

**UNIVERSITE PAUL SABATIER & INPT**

**DEA en INFORMATIQUE: 2IL**

**Informatique de l'Image et du Langage**

**Responsable : R. CAUBET, Professeur**

**Année 2003-2004**

**Laboratoire IRIT**

# **Environnements virtuels pour l'interaction avec de grands ensembles de données**

---

**par Jean-Charles THOMAS**

**Equipe de Synthèse d'Image et réalité virtuelle**

---

**Directeur de recherche : Monsieur le Professeur R. CAUBET**

**Responsable de stage : Monsieur J. P. JESSEL**

---

**Mots Clés :** Visualisation d'informations, Interaction 3D, Réalité virtuelle, Visual data mining

**Résumé :**

**Abstract :**

# Sommaire

<b>1 – INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<i>Interfaces 2D / Interfaces 3D.....</i>	5
<i>Plan - Problématique.....</i>	6
<b>2 - LA VISUALISATION D'INFORMATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 - TYPES DE DONNEES .....</b>	<b>9</b>
2.1.1 - <i>Dimension d'une donnée.....</i>	10
2.1.2 - <i>Valeurs des attributs de la donnée.....</i>	10
2.1.3 - <i>Relations entre les données.....</i>	10
<b>2.2 - L'INTERACTION .....</b>	<b>13</b>
2.2.1 - <i>Les buts de l'utilisateur.....</i>	13
2.2.2 - <i>Les tâches d'interaction.....</i>	14
2.2.2.1 - <i>Vue d'ensemble (Overview).....</i>	14
2.2.2.2 - <i>Focalisation (Zoom).....</i>	14
2.2.2.3 - <i>Filtrage (Filter).....</i>	15
2.2.2.4 - <i>Voir les relations (View relationships).....</i>	15
2.2.2.5 - <i>Détails à la demande (Details-on-demand).....</i>	16
2.2.2.6 - <i>Historique (History).....</i>	16
2.2.2.7 - <i>Extraire (Extract).....</i>	16
2.2.3 - <i>Les artifices d'interaction en 3D.....</i>	17
2.2.3.1 - <i>Interaction avec la souris.....</i>	17
2.2.3.2 - <i>Le pointage.....</i>	19
2.2.3.3 - <i>La sélection.....</i>	20
2.2.3.4 - <i>Geste et interaction à deux mains.....</i>	22
2.2.4 - <i>Interaction idiomatique et interaction.....</i>	24
<i>métaphorique .....</i>	24
<b>2.3 - VISUALISATION IDIOMATIQUE D'INFORMATIONS EN 3D :.....</b>	<b>25</b>
<b>ETAT DE L'ART .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 - <i>Techniques de mapping.....</i>	26
2.3.1.1 - <i>Nuages de points (3D scatterplots).....</i>	26
2.3.1.2 - <i>Surfaces.....</i>	27
2.3.1.3 - <i>Espaces de Benedikt.....</i>	28
2.3.1.4 - <i>Glyphes 3D.....</i>	29
2.3.2 - <i>Techniques de présentation de structures.....</i>	30
2.3.2.1 - <i>Les perspective walls.....</i>	30
2.3.2.2 - <i>Visualisations sphériques.....</i>	31
2.3.2.3 - <i>Arbres coniques (Cone trees).....</i>	32

2.3.2.3 - Arbres penchés ( <i>Cam trees</i> ).....	33
2.3.2.4 - Représentations dans l'espace hyperbolique.....	33
2.3.2.5 - Les cubes d'information ( <i>Information cube</i> ).....	34
2.3.3 - <i>Outils de Focus + Context</i> .....	35
<b>2.4 - METAPHORES DE VISUALISATION 3D : ETAT DE L'ART.....</b>	<b>36</b>
2.4.1 - <i>Les villes de données</i> .....	36
2.4.2 - <i>Le SANDBOX</i> .....	36
2.4.3 - <i>Les salles 3D</i> .....	37
2.4.4 - <i>Les bibliothèques virtuelles en 3D</i> .....	38
2.4.5 - <i>Les bureaux 3D</i> .....	40
2.4.6 - <i>La galerie d'art</i> .....	41
<b>2.5 - BILAN : VISUAL DATA MINING ET REALITE VIRTUELLE .....</b>	<b>43</b>
<b>3 - APPLICATION A FOVEA.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 - FOVEA : FOUILLE VIRTUELLE D'ENVIRONNEMENT PALEO-ANTHROPOLOGIQUE.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 - PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 - SOLUTIONS ENVISAGEES.....</b>	<b>48</b>
3.3.1 - <i>Solutions matérielle et logicielle</i> .....	48
3.3.2 - <i>Solutions techniques</i> .....	49
3.3.2.1 - Les données.....	50
3.3.2.2 - Directions empreintées.....	51
<b>3.4 - DEVELOPPEMENT REALISE .....</b>	<b>52</b>
3.4.1 - <i>Visualisation</i> .....	52
3.4.1.1 - Agencement du site de fouille virtuelle.....	52
3.4.1.2 - Gestion du niveau de détail.....	53
3.4.1.3 - Attributs détaillés d'un objet.....	54
3.4.2 - <i>Navigation</i> .....	55
3.4.2.1 - Navigation générale.....	55
3.4.2.2 - Focalisation sur un objet.....	56
3.4.3 - <i>Interaction</i> .....	57
3.4.3.1 - Filtrage du matériel paléontologique.....	57
3.4.3.2 - Vue rapprochée sur les objets.....	58
<b>3.5 - BILAN ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>60</b>
3.5.1 - <i>Perspectives</i> .....	60
3.5.1.1 - Une nouvelle approche : la fouille dynamique.....	60
3.5.1.2 - Une interaction intuitive et précise : le retour haptique.....	61
3.5.1.3 - Vers une Recherche paléo-anthropologique distribuée.....	61
3.5.2 - <i>Bilan</i> .....	62
<b>4 - CONCLUSION.....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>64</b>

Le principal instrument de recherche, dans le domaine des sciences complexes, c'est l'ordinateur. Ce dernier est en train de modifier la structure même des sciences et l'image que nous avons de la réalité matérielle.

Depuis l'avènement de la science moderne, il y a trois cents ans, les instruments d'investigation tels les télescopes ou les microscopes ont toujours eu un caractère analytique et ont favorisé une vision réductrice de la science. La physique, parce qu'elle porte sur les entités les plus petites, était la plus fondamentale des sciences. C'est à partir des lois de la physique que l'on pouvait déduire les lois de la chimie, puis de la vie, et ainsi de suite en remontant l'échelle. Cette façon de voir la nature n'est pas fautive ; mais elle a été favorisée de manière importante par la technologie et l'instrumentation disponibles.

L'ordinateur, doté de la capacité de traiter d'énormes volumes de données et de simuler la réalité, permet d'ouvrir une fenêtre nouvelle sur cette vision de la nature. Il est possible que nous voyions dorénavant la réalité de façon différente simplement parce que l'ordinateur apporte la connaissance d'une autre manière que les instruments d'analyse traditionnels. Il permet de voir la réalité sous un autre angle.

Heinz Pagels  
*Les Rêves de la raison*, 1990

# **1 – INTRODUCTION**

---

La rapide évolution des technologies informatiques au cours des vingt dernières années a provoqué une explosion de la puissance de calcul, de la capacité de stockage, et une informatisation du grand public. Cette prolifération de machines performantes, couplées aux avancées technologiques des réseaux et à l'avènement du World Wide Web dans les années 90' a causé une sorte de "*big bang informationnel*".

Toutefois, l'information peut facilement être comparée au son : s'il y a trop de son émis on n'entend plus rien. Ainsi, grâce aux nouvelles technologies de communication (téléphone, fax, Internet...) et de l'informatique (Bases de Données, échantillonnage...) les données nous parviennent comme une grosse masse chaotique où il devient difficile de trouver l'information pertinente. Ce fait explique l'explosion des logiciels de recherche d'information, notamment au niveau des entreprises pour lesquelles l'information est devenue vitale. De nombreux systèmes et techniques ont été développés pour traiter le problème (algorithmes, techniques statistiques, automates...).

Précédemment, le problème résidait en l'absence ou en l'impossibilité de trouver une information particulière du fait du manque d'indexation, de bases de données spécialisées, voire du manque d'information tout court. Aujourd'hui, le problème s'est déplacé car l'abondance de données fait que l'information souhaitée existe probablement. Cependant, elle est perdue parmi la multitude de données. La difficulté réside donc à trier, organiser l'ensemble de données à disposition pour le comprendre et retrouver l'information pertinente.

Ces tâches d'aide à la récupération de données sont regroupées sous le terme « extraction de données » (data mining) qui illustre parfaitement la nécessité d'explorer, de creuser parmi les données. Les méthodes et algorithmes de data mining ont ainsi pour vocation d'automatiser le filtrage des informations, et produisent des systèmes de recherche 'intelligents' qui peuvent retourner des données filtrées à l'utilisateur.

Mais il existe une autre approche pour le filtrage et l'analyse de l'information, qui au contraire du data mining, n'automatise pas la recherche mais exploite les capacités cognitives, perceptives et intuitives de l'utilisateur pour l'aider, sans se substituer à lui, à extraire une information (qui pourrait avoir été omise par un système de recherche automatisé), et à terme à acquérir de la connaissance, voir une certaine sagesse [Shedorff 94] concernant la question traitée. Cette approche, c'est la visualisation d'informations, aussi nommée Info Vis, définie en 1990 par Robertson, Card et Mackinlay comme «l'étude des représentations visuelles et interactions de l'information abstraite».

La visualisation d'informations connaît depuis une douzaine d'années un succès qui ne se dément pas, tant sur le plan de la recherche scientifique (littérature sur le sujet abondante et variées) que sur celui de ces applications, ou elle apporte de l'avis de tous une valeur ajoutée substantielle [Wright 1998]. Quand aux domaines d'application : chimie (infiniment petit), astronomie (infiniment grand), cartographie, médical, simulation, finance,...Ils sont trop nombreux pour être tous cités.

## Interfaces 2D / Interfaces 3D

L'interface graphique à deux dimensions, mise au point dans les années 70 au Xerox Parc à Palo Alto, est toujours utilisé à l'heure actuelle. Cependant, elle semble aujourd'hui atteindre des limites pour présenter les nombreuses données qu'un système d'information est capable de stocker, traiter et finalement de rendre disponible à la visualisation. Cette interface, composée d'éléments tels que les fenêtres, les boutons, le pointeur de souris, les icônes et les menus (le paradigme WIMP : Windows Menus Icons Pointers), paraît en effet incapable de fournir une surface d'affichage suffisant pour la visualisation, et par extension, pour l'interaction avec de nombreuses données. La tendance est même de réduire encore plus l'espace de travail par la multiplication des barres de boutons, des barres d'aide et autres gadgets qui visent à fournir aux utilisateurs de nouveaux outils pour l'interaction avec les données. En bref, pour tirer pleinement profit des outils de visualisation d'informations, il est tant de passer à la suite, au prochain paradigme d'interaction...

D'autre part, les dix dernières années ont vu la démocratisation des cartes graphiques accélératrices 3D, et l'avènement des API 3D (comme OpenGL de SGI ou Direct3D de Microsoft), sans contextes dues à la promotion qu'on fait les jeux vidéos des graphismes 3D. Mais les premières applications faisant appel à la vision 3D sont apparues bien avant cela. L'utilisation d'un casque de réalité virtuelle pour piloter la navigation date par exemple de 1968. A la fin des années 80, les capacités graphiques des gros ordinateurs et l'arrivée chez les particuliers des ordinateurs personnels ont laissé penser qu'un nouvel espace de communication serait ouvert, avec l'introduction des interfaces 3D grand public. Quinze ans plus tard, nous utilisons toujours les mêmes interfaces 2D. La raison de ce phénomène est que les outils caractéristiques du paradigme WIMP qui se sont répandus dans toute une génération d'interfaces, n'ont pas trouvé leurs homologues dans la troisième dimension. De nombreux dispositifs matériels supports de l'interaction ont été élaborés depuis trente ans, mais leur utilisation reste boudée alors même qu'ils pourraient constituer une réponse au problème posé par l'incapacité des interfaces 2D à représenter de manière satisfaisante de grands ensembles de données.

## Plan - Problématique

La visualisation d'informations en trois dimensions est un champ de recherche multi-pôle qu'il convient de cadrer. Ce domaine met en jeu des notions aussi variées que complexes comme la psychologie (IHM), la physiologie (mécanismes de perception), l'interaction en 3D, ou encore, les technologies matérielles sous-jacentes (périphériques « exotiques »).

Au cœur de cette interdisciplinarité, nous nous intéressons à l'évolution de la visualisation d'informations et de l'interaction dans un environnement virtuel, tout en menant une réflexion sur l'utilisation d'une telle technologie pour la gestion et la compréhension de grands ensembles de données. Cet état de l'art se détache des différents supports matériels développés pour l'interaction en 3D, et en particulier, de la distinction entre immersion et vision stéréoscopique. De même, nous laissons de côté les aspects sociologiques sous-entendus par la notion d'interface homme-machine.

Dans le cadre de ce DEA, il nous faut appliquer les découvertes liées à la visualisation de données et l'interaction en trois dimensions à la conception d'une plate forme de réalité virtuelle dédiée à l'archéologie virtuelle. La réalisation de ce travail s'inscrit dans le dynamisme du projet **FOVEA**, **FO**uille **V**irtuelle d'**E**nvironnements paléo-**A**nthropologiques, qui tente de réfléchir aux moyens d'assister les paléo-anthropologues dans leur mission de « détective de la préhistoire ».

Ce projet part d'une simple remarque qui se traduit en réel besoin : afin de mener à bien leur recherche, les paléo-anthropologues doivent manipuler une quantité considérable d'informations (géologie, fossiles, industrie lithique,...). Seulement, leurs moyens de traitement et d'analyse ne sont pas adaptés à une telle quantité de données. La solution serait de leur fournir un support informatique leur permettant de manipuler et de partager un grand ensemble de données : un environnement virtuel de fouille.

**FOVEA** s'intéresse en particulier aux données recueillies depuis 1963 au fur et à mesure des fouilles archéologiques entreprises sur le site de la grotte de Tautavel (La Caune de l'Arago, Pyrénées Orientales, France). Nous sommes en présence d'un grand ensemble de données : plus de 250 000 objets sont référencés. Il a donc été identifié un grand besoin de modélisation tridimensionnelle du sous-sol, de l'environnement et des fossiles.

Nous introduirons dans un premier temps la problématique générale du projet **FOVEA**, en détaillant plus précisément la partie qui nous intéresse, c'est-à-dire la visualisation et l'interaction 3D avec l'environnement de fouille. Puis, nous ferons le tour de la conception de cet environnement virtuel en nous arrêtant sur les artifices développés pour la navigation, la visualisation des données et l'interaction avec celles-ci. Enfin nous concluons en avançant les perspectives d'un tel projet.



## 2 - La visualisation d'informations

La visualisation d'informations se définit donc comme « l'étude des représentations visuelles et interactions de l'information abstraite ». Dans le cas où la visualisation se fait en trois dimensions, on parlera de « paysages informationnels », qui est une métaphore signifiant que l'utilisateur est immergé dans une multitude de données et qu'il a la possibilité de les explorer. Cette expression est utilisée pour la première fois en 1979 par Muriel Cooper. Tout comme une personne peut s'imprégner d'un paysage en le balayant depuis un point de vue dégagé, dans le cas des paysages informationnels, l'utilisateur dispose d'une position de choix pour observer à sa guise les données informatiques.

Pour marquer cette notion d'exploration au sein des données, on nomme ce champ de recherche le « visual data mining ». Il prend une place importante dans la fouille de données (FD) et l'extraction de connaissances (ECD). Il s'appuie sur le fait que l'esprit humain traite facilement des informations visuelles et en extrait rapidement un grand nombre d'informations et de connaissances. La visualisation de données représente une étape critique en FD et en ECD qui peut intervenir par exemple au début ou à la fin du processus d'extraction [Fayyad et al 1996] : avant d'extraire des connaissances, il peut être utile de connaître mieux les données afin d'effectuer des choix corrects dans les méthodes d'ECD à utiliser. Lorsque les connaissances ont été extraites, l'expert du domaine a besoin de les interpréter pour prendre une décision. Si ces étapes sont négligées, les outils utilisés peuvent devenir inutiles, et des décisions erronées peuvent être prises. La plupart des outils et des applications réelles de l'ECD sont donc concernés par le « visual data mining ».

L'apparition de la réalité virtuelle a également permis des avancées importantes dans le domaine de la visualisation et de l'interaction avec l'utilisateur. Des mondes virtuels peuvent être construits en combinant un affichage avancé, des capteurs et des effecteurs. L'affichage s'effectue en temps réel et en 3D, bien souvent de manière stéréoscopique. Des capteurs 3D

détectent les mouvements de l'utilisateur. Des effecteurs à retour d'effort simulent les effets des actions virtuelles. La réalité virtuelle rend l'interaction homme-machine très intuitive.

Dans ce chapitre, nous proposerons de définir la visualisation d'informations en 3D du point de vue des différents types de données brutes à visualiser, ainsi que du point de vue des tâches d'interaction offertes à l'utilisateur pour atteindre son but. Nous passerons ensuite en revue les techniques de visualisation d'informations en 3D les plus répandues, classées en fonction de l'interaction qu'elles proposent : métaphorique ou non, et au sein de cette distinction, en fonction de la nature des données à laquelle elles sont liées.

## 2.1 - Types de données

Il est un point sur lequel il faut bien insister : la visualisation d'informations est la visualisation de données abstraites. Par exemple, si dans la base de données du personnel d'une entreprise chaque employé est enregistré par son nom, son adresse, son salaire et d'autres caractéristiques de nature quelconque, la donnée 'employé' est abstraite. Ces données ne trouvent pas dans la majorité des cas de représentation naturelle ou triviale dans l'espace en trois dimensions. Ainsi la visualisation d'informations diffère de la visualisation scientifique qui traite des données issues de mesures physiques en référence à des coordonnées dans l'espace et dans le temps, donc aisément représentables. Organiser l'état de l'art de la visualisation d'informations en fonction de la nature des données brutes est loisible, comme la plupart des techniques de visualisation sont intrinsèquement dépendantes de la nature des données qu'elle représentent. Ainsi, les techniques de visualisation d'informations en 3D à interaction idiomatique (cf 2.2.3) sera articulé autour de la distinction entre techniques indépendantes de la structure de l'ensemble de données et techniques associées à une structure particulière de données.

### 2.1.1 - Dimension d'une donnée

Une donnée abstraite peut être vue comme un objet, ayant un nombre  $N$  d'attributs.  $N$  est alors la dimension de la donnée. Si  $N$  est grand, on parle de donnée à haute dimension (high-dimensional data).

Dans toute la suite de notre étude, étant donné que notre intérêt se porte sur la visualisation d'informations en 3D, on ne considèrera que le cas où le nombre d'attributs est supérieur ou égal à trois.

