

# Les indices dynamiques dans les interfaces 3D - au delà des ombres portées -

Cédric Dumas (\*), Patricia Plénacoste (\*\*), Samuel Degrande (\*\*\*)

(\*) Ecole des Mines de Nantes, 4 avenue Alfred Kastler, 44300 Nantes.

Cedric.Dumas@emn.fr

(\*\*) Laboratoire Trigone, USTL, 59650 Villeneuve d'Ascq.

Patricia.Plenacoste@univ-lille1.fr

(\*\*\*) Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille, USTL, 59650 Villeneuve d'Ascq.

degrande@lifl.fr

## RESUME

Si la technologie actuelle nous permet de visualiser facilement des objets tridimensionnels animés, il n'en va pas de même pour interagir avec eux. Nous explorons ainsi de nouveaux modes d'interaction liés à la manipulation de documents 3D. Les interfaces de travail tridimensionnelles nous obligent à revoir les modes d'interactions 2D classiques. C'est dans ce sens que nous travaillons sur les indices perceptifs, qui permettent à l'utilisateur de saisir la profondeur dans l'affichage d'une scène 3D virtuelle et la localisation des objets 3D à manipuler. Nos premières études ont mis en avant la prédominance des ombres portées par rapport aux indices statiques (qui composent le décor). Cela nous a incité à développer d'autres indices dynamiques. Le premier présenté ici est la boîte englobante progressive, qui aide l'utilisateur à évaluer la distance du pointeur à l'objet et les distances relatives entre objets. Le second est la mobilité relative, qui permet à travers une navigation limitée autour de l'objet, de saisir globalement sa forme.

**MOTS CLES :** interface 3D, interaction 3D, indice visuel, ombre portée

## INTRODUCTION

Les interfaces de travail tridimensionnelles sur lesquels nous travaillons [1] sont des projections de nos environnements de travail réel dans des espaces virtuels 3D, tout comme les systèmes WIMP le sont en deux dimensions. L'objectif de ces interfaces est de pouvoir manipuler et travailler au mieux sur des documents 2D/3D, seul ou en groupe. Nos études, sur le projet d'interface 3D appelé Spin3D (application de coopération dans un espace virtuel 3D) [3], nous ont amené à travailler en particulier sur les indices perceptifs [12]. En effet, le principal problème rencontré par l'utilisateur dans un tel environnement est de réussir à construire rapidement une représentation mentale cohérente de la scène 3D visualisée, sans plus de difficulté que dans la réalité. Pour cela, nous avons intégré des propriétés essentielles à nos environnements pour limiter la navigation lors des phases d'interaction afin de diminuer la charge cognitive de l'utilisateur et pour l'aider à percevoir la troisième dimension en le

laissant dans un contexte (un décor) fixe. Nous avons également travaillé sur les moyens d'action de l'utilisateur (les périphériques d'entrée, le pointeur), les indices visuels statiques (décor, ombrage), et les indices visuels dynamiques. C'est sur ces derniers indices visuels que nous avons obtenu les variations de performance les plus spectaculaires, en particulier grâce à nos expérimentations sur les ombres portées, que nous présentons plus loin dans l'article. Nous avons ensuite mené des investigations sur d'autres formes d'indices dynamiques, avec l'objectif de fournir des aides à l'utilisateur aussi pertinentes que celle de l'ombre portée.

