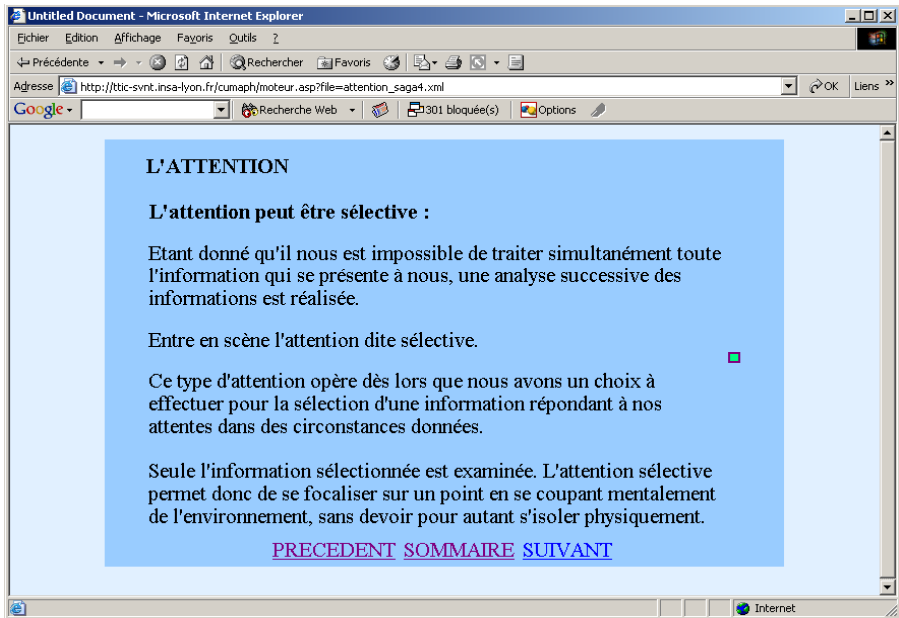


Figure 12. Page adaptée au profil verbal

La figure 13 correspond aux éléments E1+E3 (voix off). Le choix de ces éléments correspond au profil auditif (cf. tableau 3).

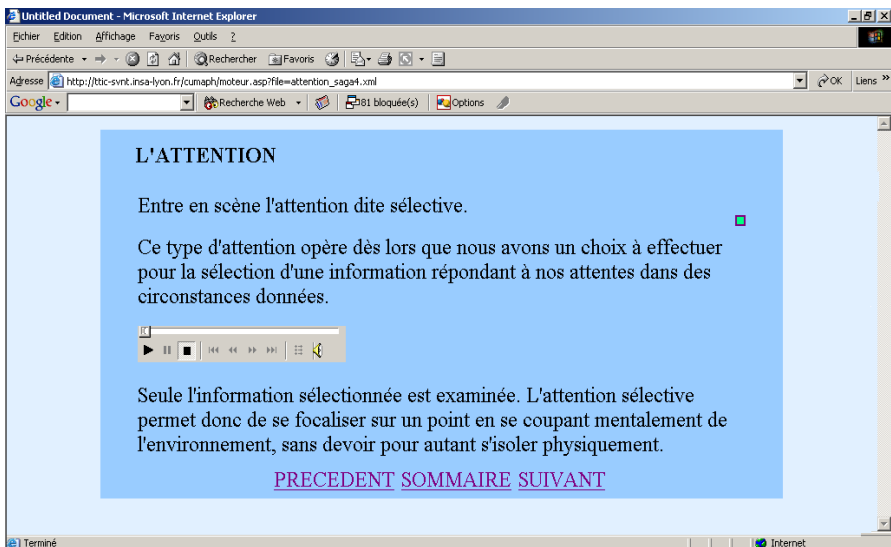


Figure 13. Page adaptée au profil auditif

### 3 Description du plan d'expérimentation

En expérimentant le modèle EDPHA, nous souhaitons évaluer l'impact des interfaces adaptatives sur les acquis et les ressentis de l'utilisateur. Cette expérimentation rentre dans le cadre d'une approche de développement incrémental, où l'usage permet d'affiner le modèle. D'autre part, cette expérimentation doit aussi être l'occasion de faire surgir de nouvelles idées et perspectives de recherche.

