

# Couplage de représentations globales et locales pour l'exploration d'hyperdocuments

*Laurent Robert, Eric Lecolinet*

ENST / CNRS URA 820  
46 rue Barrault, 75013 Paris, France  
E-mail: {lrobert,elc}@inf.enst.fr

## RESUME

Nous présentons un ensemble d'outils de visualisation conçus pour supporter l'exploration d'hyperdocuments. L'approche proposée consiste à coupler des représentations globales et locales. Des vues d'ensembles permettent de sélectionner des zones d'intérêts. Des vues locales sont ensuite utilisées pour donner des aperçus sur l'organisation et sur le contenu des documents sélectionnés. La manipulation de ces documents et l'accès à leur contenu s'effectuent par l'intermédiaire de zooms interactifs. Les outils présentés ont été appliqués à deux exemples concrets: Le World Wide Web et des hypermédias mettant en œuvre des matériaux littéraires de nature complexe.

**MOTS CLES :** Visualisation d'information, hypermédia, navigation, vues globales et locales, focus+contexte, système multi-vues, interface zoomable, animation.

## INTRODUCTION

L'accroissement du nombre de documents disponibles sous forme électronique s'accompagne d'importants problèmes d'organisation, de manipulation et d'accès aux données. Les systèmes hypermédias permettent d'accéder à de grandes quantités d'information de manière intuitive. Ces systèmes organisent les documents en termes de nœuds et de liens. L'exploration s'effectue simplement par associations d'idées, en suivant les liens rencontrés.

Cependant, les utilisateurs de tels systèmes ont souvent la sensation « d'être perdus » dans la masse de documents disponibles. Ils ne disposent généralement que d'une vue parcellaire de l'information et éprouvent des difficultés à la rattacher à l'ensemble de l'espace documentaire. Ceci entraîne des problèmes de localisation (d'où vient-on ? Quels liens ont été suivis ?) et des difficultés à réaliser les associations d'idées. De plus, les utilisateurs sont perturbés par le nombre important de choix de navigation qui leur est proposé. Ils sont confrontés au problème de la désorientation [2][9] dont les principales sources sont: l'importante quantité de documents manipulés et la complexité du réseau de liens.

Nous présentons ici un ensemble de travaux, basés sur la visualisation graphique d'information, dédiés à l'exploration d'hyperdocuments. L'approche proposée repose sur l'utilisation de vues d'ensembles et d'aperçus locaux fortement liés. De notre point de vue, la désorientation peut être réduite par une connaissance à

la fois globale et locale du contexte des documents consultés.

Les vues globales permettent de représenter l'organisation d'un grand nombre de documents et fournissent donc aux utilisateurs un moyen d'en appréhender les principales caractéristiques. Ces vues sont principalement utilisées pour effectuer une exploration rapide de l'hyperdocument afin d'y trouver des zones d'intérêts. Elles permettent également aux utilisateurs de localiser des composants particuliers par rapport à l'ensemble de l'hyperdocument.

Les aperçus permettent de visualiser plus en détail des sous-ensembles de l'hyperdocument qui sont sélectionnés à partir d'une vue globale. Chacune de ces vues montre l'organisation d'un petit nombre de documents et donne une idée de leur contenu. Certains de ces documents peuvent être visualisés en détail alors que d'autres, qui composent leur contexte, sont représentés de manière plus grossière. Il est ainsi possible de comparer plusieurs documents et d'en comprendre les relations, ce qui favorise les associations d'idées.

Pour illustrer ce couplage de représentations globales et locales, nous avons choisi de présenter les réalisations effectuées sur deux exemples distincts d'hypermédias. La première application est dédiée au « World Wide Web » où la désorientation apparaît comme un problème majeur [10]. Le second type d'hypermédia traité repose sur la base d'un travail antérieur visant à concevoir un poste d'édition et de consultation de livres électroniques d'œuvres littéraires incluant des images de manuscrits et du texte structuré (Projet Philectre) [7].

## VISUALISATION D'INFORMATION

Les problèmes de désorientation et de localisation sont communs à la plupart des systèmes manipulant des ensembles de données complexes, et ce quel que soit le domaine d'application (les hypermédias, les bases de données scientifiques et génétiques, les bibliothèques électroniques, etc.).

Une approche possible consiste à fournir aux utilisateurs une représentation visuelle de l'organisation des données. Certains systèmes utilisent des vues d'ensembles ou des cartes pour supporter le processus de navigation [4][12]. Cependant, une représentation complète se révèle souvent trop complexe et de trop grande taille pour être efficacement utilisable. La principale difficulté consiste à maximiser l'utilisation

effective de l'espace d'affichage, sans l'encombrer, afin de fournir des vues pertinentes sur les données. Une solution possible repose sur l'utilisation de vues focus+contexte.

La technique des vues fish-eyes [3] est une des premières approches proposée pour représenter l'information dans son contexte. La méthode consiste à appliquer à la représentation graphique des distorsions pour augmenter le nombre de détails sur une zone d'intérêt (le focus). Plus on s'éloigne du focus, plus le nombre de détails est réduit. Par exemple, une vue fish-eye appliquée à une carte permet de mettre en évidence la position courante de l'utilisateur et sa destination. Ces deux focus sont approchés l'un de l'autre et agrandis alors que les éléments les séparant sont repoussés sur les cotés. Cependant, les distorsions mises en œuvre sont elles-mêmes source de problèmes. Les utilisateurs ont souvent des difficultés à comprendre l'organisation des documents en raison des altérations fréquentes et parfois complexes de la représentation.

