



CVI : le concept de Cabine Virtuelle d'Immersion

**« Naviguer et Interagir en immersion dans les univers
virtuels collaboratifs multi-échelle »**

Master 2 Recherche en Informatique

Auteur : Cédric FLEURY
Encadrants : Thierry DUVAL et Alain CHAUFFAUT
Laboratoire : Irisa, équipe « Bunraku »

Juin 2008

CVI : le concept de Cabine Virtuelle d'Immersion

Cédric FLEURY

Résumé :

Le concept de Cabine Virtuelle d'Immersion est une solution générique pour gérer la navigation et l'interaction dans les environnements virtuels, qu'ils soient multi-échelle ou collaboratifs. De plus, cette solution semble être particulièrement bien adaptée pour gérer la navigation et l'interaction d'un utilisateur en immersion dans un univers virtuel. Par ailleurs, ce concept permet à plusieurs utilisateurs de cohabiter dans le même univers virtuel et d'y évoluer librement.

Dans le cadre de mon stage de Master recherche, nous avons proposé différentes améliorations du concept de CVI, pour augmenter son aspect immersif, ainsi que pour permettre aux utilisateurs de réaliser une exploration coopérative de l'univers virtuel dans lequel ils évoluent. Nous avons développé une application de démonstration à partir de données scientifiques réelles pour illustrer le concept de CVI et nous l'avons présentée au salon de réalité virtuelle de « Laval Virtual ». Enfin, nous avons réalisé des expérimentations afin d'évaluer différentes métaphores d'interactions.

Remerciements :

Je remercie toutes les personnes de l'équipe « Bunraku » au sein de l'Irisa qui m'ont accueilli pour mon stage de Master recherche, et en particulier mes encadrants Thierry Duval et Alain Chauffaut. D'une part, ils m'ont toujours motivé, soutenu et fait confiance dans mon travail. D'autre part, ils m'ont associé à leurs recherches qui m'ont passionné. Egalement, je remercie mes « voisins » de bureau qui ont su créer une ambiance de travail sympathique et motivante et qui ont toujours su m'aider. Enfin, je remercie Gwénolé qui m'a toujours soutenu et conseillé durant mes études supérieures.

Mots-clés : navigation en univers virtuels, interaction 3D, couplage navigation/interaction, immersion 3D, univers virtuels multi-échelle, environnements coopératifs.

Table des matières

Introduction	3
1 Etat de l'art	4
1.1 Navigation et Interaction	4
1.1.1 Navigation	4
1.1.2 Interaction et Contrôle d'application	8
1.1.3 Couplage navigation/interaction	11
1.2 Immersion	13
1.2.1 Introduction	13
1.2.2 Co-localisation	14
1.2.3 Visualisation des limites spatiales des interactions	17
1.2.4 Observation et déplacement physique de l'utilisateur	18
1.3 Conclusion de l'état de l'art	18
2 Cabine Virtuelle d'Immersion	19
2.1 Concept de CVI	19
2.1.1 Principe	19
2.1.2 But du Stage	20
2.2 Améliorations proposées pour la CVI	21
2.2.1 Visualiser les limites spatiales des interactions	21
2.2.2 Mise en relation réel / virtuel	23
2.2.3 Exploration coopérative	25
2.3 Démonstration utilisant le concept de CVI	28
2.3.1 Buts de l'application	28
2.3.2 Solutions proposées	29
2.3.3 Démonstration lors de « Laval Virtual »	33
2.4 Evaluation de différentes méthodes d'interaction	33
2.4.1 Description du curseur 2D / rayon virtuel 3D	33
2.4.2 Expérience réalisée	34
2.4.3 Résultats	36
Conclusion et perspectives	37
Annexe	39
Bibliographie	41

Introduction

La grande diversification des domaines d'application de la réalité virtuelle amène les systèmes d'immersion dans les environnements virtuels à évoluer vers des solutions les plus générales possible, c'est-à-dire qui permettent de réaliser un maximum de types d'application différents. D'autre part, la multiplication des périphériques d'interaction et des dispositifs immersifs (de visualisation, de restitution sensorielle,...) imposent aux applications d'être les plus compatibles possible avec le matériel. Le développement d'interfaces liant l'utilisateur à l'environnement virtuel s'oriente donc vers la recherche de concepts qui pourraient permettre de réaliser un maximum d'applications différentes tout en étant le moins tributaire possible du type de matériel utilisé pour l'immersion.