### 2.1.2 - Valeurs des attributs de la donnée

Selon la caractérisation faite par Card et Mackinlay dans [Card 1997], les attributs d'une donnée peuvent avoir une valeur nominale, 'ordonnée' (ordonnable serait plus approprié) ou 'quantitative' (soit numérique).

- Valeur nominale : les valeurs de cet attribut ne peuvent être qu'égales ou différentes entre elles. Par exemple un nom ou un texte, si l'on ne souhaite pas le classer par ordre alphabétique.
- Valeur ordonnée : lorsqu'il existe une relation d'ordre sur les valeurs de cet attribut. Par exemple un nom ou un texte que l'on souhaite classer par ordre alphabétique, ou une date.
- Valeur quantitative : lorsque l'on peut réaliser sur les valeurs de cet attribut des opérations arithmétiques.

A noter que bien souvent les valeurs des attributs sont liées les unes aux autres...

### 2.1.3 - Relations entre les données

La dernière et la plus importante distinction à apporter pour caractériser un ensemble de données

à visualiser est celle qui existe entre les données non structurées et les données structurées. Dans le premier cas, les données n'ont aucun lien entre elles, elles ne référencent pas d'autres données de l'ensemble. A l'inverse, dans le cas de données structurées, elles référencent d'autres données de l'ensemble de données. Il existe un ou plusieurs liens entre ses données. Le modèle de représentation intrinsèque de tels ensembles de données est le graphe.

Cette classe d'ensemble de données, les ensembles de données structurées, se scinde en sous-classes.

- Ensembles de données **hiérarchisées** : la structure n'est ici qu'un cas simplifié de graphe : c'est un arbre. Un exemple typique de tels ensembles de données est le système de fichiers d'un ordinateur, dont la structure est arborescente (au prix de quelques redondances). Nous verrons en section 2.3.2 que les données hiérarchisées trouvent des techniques de présentation dédiées en 3D : les visualisations sphériques, les *cone trees* et les *cam trees*.
- Ensembles de données **hyperstructurées** : au contraire, ici, le nombre de liens entre données est quasi infini, et la structure est un très grand graphe. L'exemple type de tels ensembles de données sont les collections de pages WEB, chaque objet (la page WEB) ayant pour attributs son contenu (une chaîne de caractères) et, en guise de contexte, un nombre potentiellement infini de liens.

La figure 1, donnée à titre d'exemple, présente les différents types de relations entre données considérés dans le système de visualisation d'informations *Starlight* de la Pacific Northwest National Laboratory.


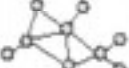




Relationship Type	General Similarity	Explicit Reference	Field/Value Co-occurrence	Parent/Child	Spatial	Temporal
Model Type	Vector-space 	Network 	Multidimensional Index 	Hierarchical 	Spatial 	Ordinal Index 
Examples	Reports, articles, DB records	References & citations, hyperlinks	DB records, document metadata	File paths, taxonomies, IP addresses	Geolocations, CAD models	Event descriptions

Figure 1 - Types de relations entre données pris en compte par *Starlight*

A noter que les ensembles de données **temporelles** ne sont qu'un cas particulier de données hiérarchisées : dans leur structure arborescente, chaque nœud n'a qu'un fils. Ils ont de fait une structure linéaire, ce qui fait d'eux des candidats idéaux pour une représentation en 3D dans un *perspective wall* comme nous le verrons en section 2.3.2.1. On peut aussi remarquer que leur hiérarchisation tient au fait que leur attribut <date> est à valeur ordonnée.

A noter également que les données **spatiales** citées par le tableau de la figure 1 sont un cas particulier de données structurées. Toute donnée de ces ensembles est nécessairement liée à un point d'une surface : son ancre (un plan, un terrain en 3D ou une géosphère selon la métaphore géographique employée).

## 2.2 - L'interaction

L'interaction est une composante clef de la visualisation d'informations puisque le processus entier de visualisation d'informations repose sur la capacité de l'utilisateur à mémoriser une information visuelle. Hors cette mémorisation ne se fait qu'au prix d'un processus relatif de balades sans but précis, de retours en arrière, de focalisation sur certains détails, etc. Après seulement, une fois que l'utilisateur s'est familiarisé avec la représentation, une analyse pertinente et précise peut être faite et conduire à la connaissance.

### 2.2.1 - Les buts de l'utilisateur

D'après Sahling [Sahling 2002], les buts recherchés par l'utilisateur d'un système de visualisation d'informations relèvent de près ou de loin d'une au moins des trois familles d'interactions suivantes :

- **L'exploration de données** : il s'agit d'une navigation au milieu des données sans but précis. Ce processus est hautement interactif, et la visualisation en cours a une grande influence sur le prochain pas d'interaction que l'utilisateur va accomplir. C'est à cette étape que la mémoire visuelle de l'utilisateur est stimulée, qu'une image mentale est générée et que l'observateur va avancer dans sa compréhension des caractéristiques générales des données, telles que des anomalies ou des motifs singuliers (relation entre attributs, proximité sémantique insoupçonnée jusqu'alors de certaines données, etc.).
- **L'analyse de données** : une analyse des caractéristiques générales et singulières évoquées précédemment est la conséquence logique de la tâche d'exploration. Les relations entre données doivent être présentées à l'utilisateur de manière compréhensible, et une information sur le contexte est nécessaire pour ne pas perdre de vue les relations plus globales. La détermination précise de valeurs d'un attribut par exemple, ou la validation d'une hypothèse émise auparavant sont autant de buts que les tâches d'analyse permettent d'atteindre.

- **La présentation de données** : une fois que l'information recherchée a été trouvée, il faut être en mesure de retrouver une visualisation résultat d'une recherche antérieure pour la présenter à autrui. Le temps que mettra l'auditoire pour comprendre à son tour la visualisation résultat a une incidence critique sur l'impact et l'utilité de la recherche effectuée. Ainsi, lorsque le but est de présenter des données, la simplicité et l'intuitivité de l'interaction jouent un rôle majeur, et les techniques utilisées doivent si possible ne pas nécessiter d'explication auprès des utilisateurs.

## 2.2.2 - Les tâches d'interaction

Les deux premiers points de l'analyse de Sahling s'apparentent assez au « mantra » de la recherche visuelle d'information décrit par Shneiderman (cf. [Shneiderman 1996], *the visual information - seeking mantra*) : « Overview first, Zoom and Filter, then Details-on-demand », soit en français : d'abord une vue d'ensemble (l'**exploration**), **focalisation** et filtrage, puis détails à la demande (l'**analyse**). Outre son fameux 'mantra' (un mantra étant une sentence sacrée dans la religion bouddhiste), Shneiderman définit comme tâches d'interaction :

### 2.2.2.1 - Vue d'ensemble (*Overview*)

C'est la tâche d'interaction nommée 'exploration' par Sahling et décrite plus haut.

### 2.2.2.2 - Focalisation (*Zoom*)

Une focalisation sur un détail peut être accomplie sans perdre de vue le contexte qui entoure ce détail observé, et le situe par rapport aux autres données de l'ensemble. Les méthodes permettant d'accomplir cette tâche sont dites de *Focus+Context* (F+C). Nous verrons en 2.3.2 et en 2.3.3 que de telles techniques existent en visualisation d'informations en 3D, et sont pour la plupart des portages ou des extensions en 3D d'outils conçus et imaginés pour des interfaces 2D 1/2 (c'est-à-

dire deux dimensions avec une prise en compte de la profondeur ; on parle aussi d'interfaces zoomables). Certaines de ces techniques induisent une distorsion du contexte, et d'autres non. Les techniques de F+C avec distorsion sont bien souvent héritières des *Fish-Eye views* de Fumas [Fumas 1986] : le nom donné à ce type particulier de visualisations est issu de l'effet semblable obtenu par une vision à travers un objectif de très grand angle. La lentille de type «œil de poisson» distord la vue de sorte que les objets près du centre de l'objectif soient agrandis considérablement, et le facteur de grossissement optique baisse rapidement en fonction de l'éloignement des objets par rapport au centre.

### 2.2.2.3 - Filtrage (*Filter*)

Cette tâche d'interaction consiste à filtrer activement, selon des critères définis par l'utilisateur, la visualisation affichée pour mettre en relief des caractéristiques telles que des motifs ou des anomalies dans les données qui jusque là restaient masqués par des détails sans rapport avec le but précis de l'utilisateur. En soulignant les sous-ensembles de données qui l'intéressent, il obtient une visualisation meilleure, plus propice à l'observation car libérée des détails superflus. Dans cet esprit, les outils dits de *brushing* permettent de souligner (highlight), sélectionner ou effacer des sous-ensembles de données à l'aide d'un dispositif de pointage (il faut bien sûr aussi pouvoir annuler un soulignement). On définit ainsi une fonction « degré d'intérêt » (*degree of interest*, ou DOI) sur les données de l'ensemble. Une donnée soulignée a un DOI égal à un, alors qu'une donnée transparente a un DOI nul. A noter que le *smooth brushing* permet d'affecter des valeurs entre 0 et 1 aux données, en jouant sur la transparence.

### 2.2.2.4 - Voir les relations (*View relationships*)

Il s'agit des tâches permettant de voir les relations entre attributs d'une même donnée, ou entre des données entre elles. Par exemple, dans le cas de données de dimensions N, supérieure à trois, représentées dans l'espace par des nuages de points (*3D scatterplots*) dans des vues multiples (chaque vue projetant trois attributs parmi les N), la création de liens (un *linking*) entre les vues



projetant un même attribut permet de voir les répercussions (les soulignements et les effacements) d'un brushing.

#### 2.2.2.5 - Détails à la demande (*Details-on-demand*)

C'est tout simplement la requête explicite de détails (valeurs d'attributs d'une donnée par exemple) sur un sous-ensemble de données sélectionné.

#### 2.2.2.6 - Historique (*History*)

Un historique des actions entreprises jusqu'alors par l'utilisateur au cours de son cheminement dans le paysage informationnel doit être mémorisé pour que l'exploration, qui rappelons-le se fait pas à pas, soit efficace. Ainsi, au minimum, un système de visualisation d'informations doit comporter les fonctions « annulation de la dernière action » (*Undo*), et « retour au point de départ ».

#### 2.2.2.7 - Extraire (*Extract*)

Le résultat de toutes les mises en correspondance entre les données et leur représentation spatiale (le *mapping*), de toutes les explorations, bref de tout le processus d'interaction, est déjà en soit une sélection, et un aveu d'intérêt pour les sous-ensembles de données considérés. Il est naturellement important que ce résultat de l'effort fourni par l'utilisateur ne soit pas perdu une fois la session close. Une visualisation doit pouvoir être extraite et sauvegardée, pour la présenter ou l'utiliser dans une autre application.

## 2.2.3 - Les artifices d'interaction en 3D

L'interaction est le problème majeur d'une nouvelle forme d'interface homme-machine. S'il existe peu d'environnement d'un type donné, on a peu de chance de trouver beaucoup d'expérimentations ou de règles d'ergonomie qui permettent de le faire évoluer. Il existe cependant un certain nombre d'études, certaines empiriques, sur des méthodes d'interaction 3D [Hinckley 1994] [Hand 1997] [Manitiu 2000]. Certaines explorent les possibilités basées sur de nouveaux périphériques, alors que d'autres développent des environnements 3D en continuant à interagir avec un périphérique 2D. En effet, les utilisateurs d'ordinateur devenant vite des experts (au sens de la compétence) du maniement de la souris, il est peut-être souhaitable de profiter de cette maîtrise pour les faire agir en trois dimensions.

### 2.2.3.1 - Interaction avec la souris

La manipulation d'objets 3D à la souris a été étudiée par [Chen 1988] [Emmerik 1990]. Ces travaux ont permis de développer des solutions pour des applications contenant des objets 3D. La manipulation se fait en général à travers un widget 3D (Windows Gadget, selon la définition de [Brookshire 1992]). C'est un périphérique virtuel qui apparaît en général sur l'objet. Certains produits se démarquent, comme *Bryce 4D* de MetaTools, dont le design ergonomique permet une manipulation rapide de scènes de paysage 3D. On a vu également des widgets dans la première version de *Cosmoplayer* (navigateur VRML), comme un widget de navigation sous la forme d'un manche à balai (Figure 2). Ce «joystick virtuel» a été abandonné par la suite au profit d'une navigation directe à la souris, le curseur dynamique de la souris remplaçant l'animation de la manette.



Figure 2 - widgets proposé par CosmoPlayer

Mais il ne s'agit pas d'interaction directe sur le document lui-même, elle est détournée à travers un autre objet ce qui rend l'opération moins intuitive et moins pratique.

[Hinckley 1997a] a réalisé une étude sur la rotation d'objets 3D qui montre la meilleure efficacité des périphériques 3D (des capteurs électromagnétiques type *Polhemus* en l'occurrence) par rapport à des périphériques virtuels manipulés à la souris (l'*Arctball* de [Shoemake 1992] et la sphère virtuelle de [Chen 1988]).

Ces solutions pour la manipulation et la navigation en trois dimensions permettent d'utiliser un périphérique (la souris) qui n'est pas adapté à la tâche originale. Elles ont pour avantage de pouvoir conserver les périphériques auxquels les utilisateurs sont éventuellement habitués, et dont les ordinateurs sont équipés (en particulier quand aucune évolution matérielle n'est possible). Du point de vue de l'utilisation, cela limite beaucoup le développement, qui retombe sur des solutions peu pratiques et/ou peu intuitives. Par exemple, le widget de manipulation d'objet de *CosmoCreate* s'utilise avec la souris, mais en conjonction avec plusieurs touches du clavier pour accéder à tous les modes de déplacement (rotation, translation suivant les axes, etc.), ce qui le rend difficile d'accès. Lorsque l'application propose une visualisation tridimensionnelle, l'utilisation d'un périphérique à plus de deux degrés de liberté peut devenir vite très utile. Tout dépendra bien sûr du type d'interaction désiré.

La manipulation directe consiste à agir sans intermédiaire sur un objet pour changer son état. Une souris permet par exemple de faire de la manipulation directe sur les fenêtres en les déplaçant par un cliqué/glissé sur la barre de titre. Elle a été formalisée par Schneidermann, qui la caractérise par trois propriétés (voir dans [Morineau 1996]) :

- une représentation continue de l'objet sur lequel porte l'attention de l'utilisateur,
- une action physique pour remplacer des syntaxes complètes,

- des actions rapidement réversibles dont l'impact est visible.

La manipulation directe permet de gagner en efficacité grâce à la manipulation de représentations graphiques simples, elle est plus intuitive et permet de travailler sur des objets visuels.

Les périphériques que l'on utilise doivent être adaptés à la tâche. On ne trouve pas de périphérique idéal pour toutes les tâches. Ainsi, si on utilise beaucoup la souris dans les environnements de travail 2D classiques, les circonstances d'utilisation (l'environnement de la machine) ou les particularités du logiciel utilisé, rendront indispensable l'utilisation d'autres périphériques plus adaptés, là où la souris n'aurait pu suffire a priori : les dessinateurs utilisent des tablettes graphiques, les ordinateurs portables substituent maintenant les *glidepoints* à la souris ou au trackball, etc. On peut dire que les périphériques sont plus ou moins proprioceptifs, et ce en fonction de la tâche à accomplir.

Une alternative pour l'utilisateur entre la nouveauté des périphériques 3D et la souris pourrait être à l'avenir des souris évoluées comme la *Roller Mouse* [Venolia 93] ou la *Rockin' Mouse* [Balakrishnan 1997]. Cette dernière propose une évolution de la souris vers un périphérique 3D. Elle permet, avec ses quatre degrés de liberté, d'étendre les possibilités d'une souris classique, tout en conservant son mode de fonctionnement. Elle permet un gain notable d'efficacité sur des tâches de placement d'objets 3D par rapport à la souris.

### 2.2.3.2 - Le pointage

[Ware 1988] a montré que le placement approximatif d'objets en trois dimensions devenait trivial avec leur capteur de position 3D *The Bat*, comparé à la souris. Une étude de [Driver 1990], qui compare un trackball 3D, une souris et un capteur de position 3D dans une tâche de pointage d'objet, révèle la supériorité du capteur 3D. Les utilisateurs font moins d'erreurs liés à la perception en trois dimensions, ce que l'auteur explique par le rapport direct entre le mouvement de la main et le mouvement du pointeur (le retour d'information kinesthésique), qui donne une information supplémentaire pour percevoir la profondeur. Et [Zhai 1998] montre que les

périphériques isotoniques sont les plus intuitifs et les plus rapides à maîtriser.

Aussi, les capteurs de position 3D semblent intéressants pour le pointage d'objet, mais cela pose des problèmes de positionnement des mains, de perception des mouvements entre l'espace réel et l'espace virtuel [Venolia 1993]. Le modèle d'interaction doit être en étroite relation avec le moyen (matériel) de navigation que l'on propose : l'étude doit comprendre en parallèle le mode et le moyen d'interaction.

### 2.2.3.3 - La sélection

Le processus de sélection des objets dans un univers 3D a fait l'objet de nombreuses recherches et différentes solutions ont été apportées. Concernant les dispositifs 2D, la souris est restée longtemps le périphérique de prédilection des chercheurs, les techniques ayant néanmoins évolué au fil du temps.

Ainsi, les « Skitters and Jacks » [Bier 1986] sont des extensions du modèle du curseur en croix et ne peuvent pas être utilisés simultanément dans la même scène. Le « Skitter » est un curseur qui se déplace à la surface d'un objet (représentée par les axes  $x$  et  $y$  du curseur). L'axe  $z$  représente la normale à la surface. La souris contrôle dans ce cas la position du « Skitter » sur la surface d'un objet. Quant au « Jack », il représente un repère orthogonale qui est utilisé pour indiquer des points dans l'espace et pour être aligné sur d'autres « Jacks ».

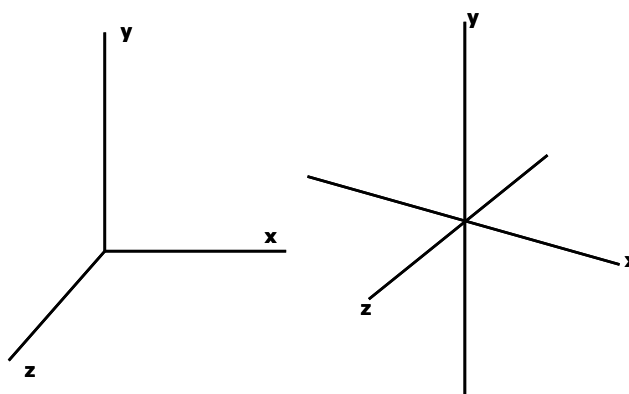


Figure 3 - Skitter (gauche) et Jack (droite)

D'autres approches basées sur ce type de curseurs existent, et sont caractéristiques de la fin des années 80, en l'absence d'un nombre important de périphériques d'entrée 3D. Avant l'apparition de ces périphériques, des chercheurs ont étudié l'utilisation de la souris 2D pour manipuler des outils d'interaction 3D virtuels.