## LES INDICES PERCEPTIFS

Lors de la conception d'environnements informatiques virtuels tridimensionnels, se pose très souvent la question de la structuration visuelle d'une scène 3D pour rendre l'interaction plus écologique, c'est-à-dire plus proche de la représentation de l'action du point de vue de l'utilisateur. Outre les difficultés techniques liées aux modes d'entrée/sortie [5], la simulation d'un espace 3D sur un écran 2D d'ordinateur pose des problèmes. En effet, on n'y retrouve pas l'information de profondeur fournie par la disparité rétinienne dans le monde réel. Si nous avons écarté les solutions de visualisation stéréoscopique dans nos travaux, elles ne sont pas incompatibles avec les travaux présentés ici, et ne représentant pas non plus une solution optimale, elles s'accroissent également très bien de nos propositions. La scène virtuelle de l'espace de travail peut contenir un certain nombre d'indices perceptifs : l'occlusion, la perspective linéaire, l'éclairage (ou ombrage) sur les objets grâce au mode de rendu 3D, les textures représentant des gradients, comme un quadrillage sur le sol, permettent ainsi d'aider l'utilisateur à percevoir la profondeur. Ces indices visuels peuvent se classer suivant trois critères (Table 1).

OU	
<b>Permanent</b> l'indice est affiché en permanence	<b>Temporaire</b> l'indice est affiché à un moment donné pendant un instant déterminé
<b>Statique</b> l'indice ne se déplace pas (décor, etc.)	<b>Dynamique</b> l'indice se déplace dans l'espace (pour suivre un objet en mouvement, etc.)
<b>Passif</b> l'indice ne change pas de forme	<b>Actif</b> l'indice change de forme

*Table 1* : trois catégories d'indices perceptifs

La présence d'une ombre, au dessous d'un objet par exemple, sera un indice permanent, dynamique parce qu'il suit l'objet, passif s'il ne change pas de couleur ou de forme, ou actif si sa taille et son opacité varient en fonction de la hauteur de l'objet (cas d'une ombre réelle).

### LES OMBRES PORTEES

L'ombre portée est un indice dynamique essentiel, voire indispensable. L'ombre des objets (ombre portée) fournit des indicateurs sur les relations spatiales et sur la profondeur. Elles permettent aux utilisateurs d'inférer à la fois la position et la localisation d'un objet. L'écart sur la surface de la scène entre un objet et son ombre indique sa hauteur. La localisation de l'ombre sur la surface indique la distance de l'objet.

La plupart des auteurs [7][8], qui travaillent sur l'influence des ombres sur la perception de la profondeur ou sur la reconnaissance des objets naturels, se focalisent sur des tâches de discrimination ou de jugement d'objets en mouvement, en fonction de l'ombre des objets. Dans notre situation, nous nous centrons sur une situation d'action, situation de pointage comme l'utilisateur la réaliserait dans son interface de travail (le pointage d'objets est une des tâches les plus fréquentes, elle présume chaque action de l'utilisateur dans une interface de travail). Nous avons surtout étudié l'effet de la forme de l'ombre (carrée, octogonale, réelle et une situation contrôle sans ombre) pour la réussite de l'action selon la zone d'action dans la scène 3D [9][2].

On a pu constater que, lors d'une tâche de pointage d'objet, les performances des sujets sont meilleures en présence d'ombre et ce, quelle que soit sa forme et la position de l'objet dans l'espace. On en déduit que les sujets traitent les ombres non seulement comme une «affordance d'action» (terme que G.A. Boy traduit par capacité suggestive d'action) mais également comme un instrument de son activité ici l'action [11]. Rabardel définit « l'instrument mobilisé par l'utilisateur dans son activité comme une entité mixte qui tient compte à la fois du sujet et de l'objet. Il comprend donc d'une part un artefact produit par le sujet ou par d'autre et d'autre

part, un ou des schèmes d'utilisation associés ». Ainsi les ombres sont intégrées par l'utilisateur comme un instrument lors de l'activité de pointage. L'ombre ne serait donc pas traitée comme une propriété intégrante à l'objet mais bien comme une heuristique. On peut donc choisir la forme d'ombre la moins coûteuse en terme de calcul, il suffit juste de respecter l'échelle entre un objet et son ombre portée.

### LES BOITES ENGLOBANTES PROGRESSIVES

Si l'environnement réel ne réagit qu'à un contact ou à une manipulation directe, il en est autrement pour un espace virtuel, qui peut avoir un comportement actif pendant le déroulement d'un geste (qui n'a donc pas encore conduit à une action). On a donc le modèle approche/action avec une réaction active du système, due à la mesure permanente que l'on a des mouvements de l'utilisateur.