L'expérimentation s'est déroulée auprès d'une population d'une cinquantaine d'étudiants en 3ème année du département Génie Industriel de l'INSA de Lyon. Nous avons éliminé de cette liste les étudiants ayant obtenu des résultats aberrants au test cognitif (figure 14) en raison de problèmes de compréhension (étudiants d'échange étrangers) ou de problèmes techniques (en particulier avec les casques audio). La population finale comptait donc 42 étudiants. Dans de futures expérimentations, nous impliquerons des sujets provenant d'horizons plus diversifiés, ce qui conduira sans doute à l'obtention de profils cognitifs plus variés.

Pour effectuer ces évaluations, nous nous sommes placés dans une approche empirique fondée sur un diagnostic de l'usage à partir de recueils de données (Senach, 1990).

Ensuite, les étudiants parcourent le cours "Saga du cerveau" sur lequel porte l'adaptativité (hypermédia d'une vingtaine de pages). Ce cours expose les fonctions cognitives et leur fonctionnement. Les étudiants sont complètement novices dans le domaine. Pour l'expérimentation, la fonction d'affichage réduit des éléments non sélectionnés (usage de state=2) a été désactivée pour s'assurer que les sujets ne pouvaient accéder qu'aux médias choisis par le système. A la fin de cette étape, ils répondent à un questionnaire (questions ouvertes) qui porte sur le contenu des hyperdocuments.

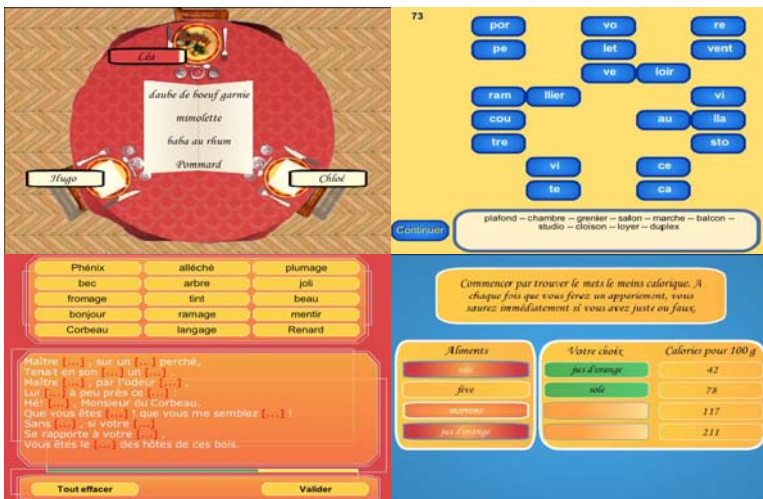


Figure 14. Quatre exercices extraits du test HAPPYneuron™

#### 3.1 Résultats de la première partie de l'expérimentation

Etant donné les critères d'adaptation retenus pour l'expérimentation, nous avons synthétisé les 11 indicateurs cognitifs SBT en 3 scores : visuel, verbal et auditif (cf. formules 3, 4 et 5 de l'étape 4 dans le §2.4). À l'issue de cette première étape d'expérimentation, nous avons constaté que les scores visuels et verbaux du

test HAPPYneuron™ sont fortement corrélés (coefficient de corrélation=0.70,  $p=0.0005$ ). Ce résultat nous montre que les deux composantes visuelle et verbale ne sont pas indépendantes. En effet, si on regarde une image donnée, on trouve toujours un moyen de la verbaliser (la décrire). Réciproquement, lorsqu'on lit du texte, on utilise la modalité visuelle. La figure 15 présente la répartition des sujets testés en fonction des scores visuel et auditif (ici aucune corrélation n'est visible). Comme nous l'avons indiqué précédemment, les scores varient de 0 à 100 et correspondent à des percentiles de population.