Une autre technique souvent utilisée (DIVE [Carlsson 1993]) consiste à utiliser un périphérique 2D (en occurrence la souris) pour contrôler l'orientation d'un pointeur dont une extrémité est fixe. Ainsi, la place du pointeur est prise par la première intersection du pointeur (d'une longueur infinie) avec le premier objet rencontré dans la scène. Nous rencontrons le même principe dans des recherches ultérieures de modélisation virtuelle avec des périphériques d'entrée 3D. Une extension de ce modèle [Mine 1996] consiste à remplacer le pointeur par une cône de rayon variable, afin de pouvoir sélectionner des petits objets.



Figure 4 - Pseudo pointeur 3D

Les menus 3D rotatifs de JDCAD [Liang 1994] constituent une autre solution de remplacement des menus classiques pour la vision 3D. Cette métaphore propose un ensemble d'icônes 3D (formes géométriques de base) situés sur un cercle vu en perspective. Dans ce cas, l'élément sélectionné est celui qui se trouve le plus proche de l'utilisateur. L'avantage de cette méthode consiste en la manipulation d'un seul degré de liberté pour tourner les icônes sur le cercle. Néanmoins, ce modèle ne peut pas être appliqué à des menus plus complexes.

Avec l'évolution des dispositifs d'interaction 3D, les techniques de sélection, manipulation et désignation ont changé. Ainsi, *3-Draw* [Sachs 1991] utilise deux capteurs de type Polhemus pour déterminer la position d'un cahier et d'un stylo dans l'espace, permettant ainsi de dessiner des courbes 3D.

Toutes ces recherches ont montré la viabilité de ces techniques d'interaction. La raison pour laquelle elles n'ont pas été largement adoptées peut être le coût des dispositifs physiques utilisés. Aujourd'hui, avec l'utilisation simultanée du clavier et de la souris, nous effectuons néanmoins sans arrêt des interactions à deux mains. On peut donc conclure que de nombreuses techniques ont été étudiées, testées et validées. Toujours sans oublier que ces études concernent un cas précis d'utilisation, pour des conditions de travail particulières.

#### 2.2.3.4 - Geste et interaction à deux mains

Les techniques d'interaction que nous venons de décrire (pointage, sélection) correspondent à une fonction particulière du geste. Claude Cadoz [Cadoz 1994b] [Cadoz 1996] propose une description des différentes natures des gestes. Le geste est particulier du fait qu'il sert à la fois à émettre et à recevoir de l'information. On distingue trois fonctions complémentaires : ergotique (action matérielle sur l'environnement), épistémique (connaissance de l'environnement) et sémiotique (émission d'information vers l'environnement).

La fonction épistémique ne s'arrête pas à la perception tactile cutanée (état de surface, température) concentrée sur la face interne des doigts. La main est l'organe du sens tactilo-proprio-kinesthésique. Dans la fonction ergotique, la main est en contact avec la matière, qu'elle va modifier. Les objets reçoivent de l'énergie, et non de l'information, et peuvent en renvoyer une partie en retour. Dans la fonction sémiotique, le geste est un organe d'expression. Elle est naturelle et spontanée. Non seulement les gestes accompagnent la parole mais ils partagent avec elle certaines étapes de traitement. Ces fonctions coexistent dans ce que Cadoz nomme le geste instrumental, en référence à celui du musicien. En frappant sur une touche de piano, on communique de l'énergie à l'instrument pour le faire vibrer mais le but est de s'exprimer, de faire passer une émotion.

[Beaudouin 1997] propose une autre approche de l'instrument. Il présente un modèle d'interaction instrumentale qui permet de décrire de nombreuses formes d'interaction. L'instrument est fait d'une partie physique (entrée/sortie physique de l'ordinateur) et d'une partie logique qui fait l'interface entre l'objet édité et l'instrument. Un principe de ce modèle, la réification, permet de transformer un concept complexe d'une application en un objet, manipulable par un instrument. Ce modèle permet une approche originale de la description de composants d'une interface.

L'utilisation de l'interaction à deux mains comme moyen d'interaction et a été étudiée depuis de nombreuses années. Dès 1963, Sutherland [Sutherland 1963] présente un modèle d'interaction dans lequel l'utilisateur utilise la main dominante pour dessiner sur un écran, à l'aide d'un stylo optique, alors que l'autre main sert à changer le rôle de l'outil graphique. Depuis, de nombreuses études [Buxton 1986], [Chatty 1994], ont été faites sur l'utilisation de l'interaction à deux mains. Le nombre réduit de possibilités d'interaction avec un seul périphérique, et la transposition naturelle de l'utilisation courante des deux mains dans les tâches réelles courantes, nous incitent à utiliser une interaction à deux mains. Cependant, les rôles de chaque main doivent être bien spécifiques à leur position, dominante ou non, dans les capacités de l'utilisateur.

[Kabbash 1994] met en avant les applications pour lesquelles l'utilisation des deux mains est positive, et n'apporte pas une charge cognitive supplémentaire pour l'utilisateur. En effet, il a constaté que l'utilisation des deux mains peut être plus difficile qu'avec une seule, en particulier si les applications assignent une tâche indépendante à chaque main. Cependant, cela permet aussi dans certains cas de s'adapter beaucoup plus vite, d'aller plus rapidement à l'information ou de manipuler plus facilement l'interface. Pour trouver les applications à deux mains adéquates, on veillera à respecter certaines contraintes qui placent la main gauche (pour les droitiers) comme une main qui sera le référentiel pour l'action, l'initiateur de l'action ou encore celle qui aura la partie de l'action la plus facile.



## 2.2.4 - Interaction idiomatique et interaction métaphorique

Il convient de distinguer les méthodes de visualisation d'informations selon qu'elles procèdent d'interactions idiomatiques ou bien d'interactions métaphoriques.

- Interaction **métaphorique** : les données sont présentées dans l'interface par des objets du monde réel, comme dans l'exemple des « villes de données » où chaque donnée est un immeuble, et les interactions proposées font référence à des actions réelles. Ce type d'interaction dans les environnements virtuels a pour avantage principal de ne nécessiter quasiment aucun apprentissage de la part de l'utilisateur, qui reconnaît une situation familière, mais ne va pas sans quelques limitations toutefois, concernant sa validité (la métaphore, ne doit pas induire de contresens dans l'observation) et les limites du transfert (notamment, ces métaphores induisent souvent une limitation artificielle des actions de l'utilisateur sur l'environnement virtuel : par exemple, dans une ville de données, pourquoi forcer l'utilisateur à marcher dans les rues quand il pourrait aller plus vite en volant d'immeuble en immeuble). Il trouve en cela de nombreux détracteurs (par exemple Peter Young [Young 1996]).
- Interaction **idiomatique** : les objets et interaction proposés par ces visualisations ne sont pas nécessairement issus du monde réel, mais sont pensées avec un souci d'efficacité de la représentation produite. En revanche, si elles sont plus efficaces que les interactions métaphoriques, elles nécessitent, elles, un apprentissage. Comme une langue (d'où la notion d'idiome), elles doivent être apprises avant d'être employées. Un exemple type est l'icône (en 3D, nous verrons dans la partie 2.3.1.4 les glyphes riches en information), dont on ne connaît pas a priori le fonctionnement et qui nécessite un apprentissage.

C'est cette distinction entre techniques liées à une interaction idiomatique et techniques liées à une interaction métaphorique que nous retiendrons finalement pour organiser l'état de l'art de la visualisation d'informations en 3D qui va suivre, aux sections 2.3 et 2.4.

## 2.3 - Visualisation idiomatique d'informations en 3D : Etat de l'art

Cette section présente une variété de techniques de visualisation d'informations en 3D, largement employées dans beaucoup de systèmes. Ces techniques vont de la présentation usuelle des données par graphiques en 3D jusqu'à la création d'espaces de données abstraits. Leur interface est idiomatique (c'est le dénominateur commun des techniques présentées ici), tablant avant tout sur l'efficacité de l'interaction. On distinguera en sus trois groupes de techniques de visualisation.

Dans un premier temps, nous décrirons les méthodes de visualisation d'information en 3D qui projettent le domaine des données sur l'espace de visualisation indépendamment de la structure de l'ensemble de données projetées, c'est-à-dire qui ne sont pas dédiées à la présentation d'une structure de données particulières et se contentent de « mapper » les données (soit associer, pour chaque donnée, la valeur d'un attribut de la donnée à un paramètre de l'objet qui la représente dans l'espace). Nous parlerons de techniques de *'mapping'*.

A l'inverse, les techniques de visualisation 3D de la partie suivante sont toutes dédiées à la présentation d'une structure de donnée particulière. Nous parlerons de techniques de présentation de structure.

Enfin, nous évoquerons des outils de *Focus + Context* qui peuvent enrichir l'interaction en s'appliquant ponctuellement aux visualisations de *mapping* de section 2.3.1, et qui sont par nature plus interactifs que les visualisations de F+C avec distorsion présentées parmi les techniques de présentation de structures (à savoir le *Perspective wall*, les visualisations sphériques, la représentation des très grands graphes dans l'espace hyperbolique) qui fournissent des vues globales.

## 2.3.1 - Techniques de mapping

### 2.3.1.1 - Nuages de points (*3D scatterplots*)

Utilisés pour visualiser des données de dimension  $N$  supérieure ou égale à trois, ces graphiques 3D sont construits tout simplement en traçant un point dans le repère 3D. Trois attributs parmi les  $N$  attributs de la donnée sont choisis, et leurs valeurs sont respectivement affectées aux coordonnées cartésiennes ( $X, Y, Z$ ) du point résultant.

Dans le cas où  $N$  est strictement supérieure à trois, le modèle des *3D scatterplots* peut être utilisé avec des vues multiples. Chaque fenêtre mappe ainsi trois attributs, et en interagissant avec les vues, l'utilisateur peut déceler des relations qu'il n'avait pas perçues entre les attributs des données. Par exemple, une opération de *brushing* dans une vue peut souligner un motif dans une autre vue qui lui est liée. En ce qui concerne l'organisation des vues multiples, la métaphore 2D de la feuille de calcul (*spreadsheet*), répandue dans tous les tableurs, peut s'appliquer à la visualisation de données de haute dimension par mapping de nuages de points [hsin Chi et al. 1997]. Comme dans les feuilles de calcul classiques les colonnes et les lignes ont des paramètres communs, et des opérations entre cellules peuvent être définies. En revanche, au lieu de ne contenir qu'une simple valeur, les cellules contiennent ici des données complexes visualisées par un nuage de points.

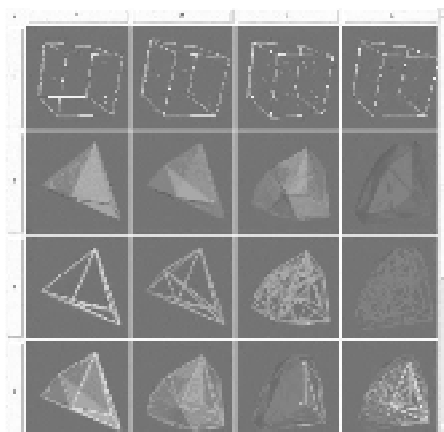


Figure 5 - Visualisation d'informations par feuille de calcul [Hsin Chi, 1997]

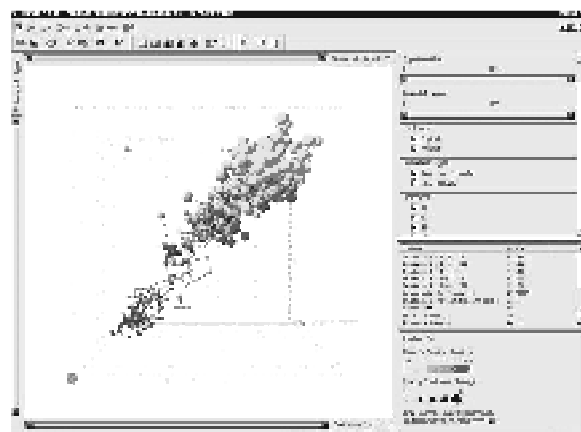


Figure 6 - Technique de visualisation 3D implémenté dans Spotfire [Ahlberg et Wistrand, 1995]



représenter les valeurs d'un quatrième attribut (dans notre exemple, la pression atmosphérique). La visualisation résultante ressemble à un paysage (*landscape*), et est facilement interprétée : elle permet de repérer rapidement les caractéristiques importantes de l'ensemble de valeurs en Z telles que les répétitions ou les irrégularités.

### 2.3.1.3 - Espaces de Benedikt

L'espace de Benedikt est né des recherches de Benedikt sur la structuration des cyberespaces [Benedikt 1991]. Il est créé en mappant des attributs de données sur les dimensions intrinsèques et extrinsèques des objets, les glyphes 3D, correspondant aux données. La distinction entre ces deux types de dimensions d'objets de visualisation est clairement formulée :

- Les propriétés **intrinsèques** des objets sont les propriétés liées à l'apparence de ceux-ci : on peut imaginer de nombreuses propriétés d'un objet pour coder la valeur d'un attribut de la donnée, propriétés tirant parti de la 3D : la forme de l'objet (si c'est un polyèdre régulier, le nombre de ses sommets), sa taille (ou la taille d'une de ses parties), sa couleur, sa transparence (le bit alpha), sa texture, son animation (vitesse angulaire en cas de rotation de l'objet sur lui-même, déformation), présence ou absence ou intensité relative d'un éclairage de type spot dirigé sur lui, présence ou absence ou transparence relative d'une boîte englobante, étiquette donnant une indication textuelle, etc. Les exemples ne manquent pas [Abel 1999].
- Les propriétés **extrinsèques** des objets sont celles liées à la position de l'objet dans le cyberespace : ses coordonnées cartésiennes X, Y, Z. Ainsi, plus deux objets sont proches, plus leur distance sémantique au sens des attributs mappés par les coordonnées est faible. Cette méthode nécessite de fait une spécification claire de la base de données à visualiser afin de déterminer quels attributs peuvent ou devenir des propriétés intrinsèques ou extrinsèques. Ensuite, concernant l'organisation spatiale de son cyberespace, Benedikt propose deux règles : les principes d'exclusion et d'exclusion maximale. Le principe d'exclusion assure essentiellement que deux données élémentaires ne peuvent exister dans le même endroit du cyberespace, c'est-à-dire que leurs dimensions doivent être différentes. Le principe d'exclusion maximale étend le

principe d'exclusion à  $n > 2$  données en assurant que différentes données sont séparées autant qu'il est possible qu'elles le soient : en fait, il recommande de choisir comme attributs mappés en propriétés extrinsèques ceux qui minimisent le nombre de violations du principe d'exclusion (en examinant les données deux à deux).

L'application des espaces de Benedikt la plus citée est Q-PIT [Benford 1994]. Q-PIT est un prototype de *PIT*. Un *PIT* est un *Populated Information Terrain*, soit un espace virtuel de données (paysage d'informations) qui est habité (peuplé) par des utilisateurs multiples et permet un travail collaboratif. Q-PIT s'appuie sur la bibliothèque de réalité virtuelle *World toolKit*, de Sense8, et est capable de traiter et d'afficher une base de données simple dans un environnement tridimensionnel qui est partagé entre des utilisateurs multiples. Les dimensions intrinsèques prises en compte sont ici la forme, la taille et la vitesse angulaire des objets. Les utilisateurs sont représentés par des monolithes (de grands cubes minces et allongés) identifiés entre eux par leur couleur. Chacun se rend ainsi compte de la présence d'autres utilisateurs, et peut ainsi communiquer et partager de l'information avec ces autres utilisateurs.

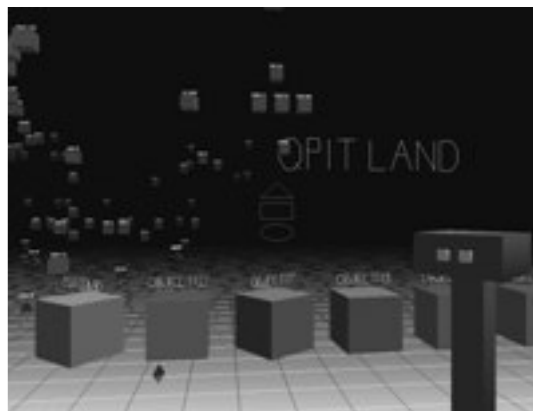
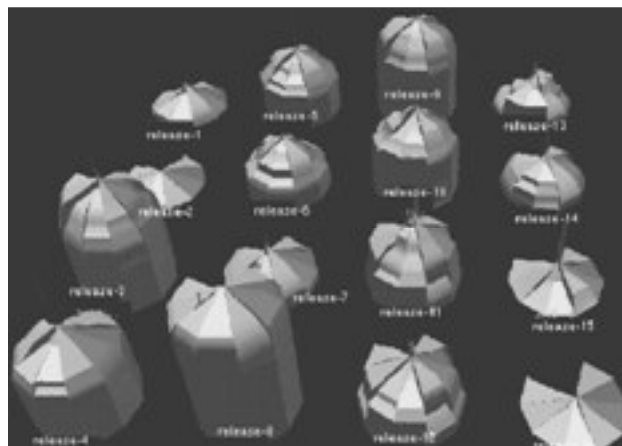


Figure 8 - Un exemple de visualisation avec Q-PIT

#### 2.3.1.4 - Glyphes 3D

Les objets 3D représentant les données dans les espaces de Benedikt sont appelés des glyphes 3D. Toutefois, il existe des visualisations reprenant le principe des glyphes 3D, mais sans donner

un sens à l'organisation des glyphes dans l'espace. En bref ces systèmes ne mappent les attributs des données que par les paramètres intrinsèques des glyphes qui les représentent, délaissant le codage par paramètres extrinsèques. La disposition spatiale des glyphes 3D dans l'espace n'est plus porteuse de sens. Ce sont ces méthodes de visualisation d'information en 3D par paramètres intrinsèques exclusivement qui font ici l'objet de notre propos. Elles permettent, par exemple, une extension à la 3D de la métaphore de visualisation 2D des visages de Chernoff (*Chernoff faces*) [Chernoff 1973]. Cette métaphore tente de représenter et de rendre intelligible un grand nombre d'informations (en fait, une donnée de dimension N) sur une surface d'affichage très réduite en exploitant la capacité singulière de l'homme à mémoriser un visage : ainsi, chaque donnée est représentée par un visage dont les paramètres intrinsèques (couleur des cheveux, forme du visage, hauteur du front, distance entre les yeux, etc. ) sont déterminés par les attributs de la donnée.