Dans le cadre de cette problématique, Duval et Chauffaut [DC06] ont introduit le concept de la cabine virtuelle d'immersion (CVI) afin de proposer une solution générique pour l'interaction et la navigation en immersion dans les univers virtuels. Ce concept explicite comment fédérer ces deux techniques dans le cas d'une application générale qui soit à la fois multi-échelle et collaborative (partageable par plusieurs utilisateurs). Par ailleurs, la cabine virtuelle d'immersion peut être implémentée pour différents dispositifs de visualisation, ainsi que pour de nombreuses méthodes d'interaction, ce qui en fait une solution relativement indépendante du matériel utilisé. En effet, le concept de CVI peut aussi bien être utilisé avec des dispositifs de visualisation non-immersifs (station de travail), semi-immersifs (grand écran) ou bien totalement immersifs (CAVE, Reality Center).

Le sujet de mon stage de Master recherche consiste à améliorer le concept de CVI. On peut distinguer deux axes d'amélioration possible. D'une part, l'implémentation existante de la CVI étant faite pour un dispositif non-immersif, l'aspect immersif n'a pas été traité pour l'instant. Il faudra donc étendre le concept de CVI pour augmenter l'immersion de l'utilisateur présent dans la CVI. D'autre part, l'utilisation de plus en plus fréquente de la réalité virtuelle dans les domaines de la conception industrielle, de la visualisation scientifique ou de la formation, suscite la volonté de faire collaborer des experts dans les univers virtuels 3D. Il serait donc intéressant de développer l'aspect collaboratif offert par la CVI. En effet, le concept de CVI permet déjà à plusieurs utilisateurs de cohabiter dans un environnement virtuel partagé. Cependant, il serait intéressant de trouver des solutions pour permettre à ces utilisateurs de pouvoir réellement collaborer ensemble, et en particulier, explorer coopérativement l'univers virtuel.

Dans la première partie de ce rapport, nous verrons un état de l'art des paradigmes permettant de naviguer et d'interagir en immersion dans les univers virtuels collaboratifs multi-échelle, ce qui nous permettra d'aborder le couplage de la navigation et des interactions, ainsi que l'immersion dans les univers virtuels. Dans la deuxième partie, nous présenterons les différentes contributions réalisées lors de mon stage de Master recherche, et en particulier, les différentes améliorations du concept de CVI que nous avons proposées.

1 Etat de l'art

Mon stage de Master recherche portant sur le concept de cabine virtuelle d'immersion, nous étudierons, dans cet état de l'art, les différents paradigmes permettant de naviguer et d'interagir en immersion dans les univers virtuels collaboratifs multi-échelle. La première partie, sur la navigation et les interactions, permettra d'aborder le couplage de ces deux techniques. Puis, la deuxième partie traitera des facteurs d'immersion et en particulier de la mise en correspondance du réel et du virtuel.

1.1 Navigation et Interaction

Classiquement, les différentes interactions peuvent être séparées en trois catégories selon la classification de Hand [Han97] :

- les interactions, qui permettent la manipulation des objets contenus dans le monde virtuel,
- la navigation, qui consiste à manipuler un objet particulier de l'univers : le point de vue de l'utilisateur,
- le contrôle de l'application, qui décrit la communication entre les utilisateurs et le système qui ne fait pas partie de l'environnement virtuel proprement dit.

Cependant, nous verrons d'un côté la navigation et de l'autre une partie regroupant le reste des interactions (manipulation d'objets et contrôle de l'application), afin d'étudier les contraintes qu'imposent le couplage de la navigation avec les autres modes d'interactions.

1.1.1 Navigation

La navigation est l'interaction qui consiste à manipuler le point de vue de l'utilisateur afin de modifier sa perception du monde. Généralement, l'utilisateur manipule son propre point de vue mais on peut imaginer que dans un univers collaboratif, un utilisateur puisse manipuler le point de vue d'un autre. Dans le cas d'un univers multi-échelle, cette manipulation regroupe le déplacement du point de vue, mais aussi les changements d'échelle et donc de champ de vision (niveau de zoom), comme l'explique Hand [Han97].