La représentation hyperbolique de hiérarchies, développée par Xerox [5], peut être vue comme une variante des vues fish-eyes. Les principes de géométrie hyperbolique sont utilisés pour positionner les éléments de la hiérarchie. Cette technique permet d'allouer une part plus importante de l'affichage à une partie de la représentation tout en l'englobant dans le contexte de la hiérarchie. De même que pour les vues fish-eyes, les transformations engendrées par l'exploration peuvent devenir une source de confusion. Il n'est pas toujours évident, lorsque les nœuds changent de place de déterminer à quel niveau de la hiérarchie ils appartiennent.

Une autre approche consiste à fournir des vues plus naturelles basées sur la perspective. Le mur perspectif [8] et les arbres coniques [11] sont deux applications de ce concept. Le mur perspectif est utilisé pour visualiser de l'information linéaire. L'idée consiste à intégrer de manière progressive des vues détaillées et des vues contextuelles. Le mur est formé de trois parties. Le panneau central permet de visualiser les détails. Les deux autres, affichés en perspective, sont utilisés pour montrer le contexte. Ces méthodes de visualisation utilisent des représentations tridimensionnelles pour maximiser la quantité d'information affichée sans avoir à appliquer de distorsions.

De tels systèmes utilisent efficacement l'affichage pour donner une représentation des informations manipulées. Ils aident les utilisateurs à comprendre l'organisation globale ou locale de la structure d'un ensemble de documents. Cependant, ces représentations ne donnent pas d'aperçus sur le contenu des documents. A notre avis, avoir une idée générale sur le contenu d'un ensemble de documents fournit un important support à l'exploration.

Des techniques de zooms peuvent être efficacement utilisées pour focaliser sur un document d'intérêt et pour

donner simultanément une idée sur le contenu de son contexte. Ces représentations permettent d'afficher plusieurs documents à des tailles variables.

Le système Pad++ [1] supporte la visualisation d'information à différentes échelles. La taille apparente d'un objet détermine le nombre de détails visualisés. Une des utilisations de ce système consiste à naviguer à travers de grands espaces de données. L'exploration s'effectue par manipulation directe de l'espace de visualisation. Une succession de zooms et de déplacements latéraux permettent d'accéder aux données. Lorsqu'un zoom est appliqué, de nouveaux objets apparaissent et le détail de ceux déjà présents augmente. Les objets de grande taille passent derrière le point de vue de l'utilisateur et disparaissent. Cependant, il paraît difficile de comprendre la structure de l'espace informationnel exploré. Le zoom faisant apparaître de nouveaux objets, l'utilisateur n'a donc au départ pas la moindre connaissance quant à leur existence. De même, les connections entre les divers documents ne sont pas clairement définies. Enfin la comparaison entre objets distants ne peut pas s'effectuer simplement (ce qui ne favorise pas les associations d'idées). La manipulation de groupes d'objets pourrait apporter une solution à ce dernier problème.

#### **COUPLAGE DE VUES GLOBALES ET LOCALES**

Les vues globales permettent de faire percevoir aux utilisateurs l'organisation générale d'un espace informationnel. Cette connaissance de la structure fournit des repères visuels favorisant la navigation. L'affichage est géré de manière à représenter le plus grand sous-ensemble possible de l'espace documentaire sans pour autant l'encombrer. Des représentations comme les arbres hyperboliques et le mur perspectif en sont de bons exemples. Cependant, afficher un nombre important de documents impose une contrainte quant à leur représentation. Ils sont en effet représentés soit par des labels soit par des icônes qui donnent généralement peu d'information sur leur contenu. De ce fait, l'utilisateur est souvent amené à ouvrir plusieurs documents avant d'en trouver un qui s'accorde avec ses centres d'intérêts.

Inversement, les vues locales permettent de donner des aperçus sur le contenu de plusieurs documents. Ces aperçus fournissent une information visuelle supplémentaire qui aide l'utilisateur à choisir le document à consulter. Des représentations locales focus+contexte permettent également de visualiser le détail d'un document tout en ayant une idée générale de son contexte. Cependant les quelques documents visualisés ne sont pas reliés à l'ensemble de l'espace informationnel. Ceci pose des problèmes de localisation qui compliquent la navigation.

Pour pallier à leurs désavantages, nous proposons un environnement où ces deux types de représentations sont fortement connectés. Le passage du global au local (et respectivement) s'effectue intuitivement au cours de la navigation en mêlant accès aux détails et exploration

générale. Les vues globales sont utilisées pour « survoler » l'ensemble des documents et pour en comprendre les relations au moyen d'outils inspirés des modèles des arbres hyperboliques [5] et du mur perspectif [8]. Différentes implémentations 2D et 3D, qui disposent de caractéristiques propres à la représentation d'hyperdocuments (en particulier des liens transversaux, etc.), ont été réalisées.

Les vues locales servent à accéder en contexte au contenu des documents. Un environnement dédié à la gestion de ces vues locales a été développé. Ce système permet d'afficher à échelle variable des documents de types hétérogènes (texte, image, page HTML) ainsi que les liens existant entre ces documents. Des techniques de zooms interactifs sont utilisées pour organiser efficacement l'affichage (gestion du focus et du contexte, manipulation de groupes de documents, etc.).

Ces principes ont été appliqués aux deux domaines décrits ci-après. Différentes méthodes de représentation ont été développées suivant les domaines d'application de manière à mieux prendre en compte les particularités des espaces informationnels correspondants.