Ainsi la proximité du pointeur à l'objet est une information préliminaire qui peut être utilisée pour anticiper les approches d'objets et aider l'utilisateur à savoir où il en est. Si l'objet s'éclaire de plus en plus lorsque l'on s'en approche par exemple, il s'agit d'un indice temporaire et actif.

Les indices actifs permettent de créer des comportements implicites de l'espace de travail, qui va réagir en fonction de l'utilisateur pour l'aider à se repérer dans l'espace de travail 3D. Dans cet esprit, nous avons développé les boîtes englobantes progressives.

Lorsque l'on dirige un pointeur 3D dans un espace virtuel pour sélectionner un objet, il est utile d'aider l'utilisateur à évaluer précisément les distances relatives, afin qu'il puisse pointer sans hésitation l'objet désiré. Quelle que soit la méthode pour sélectionner effectivement l'objet, nous proposons avec les boîtes englobantes progressives d'indiquer en permanence à l'utilisateur l'objet sélectionnable le plus proche. Pour ce faire, nous utilisons des boîtes englobantes «classiques» pour indiquer l'objet sur lequel nous sommes en train de pointer. La taille de ces boîtes varie au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'objet (Figure 1) en atténuant leur couleur, jusqu'à ce qu'elles disparaissent à une distance donnée (par expérience 1,3 fois la taille de l'objet). Ce système permet d'animer uniformément les transitions du pointeur entre les objets tout en conservant une information sur ce qui est pointé. Ce sont donc des boîtes englobantes progressives.

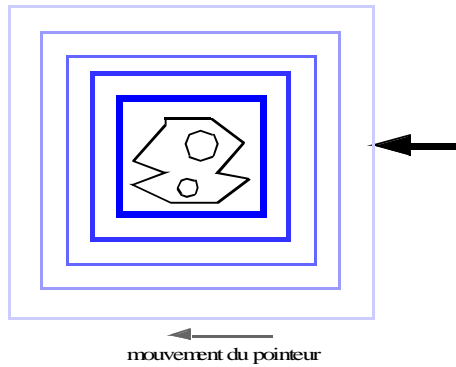


Figure 1 : boîte progressive à l'approche d'un objet

Si d'autres boîtes sont affichées en même temps, elles le sont de façon très discrète car elles sont en transparence (Figure 2). Ce système permet de sélectionner un objet, même si on ne se trouve pas exactement à l'intérieur. Ceci permet de compenser les éventuelles erreurs d'appréciation de la profondeur, et de faciliter l'approche des plus petits objets.

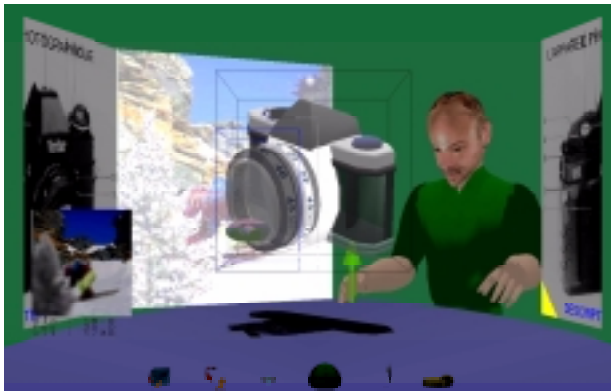


Figure 2 : vue de SpIn3D avec des boîtes englobantes progressives autour de l'appareil photo

Lorsque l'utilisateur clique, c'est la boîte englobante dont le pointeur est le plus au centre qui est sélectionnée. Cela permet de toujours pouvoir sélectionner une sous-partie d'un objet, même si elle est incluse dans une autre, plus importante.

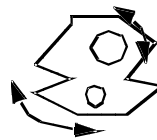
Une évaluation de l'ensemble de notre environnement [4][10] nous a permis d'obtenir un certain nombre d'informations sur les boîtes englobantes progressives. Notons que les évaluations ont plutôt porté sur la manière dont les utilisateurs appréhendaient l'interaction de façon globale.