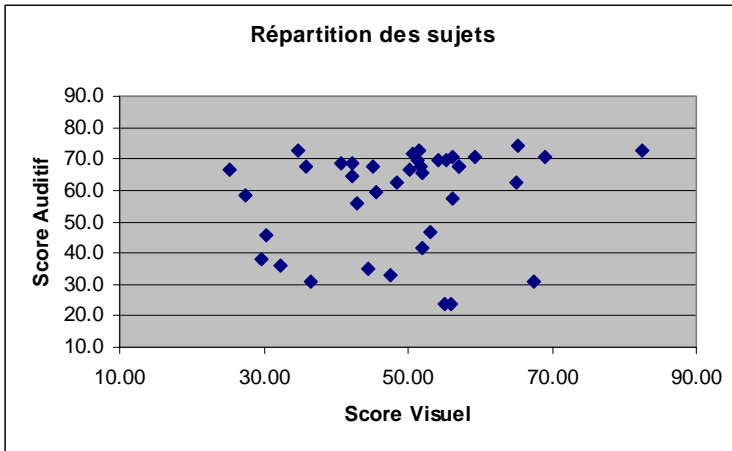


Figure 15. Répartition des sujets de l'expérimentation en fonction de leur profil

Le premier traitement effectué sur les résultats consiste à identifier les différentes classes d'utilisateurs. Nous avons utilisé pour cela une méthode statistique de "Clustering" basée sur les nuées dynamiques. Ainsi, 6 groupes homogènes (figure 16) ont été construits.

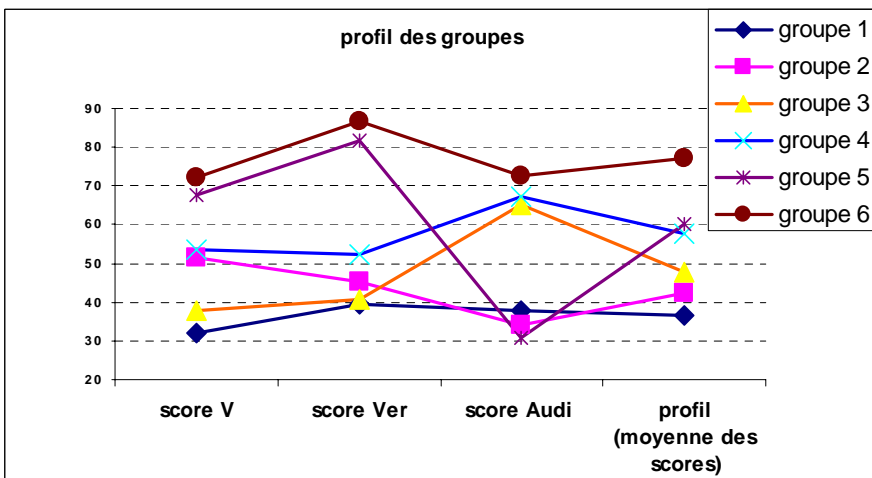


Figure 16. Classes du profil cognitif

Etant donné le nombre de participants conservés pour l'analyse, il est discutable d'effectuer un découpage en 6 groupes (certains groupes n'ont que quelques individus). Pourtant, nous avons souhaité présenter ce résultat car il crée des regroupements « naturels » (fort, moyen, faible) en visuel/verbal x (fort, faible) en auditif. Ce résultat mériterait donc d'être validé sur un échantillon plus important de la population.

Nous avons également calculé, pour chaque individu, un nouveau score dit "Profil" qui représente la moyenne des trois scores cognitifs (visuel, verbal et auditif).

La moyenne des scores de "Profil" (M) et l'écart type (S) permettent de subdiviser la population en 6 nouvelles classes : [ $M-2S$ ] [ $M-2S$  ;  $M-S$ ] [ $M-S$  ;  $M$ ] [ $M$  ;  $M+S$ ] [ $M+S$  ;  $M+2S$ ] [ $M+2S$ ]. Pour la suite de l'analyse, nous avons ainsi attribué à chaque individu un code "cProfil" dont la valeur appartient à l'intervalle [1..6] et représente la position de l'individu dans les 6 classes précédemment décrites. Cette valeur représente le potentiel cognitif de chaque individu.

À la suite de ces tests, les étudiants passent à la deuxième étape de l'expérimentation pour l'exploration de l'hyperdocument.

### 3.2 Déroulement de la deuxième partie de l'expérimentation

Bien que nous ayons pu réaliser une classification statistique de la population en 6 groupes, il nous a semblé, étant donné le nombre limité d'individus, extrêmement difficile de bâtir un protocole valide s'appuyant sur cette classification permettant de démontrer un effet quelconque de l'adaptation.