### Navigation sur le Web

Dans le cas du Web, la principale difficulté est de prendre en compte le nombre considérable de documents disponibles et la complexité du réseau de lien. La solution proposée consiste à représenter à un moment donné un sous-ensemble de pages qui évolue dynamiquement au fur et à mesure de la navigation. La représentation s'appuie sur une arborescence qui est extraite du réseau de liens. La figure 1 donne un exemple de cette représentation globale. Un double clic souris sur un nœud de cette vue d'ensemble permet de charger la page correspondante et ses descendants (le contexte local) dans l'environnement de vues locales, illustré par la figure 2. Inversement, une page de la vue locale peut être désignée pour devenir le nouveau centre de la représentation globale. Ces deux représentations sont à tout moment synchronisées. L'utilisateur peut passer de l'une à l'autre au cours de l'exploration selon la tâche à effectuer. A notre avis, cette dualité contribue à diminuer le facteur de désorientation.

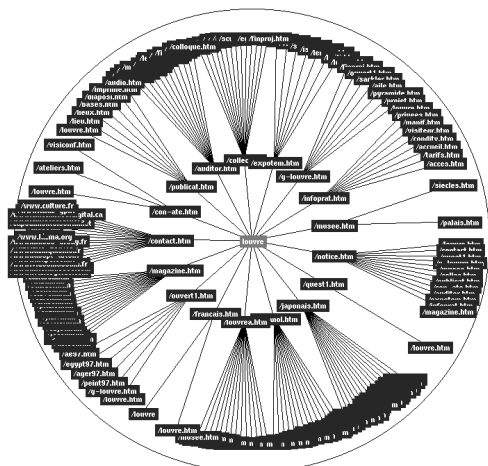


Figure 1: Vue globale d'un ensemble de pages Web.



Figure 2: Vue locale de plusieurs pages Web.

### Les livres électroniques d'œuvres littéraires

Ce type d'hyperdocuments est majoritairement composé d'images de manuscrits qui correspondent aux originaux ou aux diverses copies d'œuvres anciennes (par exemple des chansonniers d'époque médiévale, des textes d'auteurs modernes comme Flaubert, etc.). Ces manuscrits (et leurs diverses versions) sont utilisés pour comprendre comment s'est construite l'œuvre correspondante [6]. Les capacités offertes par les hypermédias permettent d'associer à ces manuscrits des notes, des commentaires ou d'autres documents annexes (images, sons, vidéo, etc.) permettant d'en comprendre le sens [7]. Il est ainsi possible, par exemple, de rendre à un chansonnier médiéval (une œuvre de troubadour) son hétérogénéité intrinsèque (texte-images-musique). De plus, des parties d'images de manuscrits peuvent être liées pour former des associations d'idées.

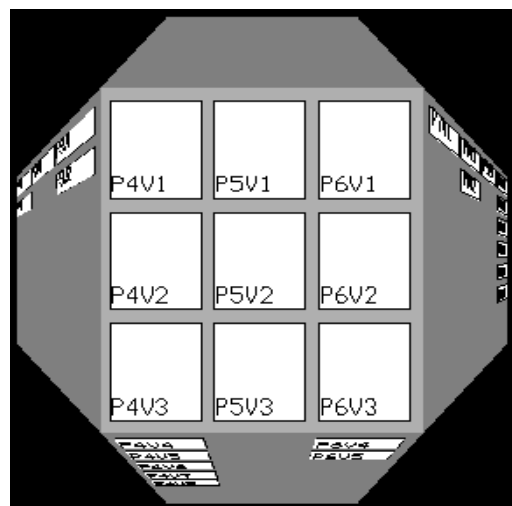


Figure 3: Vue globale d'une matrice de documents.

Les relations entre tous ces documents peuvent former un réseau d'hyperliens complexe. Cependant, une structure matricielle, basée sur les images de manuscrits, se dégage de ce réseau. Les lignes de cette matrice regroupent des pages manuscrites qui composent une version de l'œuvre. Les colonnes regroupent quant à elles les différentes versions des pages. C'est cette

structure bidimensionnelle qui est utilisée comme base de la représentation globale (figure 3). Un double clic sur une icône du mur permet de charger l'image de manuscrit correspondante et son contexte (ses versions, les quelques pages précédentes et suivantes et les documents associés à ses hyperliens) dans l'environnement de vues locales.

### LES VUES LOCALES MULTIPLES

Ce système a été développé pour visualiser le contenu de groupes de documents, trouvés à partir d'une vue globale, et pour les manipuler. Chaque ensemble de documents correspond à un aperçu local: c'est une représentation d'une sous-partie de l'hyperdocument. Chaque document de cette sous partie est affiché dans une fenêtre. L'espace d'affichage peut contenir plusieurs aperçus, offrant alors une représentation multi-vues.

La taille de la surface d'affichage s'adapte automatiquement au nombre de documents représentés. L'utilisateur ne voit à un moment donné qu'une partie de cette surface et doit effectuer des déplacements latéraux pour en parcourir la totalité. Initialement, les ensembles de documents sont affichés selon leur ordre d'arrivée (de chargement) dans l'environnement. Chacun de ses ensembles peut être manipulé et déplacé de manière interactive. Ceci permet de rapprocher des ensembles préalablement affichés à des positions éloignées, et donc d'en faciliter la comparaison.

#### Aperçus et Multi-focus

Pour comprendre le sens d'un document spécifique et la place qu'il occupe dans un tout plus complexe, il est important d'en connaître le contexte. Notre système est utilisé dans sens.