Par extension, la navigation peut également intégrer la recherche d'itinéraire en vue du déplacement dans l'univers, comme le décrit Bowman et coll. dans le livre [BKLP04]. Cette partie cognitive de la navigation permet de percevoir les différents utilisateurs (soi-même et les autres) dans le monde virtuel afin d'y trouver son chemin. Cependant, nous n'aborderons que la partie perception de soi et des autres dans le monde virtuel et nous ne verrons pas la partie recherche d'itinéraire ou de chemin, ni l'algorithmique qui va avec (recherche du plus court chemin,...).

1.1.1.1 Modes de navigation « classiques »

La navigation est la tâche la plus commune aux environnements virtuels. En conséquence, elle est largement décrite dans la littérature traitant des interactions. Nous réaliserons donc juste un rapide panorama des paradigmes classiques de navigation dans les univers virtuels en général, grâce aux informations de Bowman et coll. [BKLP04] et Thomas [Tho05].

Dans la plupart des cas, l'utilisateur regarde dans le sens de son déplacement. Cependant, pour certains types d'application, il peut être intéressant de regarder ailleurs (sur le coté ou derrière, par exemple). Nous verrons dans la partie 1.2.4 qu'un simple *tracking* de la tête permet à l'utilisateur de modifier la direction de son point de vue. La modification de la direction du point de vue est compatible avec la plupart des modes de navigation (sauf bien sûr avec les techniques où c'est la

direction du regard de l'utilisateur qui détermine la direction de déplacement). En conséquence, dans cette partie, nous ne tiendrons pas compte de la direction du regard de l'utilisateur.

Dans les univers virtuels, nous ne sommes pas soumis aux contraintes matérielles du monde réel ce qui permet d'obtenir une plus grande souplesse de navigation (au niveau de la vitesse, de la continuité du déplacement par exemple), mais cela peut être déroutant pour l'utilisateur. Nous présenterons les différents modes de navigation en les classant selon le référentiel utilisé pour le déplacement :

Les déplacements relatifs à l'utilisateur (égocentriques) L'utilisateur spécifie dans son repère une vitesse et une direction de déplacement. Il existe principalement deux modes de navigation égocentriques :

- **la métaphore de la marche** : c'est le mode de déplacement qui est le plus intuitif. En effet, comme dans la vie de tous les jours, l'utilisateur se déplace selon deux dimensions toujours à la même hauteur par rapport au sol du monde virtuel. Cette technique peut être contrôlée grâce à des mouvements physiques de l'utilisateur (marche sur place, sur tapis roulant,...), à la métaphore du poste de pilotage d'un véhicule ou à des techniques plus classiques comme le déplacement dans la direction du regard, de la main ou dans la direction spécifiée par un périphérique d'interaction.
- **la métaphore du vol** : le déplacement du point de vue se fait librement dans les trois dimensions (6 degrés de liberté). Bien que ce mode de navigation soit une technique facile à programmer, il n'est pas vraiment naturel et facile à utiliser pour les utilisateurs, comme le souligne Hand [Han97]. Généralement contrôlé grâce à l'utilisation d'un périphérique trois dimensions, ce type de navigation peut aussi être effectué en utilisant la direction par le regard ou la main, ainsi qu'en utilisant la métaphore du poste de pilotage d'un engin « volant ».

Les déplacements relatifs au monde (exocentriques) Le déplacement n'est pas spécifié par rapport à la position de l'utilisateur mais par rapport à un élément du monde virtuel. Ce type de navigation permet, par exemple, une rotation relative à un objet ou un placement face à lui dans le but de faciliter l'interaction avec cet objet ou son observation.

Nous pouvons aussi inclure dans ce mode de navigation la technique « Grabbing the air » répertoriée par Bowman et coll. dans [BKLP04], qui permet de se déplacer en se « tirant » dans le monde virtuel avec les mains. Généralement, cette technique est contrôlée en utilisant la gestuelle de l'utilisateur. Dans le cas d'univers collaboratif, il faut faire attention à ce que, dans l'implémentation de cette méthode, ce soit bien l'utilisateur qui se déplace par rapport au monde et non le monde qui soit déplacé par rapport à l'utilisateur.