Le protocole que nous avons élaboré est original. Il consiste à générer pour chaque participant un profil aléatoire et à baser l'adaptation sur ce profil. En comparant entre les individus les performances des sujets après adaptation du système, nous espérons montrer qu'une adaptation fidèle au profil réel (i.e. le profil aléatoire est proche) donne de bien meilleurs résultats qu'une adaptation basée sur un profil éloigné. Ainsi, nous montrerions que quelques soient les points forts / faibles d'une personne, il existe des présentations plus efficaces que d'autres. De même, nous montrerions qu'une même présentation peut être très efficace sur certains profils et inefficace sur d'autres.

Ainsi, après avoir laissé 15 minutes aux étudiants pour explorer un hyperdocument adapté à des profils aléatoires, nous les avons interrogés sur le contenu du cours. Le questionnaire comportait 10 questions ouvertes. Une note finale sur 20 a été attribuée en fonction de la pertinence des réponses. Les résultats de l'expérimentation sont décrits dans la section suivante.

## 4 Analyse des résultats

La première étape consiste à subdiviser la population en tenant compte de la "distance d'adaptation". Cette distance est calculée en utilisant la distance euclidienne entre le profil réel (Vis, Ver et Aud) et le profil aléatoire (VisA, VerA et AudA) :

$$distance = \sqrt{(Vis - VisA)^2 + (Ver - VerA)^2 + (Aud - AudA)^2}$$

Les individus sont alors répartis dans 4 groupes de 9 à 11 membres. Les deux premiers groupes se caractérisent par une distance inférieure à la distance moyenne (44,2) alors que les distances des deux autres groupes en sont supérieures. Notons que l'écart type de la distance est de 17,7. La distance la plus faible étant de 11,8 et la plus grande de 86,1.

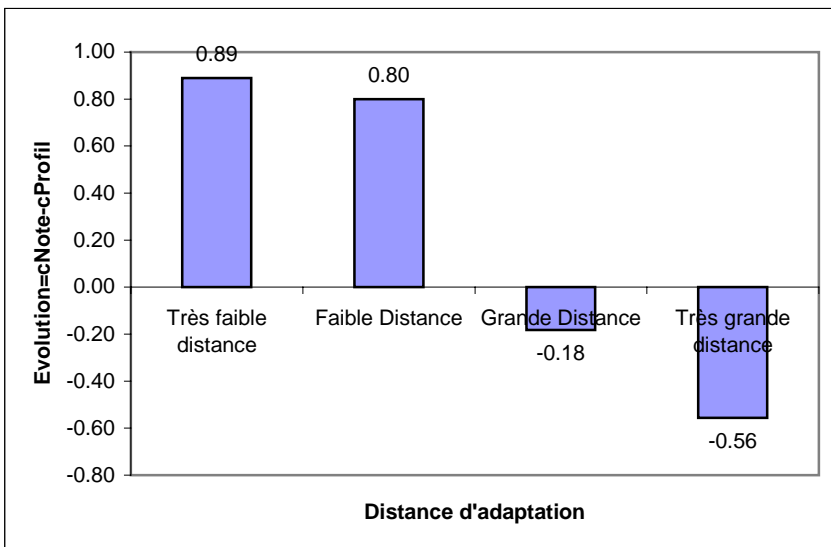
D'autre part, en considérant la note obtenue au questionnaire final, six nouveaux groupes d'individus peuvent être définis. Cette classification est basée sur la moyenne de cette note ( $M=54,6$ ) et l'écart type ( $S=12$ ). Les groupes construits sont les suivants: [ $<M-2S$ ] [ $M-2S$  ;  $M-S$ ] [ $M-S$  ;  $M$ ] [ $M$  ;  $M+S$ ] [ $M+S$  ;  $M+2S$ ] [ $>M+2S$ ]. De la même façon que pour les profils, un code est associé à la note "cNote". Sa valeur appartient à l'intervalle [1..6] (un code pour chaque classe).

Finalement, nous avons calculé une grandeur que nous appelons « évolution » de l'individu "E" dans la population en calculant la différence entre les valeurs de "cNote" et de "cProfil".