**Figure 9 - Exemple de visualisation par glyphes 3D pour l'aide à la maintenance logiciel : les roues 3D [Chuah 98]**

## 2.3.2 - Techniques de présentation de structures

### 2.3.2.1 - Les perspective walls

Les murs en perspective, ou *perspective walls* [Mackinlay 91], s'attachent à la visualisation et au parcours d'ensembles de données de grande taille ayant une structure séquentielle (ou, autrement

dit, linéaire), comme les données temporelles. Une visualisation naïve de ce type de structure consiste à les représenter en séquence sur un plan vertical dans l'espace de visualisation, en une métaphore d'un mur ou d'un tableau de classe, qui aurait une largeur très grande, voire infinie, sur lequel seraient écrites l'information comme on écrit de gauche à droite. Le problème majeur qui résulte de cette stratégie est de se perdre rapidement dans les données car aucune vue n'est fournie pour donner une indication sur le positionnement global.

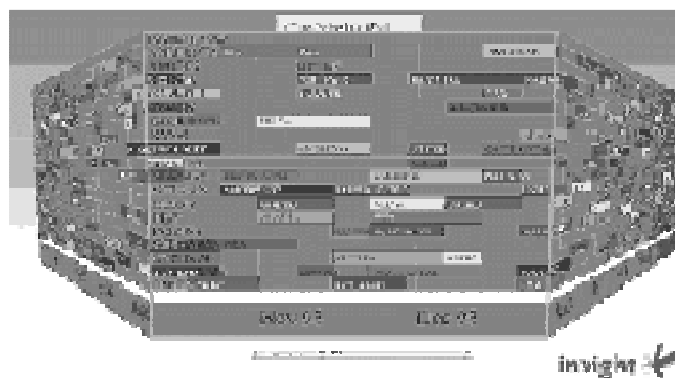


Figure 10 - Le Perspective Wall de Xerox [Mackinlay 1991]

Les « murs en perspective » tentent de régler ce problème en ‘pliant’ le mur en pans de largeur égale pour en faire un coquille cylindrique (les données étant écrites sur la face extérieure). Ce mur cylindrique peut tourner de manière fluide. Ainsi, l'utilisateur fait face à un pan de mur qu'il voit en détail, voit aussi, bien qu'ils soient déformés, les deux pans adjacents à la zone qui lui fait face (bien qu'ils soient déformés), et de toute façon peut accéder rapidement à n'importe quel autre pan du mur en faisant tourner celui-ci. Il peut donc se concentrer sur une zone de données sans en perdre le contexte. La *perspective wall* est pour conclure une méthode de visualisation *Focus + Context* avec distorsion du contexte adaptée à la visualisation des données à structure séquentielle (soit temporelles la plupart du temps).

### 2.3.2.2 - Visualisations sphériques

La visualisation par sphère, décrite par Fairchild [Fairchild 1993], est une version intégralement 3D des murs en perspective. Ce type de visualisation est rencontré dans le système de



visualisation de collections d'objets multimédia *VizNet* pour souligner les associations entre les objets multimédia. Chaque objet est disposé à la surface d'une sphère proche des objets qui lui sont relatifs. Les objets moins pertinents sont affichés plus loin et deviennent ainsi moins visibles au fur et à mesure qu'ils se positionnent de l'autre côté de la sphère (c'est donc bien une technique de type F+C avec distorsion du contexte).

L'information est présentée sur la surface d'un certain nombre de sphères emboîtées les unes dans les autres. En cela, ce type de visualisation se révèle parfaitement adapté à la représentation de données hiérarchisées. L'objet d'intérêt est plaqué sur la sphère extérieure (la plus visible de toutes) avec ses objets associés s'étalant tout autour de la surface de la sphère. Les objets qui sont indirectement liés sont considérés comme de plus bas intérêt et sont de fait plaqués sur des sphères englobées dans la sphère externe. La couleur des sphères devient plus foncée en fonction du niveau d'encapsulation, afin de fournir à l'utilisateur des indications visuelles quant au niveau de profondeur courant. La navigation est aussi facilitée par des interactions simples permettant de tourner la sphère, pour rendre visibles les nœuds d'intérêt, et de traverser des liens jusqu'aux sphères de plus bas niveau.

### 2.3.2.3 - Arbres coniques (*Cone trees*)

L'arbre conique (*cone tree*) est la technique la plus naturelle pour visualiser en 3D les structures arborescentes [Robertson 1991]. Un tel arbre est construit en plaçant le nœud racine à l'apex d'un cône translucide, dont l'axe médian est vertical dans l'espace et l'apex disposé en haut (l'arbre conique est disposé de haut en bas, ce qui le distingue de l'arbre penché ou *cam tree* comme nous le verrons dans la prochaine section). Tous les nœuds enfants sont distribués à égale distance le long du cercle décrit par la base du cône. Ce processus est répété pour chaque nœud de la hiérarchie en utilisant à chaque niveau un diamètre de plus en plus petit pour la base des cônes, afin de finir avec suffisamment d'espace pour pouvoir disposer toutes les feuilles sans chevauchement.

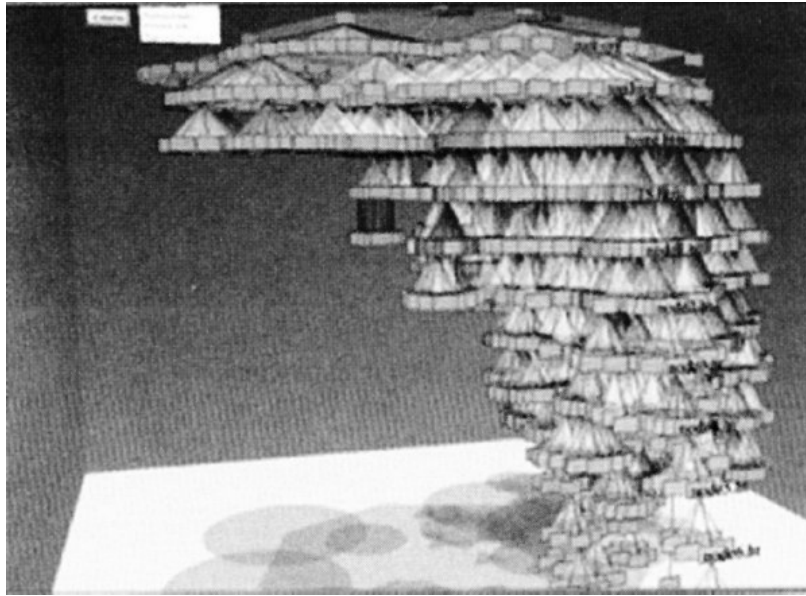


Figure 11 - Cone tree du Xerox PARC Web composé de 10 000 nœuds

### 2.3.2.3 - Arbres penchés (*Cam trees*)

Les arbres 'penchés' ou 'allongés' (*cam trees*) servent eux aussi à représenter des hiérarchies de données (structures arborescentes), mais sont plus particulièrement adaptés à la visualisation de hiérarchies de documents ou de fichiers. En effet, ici, les axes médians des cônes sont horizontaux, et les nœuds se voient assortis d'une étiquette, servant à identifier le document qu'ils symbolisent.

### 2.3.2.4 - Représentations dans l'espace hyperbolique

Les très grands graphes, qui sont le modèle des grands ensembles de données hyperstructurées (le cas typique des données issus de réseaux, des documents web, etc.), trouvent dans l'espace hyperbolique une représentation adaptée, qui est la parfaite transposition en 3D du principe des arbres hyperboliques 2D de Lamping [Lamping 1995], et un parfait exemple de visualisation de type F+C avec distorsion du contexte. Le graphe de la structure est transformé en 'arbre de

recouvrement' (*spanning tree*) selon des critères définis par l'utilisateur. Pour chaque sommet du graphe qui possède plusieurs arêtes entrantes, il y a choix d'un parent canonique ( et donc il ne reste plus qu'une seule arête entrante, les autres arêtes, les *non-tree links*, ne seront pas affichées). Cette opération est bien sûr ignorée dans le cas où la structure à visualiser est un très grand arbre. L'arbre de recouvrement est ensuite modélisé par un *cone tree* dont les feuilles sont disposées sur la sphère d'affichage [Munzner 1997].

L'utilisateur choisit un nœud en le sélectionnant dans la boule de visualisation. Ce nœud se déplace alors au centre de la boule, au centre de l'espace hyperbolique, ce qui a pour effet un grossissement de son contexte proche.

### 2.3.2.5 - Les cubes d'information (*Information cube*)

Le cube d'informations de Rekimoto et Green permet de visualiser lui aussi des structures hiérarchiques en utilisant des cubes translucides imbriqués (selon un principe similaire à celui des représentations de hiérarchies par sphères vu en 2.3.2.2) [Rekimoto 1993]. Les cubes translucides emboîtés ont un niveau de transparence variable et fonction de la profondeur des informations. La transparence permet à l'utilisateur de voir les informations contenues dans un cube mais également de discerner celles de ses cubes enfants, et la réduction progressive de la transparence, et donc l'occlusion progressive des informations en fonction du niveau de profondeur, simplifie et éclaircit l'interface. Sans cela, les informations seraient incompréhensibles. Un titre est affiché à la surface de chaque cube, et les feuilles sont représentées par des labels 2D.



Figure 12 - Information cube [Rekimoto 1993]

### 2.3.3 - Outils de Focus + Context

Les techniques de distorsion de l'espace 3D autour d'un objet d'intérêt [Carpendale 1997], sélectionné par l'utilisateur, étendent le principe des *fish-eye views* 2D de Fumas [Fumas 1986].

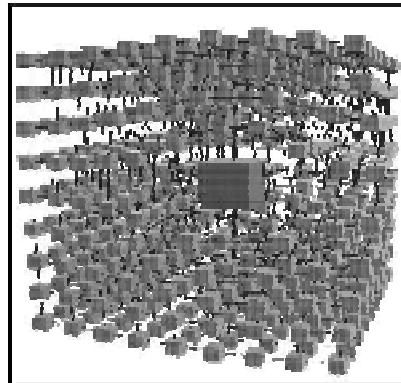


Figure 13 - Distorsion 3D avec un point de focalisation

Il existe aussi dans l'espace 3D un outil de F+C sans distorsion du contexte reprenant la métaphore de la profondeur de champ en photographie : la 'profondeur de champ sémantique', ou *SDOF* pour *Semantic Depth-Of-Field* [Kosara 2001]. En photographie, l'image de la personne visée par l'objectif est nette, alors que son contexte est flou. Ici, les objets sont rendus flous non plus en fonction de leur distance à l'objectif, mais en fonction de leur pertinence (ou distance sémantique) selon certains critères, ce qui permet de trouver immédiatement les objets d'intérêt.

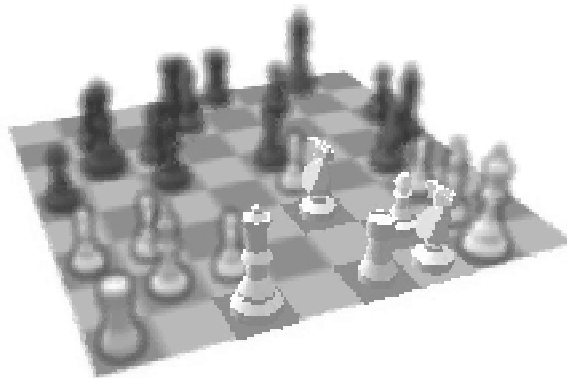


Figure 14 - Application de SDOF 3D : sont nettes les pièces blanches qui couvrent le cavalier blanc

## 2.4 - Métaphores de visualisation 3D : Etat de l'art

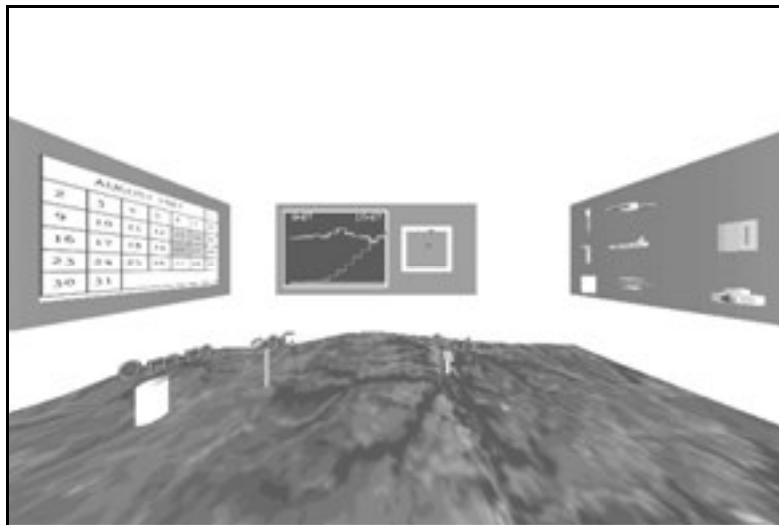
Cette section présente, sous la forme d'une collection, les plus fameuses techniques de visualisation d'informations en 3D prenant le parti d'une interaction métaphorique.

### 2.4.1 - Les villes de données

Les « villes de données » (*city scapes*) sont en fait une déclinaison des diagrammes à barres 3D, et donc une variation des graphiques 3D vus en section 2.3.1.2. Ils sont créés d'une manière similaire aux graphiques 3D en utilisant des valeurs scalaires pour élever des barres ou blocs 3D (les immeubles) placés uniformément sur le plan horizontal (O, X, Y). C'est anecdotique, mais des enseignes, en fait des textures sur les immeubles ou des labels 2D (imposteurs texturés avec un texte), peuvent être ajoutées. La visualisation en résultant est une représentation plus granulaire de la parcelle de terrain. Une telle visualisation propose à l'utilisateur de se déplacer et de s'orienter plus naturellement, comme dans une ville : l'interaction est métaphorique, et fait appel aux habitudes acquises dans le monde réel de l'utilisateur. Ces espaces peuvent même constituer un prototype pour l'implémentation d'environnements virtuels.

### 2.4.2 - Le SANDBOX

Nous notons que les surfaces (graphiques 3D) présentées à la section 2.3.1.2 sont parfois appelées « paysages de données » (*landscape*). Mais étant donné que l'interaction associée à ces visualisations n'est généralement pas métaphorique (par exemple, on ne force pas l'utilisateur à marcher sur la surface générée, il en garde une vue éloignée pour l'analyse), ces *landscapes* ne méritent généralement pas d'être définis comme métaphore de visualisation.



**Figure 15 - LeSANDBOX**

Il existe toutefois un système de visualisation d'informations en 3D à interaction métaphorique qui met en défaut cette assertion : le *SANDBOX* (*Scientists Accessing Necessary Data Based On eXperimentation*) [Johnson 1995]. Le dit « bac à sable » utilise le CAVE de l'Université d'Illinois pour visualiser des données de la NASA. Plus de 120 Gigaoctets de données, dont textes et images, sont ainsi présentés sous la forme d'un terrain de données : le sol représente un espace équivalent à 400 km<sup>2</sup> qui contient toute cette information. Sur un des murs du CAVE, l'utilisateur peut choisir ses outils (thermomètre, densimètre, calepin etc., tous des *widgets* 3D), sur un autre se trouve un calendrier pour déterminer la date à laquelle ont été recueillies les données à examiner.

### 2.4.3 - Les salles 3D

Les *3D Rooms* ont été développées au centre de recherche de Palo Alto de Xerox (le Xerox PARC) et intégrées à leur atelier de visualisation d'informations, l'*Information Visualizer* [Card 1991]. Dans chaque pièce 3D, il y a une variété de sources d'informations en fonction des tâches qui ont été assignées à la dite pièce. Par exemple, dans l'*Information Visualizer*, une salle peut être assignée à la visualisation de documents séquentiels par le *perspective wall*, une autre à la visualisation d'informations hiérarchisées par les *cone trees* ou *cam trees*, etc. Les objets 3D

présentés dans ces salles peuvent être aussi bien des documents que des données ou des applications. Les murs des salles peuvent servir de support aux informations, en les utilisant comme des surfaces d'affichage de documents 2D.

Les diverses salles, dans un tel complexe informationnel, sont reliées par un certain nombre de portes. Les portes sont un chemin direct d'une pièce à l'autre. Partir d'une salle par la porte de derrière nous ramènera par exemple dans la salle où nous étions précédemment. Tout comme pour se déplacer dans un bâtiment inconnu, une aide à la navigation est nécessaire. D'où la mise à disposition d'une vue d'ensemble sous la forme d'un plan des étages et des salles, y incluant des indications sur le contenu et sur la teneur des tâches associées aux différentes salles. Ceci permet à l'utilisateur de s'orienter mais aussi de se déplacer rapidement entre les salles, et donc les tâches indépendantes, sans perdre de temps à passer par d'autres salles.

Cette navigation de l'utilisateur dans les salles est faite à travers un avatar humain, que l'on peut orienter indépendamment des mouvements de souris effectués de manière à reproduire le déplacement réaliste d'un humain, qui peut se déplacer dans une direction tout en conservant la capacité de regarder ailleurs. Les interactions possibles regroupent les fonctions classiques comme examiner les objets et des fonctions plus avancées comme indiquer des opérations par des gestes interprétés au travers des mouvements de la souris.

En sus de la métaphore générale de la salle 3D, il existe dans *l'Information Visualizer* une fonctionnalité elle aussi métaphorique. C'est la notion de 'poche', qui permet à l'utilisateur de transporter avec lui certaines informations d'une salle à l'autre, et de les garder à portée de main.

## 2.4.4 - Les bibliothèques virtuelles en 3D

Les bibliothèques numériques attirent l'attention des chercheurs en informatique et des industriels depuis la fin des années 80'. Les avancées technologiques rendent aujourd'hui leur développement possible. Les bibliothèques numériques sont très liées aux réseaux, au multimédia et aux technologies hypertexte et hypermédia. Les tâches qu'elles doivent couvrir sont la collection, l'organisation et la représentation (c'est cette tâche qui leur vaut d'être citées dans cet état de l'art), l'accès et la récupération, et l'analyse et la synthèse de documents hypermédia.

Les interfaces 3D pour accéder aux bibliothèques numériques sont apparues relativement tard, du fait de l'absence, avant la démocratisation récente des cartes accélératrices 3D, d'un matériel peu coûteux et suffisamment performant. La plupart propose des représentations virtuelles de la véritable bibliothèque. Cependant, les projets s'attachant à une représentation réellement métaphorique, au sens de l'interaction, des bibliothèques sont rares. Topol, par exemple, propose une interface 3D métaphorique pour la visualisation de la bibliothèque ABU du CNAM [Topol 2002]. La lecture d'un livre se fait selon la métaphore du trépied de lecture (imaginé à l'origine par Cubaud). La récupération d'un ouvrage dans la bibliothèque, c'est-à-dire le passage de l'interface de recherche à l'interface de lecture, se fait selon la métaphore du panier de lecture. Ce panier est commun aux deux interfaces (recherche et lecture). Enfin, le sol et l'arrière-plan présentant la collection sont organisés selon la métaphore de la bibliothèque (étagères, seules les tranches des livres sont visibles).