Les déplacements assistés Au lieu de spécifier une vitesse et une direction de déplacement, l'utilisateur choisit directement une destination à atteindre ou un chemin à suivre. Nous pouvons citer trois moyens de sélectionner la nouvelle position du point de vue :

- la sélection de la nouvelle position par lancer de rayon,
- la sélection de la nouvelle position grâce au monde en miniature (« World In Miniature » (WIM)) proposé par Stoakley et coll. [SCP95], qui est une sorte de carte 2D ou 3D du monde virtuel. L'utilisateur positionne directement sa représentation dans le monde en miniature à l'endroit où il veut se situer. Cette technique permet également de placer le champ de vision dans la direction souhaitée.
- la sélection d'un chemin à suivre dans une liste. Nous pouvons citer, par exemple, la démonstration présentant le ré-aménagement de l'accueil de l'Irisa, où on choisit un chemin de visite parmi une liste de chemins prédéfinis.

Ce mode de navigation permet de ne pas tenir compte du temps de déplacement ni du trajet à suivre pour se rendre au point choisi par l'utilisateur. Il peut donc laisser libre cours à divers types de déplacements, pas forcément réalistes. Nous pouvons distinguer parmi ces types de déplacements :

- la métaphore de la « téléportation » : l'utilisateur se retrouve instantanément à la destination de son déplacement. Cela permet un déplacement très rapide, mais peut être relativement déroutant pour l'utilisateur.
- l'interpolation du déplacement entre la position de départ et celle d'arrivée, qui permet de remédier au problème précédent.

- la métaphore de la visite guidée, qui permet de faire découvrir à l'utilisateur des éléments importants de l'environnement virtuel en le faisant passer à un endroit permettant une bonne vision de ces éléments.

1.1.1.2 Modes de navigation multi-échelle

Comme nous l'avons vu précédemment, le changement d'échelle fait partie de la navigation car il contribue à modifier la perception que l'utilisateur a du monde. De manière générale, ce changement d'échelle se fait de façon uniforme selon les 3 dimensions (l'utilisateur ne contrôle pas le changement d'échelle de chacune des 3 dimensions séparément : il n'y a qu'un seul degré de liberté). De plus, ce changement d'échelle de l'utilisateur peut avoir une répercussion indirecte sur la vitesse de déplacement de l'utilisateur. En effet, l'usage veut que plus l'utilisateur est petit par rapport au monde, moins sa vitesse de déplacement dans ce dernier sera importante et inversement. Il existe deux modélisations possibles pour effectuer les changements d'échelles de l'utilisateur dans l'univers virtuel :

- La taille de l'utilisateur est modifiée, tandis que le monde reste à la même échelle. Cela permet, comme dans le modèleur 3DM [BDHO92], de ne pas affecter le modèle du monde.
- L'échelle du monde est modifiée, tandis que l'utilisateur garde la même taille.

Il est important de noter que cette deuxième méthode est plus contraignante pour les environnements virtuels collaboratifs étant donné que l'on ne peut pas avoir un monde à une échelle différente pour chaque utilisateur car ils se trouvent tous dans le même monde. Ainsi si un utilisateur change d'échelle, il oblige tous les autres utilisateurs à changer d'échelle.

Comme on vient de le voir, la possibilité de changer d'échelle uniformément peut être considérée comme un degré de liberté supplémentaire en plus de ceux du déplacement. En effet, l'utilisateur peut augmenter sa taille ou la réduire, en plus des actions de déplacements. On peut séparer les différentes techniques de navigation multi-échelles en deux catégories :

Le changement d'échelle manuel L'utilisateur modifie directement sa taille par rapport à l'univers en utilisant deux commandes : l'une permettant de grandir et l'autre de rétrécir. Cette technique est la plus basique, mais c'est elle qui est la plus utilisée dans les MSVE¹ de nos jours. Elle peut être couplée à n'importe quel mode de navigation (souvent vol 3D ou marche 2D) étant donné qu'elle gère indépendamment le degré de liberté associé à l'échelle. Même si cette méthode est la plus simple à mettre en place, d'après Bowman et coll. [KNBP06], elle n'est pas toujours facile à contrôler pour l'utilisateur (difficulté à contrôler en même temps le changement d'échelle et le déplacement, par exemple) et pas toujours performante (par exemple, il n'est pas très facile d'utiliser le changement d'échelle pour jouer sur les vitesses de déplacement).