Les utilisateurs ont reconnu toute l'importance de l'indication des éléments qui peuvent être sélectionnés par les boîtes englobantes progressives. Cependant ils ont soulevé quelques problèmes liés à l'usage des boîtes englobantes pour sélectionner un objet. Les problèmes rencontrés sont essentiellement dus à un certain manque de précision des boîtes et à l'orientation des objets dans l'espace. Cela provenait principalement de la technique utilisée, notamment celle des boîtes englobantes parallèles aux axes (du repère de l'espace 3D). En effet,

ce type de boîte est très imprécis par rapport à la géométrie des objets, en particulier après plusieurs rotations, où la boîte peut atteindre plusieurs fois le volume de l'objet. Une des remédiations à ses problèmes est d'utiliser des boîtes englobantes orientées par rapport à l'objet, qui cadreront au mieux avec l'objet et tourneront avec lui, ce qui permettra une localisation plus facile des boîtes. On situera alors mieux la relation entre la boîte et l'objet.

### LA MOBILITE RELATIVE

La mobilité relative d'une scène 3D permet, lorsque l'on observe un objet, de déplacer légèrement son point de vue sur ce dernier afin de pouvoir décaler l'angle de vision (Figure 3). Cela permet de voir les faces cachées de l'objet et de donner une aide à l'utilisateur pour le percevoir dans sa globalité.



rotation de la scène de quelques degrés, périphérique en mode absolu, le recentrage est automatique dès qu'on le lâche.

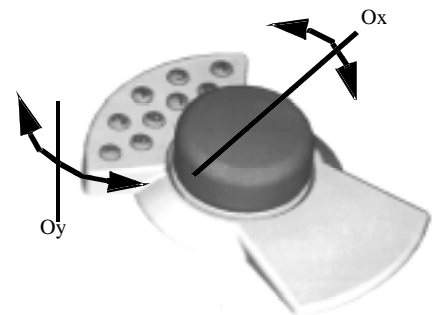
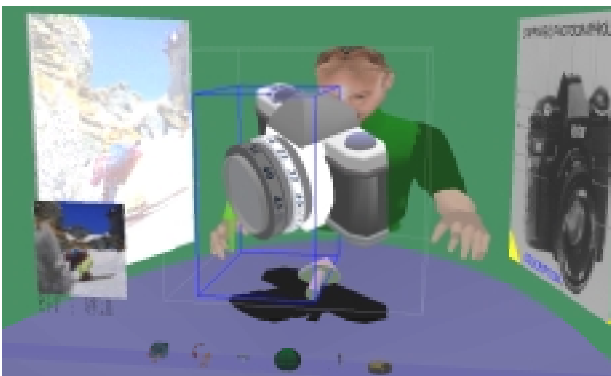
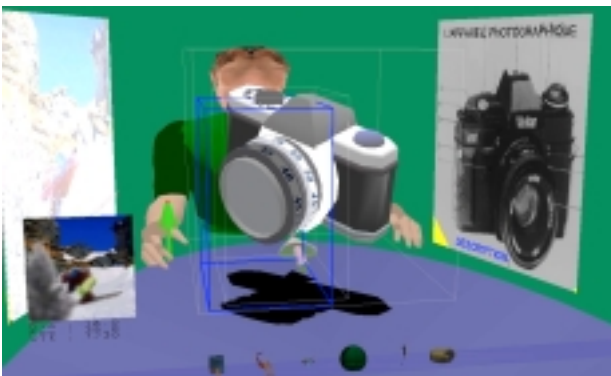
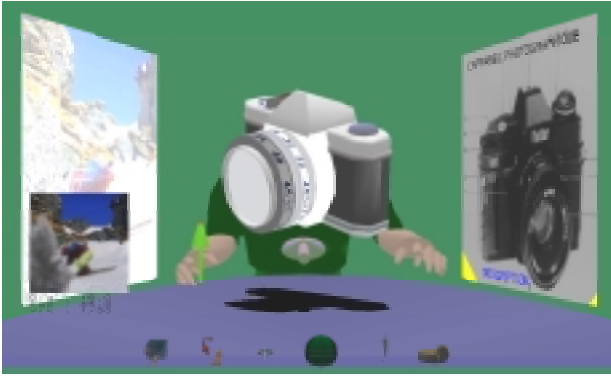