On peut également citer ici l'interface du *Web Forager* [Card 1996] qui, bien que conçue pour la collecte d'informations sur le web, révèle de nombreuses possibilités pour les bibliothèques virtuelles. *Web Forager* est à la base un outil de data mining. Il collecte et organise l'information. Dans son interface, l'organisation des collections de pages Web se fait sur deux niveaux différents. Le premier autorise l'utilisateur à regrouper des pages HTML d'intérêt selon la métaphore du classeur, appelé ici *web book*. Chacun ceux-ci renferme ainsi en séquence un certain nombre de pages HTML, de la manière qu'un dossier contient un certain nombre d'URL avec une gestion classique par signets. Un outil de feuilletage permet de manipuler ces classeurs. Le deuxième niveau d'organisation concerne le rangement des *web books*. L'utilisateur dispose pour cela de différents 'meubles' pour y disposer les livres. L'étagère sert à ranger les livres que l'utilisateur ne souhaite pas consulter dans un avenir proche, alors que sont posés sur le bureau les livres qui sont consultés souvent. L'utilisation de telles métaphores, à savoir les étagères et le bureau, permettent de profiter de la mémoire spatiale de l'utilisateur en la rendant encore plus efficace en se référant aux habitudes de rangement de l'utilisateur dans son bureau réel.



## 2.4.5 - Les bureaux 3D

Un autre domaine notable de la visualisation d'informations en 3D à interaction métaphorique auquel nous nous intéressons particulièrement est la représentation en 3D d'applications. Des projets d'interfaces 3D visant à remplacer, en l'étendant à la 3D, la métaphore traditionnelle du bureau sont développés. Leur but n'est pas de remplacer des widgets 2D avec lesquels sont construits les interfaces des applications, mais plutôt d'intégrer ces interfaces 2D dans un environnement virtuel en 3D.

Devant l'augmentation du nombre de logiciels exploitant une interface 3D (comme les modélisateurs ou les jeux), nous ne cessons de passer d'un contexte 2D à un contexte 3D. Ce changement d'interfaces s'accompagne d'une modification des méthodes d'interaction. Plutôt que de présenter les applications 3D au sein de fenêtres 2D, l'idée est d'inclure les fenêtres des applications 2D existantes dans un environnement 3D. Ainsi, les logiciels à affichage 2D ou 3D peuvent coexister, sans que le passage de l'un à l'autre au sein de l'environnement induise un changement de méthode d'interaction. On peut manipuler les fenêtres 2D et les objets 3D de manière uniforme, à partir du moment où les fenêtres 2D sont traitées comme des objets 3D (plans texturés), et bénéficient des mêmes libertés spatiales que les autres objets de l'environnement. En outre, il convient de noter que les bureaux 3D ainsi définis peuvent apporter une solution au problème classique du recouvrement de fenêtres qui accable les bureaux 2D : la multitude des applications ouvertes obscurcit l'espace de travail.

A titre d'exemple de tels environnements, on peut citer le *3DWM (3D Workspace Manager)*, projet de Chalmers Medialab disponible gratuitement, qui n'est pas un système de fenêtrage X11 mais vise à le remplacer. Ce projet est le premier à permettre la coexistence d'applications 2D et 3D. Pour cela, les fenêtres d'applications 2D sont intégrées à l'environnement comme des faces texturées. Plus exactement, le *frame buffer* (le tampon conservant l'image de l'interface) est utilisé comme texture. De fait, la totalité de l'ancien bureau 2D est plaquée sur une seule face. Cependant, se contenter de représenter les anciennes fenêtres 2D par de simples faces texturées règle peut-être les problèmes de recouvrement de fenêtres, mais reste tout de même une exploitation relativement pauvre des avantages procurés par la 3D. Ainsi, pour justifier un emploi

intéressant de la 3D, des applications qui s'affichent directement sous la forme d'objets 3D dans un volume englobant convexe (l'équivalent 3D du 'cadre' de la fenêtre en 2D) doivent être développées.

### 2.4.6 - La galerie d'art

Si les bureaux 3D tels que nous venons de les définir, et tels qu'ils sont envisagés dans *3DWM* se contentent d'une simple extension à la 3D de la métaphore du bureau 2D, il existe un autre système qui pousse plus loin l'aspect métaphorique de l'interaction (même si sa conception d'un environnement virtuel est plus simpliste). C'est la *Task Gallery* [Robertson 2000], un projet d'interface utilisateur en 3D pour le système d'exploitation Windows de Microsoft. Disposant de la puissance de développement de Microsoft, ce projet est de loin le plus avancé. Son but est d'augmenter le bureau traditionnel de Windows en un environnement 3D dans lequel peuvent être gérés une multitude de bureaux. La métaphore principale utilisée dans la *Task Gallery*, comme son nom l'indique, est celle de la galerie d'art comme le présente la figure 16. L'utilisateur se déplace à l'intérieur d'un couloir sur les murs duquel sont posées des 'peintures' représentant les différents bureaux contenant les applications. L'utilisateur peut se déplacer rapidement d'un tableau à l'autre par des mouvements simples à la souris (par widgets 2D) et au clavier. L'utilisation d'un environnement aussi contraint, puisque l'utilisateur ne peut pas évoluer hors de ce couloir, réduit le nombre de degrés de liberté nécessaires et permet donc d'employer les dispositifs d'entrée usuels. De plus, conserver les dispositifs 2D classiques permet d'envisager l'installation de cet environnement par la majorité des utilisateurs potentiels (un choix économiquement réaliste).



Figure 16 - Exemple de projet de Task Gallery

Les widgets 2D mis à disposition pour se déplacer et interagir avec les tableaux sont d'une grande simplicité afin de convenir à tous les utilisateurs. A tout moment ils sont présents dans le coin inférieur gauche de l'écran les options de navigation.

Au niveau interaction, un certain nombre de fonctionnalités sont offertes. Il est possible de regarder en gros plan (*focus*) un tableau particulier. L'interface ressemble et s'utilise pratiquement comme une interface de bureau classique, à l'exception près que les fenêtres peuvent être rangées en utilisant des politiques de placement 3D. Un outil est également offert pour conserver toujours à portée de main les applications les plus souvent utilisées. Ainsi, l'utilisateur peut les rappeler rapidement au lieu d'avoir à se souvenir des tableaux dans lesquels elles se trouvent. L'expression 'à portée de main' est à considérer au sens propre puisque ces applications sont accessibles par une 'palette de peintre', en fait récupération métaphorique de la *Data Mountain* [Robertson 1998].

Le dernier point important est le positionnement des tableaux dans la galerie. L'utilisateur a la liberté de les accrocher sur n'importe quel mur (sol compris) de n'importe quelle section de la galerie. Le déplacement des tableaux se fait par simple opération de glisser-déposer (*drag&drop*), et le programme gérant l'interface exécute les calculs nécessaires pour que les tableaux se positionnent correctement.

## 2.5 – Bilan : Visual data mining et réalité virtuelle

Comme il est dit dans [Wong et Bergeron 1997], l'analyse exploratoire de données et donc le « visual data mining » ne sont pas uniquement un ensemble d'outils mais une manière philosophique d'approcher le problème de l'extraction de connaissances. Deux points importants se distinguent dans le « visual data mining » : faciliter la perception des données et permettre à l'utilisateur d'interagir avec la représentation des données.

Ces deux points ont été étudiés, nous venons de le voir dans cet état de l'art, depuis plusieurs dizaines d'années dans des domaines proches du « visual data mining » [Chernoff 1973] [Bertin 1983] [Card et al 1999] [Becker et Cleveland 1987] [Pickett et Grinstein 1988] [Tufte 1990] [Cleveland 1993] [Keim et Kriegel 1996] [Larkin et al 1997] [Wong et Bergeron 1997] [Friendly 2000] [Unwin 2000].

Par exemple, dans [Chernoff 1973] les données sont représentées sous la forme de visages dont les caractéristiques (yeux, nez, position à l'écran, etc.) sont déterminées par les valeurs des attributs décrivant ces données. C'est une manière de rendre les ressemblances entre données directement compréhensibles par le cerveau humain particulièrement entraîné à reconnaître les visages (méthode dérivée des espaces de Benedikt).

Plus récemment, le système MineSet [Brunk et al. 1997] proposait des visualisations 3D originales et intuitives pour l'utilisateur. Il pouvait à la fois afficher des données « brutes » mais également des résultats de l'apprentissage comme des arbres de décisions, des règles etc. [Thearling et al. 1998].

Visage [Derthick et al. 1997] est un autre exemple dans lequel une place importante est accordée à l'interaction entre la visualisation et l'utilisateur : ce dernier peut en effet formuler des requêtes de manière intuitive et « graphique ». De nombreux autres travaux présentent des applications du « visual data mining » dans des domaines comme la médecine [Symanzik et al. 1999], les bases de données géographiques [Schumann et Urban 1997] ou comme la météorologie [Macedo et al. 2000]. Ces applications présentent également des systèmes de visualisation complexes mais on peut néanmoins considérer qu'elles ont souvent l'inconvénient d'être spécifiques à un domaine et même à une base de données précise de ce domaine. Les graphiques visualisés ne sont pas toujours en 3D et très rarement avec un affichage stéréoscopique.

Cleveland remarque fort justement que «si vous avez un grand nombre de données, et que vous souhaitez les voir en détail, il vous faut beaucoup d'espace» [Cleveland 2002]. La réalité virtuelle peut améliorer largement l'exploration de données [Wegman et al. 1999] [Baker et Wickens 1998], mais il existe encore peu de systèmes qui l'utilisent. Seulement, alors qu'en 2D il existe une interface générique (le paradigme WIMP) associée à un support lui aussi générique (clavier - souris), il n'en est rien en revanche en 3D. La quête d'un nouveau paradigme pour la 3D, d'un modèle d'interface générique, qui serait adapté simultanément à toutes les variétés de périphériques d'entrée/sortie que connaît la réalité virtuelle est une cause perdue [Poupyrev 2000]. D'ailleurs, [Manitiu 2000] conclue qu'il est même inconcevable de tirer le meilleur parti à la fois des dispositifs de vision stéréoscopique immergés et non-immérgés. Le processus d'interaction et de visualisation doit donc prendre en compte les contraintes liées au support matériel disponible.

A moins qu'à terme un seul dispositif matériel se démocratise au détriment des autres, il ne sera jamais mis au point un paradigme tel que WIMP adapté à la 3D.

## 3 – Application à FOVEA

### 3.1 – FOVEA : Fouille Virtuelle d'Environnement paléo-Anthropologique

La paléontologie humaine ou paléo-anthropologie est la science qui a pour but d'étudier l'évolution de l'espèce humaine à travers l'étude des fossiles. Il s'agit d'une science au carrefour de nombreuses disciplines (géologie, anatomie, biochimie, physique, botanique, ethnologie, etc.) et qui nécessite de synthétiser les données provenant de trois sources d'information : le sous-sol du site, l'environnement des fossiles et les fossiles eux-mêmes.

En comparant toutes ces données avec celles obtenues lors d'autres découvertes, il devient possible de replacer le fossile dans le schéma de l'évolution humaine et d'en étudier les mécanismes. Cependant, le traitement et la synthèse des données restent actuellement incomplets car beaucoup d'entre elles ne sont pas numérisées et les traitements ne s'effectuent la plupart du temps qu'en deux dimensions. Il a donc été identifié un grand besoin de modélisation tridimensionnelle du sous-sol, de l'environnement et des fossiles.

Parmi les problèmes qui se posent, nous pouvons citer :

- **Modélisation 3D du sous-sol** : comment obtenir une reconstruction tridimensionnelle du sous-sol à partir de données stratigraphiques éparses ; comment fusionner ces données avec des relevés surfaciques décrivant les parois ou la voûte afin de créer un modèle cohérent ; comment obtenir un modèle géologique déformable pour étudier l'évolution du site de fouille au cours du temps ?
- **Modélisation 3D de l'environnement** : comment représenter clairement la répartition des dizaines de milliers d'objets sur le site ; comment acquérir des données tridimensionnelles des objets lors des campagnes de fouille ; est-il possible d'indexer automatiquement les objets ?

- **Modélisation 3D des fossiles** : comment obtenir une reconstruction précise du fossile à partir d'une image tridimensionnelle ; comment extraire automatiquement des repères anatomiques ; comment trouver les relations de correspondance entre des fossiles différents ; comment les représenter dans l'espace et les analyser ; quelles sont les statistiques à utiliser pour discriminer les différences entre fossiles ?
- **Visualisation et interaction 3D** : comment archiver ces nombreuses données ; comment afficher en temps réel leurs géométries complexes ; comment manipuler de manière efficace et intuitive les modèles 3D ; est-il possible d'envisager des applications de travail collaboratif?

Le projet **FOVEA** regroupe deux équipes de paléontologues, le Département de Préhistoire du Muséum National d'Histoire Naturelle et le Centre Européen de Recherches Paléontologiques de Tautavel et deux équipes d'informaticiens, le Département Réalité Virtuelle de l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse et le Projet EPIDAURE de l'INRIA Sophia Antipolis dans un programme de recherche ambitieux qui combine les Sciences de l'Information avec les Sciences de l'Homme ainsi que les nouvelles technologies avec notre passé le plus ancien. Ce projet a plusieurs objectifs :

- modéliser complètement un site de fouille paléo-anthropologique,
- archiver exhaustivement les découvertes,
- assister les paléo-anthropologues dans leurs recherches, en particulier, en leur permettant de tester des hypothèses sur l'évolution du site grâce à des outils de modélisation 4D,
- favoriser les collaborations scientifiques,
- diffuser les connaissances.

## 3.2 - Problématique

Les outils dits de "Réalité Virtuelle", c'est-à-dire de visualisation et d'interaction tridimensionnelle avec des objets complexes, vont permettre d'intégrer les modélisations du sous-sol, de l'environnement et des fossiles et de créer un site de fouille « virtuel ». A travers le monde scientifique, les travaux sont encore peu nombreux à ce propos. Nous sommes en présence d'un grand ensemble de données, il s'avère donc être une bonne idée de mettre en place un tel processus de visualisation. Seulement, il est nécessaire de définir les moyens d'interaction avec les données en fonction du support matériel choisi et des besoins des utilisateurs.

Le site virtuel sera d'une très grande complexité géométrique. Seul une plate-forme performante de réalité virtuelle permettra de visualiser le modèle dans sa totalité et en temps réel. Des lunettes stéréoscopiques apporteront une meilleure perception du relief et de la position relative des différents objets. Un dispositif à 6 degrés de liberté (joystick ou souris) permettra au paléo-anthropologue de se déplacer facilement dans le site virtuel, mais on a vu précédemment qu'il était aussi possible de permettre l'interaction en trois dimension à partir d'une souris standard.

L'indexation de tous les objets permettra aussi de les sélectionner ou de modifier l'affichage en fonction de leurs caractéristiques. Le paléo-anthropologue pourrait ainsi choisir une date ; les couches géologiques, les objets et les fossiles dont les datations ne correspondent pas deviendraient alors semi-transparentes afin de faire ressortir la période étudiée, tout en permettant de percevoir les articulations avec les périodes contiguës. En résumé, il faut réfléchir aux outils utiles à l'interaction : filtrage des données, navigation, visualisation,...

Il est nécessaire d'étudier soigneusement l'interface et les modes de visualisation pour que l'utilisateur puisse aisément profiter de la puissance offerte par une fouille virtuelle.



## 3.3 - Solutions envisagées

Un premier point important repose sur le choix des technologies matérielles et logicielles sous-jacentes au projet. En effet, [Manitiu 2000] précise qu'il est inconcevable de tirer le meilleur parti à la fois d'un dispositif de vision stéréoscopique immergé et non-immérgé. Le second point s'intéresse aux attentes des paléo-anthropologues en traçant les grandes lignes des réflexions entreprises au niveau de la visualisation et de l'interaction avec l'ensemble des données récoltées au sein de la grotte de Tautavel. Nous étudierons plus en détail la conception de l'environnement virtuel dans la partie suivante (3.4 développements réalisés).

### 3.3.1 - Solutions matérielle et logicielle

Une remarque doit être établie à propos des capacités matérielles du monde de l'archéologie. On peut difficilement imaginer l'utilisation d'un système de visualisation de type immergé qui demanderait l'achat, par exemple, d'un casque d'immersion (HMD), ce qui entraînerait une dépense prohibitive pour ce projet. D'autre part, un tel dispositif a l'inconvénient de couper l'utilisateur de son environnement de travail, ce qui n'est pas envisageable dans notre cas.

Pour plusieurs raisons, un support semi-immersif serait un meilleur choix :

- coût raisonnable de l'équipement car l'investissement se réduirait à l'achat de paires de lunettes stéréoscopiques, l'interface pouvant être présentée sur un simple moniteur de bureau.
- dispositifs d'entrée standard, clavier et souris toujours opérationnels
- environnement de travail de l'utilisateur toujours visible
- présence à l'IRIT d'un dôme semi-immersif Elumens qui pourrait être utilisé dans le cadre de démo

Dans un premier temps, nous choisissons de développer pour une interaction à l'aide de la souris et du clavier. Nous verrons lors de l'énumération des perspectives (partie 3.5) que l'utilisation

d'un périphérique haptique apporterait plus d'intuitivité dans l'interaction, mais notre premier jet conceptionnel ne retient pas cette alternative.

En ce qui concerne le choix de l'environnement logiciel convenant pour le développement de la plate forme de réalité virtuelle, notre intérêt s'est porté sur la bibliothèque GLUT proposée par OpenGL. Cette bibliothèque a l'avantage d'être portable (SE Linux et Windows) et propose toutes les commandes graphiques permettant de gérer un univers en trois dimension. De plus, notre connaissance préliminaire de l'outil facilitera le développement de cette première démo de l'application qui requière des délais plutôt courts. D'autres possibilités s'offraient à nous étant donné la multitude de logiciels dédiée à la conception de réalité virtuelle : Superscape VRT, DIVE, Meme, AVRIL, World ToolKit,... Chacune de ces solutions présentait des avantages indéniables les unes par rapport aux autres, mais la bibliothèque OpenGL dispose d'une portabilité maximale contrairement aux autres, et semble en quelque sorte plus générale. En effet, si au vu du premier développement, ou en fonction des perspectives, nous rencontrons par exemple le besoin de gérer des périphériques « exotiques » (développement facilité avec WTK), nous pourrons plus aisément porté le code C++ utilisant les librairies OpenGL en WTK.

### 3.3.2 - Solutions techniques

Nous rappelons ici le bien fondé de ce projet et en particulier de la réalisation d'un environnement virtuel de fouille. Dans le cas des fouilles archéologiques du site de la Caune de l'Arago, les paléo-anthropologues ont recueilli plus de 500 000 objets dont environ 250 000 ont été classés au sein d'une base de données numériques. Il leur est difficile de mener leur démarche scientifique, comme par exemple l'élaboration d'hypothèses sur la vie de nos ancêtres, dans un tel ensemble informationnel avec les supports qu'ils utilisent à l'heure actuelle : c'est-à-dire en général des référencements sur papier, des coupes et relevés en deux dimensions.