Un aperçu donne deux types d'informations. Premièrement, il montre l'organisation des documents qu'il représente (i.e. les liens). Deuxièmement, il donne une idée sur le contenu de ces documents. L'utilisateur peut focaliser sur certains documents pour les visualiser en détail en leur appliquant un zoom. Un focus correspond à un centre d'intérêt de l'utilisateur: il est déterminé par la taille de la fenêtre du document. Par exemple, la figure 2, vue à la section précédente, montre plusieurs pages Web affichées à tailles variables. Une page est suffisamment grande pour être lisible (c'est un point de focus). Les autres pages, plus petites, forment son contexte. La connaissance du contenu des pages, proches en termes de liens d'un focus, fournit une aide importante à la navigation. Tout d'abord, l'utilisateur dispose de repères visuels lui permettant de comprendre la place du document consulté dans un ensemble plus important. Ensuite, les choix de navigation ne s'effectuent plus seulement sur le sens associé aux ancres des liens (mots clés, phrases, etc.) mais également grâce à des repères de type iconique.

De part sa conception, notre système permet de mettre en évidence plusieurs centres d'intérêts en augmentant la taille des fenêtres correspondantes. On aboutit ainsi à des représentations multi-focus, comme le montre la

figure 4. Ceci favorise les associations d'idées en permettant la comparaison entre différentes pages clairement lisibles.

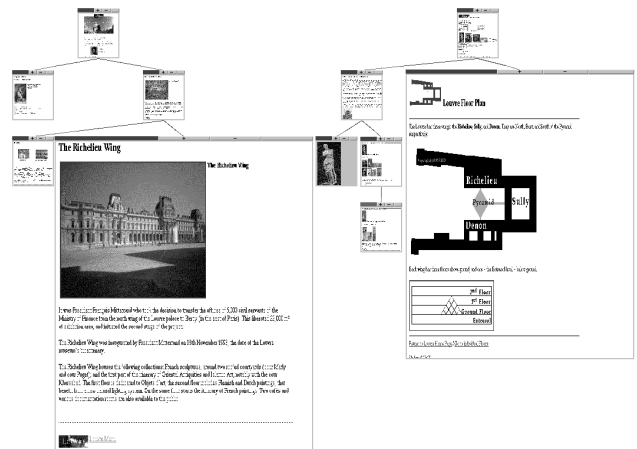


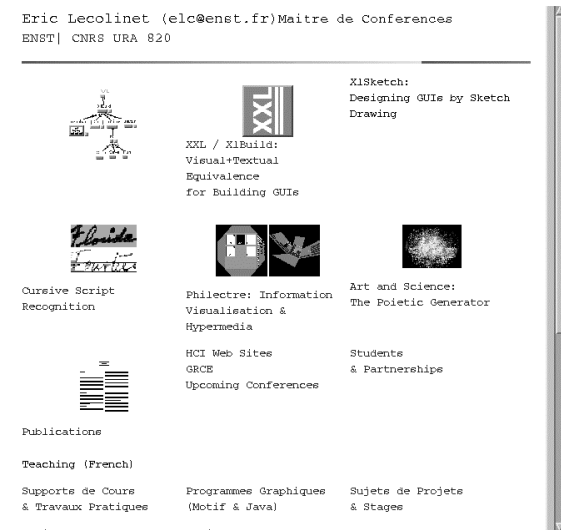
Figure 4: Une représentation multi-focus.

#### Les Zooms Interactifs

L'utilisation de zooms correspond à la principale technique d'interaction du système. Utilisés originellement pour changer la taille d'une fenêtre, ils permettent également de retailler des ensembles de documents ou d'effectuer des fermetures.

Changer la taille d'une fenêtre peut s'effectuer de deux manières différentes: par zoom direct (en retaillant la fenêtre) ou par zoom quantique (en cliquant sur un bouton). On donne ainsi à l'utilisateur la possibilité de choisir entre ces deux techniques d'interaction afin qu'il puisse utiliser celle qui lui semble la plus naturelle selon la tâche à effectuer. Le zoom direct permet une plus grande précision mais nécessite une interaction un peu plus complexe tandis que le zoom quantique est utilisé pour augmenter ou diminuer la taille d'une fenêtre (et donc le niveau de zoom) d'une valeur préalablement définie.

Dans notre système, le changement de taille d'une fenêtre est associé au niveau zoom du document correspondant. Cette transformation peut avoir des conséquences différentes sur la représentation du document en fonction des choix de l'utilisateur. Tout d'abord le zoom peut être associé à une visualisation progressive du document. Ce dernier est affiché à taille fixe et sa forme ne varie pas. La taille de la fenêtre détermine alors le nombre d'éléments visualisés, comme le montre la figure 5. L'autre possibilité consiste à faire varier la taille des différents composants du document tout en respectant sa mise en forme. La figure 6 illustre ce principe dans le cas d'une page HTML. Les composants sont toujours disposés de la même manière les uns par rapport aux autres. Les utilisateurs ne sont donc pas perturbés par des changements fréquents de mise en forme dus aux changements de taille. Les proportions des images et des tableaux sont respectées. La taille du texte s'adapte en fonction des dimensions de la fenêtre. La première possibilité permet de toujours pouvoir lire les éléments visualisés. La seconde ne



permet pas de lire un document trop petit mais donne néanmoins des repères visuels (son aspect) aidant à l'identifier.

Les zooms sont également utilisés pour gérer l'organisation de l'espace d'affichage. Par leur intermédiaire, l'utilisateur peut manipuler des ensembles de documents via les fenêtres correspondantes.

Le zoom hiérarchique permet, en retaillant une fenêtre donnée, de modifier le niveau de zoom de cette fenêtre et de tous ses descendants. Cette opération préserve la différence initiale de taille (le ratio) entre les fenêtres manipulées. Il est ainsi possible, par exemple, d'augmenter ou de diminuer en une seule interaction la taille d'un groupe de documents. Ceci est utile pour focaliser sur une zone d'intérêt ou pour garder, à taille réduite et de manière identifiable, des documents déjà consultés dont on pourrait encore avoir besoin. La figure 8 montre le résultat d'un zoom hiérarchique appliqué au sous-ensemble **A** de la figure 7.