Figure 3 : observation de la scène au moyen de la mobilité relative

Ce mouvement, que l'on applique à l'objet, correspond dans la réalité aux mouvements du regard que l'on effectue pour scruter un objet. Ces mouvements sont effectués par de légers déplacements de la tête et par le mouvement de scrutation des pupilles pour parcourir un objet. Dans le cadre d'un environnement virtuel, lorsque l'on observe un objet, nous réalisons ce mouvement avec un périphérique isométrique (comme la Spacemouse de Logitech), ce qui permet de décaler légèrement l'objet en question autour de l'axe des abscisses et des ordonnées (Figure 4). Lorsque l'utilisateur relâche le périphérique, l'objet revient à sa position initiale.



**Figure 4 :** vue normale de la scène (image du haut), rotation vers le haut de 5 degrés (image du mil. ht), puis de 5 degrés vers la gauche (image du mil. bas), et de 5 degrés vers la droite (image du bas).

Ce mode de visualisation est donc lié à l'utilisation d'un périphérique isométrique. Ce type de périphérique s'intègre facilement dans une approche multi-dispositifs.

Dans notre interface de travail, nous utilisons un système bi-manuel avec un périphérique pour chaque main. On place alors le périphérique isométrique dans la main non-dominante. Dès qu'on le tourne légèrement il fait tourner de quelques degrés l'objet sur lequel l'utilisateur travaille. Ce geste n'a pas besoin d'être précis et doit être le plus simple possible, d'où l'utilisation d'un périphérique de type isométrique (ie à déplacement nul et autocentré) qui n'induit pas de fatigue ni de changement de posture de la part de l'utilisateur.

Cette solution n'impose pas non plus une contrainte trop forte sur le choix des périphériques dans la mesure où les systèmes bimanuels sont réellement conseillés (dans le cas des interfaces de travail, notre cas d'étude) en raison de leur apport important en termes d'efficacité [6].

Cette action ne correspond pas à une manipulation d'un document mais juste à une rotation limitée de la scène complète (ou d'un seul objet suivant l'utilisation qu'on en fait), afin de mieux la percevoir dans son ensemble.

Nous utilisons ce mode par défaut dans notre environnement, c'est-à-dire lorsqu'aucun objet n'est sélectionné. Il ne s'agit pas à proprement parler de navigation puisque l'on ne se déplace pas par rapport aux objets, on ne modifie que légèrement et temporairement notre point de vue global pour mieux appréhender la scène.

La rotation de la scène de quelques degrés permet une meilleure perception de l'ensemble, et des objets proches en particulier (par exemple l'objet placé devant l'utilisateur, prêt à être manipulé).

Dans le cadre d'une évaluation empirique de notre environnement, les utilisateurs de Spin3D ont réservé un accueil positif à la mobilité relative en matière d'interaction. Les personnes en question, une dizaine, avaient déjà utilisé l'environnement avant l'introduction de la mobilité relative. Ces résultats empiriques ne peuvent que nous encourager dans la poursuite de notre travail, afin de réaliser une expérimentation de cette proposition.

## CONCLUSION

Nous avons présenté ici les résultats de nos travaux sur l'impact des ombres portées dans les interfaces de travail 3D, ainsi que nos travaux sur les indices dynamiques virtuels qui en ont découlés :

- Nous avons montré que les ombres portées étaient un indice visuel indispensable et pertinent, et que l'on pouvait se contenter d'ombres géométriques, voire que cela pouvait être préférable dans certains cas (allègement des formes et donc de la scène),
- Les boîtes englobantes progressives, dont nous améliorons l'algorithme de création pour un affichage au plus près des objets (utilisation de boîtes englobantes orientées),
- La mobilité relative, qui permet de scruter rapidement et à tout moment un objet particulier. Ce mode d'interaction est lié à l'utilisation d'un périphérique de type trackball 3D.