Il est intéressant de comprendre le côté détective du travail de paléo-anthropologue : par exemple, si les os d'animaux ne proviennent que d'individus âgés ou jeunes, il s'agit de charognage alors que si les animaux sont principalement dans la force de l'âge, il s'agit de chasse ; si les os des pattes sont sectionnés, il s'agit sûrement d'un dépeçage de la fourrure pour s'en faire des

vêtements ; si on trouve des pierres qui ne proviennent pas de la géologie de la grotte, il s'agit d'éléments amenés par les Hommes et donc susceptibles de servir d'outils, etc.

Tout ceci confirme l'intérêt d'intégrer toutes les données d'un site de fouille dans un même cadre pour corréler toutes les informations et en tirer des conclusions. Pour **FOVEA**, ce cadre est une plate-forme de réalité virtuelle pour la visualisation et l'interaction 3D. La troisième dimension pourrait en effet apporter beaucoup. Cleveland remarque d'ailleurs fort justement que « si vous avez un grand nombre de données, et que vous souhaitez les voir en détail, il vous faut beaucoup d'espace » [Cleveland 2002].

### 3.3.2.1 - Les données

Les données de ce projet se scindent en deux ensembles : d'une part, un relevé 3D du sol et des parois de la grotte de Tautavel effectué par système LASER qui permet d'obtenir une modélisation tridimensionnelle de la grotte. D'autre part, nous avons à notre disposition l'intégralité de la base de données « Matériel paléontologique » des objets trouvés sur le site.

L'idée serait de reconstituer le site de fouille à l'intérieur de la modélisation tridimensionnelle de la grotte et ce pour ne pas perdre le contexte de la fouille, en particulier pour le contexte géographique des objets (proximité de l'entrée, d'une paroi de la grotte). Seulement, le modèle scanné est composé de plus d'un million de triangles. Il faut donc réfléchir à une manière de décimer la grotte, dynamiquement ou non, pour soulager les calculs à ce niveau et pour donner la priorité à la navigation et à l'interaction.

Les données inscrites dans la base de données regroupe les objets découverts sur le site. Ceux-ci sont de treize natures différentes comme par exemple < *ossement déterminable* >, < *dent* >, < *industrie lithique* > ou < *coquille* > et sont référencé par neuf propriétés : la zone, le numéro, la couche, la nature, la position et la dimension, l'orientation, le pendage et, enfin, la date de découverte.

### 3.3.2.2 – Directions empreintes

Notre première tâche consiste à réaliser un module qui parcourt la base de données (transmise sous la forme d'un fichier texte), et qui positionne chaque objet dans un espace en trois dimensions délimité par le maillage 3D de la grotte. Ensuite, il faut choisir un type de représentation pour les données. Ce choix est conditionné par plusieurs contraintes ou prérogatives (cf 3.4.1 visualisation) liés au limite de puissance et à l'expérience des archéologues.

Dans un second temps, nous avons mis en place des mécanismes de navigation pour permettre à l'utilisateur de se déplacer au sein des données du site de fouille. Ainsi, il peut choisir un point de vue réfléchi pour comprendre l'agencement des objets et établir des conclusions. (cf 3.4.2 navigation)

Enfin, nous avons réfléchi aux différents processus d'interaction pouvant être implémentés dans cette première version de la plate forme, afin de rendre la manipulation des diverses objets aisés (cf 3.4.3 interaction). Nous avons par exemple imaginé un algorithme de filtrage qui rend transparent les objets indésirables en fonction de la requête formulée. D'autres éléments qui ne sont qu'à l'état de perspective seront avancés en section 3.5

## 3.4 - Développement réalisé

Cette partie reprend les réflexions menées à tous les niveaux de la visualisation d'information en 3D, en détaillant chaque mécanisme élaboré pour la visualisation de l'ensemble de données, la navigation dans l'environnement virtuel et l'interaction avec les objets.

### 3.4.1 – Visualisation

#### 3.4.1.1 - Agencement du site de fouille virtuelle

Le monde virtuel tel qu'il est présenté dans l'application est constitué du modèle tridimensionnelle de la grotte, d'un billboard représentant une vue de l'extérieur de la grotte depuis l'intérieur de celle-ci (trompe l'oeil) et de l'ensemble des objets identifiés lors des fouilles et contenu dans la base de données numérique.

Pour commencer, nous avons travaillé sur le maillage de la grotte, initialement au format WaveFront (extension *.obj*), pour le décimer, le texturer et l'exporter en un format OpenGL. Nous avons fait plusieurs essais de décimation pour finalement choisir un modèle ultra décimé composé uniquement de 8 000 facettes. Ce modèle très simple soulage la machine en terme de calcul, ce qui sera bénéfique, nous le verrons par la suite.

Notre seconde tâche fut de réaliser un module parsant la base de données du matériel archéologique pour finalement les proposer à la visualisation, bien positionner. Ce développement est divisé en deux processus.

Dans un premier temps, nous avons fait un programme parcourant le fichier contenant la base données et relevant, ligne après ligne, chaque objet présent. Ces matériaux paléontologiques sont enregistrés dans un tableau avec tous leurs attributs.

Dans un second temps, chaque objet du tableau est placé dans la grotte virtuel à la bonne place selon la spécification de sa zone et de ses coordonnées. En effet, le site de fouille a été divisé par

les archéologues en zone de 1 m x 1m, et les coordonnées des objets sont prises dans un repère local à chaque zone (origine dans le coin en bas à droite de chaque zone sur la figure 14).

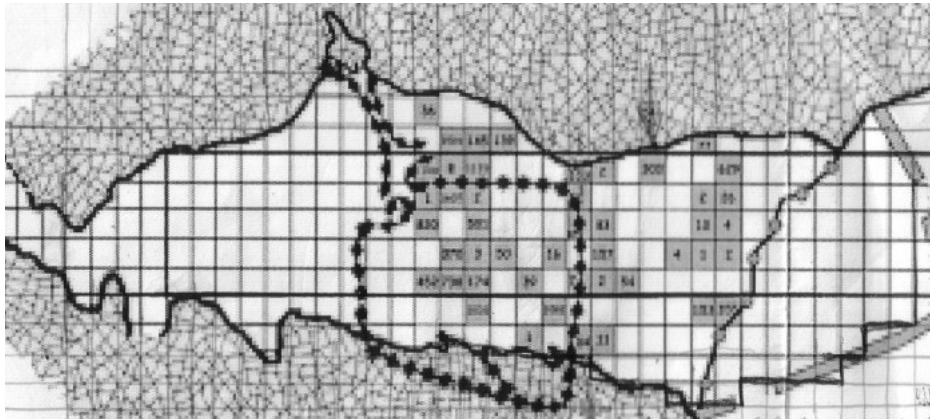


Figure 17 – Découpage de la grotte en zones (vue de dessus)

De plus, nous avons représenté d'autres propriétés extrinsèques des objets comme leur pendage, leur orientation et leur dimension.

Pour différencier les objets par leur nature, les archéologues utilisent un code de couleur : par exemple, l'industrie lithique est représentée en bleu ou encore les pierres en rouge. Nous avons conservé cette codification au sein de la grotte virtuelle. D'autre part, nous avons essayé de donner une forme caractéristique à chacun des objets pour faciliter encore la compréhension de l'ensemble : une dent sera modélisé par une cône, un os par un cylindre, une pierre par un cube, ... Représenté chaque objet de manière détaillée, par un maillage mesuré par scanner n'est pas imaginable sachant que si l'on compte une moyenne de milles facettes par objet, on arrive rapidement à un environnement composé de plusieurs millions de facettes. Nous avons d'ailleurs mis en place un mécanisme de gestion du niveau de détail (Level Of Detail) pour limiter encore la taille des modèles et ainsi soulager les calculs.

### 3.4.1.2 - Gestion du niveau de détail

Nous avons pris le parti de définir trois niveaux de détail pour les objets. Le premier niveau est actif lorsque l'avatar de l'utilisateur, ou plus précisément son point de vue, est distant d'au moins

trois mètres de l'objet. Lorsqu'il rentre entre ce seuil de trois mètres et l'objet, celui-ci prend la forme décrite dans la partie précédente, soit fonction de sa nature. Finalement, l'utilisateur peut avoir une vue en détail de l'objet, avec une représentation tridimensionnelle fidèle en double-cliquant sur un objet. Ce processus sera décrit plus en détail dans la partie *Interaction* (3.4.3).

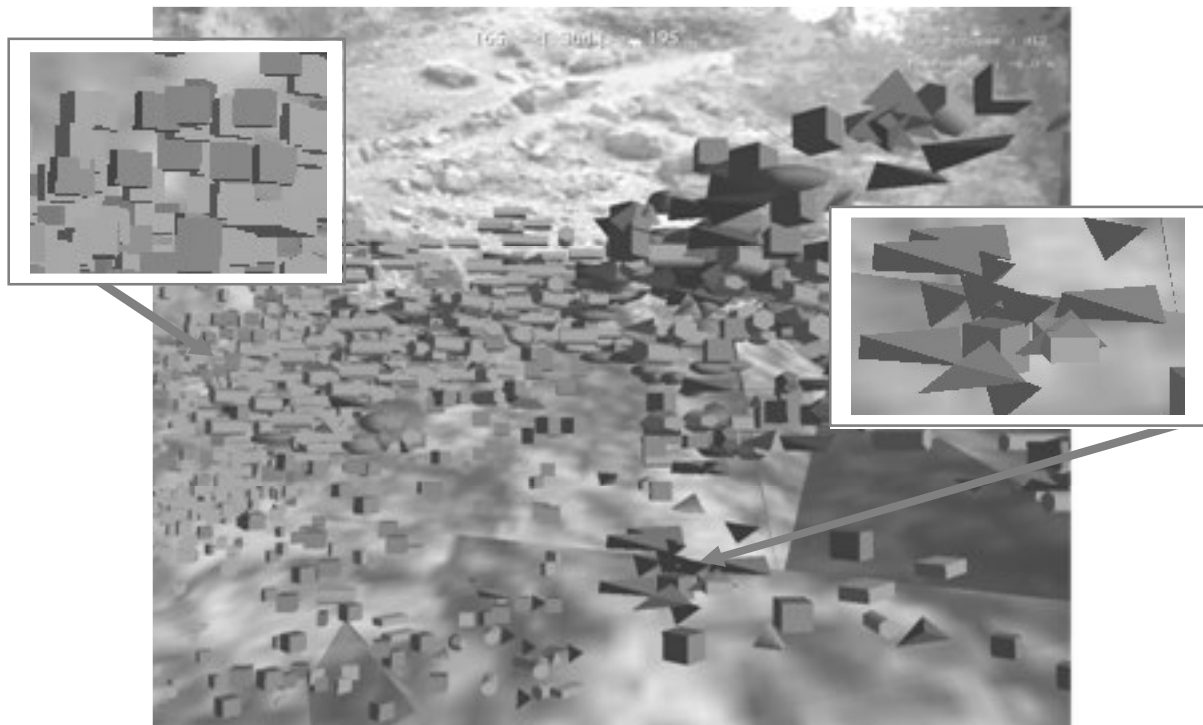


Figure 18– Illustration de la gestion du niveau de détail

Sur cette figure 18, on remarque au premier plan (à droite) que les objets sont représentés par des formes plus complexes que les objets du second plan (à gauche), soit à plus de trois mètres de l'avatar.

Cette mesure nous permet d'obtenir un gain considérable au niveau du confort de la navigation.

### 3.4.1.3 - Attributs détaillés d'un objet

Pour assister le paléo-anthropologue dans sa visualisation d'un ensemble d'objet, nous lui donnons la possibilité de se renseigner sur toutes les informations en concernant un en particulier.

Ces informations apparaissent lorsque le curseur de la souris survole un objet. Simultanément, ce même objet s'assombrit pour prendre plus d'importance visuelle que ces voisins. On perd alors l'indice lié à sa couleur, mais la nature est précisée dans la liste des informations qui s'affichent.

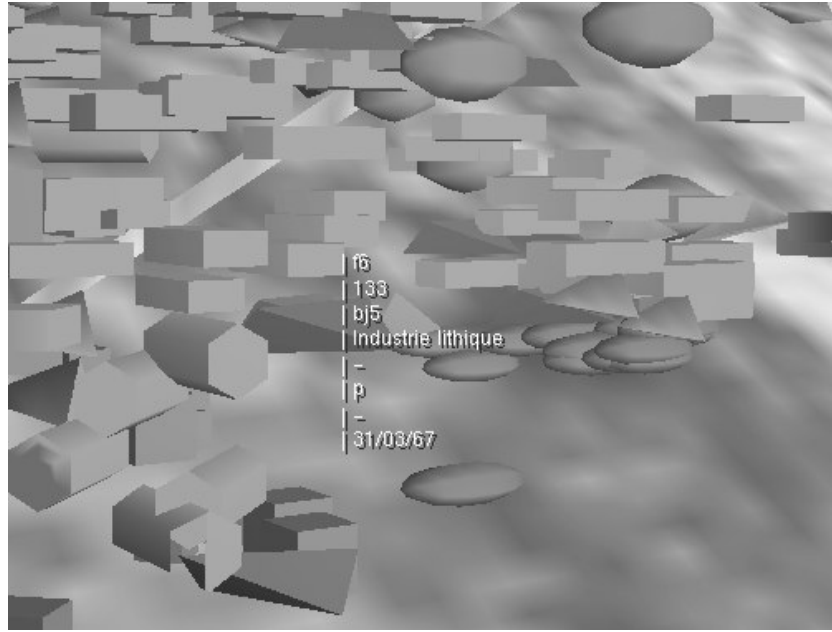


Figure 19 – Renseignements sur les attributs d'un objet

### 3.4.2 – Navigation

Nous avons utilisé deux mécanismes pour la navigation de l'avatar dans la grotte virtuelle. Le premier consiste en la définition des mouvements possibles de l'utilisateur dans la scène. Le second propose de fixer le point de vue sur un objet choisi par l'utilisateur.

#### 3.4.2.1 – Navigation générale

Les déplacements au sein de la grotte sont vus comme les mouvements de base réalisable dans un jeu en 3D. La direction du point de vue est commandée par la souris et son déplacement par la manipulation du clavier.



Il se déplace sur un plan : les touches *flèche vers le haut* et *flèche vers l'arrière* permettent au point de vue, respectivement, d'avancer et de reculer ; les touches *flèche vers la gauche* et *flèche vers la droite* décale le point de vue vers la gauche et vers la droite. Pour changer de couche géologique, soit dans le monde virtuel monter ou descendre, l'utilisateur doit presser les touches *page up* et *page down*. Ainsi, le paléo-antropologue peut se balader dans toutes les directions pour parcourir de cette manière l'ensemble de la grotte.

Pour ce qui est du contrôle de la direction du point de vue, les mouvements de la souris simulent les rotations de la tête ou des yeux d'un avatar (qui n'est d'ailleurs pas représenté physiquement dans le monde virtuel). Les translations permises par le clavier sont couplées à la direction pointée par le point de vue en ce sens où l'utilisateur avance et recule toujours en suivant cette direction.

Ces choix rendent la navigation très intuitives. De plus, ils sont associés à des indicateurs visuels de déplacement qui donnent à l'utilisateur des informations sur sa position dans l'environnement : sa profondeur par rapport à l'origine du repère de la grotte (origine spécifiée par les paléontologues), la zone qu'il occupe. Nous avons aussi ajouté une boussole qui l'oriente par rapport à la grotte et au placement des objets.

Ces indicateurs sont affichés en deux dimensions sur le haut de l'interface et sont désactivables dans le menu contextuel associé à celle-ci (appelé lors d'une pression sur le bouton droit de la souris).

#### 3.4.2.2 – Focalisation sur un objet

Pour mieux appréhender le contexte proche d'un objet, l'utilisateur peut ressentir le besoin de naviguer autour de celui-ci, sans le perdre de vue. Cette fonction a été rendue possible. Lorsque le bouton gauche de la souris est pressé au moment où le pointeur de celle-ci survole un objet, le mécanisme de focalisation est déclenché. Cet état actif est marqué par l'apparition d'une boîte parallélépipédique en filaire noir englobant l'objet désigné.

Si le bouton reste en position appuyé, les mouvements de souris commandent le déplacement du point de vue sur une sphère imaginaire centrée sur l'objet en question. La figure 21 suivante schématise ces déplacements.

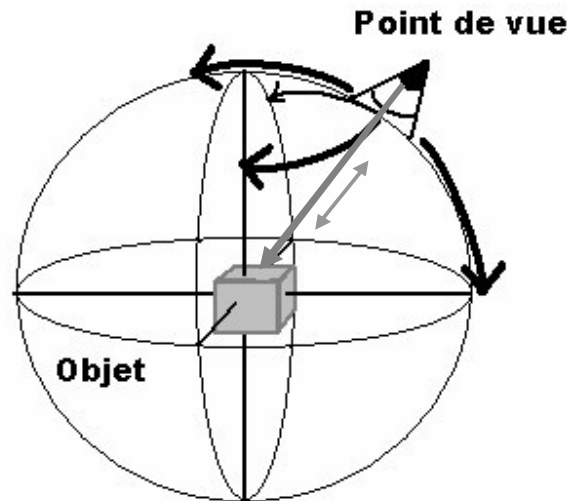


Figure 20 – Déplacement du point de vue sur une sphère centrée en l'objet

Au cours du déplacement du point de vue, celui-ci reste dirigé vers l'objet pointé, ce qui permet de l'observer sous tous les angles. La configuration des touches du clavier est elle aussi revue. Seule les touches *flèches vers le haut* et *flèches vers le bas* sont activées : elles permettent de zoomer ou de prendre du recul sans perdre l'objet du champ de vision.

### 3.4.3 – Interaction

Nous avons conçu une interface présentant un site de fouille en trois dimensions dans lequel l'utilisateur peut choisir une position de choix pour observer la répartition de l'ensemble des objets. Mais pour lui donner l'occasion de mieux comprendre cette organisation, pour l'assister dans son traitement de ce grand ensemble de données, il faut lui fournir un panel d'outils d'interaction avec les objets et leur environnement.

#### 3.4.3.1 – Filtrage du matériel paléontologique

Nous avons pensé ce filtrage des données à afficher sur deux plans : le premier repose sur le chargement d'une base de données, le second sur une technique d'affichage basée sur le *Focus+Context* sans distorsion du contexte.

L'affichage des objets dépend du contenu du fichier présentant la base de donnée de matériel paléontologique. Hors les utilisateurs de l'application ont déjà l'habitude d'effectuer des requêtes sur leur base, à travers un logiciel de SGBD. Donc le fichier en question n'est pas statique, mais peut contenir le résultat d'une requête effectuée directement au niveau de leur SGBD.

Nous avons donc implémenté un module qui permet de charger à tout moment une nouvelle base de données, et d'en afficher le contenu (en précisant le nombre maximum d'objets souhaité). Le chargement de cette nouvelle base sous-entend la disparition de la scène des objets de l'ancienne. Il peut s'avérer intéressant de filtrer tout en gardant en vue le contexte.