Le zoom contextuel permet de retailler tous les documents en fonction de leur relation avec la fenêtre sélectionnée. Toutes les fenêtres qui sont directement ou indirectement liées à la sélection (ses ascendants et ses descendants) sont redimensionnées de manière proportionnelle à leur distance (en terme de liens) au document sélectionné. Les autres fenêtres sont retaillées dans le sens inverse. La figure 9 présente une transformation résultante d'un zoom contextuel. La fenêtre **B** (la sélection) est retaillée et agrandie de manière à être lisible. Les documents qui figurent dans son contexte (ceux qui sont liés à **B** dans cette représentation) sont agrandis de manière progressive alors que la taille des autres documents (ceux appartenant à la partie **A**) est réduite. Il est ainsi possible de focaliser sur un document et d'en faire apparaître le contexte en une interaction tout en diminuant la taille de ce qui ne nous intéresse plus pour le moment. De plus l'utilisateur garde un contrôle explicite sur la place allouée à cet ensemble de documents.

Le système fournit également un zoom global pour redimensionner toutes les fenêtres de la représentation

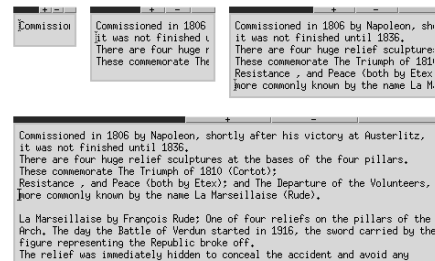


Figure 5: La quantité de texte dépend de la taille de la fenêtre.

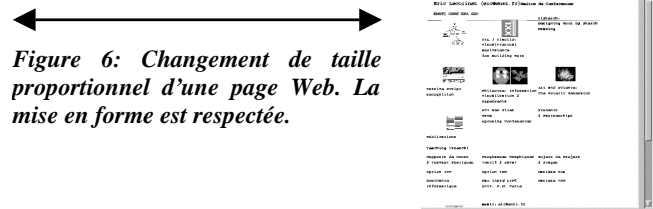


Figure 6: Changement de taille proportionnel d'une page Web. La mise en forme est respectée.

de la même manière. Il est également possible de remettre un ensemble de fenêtres à la même taille. Cette taille est soit spécifiée par l'utilisateur soit déterminée automatiquement par un calcul de moyenne.

Le zoom est également identifié à l'opération de fermeture. Lorsqu'une fenêtre approche d'une taille minimum, définie préalablement par l'utilisateur, elle est automatiquement fermée. Il est ainsi possible de fermer une hiérarchie de documents simplement en diminuant la taille de la fenêtre qui correspond à la racine de cette hiérarchie. On peut ainsi effectuer deux types d'opérations distinctes au moyen d'un mode d'interaction unique, ce qui permet de simplifier et d'unifier les opérations de manipulation directe.

Les changements de taille et les fermetures entraînent une restructuration automatique de la représentation. L'affichage se transforme en conséquence: les fenêtres sont repositionnées et/ou retaillées. Si les changements s'avèrent être trop complexes, un processus d'animation est automatiquement déclenché pour permettre de comprendre la réorganisation. L'animation permet aux utilisateurs de suivre la transformation pas à pas et ainsi de réduire la surcharge cognitive nécessaire à la compréhension de la nouvelle disposition des fenêtres.

### Navigation

Comme dans un système hypermédia classique, l'utilisateur peut naviguer en cliquant sur les hyperliens contenus dans les documents. Si le document, qui correspond à la destination du lien, est déjà affiché, sa fenêtre est agrandie. Dans le cas contraire, le nouveau document est chargé et placé comme un enfant du document contenant l'ancre du lien activé. Les documents préalablement affichés restent visibles. Ceci permet d'avoir une sorte d'historique de navigation.

### Réalisation

Le système développé correspond à un navigateur multi-pages où chaque fenêtre est en charge de l'affichage d'un document à échelle variable. Dans le cas du Web, ce système peut être vu comme un navigateur « zoomable » multi-vues. Dans le cas du livre électronique, il pourrait servir de base à un poste de consultation de documents littéraires complexes.

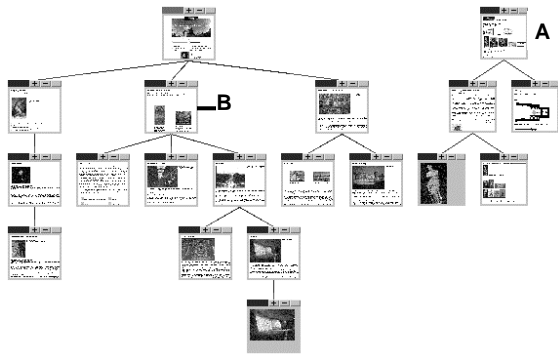


Figure 7: Vue initiale des figures 8 et 9.

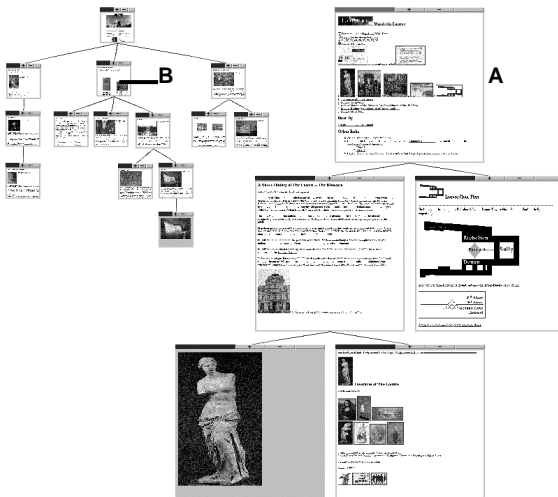


Figure 8: Zoom hiérarchique sur la partie A de la figure 7.