L'amélioration de ces indices passe également par

l'utilisation de l'information du toucher, grâce à un périphérique à retour d'efforts qui vient d'être adapté à l'environnement SpIn3D, un Phantom de Sensable Technologies. Il est utilisé comme périphérique de pointage. On peut ainsi faire varier la pression sur les déplacements de la main de l'utilisateur en relation avec les boîtes englobantes progressives (lorsque celui-ci approche d'un objet). On a ainsi un retour visuel et haptique. Les limites extérieures de la boîte opposent une légère résistance, qui se relâche dès que le pointeur est effectivement à l'intérieur de l'objet.

Ces indices doivent maintenant être évalués. Nous explorons aussi la création de nouveaux indices, en ayant soin de ne conserver que les plus pertinents afin de ne pas surcharger visuellement l'interface, ni augmenter inutilement la charge cognitive des utilisateurs.

Nos travaux concernent les interfaces de travail tridimensionnelles, où l'on aura à manipuler des documents 3D, mais il est envisageable de les adapter à d'autres types d'environnements, des simulateurs par exemple, cela dépend du contexte.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. Cédric Dumas, Patricia Plénacoste, christophe Chaillou. Définition d'un Modèle d'Interaction pour une Interface de Travail tridimensionnelle à partir d'Expérimentations. Actes de la conférence IHM'99, 22-26 Novembre 1999, Montpellier.
2. Cédric Dumas, Patricia Plénacoste, Catherine Demarey. Definition and Evaluation of an Interaction Model for a Three-dimensional Interface. Proceedings of WebNet 99, October 25-29, 1999, Honolulu, Hawaii, USA.
3. Cédric Dumas, Samuel Degrande, Grégory Saugis, Christophe Chaillou, Marie-Luce Viaud, Patricia Plénacoste. *Spin: A 3-D Interface for Cooperative Work*, Virtual Reality, Springer-Verlag, 4, p. 15-25, 1999.
4. Karine Grein, Olivier Thunin, Patricia Plénacoste. *Test ergonomiques de l'application SPIN*. Note technique NT/CENT/6238.
5. Ken Hinckley, Randy Pausch, John C. Goble, Neal F. Kassel. A Survey of Design Issues in Spatial Input, Actes de UIST, 1994, pp 213-222.
6. Paul Kabbash, William Buxton, Abigail Sellen. *Two-Handed Input in a Compound Task*. Actes de CHI'94, pp 417-423.
7. Daniel Kersten, Pascal Mamassian, David .C. Knill. *Moving cast shadows induce apparent motion in depth*, Perception, 26(2), p. 171-192, 1997.
8. Pascal Mamassian, David C. Knill, Daniel Kersten. *The Perception of Cast Shadows*. Trends in Cognitive Sciences, 2(8), p. 288-295, 1998.
9. Patricia Plénacoste, Catherine Demarey, Cédric Dumas. The role of static and dynamic shadows in a three-dimensional computer environment. Proceedings of WebNet 98, November 7-12, 1998, Orlando, Florida, USA.
10. Patricia Plénacoste, Chistine Leproux, Samuel Degrande, Christophe Chaillou. Proposition de conception d'outils et métaphores d'action pour l'application de coopération dans un espace virtuel 3D : SpIn 3D. Rapport technique, Equipe Graphix du LIFL, Université de Lille 1.
11. Pierre Rabardel. Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains. Armand Colin.
12. Leonard R. Wanger, James A. Ferwerda, Donald P. Greenberg. Perceiving Spatial Relationships in Computer-Generated Images, IEEE Computer Graphics and Applications, mai 1992, p. 44-57.