Si l'utilisateur veut filtrer les objets tout en conservant l'intégralité de l'environnement, il suffit de réduire l'opacité des objets ne convenant pas à la requête de filtrage sans les faire disparaître complètement. Il peut choisir plusieurs critères de filtrage en union ou en intersection : par exemple, rendre semi-transparent tous les objets qui n'ont pas été trouvés au cours des dix dernières années, qui ne sont pas tournés vers le sud et qui ne font pas partie des ossements. La sélection des critères se produit en retenant les attributs révélateurs sur certains objets. Le critère est alors appliqué à l'ensemble des objets.

### 3.4.3.2 – Vue approchée sur les objets

Contrairement à la technique de F+C décrite précédemment, il faut aussi penser à donner à l'utilisateur la possibilité d'isoler un objet afin de l'étudier en détail. Seulement, la représentation figurative des objets court-circuite cette initiative d'analyse précise. C'est à ce stade que nous rencontrons le troisième niveau de détail introduit plus tôt (cf 3.4.1.2 *Gestion du niveau de détail*).

Lorsque l'utilisateur double-clique avec le bouton gauche de sa souris sur un objet, le processus de vue détaillée est enclenché. Un parallélogramme en filaire rouge vient se positionner autour de l'objet sélectionné dans la scène. Une nouvelle fenêtre s'ouvre contenant un repère orthonormé, ainsi que la modélisation tridimensionnelle complexe de l'objet retenu (voir figure 20).

L'ouverture de cette nouvelle fenêtre coupe complètement l'objet de son contexte et l'utilisateur dispose d'outils de navigation pour l'analyser de toutes parts.

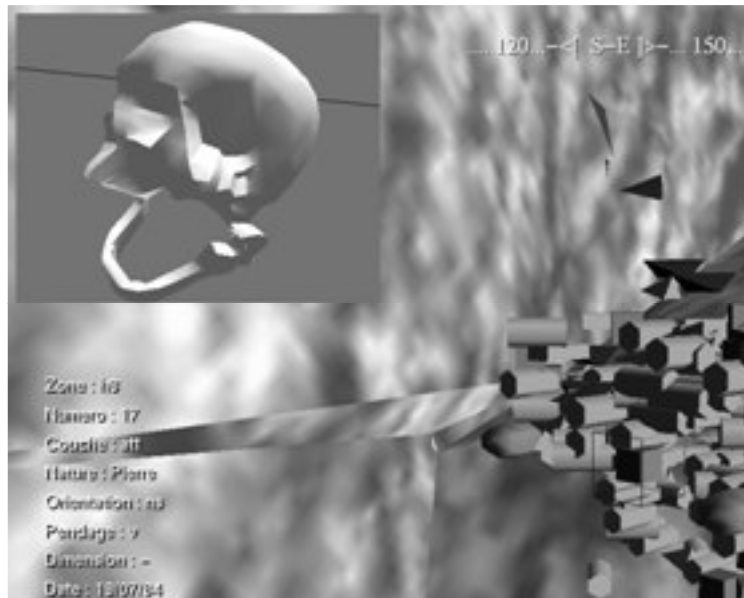


Figure 21 – Vue en détail d'un objet

L'acquisition des données numériques du matériel paléontologique fait partie intégrante du projet **FOVEA**. Elle se déroule dans le cadre d'un DEA qui est en cours de déroulement, et peu d'objets ont encore été scannés à l'heure actuelle.

Le projet **FOVEA** met l'interaction avec les données au cœur du problème. Beaucoup d'idées n'ont pas encore été implémentées. Les perspectives présentent essentiellement ces objectifs pour l'interaction avec l'ensemble d'information.

## 3.5 – Bilan et perspectives

### 3.5.1 – Perspectives

Au niveau de la navigation et de la visualisation, il reste certains éléments à mettre au point, dont notamment la gestion de plusieurs niveaux de détail pour le modèle de la grotte afin d'obtenir un rendu précis et réaliste. D'autre part, le projet FOVEA attend beaucoup de l'utilisation de périphériques haptiques pour donner un nouveau sens à la fouille. L'interaction avec les objets eux-mêmes ne suffit pas, il faut concevoir des outils pour manipuler l'environnement de fouille.

#### 3.5.1.1 - Une nouvelle approche : la fouille dynamique

La visualisation conjointe des modèles 3D du sous-sol, de l'environnement et des fossiles permettent de comprendre leur relations : par exemple, un fossile trouvé au milieu de nombreux outils de pierres taillées qui sont inclus dans la même couche géologique permet de corréliser les caractéristiques physiques de l'Homme préhistorique avec ses capacités cognitives et de dater ce stade d'évolution. Cependant, il est quelquefois très difficile de faire ces rapprochements : les couches géologiques se sont affaissées, des parties peuvent même s'être dissoutes, déformant ou abîmant les fossiles et modifiant la répartition et la localisation des objets.

Le paléo-anthropologue souhaiterait donc pouvoir "redresser" toute la structure pour essayer de retrouver les formes et les dispositions originales. Or, l'utilisation des maillages simples pour la modélisation du sous-sol permettrait d'envisager ce genre de manipulation. Il devient alors nécessaire d'utiliser des périphériques de réalité virtuelle (comme des gants de données) pour permettre à l'utilisateur d'interagir avec le modèle du site. Par exemple, un champ de force répulsif attaché à une main "virtuelle" peut permettre de "sculpter" des couches géologiques et de tester différentes hypothèses d'affaissement en visualisant instantanément les résultats sur les outils et les fossiles environnants.

Cette fouille dynamique ouvrirait une nouvelle voie dans la recherche paléo-anthropologique avec la possibilité d'appréhender le site dans sa globalité temporelle. A terme, nous pouvons imaginer une véritable modélisation 4D (3D + temps) de la fouille.

### 3.5.1.2 - Une interaction intuitive et précise : le retour haptique

Nous avons vu dans ce rapport toute l'importance de disposer d'un mode d'interface tridimensionnel. Cependant, une souris 6D ou un gant de données ne permettent d'avoir qu'un retour visuel qui reste limité. Nous souhaiterions donc étudier l'utilité du retour haptique pour la fouille virtuelle.

Le paléo-anthropologue pourrait "sentir" la résistance des couches géologiques quand il essaie de les redresser. Cette résistance pourrait soit dépendre des caractéristiques du terrain (comme les caractéristiques sédimentologiques ou les qualités plastiques des matériaux de remplissage), soit ne représenter qu'une "métaphore" (par exemple proportionnelle à l'écart par rapport à la situation initiale). De même, nous pouvons imaginer avoir un retour de force en fonction de la densité de certains types d'objet dans la modélisation de l'environnement. Ceci permettrait de mieux appréhender, en trois dimensions, la répartition des objets retrouvés sur le site alors que visuellement, il faudrait multiplier les points de vue.

Enfin, la possibilité de "toucher" les surfaces virtuelles des fossiles peut s'avérer très utile pour se rendre compte de la complexité de la forme de certaines structures, en particulier, dans des images micro-scanographiques où l'appréhension visuelle de l'objet est rendue difficile par la complexité géométrique de la reconstruction.

### 3.5.1.3 - Vers une Recherche paléo-anthropologique distribuée

Via le réseau Internet, il sera possible pour des paléo-anthropologues situés dans des laboratoires distants, ou pour des personnes présentes sur le champ de fouille réel d'avoir accès à la modélisation 3D du site. Cela ouvre des perspectives de travail collaboratif où plusieurs

utilisateurs partagent le même environnement, et interagissent entre eux ou conjointement avec les mêmes données . En particulier, cela permettra à des spécialistes des différents domaines (géologie, faune, anthropologie, etc.) ou de différentes époques de travailler ensemble en même temps alors qu'ils sont dans des laboratoires distants, voire sur des continents différents.

Ceci nécessite le développement d'une plate-forme de Réalité Virtuelle Distribuée qui associe des outils de visualisation et d'interaction, des procédures d'accès multi-utilisateurs cohérent et synchrone à une base de données commune.

### 3.5.2 - Bilan

L'objectif de ce stage de DEA était, d'une part, de réfléchir à la visualisation d'informations et à l'interaction en trois dimension dans le cadre de la réalisation d'un site de fouille virtuelle et, d'autre part, d'effectuer le développement d'une plate forme de réalité virtuelle démontrant la faisabilité du projet **FOVEA**. Nous avons réalisé au cours des derniers mois une première version de l'application permettant de visualiser le grand ensemble d'informations qu'est la base de données de Tautavel. Un ensemble d'outils de base ont été mis au point pour faciliter la navigation et l'interaction avec les données.

Une démonstration a été effectuée auprès de futurs utilisateurs lors d'une réunion de projet. Cette application n'est certes pas complète, mais il sera intéressant d'étudier les remarques des paléontologues lors de leur utilisation prochaine. Leurs premières impressions semblent tout à fait positives.

## **4 – Conclusion**

---

La visualisation d'information tente d'assister l'utilisateur de système informationnel, en exploitant ses capacités cognitives et surtout perceptives, dans son analyse et sa compréhension d'un grand volume de données, de types et de structures très diverses. La surface d'affichage proposée par une interface classique, en deux dimensions, ne suffit pas pour présenter de tels volumes informationnelles. La limite s'observe aussi au niveau des périphériques dédiés au retour de l'information (moniteur).

En s'ouvrant à la troisième dimension, les systèmes de visualisation d'informations gagnent en pouvoir de suggestion et de représentation. Nous avons étudié au fur et à mesure de l'état de l'art diverses techniques significatives, mais non exhaustives, élaborées dans le but d'adapter la visualisation et l'interaction en 3D aux données de problèmes précis en fonction du choix des périphériques. Seulement, contrairement à l'existence d'un paradigme d'interaction pour la 2D (WIMP), les recherches sur la 3D ne parviennent pas à aboutir à une unification des mécanismes d'interaction. Ce fait semble reposer essentiellement sur l'absence de périphériques standards comme le couple souris-clavier pour la 2D.

Ces travaux ont été entrepris dans de nombreux domaines où la manipulation de grands ensembles de données est inévitable (météorologie, chimie, web, finance,...). Peu de recherche se sont intéressées à la visualisation d'informations en trois dimensions dans le cadre archéologique, et plus précisément paléo-anthropologique. Pourtant, la paléontologie humaine semble demander la prise en compte d'un énorme volume d'informations. Le projet **FOVEA** désire innover dans ce domaine en proposant aux paléontologues un outil de fouille virtuel leur permettant d'analyser interactivement et visuellement leurs données.

Au cours de ce stage de recherche, nous avons conçu une première version de la plate forme de réalité virtuelle, nous inspirant des recherches déjà publiées sur le sujet de la visualisation de données en 3D, mais adaptée aux attentes des futurs utilisateurs. Cette première *démo* promet de confirmer l'intérêt de l'utilisation des technologies de la réalité virtuelle dans le cadre de la paléontologie. Les prochains tests qu'effectueront les intéressés viendront, nous l'espérons, conforter ce sentiment.



## **Bibliographie**

---

### **[Abel 1999]**

P. Abel, P. Gros, D. Loisel, et J.P. Paris (1999),  
Network management and virtual reality.

Dans les *Actes des Premières rencontres internationales de la Réalité Virtuelle de Laval, Réalité Virtuelle et prototypage (Laval virtual 99)*, pages 145-154.

### **[Ahlberg 1995]**

Christopher Ahlberg and Erik Wistrand (1995),  
IVEE : An Information Visualization and Exploration Environment.

Dans *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 1995 (Info Vis 1995)*, pages 66-73, 142-143. IEEE Computer Society Press.

### **[Becker 1997]**

Barry G. Becker (1997),

Volume rendering for relational data.

Dans *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 1997 (Info Vis 1997)*, pages 87-91. IEEE Computer Society Press.

### **[Benedikt 1991]**

M. Benedikt (1991),

Cyberspace : some proposals.

Dans *Cyberspace, first steps*, pages 273-302. MIT Press.

### **[Benford 1994]**

S. Benford and J. Mariani (1994),

Populated Information Terrains : Virtual environments for sharing data.

Dans *Research report cscwl4/1994*, Computing department, Lancaster university.

80

### **[Card 1991]**

Stuard. K. Card, G. G. Robertson and Jack. Mackinlay (1991),

The information visualizer, an information workspace.

Dans *Proceedings of SIGCHI'91 Conference on Human factors in computing systems*, pages 181-188. ACM Press.

### **[Card 1996]**

Stuart K. Card, George G. Robertson, and William York

The WebBook and the Web Forager : An Information Workspace for the World-Wide Web.

Dans *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'96)*. ACM Press.

### **[Card 1997]**

Stuard. K. Card and Jack. Mackinlay (1997).

The structure of the information visualization design space.

Dans *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 1997 (Info Vis 1997)*, pages 92-99. IEEE Computer Society Press.

**[Carpendale 1997]**

M. Sheelagh T. Carpendale, David J. Cowperthwaite, and F. David Fracchia (1997),  
Extending Distortion Viewing from 2D to 3D.

*IEEE Computer Graphics and Applications journal*, 17(4):42-51.

**[Chernoff 1973]**

H. Chernoff (1973),

The Use of Faces to Represent Points in k-Dimensional Space Graphically.

Dans *J. American Statistical Association*, Vol. 68, No. 342, 1973, pp. 361-368.

**[Chuah 1998]**

Mei C. Chuah and S.G. Eick (1998),

Information rich glyphs for software management data.

dans *IEEE Computer Graphics & Applications*, Vol 18, No. 4, 1998, pp. 24-29.

**[Cleveland 2002]**

W. S. Cleveland (2002),

Internet traffic: Visualization, Discovery and very large displays.

Dans *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2002 (Info Vis 2002)*, page 3. IEEE Computer Society Press.

**[Derthick 1997]**

Derthick M., Kolojechick J. et Roth S.F. (1997),

An interactive visualization environment for data exploration.

Dans *Proceedings of Knowledge Discovery in Databases*, AAAI Press, 1997, pp 2-9.

**[Fairchild 1993]**

K.M. Fairchild (1993),

Information management using virtual reality-based visualizations.

Dans *Academic press professional, editor, Virtual Reality: applications and explorations*, pages 45-74, 1993.

**[Fayyad et al, 1996]**

Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G. et Smyth P. (1996),

The KDD process for extracting useful

knowledge from volumes of data, *Communications of the ACM*, 39(11), pp27-34.

**[Fumas 1986]**

George W. Fumas (1986),

Generalized Fisheye Views.

Dans *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'86)*, pages 16-23. ACM Press.

**[Fuchs 2002]**

P. Fuchs. Les interfaces de la réalité virtuelle,  
Dans *Proceedings of the Virtual reality international Conference 2002*.

**[Hsin Chi 1997]**

Ed Huai hsin Chi, Joseph Konstan, Phillip Barry, and John Riedl (1997),  
A Spreadsheet Approach to Information Visualization.  
Dans *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, page 79-80

**[Johnson 1995]**

A. Johnson and F. Fotouhi,  
SANDBOX: Scientists Accessing Necessary Data Based On eXperimentation.  
Dans *Interactions*, 2.3, 34-45, 86, 1995

**[Keim 1996]**

Keim D.A. et Kriegel H.-P. (1996),  
Visualization techniques for mining large databases : a comparison.  
Dans *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, No. 6, pp923-938, Dec. 1996.

**[Kosara 2001]**

Robert Kosara, Silvia Miksch, and Helwig Hauser (2001),  
Semantic Depth of Field.  
Dans *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2001 (Info Vis 2001)*,  
pages 97-104. IEEE Computer Society

**[Lamping 1995]**

J. Lamping, R.Rao, and P. Pirolli (1995),  
A focus + context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies.  
Dans *Proceedings of SIGCHI'95. Conference on human factors in computing systems*, pages 401-408. ACM Press.

**[Macedo 2000]**

Macedo M., Cook, D. et Brown T.J. (2000),  
Visual data mining in atmospheric science data.  
Dans *Data Mining and Knowledge discovery*, 4(1), Kluwer Academic Publishers, pp 69-80.

**[Mackinlay 1991 ]**

Jock D. Mackinlay, George G. Robertson, and Stuart K. Card (1991),  
The Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated.  
Dans *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'95)*,  
Information Visualization, pages 173-179. ACM Press.

**[Manitiu 2000]**

Andrei Manitiu (2000).

Interfaces 3D dans les mondes virtuels : proposition d'un modèle d'interaction générique,  
Université Paul Sabatier, Toulouse, octobre 2000.

**[Munzner 1997]**

Tamara Munzner (1997),

H3 : Laying Out Large Directed Graphs in 3D Hyperbolic Space.

Dans L. Lavagno and W. Reisig, editors, *Proc. IEEE Symp. Information Visualization*, pages 210.

**[Poupyrev 2000]**

Ivan Poupyrev (2000),

Dans *Proceedings of IEEE Virtual Reality'2000*.

**[Rekimoto 1993]**

J. Rekimoto and M. Green (1993),

The information cube: using transparency in 3D information visualization.

Dans *Proceedings of the Third annual workshop on information technologies & systems*  
(WITS'93), pages 125-132, 1993.

**[Robertson 1998]**

George Robertson, Mary Czerwinski, Kevin Larson, Daniel C. Robbins, David Thiel, and  
Maarten van Dantzich (1998),

DataMountain : Using Spatial Memory for Document Management.

Dans *Proceedings of the 1998 ACM Conference on user interface software & technology*, pages  
153-162. ACM Press.

**[Robertson 2000]**

George Robertson, Maarten van Dantzich, Daniel Robbins, Mary Czerwinski, Ken Hinckley,  
Kirsten Ridsen, David Thiel, and Vadim Gorokhovskiy (2000),

The Task Gallery : A 3D Window Manager.

Dans *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'00)*, pages  
494-501. ACM Press.

**[Sahling 02]**

Nikolaus Sahling (2002),

From high-dimensional data to insight.

<http://www.vrvis.at/vis/resources/DA-NSahling/node1.htm>

**[Shneiderman 1996]**

Ben Shneiderman (1996),

The Eyes Have It : A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations.

Dans *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages*, pages 336-343, Washington.  
IEEE Computer Society Press.

**[Topol 2002]**

Alexandre Topol (2002),

Interactions 3D pour les paysages informationnels : application aux bibliothèques numériques et  
à la spécification de comportements sous VRML, pages 142-174. CNAM.

**[Tuft 1990]**

Tufte, E. (1990),  
Envisioning Information, Graphics Press, Cheshire, CT.

**[Unwin 2000]**

Unwin A. (2000),  
Visualisation for data mining,  
Dans *International Conference on Data Mining, Visualization and Statistical System*, Seoul 2000.

**[Wright 1998]**

William Wright (1998),  
Business visualization adds value.  
Dans *IEEE Computer Graphics & Applications*, volume 18(4), page 39.

**[Young 1996]**

P. Young (1996),  
Three dimensional information visualization.  
Dans *Computer Science Technical Report, No. 12/96*, University of Durham.