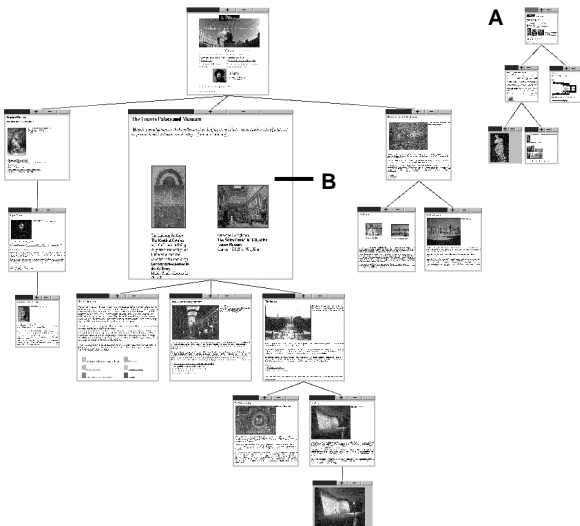


Figure 9: Zoom contextuel à partir de B sur la figure 7.

Ce système permet l'affichage de documents hétérogènes et supporte l'essentiel des caractéristiques du langage HTML.

Contrairement à d'autres systèmes existants [1], nous avons choisi une implémentation qui favorise la rapidité d'exécution ainsi que la lisibilité du texte. Le changement d'échelle des images se fait selon des valeurs fractionnelles par suppression ou addition de pixels, sans calcul d'interpolation coûteux en temps de calcul. Le changement d'échelle du texte s'effectue en

employant un ensemble prédéterminé de polices fixes qui correspondent aux différentes tailles souhaitées. Ces polices sont calculées une fois pour toutes et leur forme a été spécifiquement étudiée pour rester lisible même à une échelle relativement petite. Le zoom n'est donc pas parfaitement continu mais respecte la disposition spatiale, qui reste cohérente, des différents éléments du document.

### LES VUES GLOBALES : UN SUPPORT A LA LOCALISATION ET A L'EXPLORATION RAPIDE

Les outils de visualisation globale développés sont utilisés pour représenter l'organisation générale d'un hyperdocument et en faciliter l'exploration. L'affichage se base sur une sous structure du réseau de liens, plus simple à représenter qu'un graphe quelconque.

### Représentation perspective

On a développé un outil de visualisation tridimensionnelle, basé sur le modèle du mur perspectif [8], adapté à la représentation d'hyperliens.

Comme dit précédemment, dans le cas des œuvres littéraires hypermédiées, c'est la matrice pages/versions des manuscrits qui est affichée sur le mur. Notre modèle est composé de quatre panneaux en perspective qui entourent la partie centrale (le mur est ainsi symétrique par rotation de 90°). Les pages du livre sont affichées horizontalement et leurs différentes versions verticalement (selon l'ordre chronologique d'écriture, par exemple). L'utilisateur peut donc visualiser sur la partie centrale (le focus) les icônes correspondant aux pages des différentes versions de l'œuvre. Les quatre autres panneaux (le contexte) donnent des informations globales de localisation (nombre de versions, positionnement dans le livre, etc.). Il est aussi possible de faire varier le niveau de détail de la partie centrale, la taille des icônes s'ajustant alors automatiquement (figure 10).

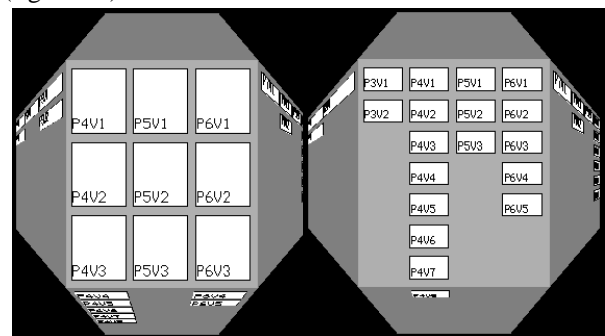


Figure 10: Modularité du niveau de détail.

Le modèle original du mur a été étendu pour représenter les hyperliens, ce qui permet, par exemple, de visualiser les relations existantes entre les diverses pages manuscrites. L'utilisateur visualise les liens qui partent d'une page en la sélectionnant. Ces liens sont affichés sur la face arrière du mur (figure 11). Une droite part à la perpendiculaire du document source et se subdivise ensuite pour relier les destinations des liens. Cette disposition fournit une solution à l'enchevêtrement visuel des liens. De plus, un lien supplémentaire, affiché

en pointillé, indique le dernier emplacement de l'utilisateur, lui permettant de connaître la direction d'où il vient. Ce repère visuel fournit une sorte d'historique de navigation.

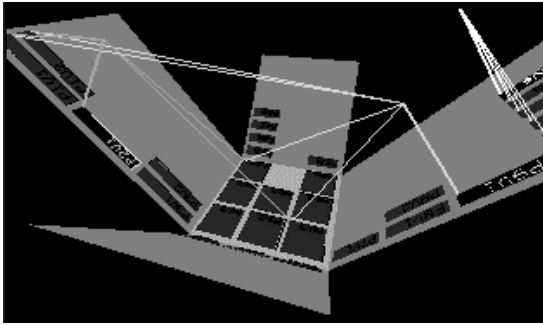


Figure 11: Les hyperliens sont affichés sur la face arrière.