Le changement d'échelle automatique Il a été montré par Bowman et coll. [KNBP06] que le changement d'échelle automatique est plus efficace que le manuel. Cependant, cette technique nécessite une information supplémentaire pour déterminer quelle serait l'échelle appropriée. Les différentes techniques mettant en œuvre des changements d'échelle automatiques sont :

Les boîtes englobantes Bowman et coll. [KNBP06] décomposent l'univers en une hiérarchie de boîtes englobantes qui représentent chacune un niveau de détails. Un niveau de zoom est associé à chacune des boîtes correspondant à la bonne taille pour voir les détails. Une « loupe » permet de voir les différentes boîtes englobantes (cf. figure n° 1.1). Les auteurs définissent deux techniques de navigation :

- L'utilisateur sélectionne la boîte englobante qu'il veut explorer (niveau de détails inférieur) grâce à la « loupe ». Il est alors automatiquement mis à l'échelle correspondante à la boîte et placé au centre de cette dernière. Il peut alors naviguer dans cette boîte par la métaphore du vol. Une simple commande permet de retourner dans la boîte de niveau supérieur.
- L'utilisateur peut se déplacer dans le monde par la métaphore du vol. Dès qu'il passe dans une boîte nécessitant d'avoir une taille plus petite, il est réduit. Et à l'inverse, il est agrandi dès qu'il ressort d'une boîte plus petite.

¹Multi-Scale Virtual Environment - Environnement virtuel multi-échelle

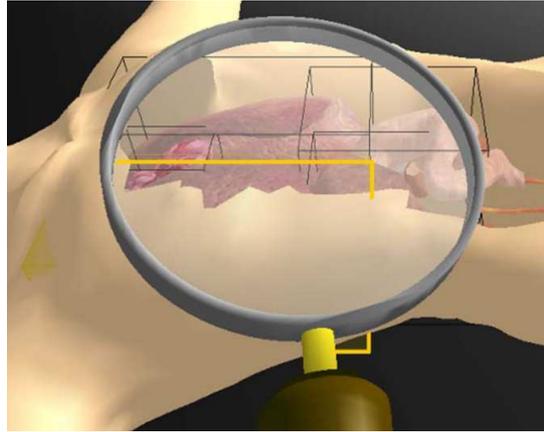


FIG. 1.1 – Boîtes englobantes permettant de visualiser les différents niveaux de détails [KNBP06]

D'après les expériences, la première technique semble être la plus efficace pour réaliser une tâche précise, tandis que la deuxième permet plus de liberté de déplacement afin d'explorer le monde.

« **Scaled-world Grab** » Cette technique, proposée par Mine [MBJS97], se rapproche de la technique « Grabbing the air » vue précédemment avec en plus la notion de changement d'échelle. Elle consiste à réduire le monde afin que l'objet sélectionné par l'utilisateur puisse être à portée de mains de ce dernier (cf. figure n° 1.2). Mine précise que cette technique, classiquement utilisée pour manipuler des objets, peut permettre de se déplacer dans le monde. En effet, il suffit que l'utilisateur attrape un objet dans la direction vers laquelle il veut se déplacer, et de se tirer vers l'objet avant de revenir à une échelle plus petite. Il peut ainsi atteindre toutes les destinations visibles d'un simple geste. L'implémentation de cette technique par Mine impliquerait la contrainte vue précédemment (le changement d'échelle d'un utilisateur entraîne le même changement pour tous les autres utilisateurs) pour les univers collaboratifs étant donné que l'on change l'échelle du monde mais on peut imaginer une implémentation similaire qui modifierait la taille et l'emplacement de l'utilisateur.