## Bibliographie commentée

### VISUALISATION D'INFORMATION ET INTERACTION : SYSTEMES ET NOUVEAUX PARADIGMES

Ahlberg, Christopher and Shneiderman, Ben, Visual information seeking: Tight coupling of dynamic query filters with starfield displays, *Proc. CHI'94 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1994), 313-321 + color plates.

Un classique. Discute le slogan de Shneiderman: Vue d'ensemble d'abord, zoom sur les régions d'intérêts, élimination des éléments non désirés, et détails à la demande. Ily a aussi une video.

Ahlberg, Christopher and Shneiderman, Ben, AlphaSlider: A compact and rapid selector, *Proc. of ACM CHI'94 Conference Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1994), 365-371.

L'alpha-slider est utilisé dans le film-finder et maintenant Spotfire pour sélectionner un terme parmi un grand nombre de termes (ex. Un nom d'acteur parmi des certaines). Un avantage important de l'alpha-slider est qu'il permet de comparer rapidement avec un simple glissé du curseur un grand nombre de vues (e.g comparer d'un coup d'oe il la «productivité» de nombreux acteurs)

Ahlberg, Christopher, Williamson, Christopher, and Shneiderman, Ben, Dynamic queries for information exploration: An implementation and evaluation, *Proc. ACM CHI'92: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1992), 619-626.

Le papier principal sur les requêtes dynamiques, qui appliquent la manipulation directe à la recherche d'information.

Ahlberg, Christopher and Wistrand, Erik, IVEE: An information visualization & exploration environment, *Proc. IEEE Information Visualization '95*, IEEE Computer Press, Los Alamitos, CA (1995), 66-73.

Après avoir travaillé sur le film-finder à l'université du Maryland, Ahlberg retourne en Suède et commence à développer un outil plus générique: IVEE, qui deviendra Spotfire. ([www.spotfire.com](http://www.spotfire.com))

Asahi, T., Turo, D., and Shneiderman, B., Using treemaps to visualize the analytic hierarchy process, *Information Systems Research* 6, 4 (December 1995), 357-375.

Applique la visualisation par arbres planaires à la prise de décision. Par manipulation directe les utilisateurs peuvent changer le poids respectif des facteurs de décisions et les «notes» données à chaque solution, permettant ainsi de comparer plusieurs solutions dynamiquement et visuellement. (voir Shneiderman pour l'article original sur les arbres planaires)

Bartram, Lyn, Ho, Albert, Dill, John, and Henigman, Frank, The continuous zoom: A constrained fisheye technique for viewing and navigating large information spaces, *Proc. User Interface Software and Technology '95*, ACM, New York, NY (1995), 207-215.

Bon exemple de zoom et déformation pour une application utile.

Becker, Richard A., Eick, Stephen G., and Wilks, Allan R. Visualizing Network Data, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 1, 1 (March 1995), 16-28.

Visualisation de larges quantités de données sur des réseaux téléphoniques. Principalement sur fond de cartes des US.

Bederson, Ben B. and Hollan, James D., PAD++: A zooming graphical user interface for exploring alternate interface physics, *Proc. User Interfaces Software and Technology '94* (1994), Une technique impressionnante de zoom infini, avec zoom sémantique. Un objet peut être remplacé par d'autres objets quand le zoom augmente. Encore peu d'applications pratiques mais prometteur. (A télécharger sur [www.cs.umd.edu/hcil](http://www.cs.umd.edu/hcil))

Berkin, A. L. and Orton, M. N., LinkWinds: Interactive scientific data analysis and visualization, *Communications of the ACM* 37, 4 (1994), 42-52.

Ensemble de fenêtres coordonnées. Les utilisateurs marquent origine et destinations des liens entre différentes vues. L'application est la science de la terre.

Bertin, Jacques, *Semiology of Graphics*, University of Wisconsin Press, Madison, WI (1983)

Traduction de la plus ancienne bible de visualisation. Ecrit en Français plusieurs dizaines d'années plus tôt, mais maintenant introuvable en Français. Vous y trouverez des techniques qui furent reprises plus tard par d'autres et rendues interactives (e.g. hyperbolic views)

Buja, A., Cook, D. and Swayne, D. F. Interactive High-Dimensional Data Visualization, *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5, 1 (1996), 78-99.

Plus difficile à utiliser et plus puissant, car plus de dimensions... Jolie interaction.

Card, Stuart K., Robertson, George G., and York, William, The WebBook and the WebForager: An information workspace for the World-Wide Web, *Proc. CHI96 Conference: Human Factors on Computing Systems*, ACM, New York, NY (1996), 111-117.

Belle animation de pages web qui s'organisent en livres que l'on peut ranger sur des étagères dans un paysage 3D.

Chalmers, M., and Chitson, P., Bead : Explorations in information visualization, *Proc. 15th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, ACM, New York (1992), 330-337.

Un ensemble de documents est organisé automatiquement en groupes de documents dans un espace plan mis en perspective dans lequel on peut entrer et explorer.

Chignell, M.H., Poblete, F., and Zuberec, S., An exploration in the design space of three dimensional hierarchies, *Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting*, Seattle, (October 1993), 333-337.

Expérimentation auprès d'utilisateurs. La 3D n'est pas nécessairement mieux que 2D...

Chimera, Richard, Value bars: An information visualization and navigation tool for multiattribute listings, *Proc. CHI'92 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1992), 293-294.

Utilise la barre déroulante sur le côté d'une liste (ex. Une liste de fichiers ou même un long document) pour visualiser certains attributs de cette liste. Donne une vue d'ensemble et un moyen de navigation rapide.

Chimera, Richard and Shneiderman, Ben, Evaluating three user interfaces for browsing tables of contents, *ACM Transactions on Information Systems* 12, 4 (October 1994).

Compare 3 méthodes: outline, fenêtres multiples et simple scrolling et discute les bénéfices respectifs de chaque technique. La technique d'outline est efficace si le zoom/contract est animé proprement.



Chuah, Mei C., Roth, Steven F., Matis, Joe, and Kolojechcik, John, SDM: Malleable Information Graphics, *Proc. IEEE Information Visualization '95*, IEEE Computer Press, Los Alamitos, CA (1995), 66-73.

Riche système de manipulation de données présentées en champs de barres 3D.

Cleveland, William, *Visualizing Data*, Hobart Press, Summit, NJ (1993).

Un autre point de vue important sur la visualisation. On y trouve les techniques de brushing, similaires en beaucoup de points aux requêtes dynamiques, et bien d'autres choses.

Doan, Khoa, Plaisant, Catherine, and Shneiderman, Ben, Query previews in networked information systems. *Proc. Third Forum on Research and Technology Advances in Digital Libraries, ADL '96*, IEEE CS Press, (1996), 120-129.

Comment utiliser les requêtes dynamiques avec un volume important de données. Une approche à 2 étapes: aperçu et raffinement. Chaque étape est dynamique mais la première étape ne donne que le nombre total de résultats, éliminant les risques de résultat nul et résultat trop large. Voir la vidéo.

Egan, Dennis E., Remde, Joel R., Gomez, Louis M., Landauer, Thomas K., Eberhardt, Jennifer, and Lochbum, Carol C., Formative design-evaluation of SuperBook, *ACM Transactions on Information Systems* 7, 1 (January 1989), 30-57.

Un des premiers systèmes hypertexte, aussi précurseur de la technique d'outline ouvrant et fermant à la demande les branches d'une hiérarchie (dans ce cas: un livre), ou présentant les résultats d'une requête dans le contexte de la hiérarchie. Aussi évaluation des bénéfices importants de cette technique.

Eick, Stephen G., Steffen, Joseph L., and Sumner, Jr., Eric E., SeeSoft- A tool for visualizing line-oriented software statistics, *IEEE Transactions on Software Engineering* 18, 11 (1992) 957-968.

Bon exemple de vue d'ensemble. Des milliers de lignes de code et plusieurs attributs résumés en un écran. Filtrage, animation.

Fairchild, Kim M., Poltrock, Steven E., and Furnas, George W., SemNet: Three-dimensional representations of large knowledge bases, In Guindon, Raymonde (Editor), *Cognitive Science*

*and its Applications for Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ (1988), 201-233.

Les débuts de l'immersion dans les paysages 3D formés à partir d'ensembles de documents.

Furnas, George W., Generalized fisheye views, *Proc. CHI86 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1986), 16-23.

La référence classique des systèmes utilisant la déformation de l'espace visualisé.

Hearst, M. A., TileBars: Visualization of term distribution information in full-text information access, *Proc. ACM CHI 95 Conference: Human Factors in Software*, ACM Press, New York (1995), 55-66.

Une requête avec N termes génère un petit graphique à côté de chaque document retourné, montrant la relevance des différentes parties du document pour les N termes.

Heath, L. S., Hix, D., Nowell, L. T., Wake, W. C., Averboch, G. A., Labow, E., Guyer, S. A., Brueni, D. J., France, R. K., Dalai, K., & Fox, E. A., Envision: A user-centered database of computer science literature, *Communications of the ACM* 38, 4 (1995), 52-53.

Un autre système important. Visualisation similaire au film-finder mais adapté aux attributs de type catégories, et non numériques. Peu de dynamique mais un vrai système de bibliothèque numérisée.

Hibino, S., Rundensteiner, E. A., User interface evaluation of a direct manipulation temporal visual query language, *Proc. ACM Multimedia 97 Conference*, ACM, New York (1997), 99-107.  
Des requêtes complexes sont spécifiées graphiquement. L'application est la recherche d'éléments dans une bibliothèque de vidéos annotées.

Inselberg, Alfred, The plane with parallel coordinates, *The Visual Computer* 1 (1985), 69-91.

Une technique simple mais puissante pour visualiser un grand nombre de dimensions. Mais apprentissage long...

Inselberg, Alfred, Multi-dimensional detective, *Proc. 1997 IEEE Information Visualization Conference*, IEEE Press, Los Alamitos, CA (1997).

Comment lire les coordonnées parallèles...et comment l'expert procède pour trouver l'or dans les données.

Jerding, Dean F. and Stasko, John T., The information mural: A technique for displaying and navigating large information spaces, *Proc. IEEE Information Visualization '95*, IEEE Computer Press, Los Alamitos, CA (1995), 43-50.

Deux fenêtres: une vue d'ensemble et une vue de détail, synchronisées ensemble. Une manière simple et efficace d'explorer (ici des données temporelles).

Jog, Ninad and Shneiderman, Ben, Information visualization with smooth zooming on an starfield display (March 1995), *Proc. Visual Databases 3*, Lausanne, 1-10.

Algorithme pour améliorer le zoom du film-finder.

Johnson, Brian, and Shneiderman, Ben, Tree-maps: A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures, *Proc. IEEE Visualization '91*, IEEE, Piscataway, NJ (1991), 284-291.

La description complète des arbres planaires. Une technique effective pour visualiser une hiérarchie importante lorsque les feuilles ont des attributs qui se propagent au niveau de branches (e.g. pour voir d'un coup d'oeil où sont les fichiers larges et anciens dans un disque dur). Demande de la pratique.

Kandogan, E. and Shneiderman, B., Elastic windows World Wide Web browser, *Proc. ACM UIST 97*, ACM, New York (October 1997), 169-177.

Application au web browsing des fenêtres élastiques.... Voir la vidéo.

Kandogan, E. and Shneiderman, B., Elastic Windows: Design, implementation, and evaluation of multi-window operations, *Software: Practice & Experience 28* (1998).

Intéressant mais malheureusement pas une solution magique pour les problèmes de fenêtres.

Kolojechick, John A., Roth, Steven F., and Lucas, Peter, Information Appliances and tools in Visage, *IEEE Computer Graphics and Applications 17*, 4, (July/August 1997), 32-41.

Imaginez un système généralisé de cut and paste entre visualisations et autres outils de manipulation... Puissant, mais nécessite une standardisation d'échange. CHI Vidéo aussi.

Kumar, Harsha, Plaisant, Catherine, and Shneiderman, Ben, Browsing hierarchical data with multi-level dynamic queries and pruning, *International Journal of Human-Computer Studies* 46, 1 (January 1997), 103-124.

Comment simplifier la vue classique d'arbres en élaguant dynamiquement les branches qui ne répondent pas aux requêtes dynamiques.

Lamping, John, Rao, Ramana, and Pirolli, Peter, A focus + context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies, *Proc. of ACM CHI'95 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1995), 401-408

Technique déformante très dynamique et très attrayante. Demande un peu de pratique. Étiquettes parfois dures à lire.

Laurini, R. and Thompson, D., *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press, New York, NY (1992).

Vue d'ensemble des problèmes et techniques de GIS.

Lindwarm D., Rose, A., Plaisant, C., and Norman, K., Viewing personal history records: A comparison of tabular format and graphical presentation using LifeLines, *Behaviour & Information Technology* (to appear, 1998).

Une expérimentation auprès d'utilisateurs montre les bénéfices importants et limitations d'une représentation graphique pour des données temporelles.

Mackinlay, J.D., Robertson, G.G., and Card, S.K., The Perspective Wall: Detail and context smoothly integrated, *Proc. CHI '91 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York (1991), 173-179.

Vue déformée de séries temporelles, où le centre d'attention est vu avec plus de détails, alors que le passé et futur disparaissent en perspective sur les côtés.

Marchionini, Gary, *Information Seeking in Electronic Environments*, Cambridge University Press, UK (1995).

Méthodes de recherche d'information, butinage/browsing et autres concepts généraux de recherche d'information.

North, Chris, Shneiderman, Ben, and Plaisant, Catherine, User controlled overviews of an image library: A case study of the Visible Human, *Proc. 1st ACM International Conference on Digital Libraries* (1996), 74-82.

Plusieurs fenêtres coordonnées permettent d'explorer en quelques secondes les aperçus (timbres) d'une collection qui prendrait des semaines à télécharger.

Olsen, K. A., Korfhage, R. R., Sochats, K. M., Spring, M. B., & Williams, J. G. . Visualization of a document collection: The VIBE System, *Information Processing & Management* 29, 1 (1993), 69-81.

Paysage de documents regroupés par similarités

Plaisant, C., Carr, D., and Shneiderman, B., Image-browser taxonomy and guidelines for designers, *IEEE Software* 12, 2 (March 1995), 21-32.

Taxonomie des tâches et des types de browsers. Un langage pour parler des browsers d'images.

Plaisant, Catherine, Rose, Anne, Milash, Brett, Widoff, Seth, and Shneiderman, Ben, LifeLines: Visualizing personal histories, *Proc. of ACM CHI96 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1996), 221-227, 518.

Première description de LifeLines, qui utilise des séries de timelines organisées en facettes. Applications diverses, en particulier les dossiers judiciaires et médicaux.

Plaisant, Catherine and Shneiderman, Ben, Organization overviews and role management: Inspiration for future desktop environments, *Proc. IEEE 4th Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, IEEE Press, Los Alamitos, CA (April 1995), 14-22.

Une organisation visuelle du desktop qui représente les différents rôles de l'utilisateur dans son organisation et facilite les changements de rôle rapides.

Rao, R., Pedersen, J. O., Hearst, M. A., Mackinlay, J. D., Card, S. K., Masinter, L., Halvorsen, P., & Robertson, G. G., Rich interaction in the digital library, *Communications of the ACM* 38, 4 (1995), 29-39.

Un bon résumé des techniques les plus connues de Xerox Parc.

Rao, Ramana and Card, Stuart K., The Table Lens; Merging graphical and symbolic representations in an interactive focus + context visualization for tabular information, *Proc. CHI'94 Conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY (1994), 318-322.

L'idée d'une loupe mais poussée plus loin, car les transformations peuvent être variées et combinées entre elles, ou même être utilisées en outil.

Robertson, George G., Card, Stuart K., and Mackinlay, Jock D., Information visualization using 3-D interactive animation, *Communications of the ACM* 36, 4 (April 1993), 56-71.

Un autre résumé des techniques de Parc.

Sarkar, Manojit and Brown, Marc H., Graphical fisheye views, *Communications of the ACM* 37, 12 (July 1994), 73-84.

Donne des algorithmes de fisheye.

Schaffer, Doug, Zuo, Zhengping, Greenberg, Saul, Bartram, Lyn, Dill, John, Dubs, Shelli and Roseman, Mark, Navigating hierarchically clustered networks through fisheye and full-zoom methods, *ACM Transactions on Computer-Human-Interaction* 3, 2 (June 1996), 162-188.

Expérimentation auprès d'utilisateurs, le fisheye sur des clusters gagne, mais la technique zoom était plutôt mal implémentée...

Shneiderman, Ben, Tree visualization with tree-maps: A 2-d space-filling approach, *ACM Transactions on Graphics* 11, 1 (January 1992), 92-99.

Article original des arbres planaires, voir aussi Johnson.

Shneiderman, Ben, Dynamic queries for visual information seeking, *IEEE Software* 11, 6 (1994), 70-77.

Un résumé cours des principes de requêtes dynamiques, avec nombreux exemples.

Spence, Robert and Apperley, Mark, Data base navigation: An office environment for the professional, *Behaviour & Information Technology* 1, 1 (1982), 43-54.

Le précurseur des vues déformantes (effet loupe)

Spoerri, Anselm, InfoCrystal: A visual tool for information retrieval & management, *Proc. ACM Conf. on Information and Knowledge Management* (1993),.

Un visualisation en triangle effective pour 3 attributs.

Tufte, Edward, *The Visual Display of Quantitative Information*, Graphics Press, Cheshire, CT (1983).

Tufte, Edward, *Envisioning Information*, Graphics Press, Cheshire, CT (1990).

Tufte, Edward, *Visual Explanations*, Graphics Press, Cheshire, CT (1997).

Trois livres de Tufte; 3 bibles modernes des techniques d'information visuelles!

Vroomen, Louis C., Beaudoin, Luc, and Parent, Marc-Antoine, Cheops: A Compact Explorer For Complex Hierarchies, *Proc. IEEE Visualization Conference*, IEEE Press, Los Alamitos, CA (1996).

Une technique très compacte utilisant l'élosion (i.e. tout n'est pas visible mais tout est accessible par navigation). Les exemples utilisent des hiérarchies très larges.

Wainer, Howard, *Visual Revelations*, Copernicus-Springer Verlag, New York (1997).

Ware, C. and Franck, G., Evaluating stereo and motion cues for visualizing information nets in three

dimensions, *ACM Transactions on Graphics* 15, 2 (1996), 121-139.

Weiland, William J. and Shneiderman, Ben, A graphical query interface based on aggregation/generalization hierarchies, *Information Systems* 18, 4 (1993), 215-232.

Précurseur des requêtes dynamiques.

Williamson, Christopher, and Shneiderman, Ben, The Dynamic HomeFinder: Evaluating dynamic queries in a real-estate information exploration system, *Proc. ACM SIGIR'92 Conference*, ACM, New York, NY (1992),

338-346. Reprinted in Shneiderman, B. (Editor), *Sparks of Innovation in Human-Computer Interaction*, Ablex

Publishers, Norwood, NJ, (1993), 295-307.