Pour passer de la face avant à la face arrière du mur, l'utilisateur peut déplacer interactivement son point de vue. Une animation permet d'effectuer ce changement de vue de manière progressive afin de ne pas perturber la perception de la représentation. On pourrait également envisager de représenter les liens sur le devant du mur, au moyen d'un artefact optique, afin d'éviter les changements de perspective.

Cette représentation pourrait également être appliquée au Web. Les pages affichées sur le mur pourraient être regroupées par thèmes; elles pourraient aussi faire partir d'ensembles fournis par des moteurs de recherche, la face arrière affichant les liaisons entre ces divers ensembles.

### Représentation concentrique hiérarchique

Cette représentation, inspirée du modèle des arbres hyperboliques développé par Xerox [5], permet l'affichage de hiérarchies de pages Web. Deux problèmes se dégagent du modèle original. Tout d'abord, les transformations hyperboliques résultantes de l'exploration entraînent des distorsions parfois complexes de la représentation. Il peut par exemple être difficile de savoir à quel niveau de la hiérarchie appartient un nœud spécifique. Le second problème vient du fait que la représentation est construite une fois pour toute. La totalité de la hiérarchie est positionnée dans le plan hyperbolique dès le départ, l'espace d'affichage permettant d'en visualiser un sous-ensemble qui évolue au cours de l'exploration. Il n'est ainsi pas possible de rajouter de nouveaux nœuds dynamiquement. Ceci pose problème pour le Web puisqu'il est illusoire de prendre en compte la totalité des documents. De plus, la navigation s'effectuant en cliquant sur les liens de proche en proche, l'utilisateur ne connaît pas à l'avance dans quelle partie du Web il va se retrouver.

Nous avons développé deux modèles (2D et 3D) qui sont capables d'évoluer dynamiquement au cours de l'exploration. Les URL des pages sont recherchés de manière récursive à partir d'une page de focus. Cette recherche s'arrête lorsque la profondeur maximum d'exploration, préalablement définie par l'utilisateur, est

atteinte. En parallèle, le système construit une représentation interne du graphe des hyperliens. Il extrait ensuite de ce graphe une structure arborescente, ayant pour racine la page de focus, et l'affiche à l'écran. Lors de la navigation, l'utilisateur peut changer de focus en sélectionnant un des nœuds affichés. Celui-ci devient alors le centre de la représentation. Ce changement provoque une modification de la représentation interne et, par conséquent, de l'affichage. De nouvelles pages sont ajoutées à l'écran alors que celles qui s'éloignent de la nouvelle racine disparaissent.

**Visualisation 2D:** Cette représentation dispose l'arborescence des pages sur un disque. La racine est initialement positionnée au centre du disque. Les autres nœuds sont placés sur des cercles concentriques qui correspondent aux différents niveaux de l'arbre (figure 12a). L'espacement entre les divers niveaux de l'arbre peut être modifié interactivement pour changer le nombre de niveaux visualisés. Ceci permet soit d'aérer la représentation, soit d'augmenter le nombre de pages affichées.

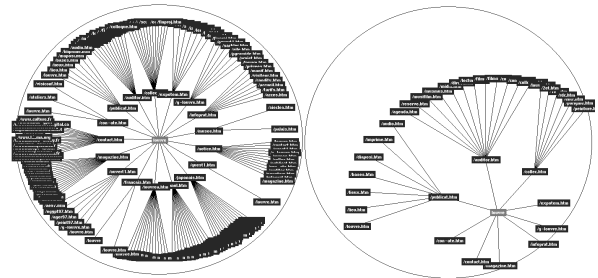


Figure 12 (a & b): La représentation concentrique.

A chaque nœud est associé un secteur angulaire qui détermine l'espace disponible pour la disposition de ses enfants. Un nœud est positionné sur son cercle et au centre de son secteur angulaire. La racine possède un secteur angulaire de  $360^\circ$ . Chaque nœud divise son secteur angulaire par le nombre de ses fils. Il résulte de cette opération la création de nouveaux secteurs qui sont affectés à chacun des fils. Ce processus se répète de manière récursive pour chaque niveau de la hiérarchie. Cet algorithme de placement est assez simple car la division de l'espace alloué à la descendance d'un nœud dépend seulement du nombre de ses fils. Une autre possibilité aurait été de prendre en compte le nombre de ses descendants sur plusieurs niveaux. Cependant notre représentation évoluant dynamiquement, le système ne connaît pas forcément le nombre total des descendants sur plusieurs niveaux au moment de l'affichage.

Il résulte de ce choix de conception un affichage rapide qui évolue en temps réel au fur et à mesure de la navigation, alors même que le système effectue une mise à jour dynamique des pages à représenter. Cependant, le placement des nœuds fait apparaître un problème d'occlusion. Lorsque le nombre de nœuds affichés est important, certains d'entre eux se chevauchent, ce qui empêche de lire le texte de leur label (titre ou URL de la page correspondante). Deux

solutions sont mises en œuvre pour résoudre ce problème.

La première consiste à positionner la souris sur le nœud à visualiser. Celui-ci passe alors au premier plan et est agrandi afin de permettre la lecture du texte qu'il contient. Il reprend sa taille normale lorsque la souris est déplacée. Cette technique a l'avantage de ne pas modifier le positionnement des nœuds.

La seconde solution consiste à changer la position des nœuds. Ceci s'effectue en déplaçant interactivement un nœud à l'aide de la souris. Les couches circulaires de l'arbre sont déplacées en conséquence et la vue est globalement transformée (figure 12b). Les nœuds qui se rapprochent du centre s'espacent, alors que ceux qui s'en éloignent se resserrent. De plus des nœuds qui se trouvaient hors de l'espace d'affichage peuvent alors apparaître.