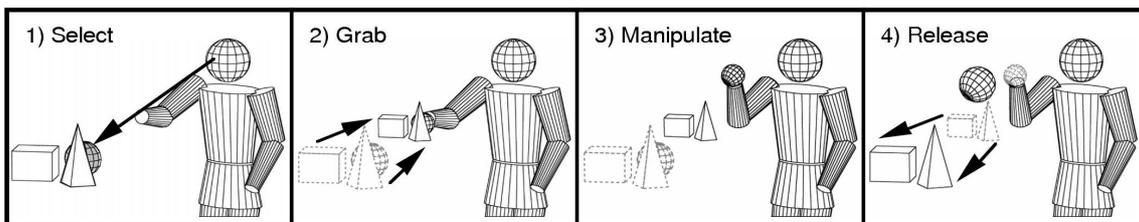


FIG. 1.2 – « Scaled-world Grab » : changement d'échelle automatique pour la manipulation d'objets [MBJS97]

« **Head-butt zoom** » Proposée également par Mine [MBJS97], cette technique permet de passer facilement d'une vue normale à une vue détaillée (niveau de zoom plus important). Pour sélectionner la vue détaillée, l'utilisateur matérialise gestuellement, avec ses deux mains, un rectangle, dont l'emplacement définit la zone à zoomer et dont la taille définit le coefficient d'agrandissement (cf. figure n° 1.3). Puis, par un simple mouvement du corps, l'utilisateur peut changer de vue pour passer à la vue détaillée. Ce mode de sélection se rapproche du mode de sélection des logiciels 2D (de traitement d'image ou de dessin, par exemple), qui consiste à définir la zone à zoomer en traçant la diagonale d'un rectangle avec le souris.

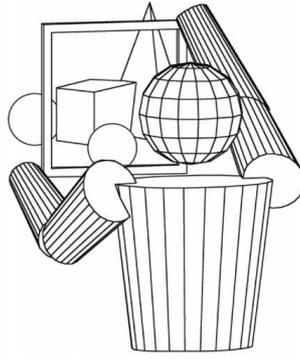


FIG. 1.3 – Sélection de la zone à zoomer en définissant un rectangle [MBJS97]

1.1.1.3 Perception des utilisateurs

Se percevoir soi-même en tant qu'utilisateur Afin de pouvoir facilement trouver son chemin dans l'univers virtuel, il est important pour l'utilisateur de percevoir sa localisation dans le monde, mais aussi son échelle (pour pouvoir évaluer les distances, la taille des objets,...) :

- **sa localisation** : la technique la plus utilisée et qui semble être la plus performante pour se localiser est la carte (2D ou 3D). Parfois utilisé pour le déplacement ou l'interaction, le monde en miniature (WIM) [SCP95] permet dans un premier temps de se repérer dans un monde virtuel en 3D. Pour être efficace dans les mondes où les tâches s'effectuent à différents niveaux d'échelle, la technique du monde en miniature a été étendue par Bowman et coll. [WHB06] en une version où on peut changer son échelle.
- **son échelle** : même si la taille de son avatar dans le monde miniature permet d'avoir une petite idée de son échelle, cette technique n'est pas très précise. Bowman et coll. [KNBP06] proposent d'afficher en plus du monde en miniature, une autre miniature qui correspond au niveau de détail (boîte englobante) auquel se trouve l'utilisateur.

Percevoir les autres utilisateurs Pour permettre le travail collaboratif, il est également important de pouvoir déterminer l'emplacement et la taille des autres dans le monde :

- **leur localisation dans le monde** : s'ils sont visibles, les avatars des autres utilisateurs permettent une bonne localisation. Sinon, le monde en miniature permet une parfaite localisation des utilisateurs qui ne sont pas dans le champ de vision de l'utilisateur.
- **leur échelle** : généralement, la taille des avatars des autres utilisateurs dans le monde virtuel permet d'avoir une information nécessaire sur leur échelle.

Problèmes induits par la collaboration D'après Zhang et coll. [ZF02], la collaboration peut poser certains problèmes :

- Quand les différences d'échelles sont importantes entre les utilisateurs, il n'est pas toujours facile de percevoir les autres utilisateurs. En effet, lorsque l'utilisateur est très grand, un utilisateur (plus petit) peut être quasiment invisible. Et inversement, lorsqu'il est très petit, le « pied » d'un autre utilisateur (plus grand) peut prendre tout son champ de vision. Zhang et coll. [ZF02] proposent différentes solutions, basées sur différentes modélisations des avatars.
- Il n'est pas facile de savoir si un utilisateur bouge ou s'il change l'échelle. Zhang et coll. [ZF02] proposent de changer l'apparence d'un utilisateur qui change d'échelle.
- Il n'est pas évident de savoir si un utilisateur est petit ou loin et de même s'il est grand ou près.