En effet, si la valeur de "E" est positive, ceci signifie que l'individu est mieux placé dans le test d'évaluation par rapport à ce que suggère son profil cognitif. En revanche, une valeur négative de cette différence montre une régression. Il est important de souligner que l'utilisation de cette valeur ne dépend pas du niveau de l'individu mais elle permet de montrer si le processus de l'adaptation lui permet d'obtenir des résultats meilleurs que ne laissait supposer son profil.

**Tableau 4.** Evolution des individus selon la distance d'adaptation

$E=cNote-cProfil$	-2	-1	0	1	2	3	Population	Moyenne de "E"
Distance très courte	0	1	3	3	0	2	9	0.89
Distance courte	0	1	3	3	3	0	10	0.80
Distance longue	2	4	1	2	2	0	11	-0.18
Distance très longue	2	3	3	0	1	0	9	-0.56



**Figure 17.** Evolution des individus selon la distance d'adaptation

Ainsi, des effets positifs sont observés lorsque l'adaptation est réalisée correctement alors que des effets négatifs sont observés lorsque les valeurs du profil aléatoire sont distantes par rapport aux valeurs du profil réel. Ceci est confirmé

statistiquement puisque les variables Distance totale et Note-profil (E) sont corrélées négativement (coefficient de corrélation =  $-0,37$  avec  $p=0,02$ ). Si l'on calcule les corrélations entre les classes cDistance et cNote-cProfil on obtient des valeurs encore plus significatives :  $-0,4262$  avec  $p=0,0068$ .

En analysant dans le détail les profils, nous avons remarqué que les trois meilleurs individus de la classe 1 (les individus ayant les meilleures notes) se sont vu attribuer des profils aléatoires faibles ce qui les a automatiquement placé dans les groupes "Distance longue" et "distance très longue". Or, ces trois personnes ont obtenu de bonnes notes au questionnaire final.

Ceci nous amène à formuler l'hypothèse selon laquelle les très bons étudiants réussissent toujours à s'adapter même si les médias utilisés ne sont pas conformes à leurs profils, ou tout du moins que leur profil complet tolère mieux des interactions inadaptées.

Dans la figure suivante qui présente dans le détail la répartition des notes selon la distance d'adaptation (réduite à 2 groupes : forte / faible), nous avons éliminé ces 3 personnes afin qu'elles ne brulent pas les résultats.

La figure 18 montre bien que les bonnes notes coïncident avec les faibles distances alors que les mauvaises notes coïncident avec les distances longues. Ceci est confirmé statistiquement (corrélation cnote/cdistance =  $-0,33$  avec  $p=0,038$ )

Notons que pour de futures expérimentation dans lesquelles le nombre de sujets reste relativement restreint ( $<100$ ), il s'avère nécessaire de valider préalablement le tirage aléatoire afin d'éviter des situations du type de celle rencontrée ici.

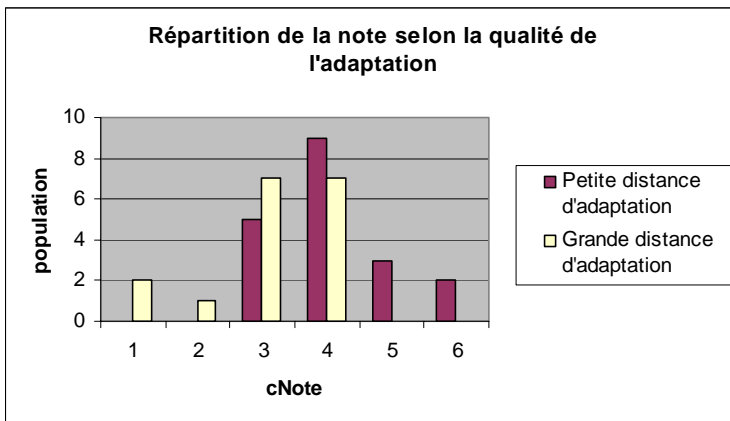


Figure 18. Répartition de la note selon la distance d'adaptation

## 5 Conclusion

Dans cet article, nous avons décrit un environnement de développement et de présentation des hyperdocuments adaptatifs. Nous avons mis l'accent sur la modélisation de l'utilisateur et du document hypermédia dans le but d'adapter sa présentation selon le profil cognitif de l'utilisateur. Le modèle utilisateur est construit après exécution d'un ensemble d'exercices interactifs. Ce modèle est basé