Enfin, notre représentation permet d'afficher les hyperliens qui ne sont pas inclus dans la structure hiérarchique (i.e. ceux qui forment le graphe d'origine). Deux modes d'affichage sont disponibles. Un mode global pour tous les afficher simultanément. Ceci n'est pas très utile et encombre énormément l'espace de visualisation. Un mode local permet d'afficher uniquement les liens partant d'un (ou plusieurs) nœud préalablement spécifié par l'utilisateur.

**Visualisation 3D:** Une alternative 3D à la représentation circulaire a été réalisée afin d'utiliser la perspective pour augmenter le nombre de nœuds représentés et pour fournir un autre type de solution au problème de chevauchement. Le principe consiste à plaquer l'arborescence des pages sur une sphère pleine (figure 13). Les pages positionnées sur la « face cachée » de la sphère ne sont donc pas visibles. Cette occlusion volontaire facilite la compréhension de la représentation. En effet, si ces pages étaient visibles, elles pourraient être confondues avec celles se trouvant au premier plan et ainsi perturber la perception des utilisateurs. Le rayon de la sphère et la distance séparant chacun des niveaux de la hiérarchie sont déterminés automatiquement en fonction du nombre de pages à afficher. L'utilisateur peut également modifier interactivement ces deux paramètres. Pour l'instant le mode d'exploration proposé consiste simplement à se déplacer autour de la sphère. Cette solution est peu coûteuse en temps de calcul car c'est le point de vue de l'utilisateur qui est modifié. Les nœuds quant à eux ne sont pas repositionnés.

## CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article un ensemble de techniques de visualisation dédiées à l'exploration documentaire. Le principe de notre approche repose sur un fort couplage entre représentations globales et locales. Tout d'abord, les utilisateurs peuvent rapidement parcourir un ensemble de documents et en comprendre les relations. Le contenu d'un document d'intérêt est alors visualisé avec son contexte local.

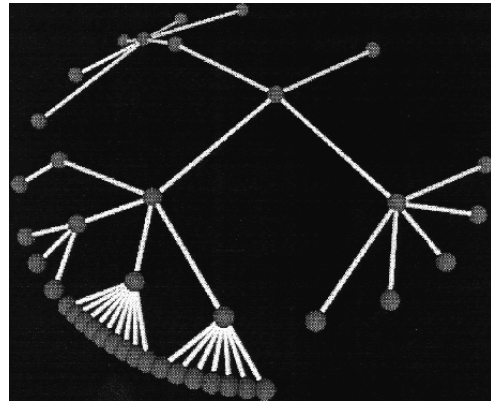


Figure 13: Représentation sphérique perspective.

Les systèmes développés ont d'abord été appliqués aux hyperdocuments. En ce qui concerne les œuvres littéraires hypermédias, nous avons collaborés avec des spécialistes du domaine littéraire (ITEM, IRHT /CNRS). Ces outils de visualisation leur ont été présentés afin de tester leur utilité en situation réelle de recherche sur des matériaux littéraires complexes.

Une des prochaines étapes de notre travail consiste à appliquer ces outils de visualisations à d'autres types d'espaces documentaires. Une autre possibilité intéressante consisterait à coupler ces outils avec des moteurs de recherche. Les résultats d'une recherche pourraient être ainsi représentés par ces techniques de visualisation afin d'en permettre l'exploration et la consultation interactive.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Bederson B., Hollan J.D., Perlin K., Meyer J., Bacon D. and Furnas G. *Pad++: A Zoomable Graphical Sketchpad for Exploring Alternate Interface Physics*. Journal of Visual Languages and Computing, 7:3-31, 1996.
2. Brown P.J. *Turning Ideas into Products: The guide system*. In Proceedings of ACM Hypertext Conference (HT'87), pp. 33-44.
3. Furnas G. *Generalized Fisheye Views*. In Proceedings of ACM Computer Human Interaction Conference (CHI'86), pp. 16-23.
4. Halasz F.G., Moran T.P. and Trigg. R.H. *Notecards in a Nutshell*. In Proceedings of ACM Computer Human Interaction Conference (CHI'87), pp. 45-52.
5. Lamping J. and Rao R. *The Hyperbolic Browser: A Focus+Context Technique for Visualizing Large Hierarchies*. Journal of Visual Languages and Computing, 7:33-55, 1996.
6. Lebrave J.L. *Hypertextes-mémoires-écritures*. Genesis, manuscrits, recherches, inventions, 5:9-24, 1994.
7. Lecolinet E., Likforman-Sulem L., Role F., Robert L. and Lebrave J.L. *An Integrated Reading and Editing Environment for Scholarly Research on Literary Works and their Handwritten Sources*. In Proceedings of ACM Digital Libraries Conference (DL'98), pp. 144-151.
8. Mackinlay J.D., Robertson G.G. and Card S.K. *Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated*. In Proceedings of ACM Computer Human Interaction Conference (CHI'91), pp. 173-179.
9. Nielsen J. *Hypertext and Hypermedia*. Academic Press, 1990.
10. Robert L. and Lecolinet E. *Browsing Hyperdocuments with Multiple Focus+Context Views*. In Proceedings of ACM Conference on Hypertext and Hypermedia (HT'98), pp. 293-294.
11. Robertson G.G., Mackinlay J.D. and Card S.K. *Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information*. In Proceedings of ACM Computer Human Interaction Conference (CHI'91), pp. 189-194.
12. Yankelovich N., Meyrowitz B.J. and Drucker S.M. *Intermedia: the Concept and Construction of a Seamless Information Environment*. IEEE Computer, 31(1): 81-96, 1988