sur des données sociodémographiques de l'utilisateur et contient 11 indicateurs cognitifs répartis sur les cinq secteurs cognitifs : *la mémoire, l'attention, les fonctions exécutives, le langage et les capacités visuo-spatiales*. L'hyperdocument a été structuré en plusieurs pages dont chacune est représentée par un document XML. L'auteur de documents s'appuie sur la DTD que nous avons proposée pour créer son hypermédia. Ces deux modèles constituent les données en entrée du processus d'adaptation. Durant ce processus, une matrice de compatibilité est calculée à partir de critères pondérés et de combinaisons des éléments multimédia constituant chaque page. Ceci conduit à un ensemble de scores permettant l'identification de la combinaison multimédia la plus adéquate.

Pour la validation de notre approche, nous avons mené une première étude expérimentale auprès de 42 sujets. Dans un premier temps, nous avons construit le profil cognitif de chaque utilisateur à l'aide d'un test cognitif proposé par la société SBT. La deuxième étape de cette expérimentation concerne l'exploration des hyperdocuments du cours « la Saga du cerveau » sur lequel porte l'adaptativité (hypermédia d'une vingtaine de pages). Ce cours expose les fonctions cognitives et leur fonctionnement. Les étudiants sont complètement novices dans le domaine. A la fin de cette étape, ils répondent à un questionnaire (questions ouvertes) qui porte sur le contenu des hyperdocuments. Nous avons procédé à une évaluation de l'adaptation dont le protocole est original et réutilisable pour d'autres systèmes adaptatifs. Nous proposons aux utilisateurs des hyperdocuments adaptés non pas à leurs profils cognitifs mais à des profils aléatoires générés à partir de leurs profils réels. Ensuite, nous calculons la distance entre ces deux profils et nous comparons les scores des utilisateurs par rapport à ces distances. Les résultats issus de cette expérimentation ont montré que les utilisateurs appartenant à la classe des distances faibles ont obtenu de meilleurs résultats au questionnaire final que ceux qui appartiennent à la classe des grandes distances. Ce n'est donc pas la qualité intrinsèque des médias qui est à l'origine des performances mais bien le fait qu'ils soient adaptés aux profils cognitifs des utilisateurs.

Les résultats de cette expérimentation nous paraissent très intéressants et motivants pour envisager de nouveaux développements. Ainsi, nous envisageons d'étendre notre modèle utilisateur en y ajoutant d'autres indicateurs représentant d'autres facettes non prises en compte comme les aspects comportementaux, culturels ou d'ordre émotionnel. Par sa structure, le moteur que nous avons développé permet de les intégrer facilement. Nous pensons qu'il nous est également possible d'aller plus loin dans l'adaptation de la navigation. Par ailleurs, nous souhaitons mettre en œuvre certains aspects de l'adaptation au support notamment pour la prise en compte des modalités auditives.

## 6 Références bibliographiques

- Ariadne (2002). Une association européenne ouverte au monde, pour partager et réutiliser la connaissance, la E-Formation pour tous, la coopération internationale entre enseignants, au service du citoyen apprenant [en ligne]. Disponible sur <<http://www.ariadne-eu.org>>.
- Pazzani, M., Billsus, D. (2002). Adaptive Web Site Agents. *Journal of Agents and Multiagent systems*, 5(2), 205-218.
- Brusilovsky, P., Su, H.D (2002). Adaptive Visualization Component of a Distributed Web-based Adaptive Educational System. In *Intelligent Tutoring Systems (Biarritz, France, June 2-7)*, Vol. 2363. Berlin: Springer-Verlag, 229-238.

- Brusilovsky, P. (2001). Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Volume 11, Issue 1-2, 87-110.
- Brusilovsky, P. (1996). Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6, 87-129. (Reprinted in *Adaptive Hypertext and Hypermedia*, 1998, 1-43, Kluwer Academic Publishers.).
- Conklin J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. *IEEE Computer*, vol. 20, 17-41.
- Crampes M., Ranwez S., Plantier M. (2000). Ontology-supported and ontology-driven conceptual navigation on the world wide web. In *Proceedings of HyperText*, ACM Ed., 191-199.
- De Bra, P., Aerts, A., Berden, B., De Lange, B., Rousseau, B., Santic, T., Smits, D., Stash, N. (2003). AHA! The Adaptive Hypermedia Architecture. In *Proceedings of the ACM Hypertext Conference*, Nottingham, UK, 81-84.
- De Bra, P., Calvi, L. (1998), AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture. *The New Review of Hypermedia and Multimedia*, vol. 4, 115-139.
- Delestre, N. (2000). L'architecture clients-serveurs d'un hypermédia adaptatif pour la production automatique de cours. In *Colloque international TICE'2000 Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie*, Troyes, 18-20 octobre.
- Fink, F., Kobsa, A., Nill, A. (1997) Adaptable and Adaptive Information Access for All Users, Including the Disabled and the Elderly. In *Sixth International Conference on User Modeling*, Chia Laguna, Sardinia, June 2-5.
- Fischer, G. (2001) User Modeling in Human-Computer Interaction. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Volume 11, Issue 1-2, 65-86.
- Habieb-Mammar, H., Tarpin-Bernard, F., Prévot, P. (2003). Adaptive Presentation of Multimedia Interface Case study: "Brain Story" Course. In P. Brusilovsky, A.T. Corbett, F. de Rosis (Eds.), *User Modeling 03*, Springer Verlag, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 15-24.
- Habieb-Mammar, H., Tarpin-Bernard, F., Prévot P. (2003). Modélisation et mise en œuvre d'hyperdocuments pédagogiques adaptatifs. In *Actes de la 15ème conférence francophone IHM 2003 (Caen, 24-28 Novembre 2003)*, ACM International Conference Proceedings Series, 112-117, ACM Press.
- Jameson, A. (2003). Adaptive interfaces and agents. In J. A. Jacko & A. Sears (Eds.), *The Human Computer Interaction Handbook*, Mahwah, NJ: Erlbaum, 305-330.
- Kobsa, A. (1994). Conceptual Hierarchies: Approaches from Artificial Intelligence and Connectionism. In H. Best, B. Endres-Niggemeyer, M. Herfurth, P.P. Ohly (Eds.), *Informations- und Wissensverarbeitung in den Sozialwissenschaften: Beiträge zur Umsetzung neuer Informationstechnologien*, Opladen, Westdt. Verlag.
- Language XML- W3C Recommendation <http://www.w3.org/xml/>
- Pazzani, M.J., Billsus, D. (2002). Adaptive Web Site Agents. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 5, 205-218.



- Senach, B. (1990). *Evaluation ergonomique des interface homme-machine: une revue de la littérature*. Rapport technique n°383, INRIA, Rocquencourt.
- Stephanidis, C., Paramythis, A., Sfyarakis, M., Stergiou, A., Maou, N., Leventis, A., Paparoulis, G., Karagiandidis, C. (1998). Adaptable and adaptive user interfaces for disabled users in AVANTI Project. In Triglia S., Mullery A., Campolargo M., Vanderstraeten H., Mampaey M. (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligence in Services and Networks (IS&N'98), Technology for Ubiquitous Telecom Services*, Antwerp, Belgium, LNCS 1430, Springer-Verlag, Germany, 153–166.
- Tarpin-Bernard, F., Habieb-Mammar, H., Croisile, B., Noir, M. (2001). A supervised Program for Cognitive e-Training. In *WebNet'2001, World Conference on Web technologies (Orlando, Florida, October 23-27)*, 1208-1213, ISBN 1-880094-46-0.
- Thevenin, D. (2001) *Adaptation en Interaction Homme-Machine : le cas de la Plasticité*. Thèse de doctorat en informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 234 p.
- Vassileva, J. (1994). A practical Architecture for User Modeling in a Hypermedia-based Information System. In *Proceedings of the User Modeling 94 Conference*. The Mitre Corporation, 115-120.
- Weil-Barais, A. (2001). *L'homme cognitif*. Presses Universitaires de France, Paris.
- XSL Transformations (XSLT). Accessible à : <http://www.w3.org/Style/xsl/>