1.1.2 Interaction et Contrôle d'application

Mise à part la navigation, la classification de Hand [Han97] regroupe le reste des interactions en deux catégories : les interactions qui permettent d'interagir avec les éléments du monde virtuel

et celles qui permettent d'interagir avec les systèmes « extérieurs » à l'univers virtuel, c'est-à-dire le contrôle des applications.

Par ailleurs, l'objectif des environnements virtuels collaboratifs est de permettre une interaction entre les utilisateurs (interaction qu'on pourrait classer dans la première des deux catégories précédentes). Cependant, nous verrons qu'il existe des problèmes pour rendre cette tâche d'interaction aussi intuitive que dans le monde réel.

1.1.2.1 Modes d'interaction « classiques »

De même que pour la navigation, les interactions avec les environnements virtuels sont largement décrites dans la littérature correspondante. En conséquence, nous réaliserons juste un rapide panorama des différentes techniques utilisées en se basant sur les documents de Bowman et coll. [BKLP04], de Thomas [Tho05] et de Amokrane [Amo06] .

Classiquement, l'interaction avec les objets du monde virtuel est décomposée en deux tâches : la sélection et la manipulation.

La sélection La tâche de sélection peut être réalisée soit grâce à des techniques exocentriques (qui sont appliquées depuis un point de vue externe) comme l'utilisation d'un monde en miniature par exemple, soit grâce à des techniques égocentriques (où l'utilisateur interagit de l'intérieur de l'environnement). Il existe de nombreuses techniques égocentriques, et nous allons présenter uniquement les principales :

- Main virtuelle : représentation de la main réelle de l'utilisateur dans le monde virtuel, cette main permet de sélectionner les objets par le simple fait de les toucher.
- Go-Go : cette technique est une extension de la main virtuelle. Elle permet à un utilisateur d'accéder à des objets éloignés sans avoir à se déplacer. La relation entre le déplacement de la main virtuelle et celui de la main réelle de l'utilisateur n'est pas linéaire, ce qui permet à la main virtuelle d'aller plus loin que la main réelle après que celle-ci ait dépassé un certain seuil.
- Rayon virtuel : un rayon virtuel, qui part de la main virtuelle de l'utilisateur ou d'un objet qui lui est associé, permet de sélectionner un objet en le pointant, à partir de n'importe quelle distance.
- Occlusion : cette technique peut être classée parmi les techniques de pointage et fonctionne dans le plan d'image 2D. Elle consiste à cacher l'objet à sélectionner avec un objet sélectionneur (généralement la main virtuelle). De cette façon, le premier objet qui se trouve dans le rayon visuel passant par l'objet sélectionneur est sélectionné.

La manipulation La manipulation se rapporte à la spécification et à la modification des propriétés des objets du monde virtuel (leur position, leur orientation,...). Comme Amokrane [Amo06] le précise, c'est une tâche intimement liée à la sélection, car on ne peut pas manipuler un objet sans l'avoir sélectionné au préalable.

Généralement, les techniques vues précédemment pour la sélection permettent de réaliser des tâches de manipulation simple telles que le déplacement et l'orientation en utilisant le même procédé. Par exemple, lorsque l'utilisateur a sélectionné un objet en le touchant, la main virtuelle passe en mode manipulation et il peut alors déplacer l'objet qui est en contact avec la main toujours en bougeant simplement la main.

Cependant, pour les manipulations plus complexes, on a souvent besoin de pouvoir indiquer l'action qu'on souhaite appliquer à l'objet sélectionné. Pour ce choix, on peut distinguer deux fonctionnements différents :

- C'est le choix de l'outil par l'utilisateur qui détermine les objets sur lesquels l'action correspondante à l'outil pourra être réalisée. Le choix de l'outil peut se faire simplement en le sélectionnant dans un menu ou directement en prenant l'objet virtuel correspondant à l'outil dans le monde virtuel.
- C'est le choix de l'objet sélectionné par l'utilisateur qui détermine les actions qui peuvent être réalisées. Thomas [Tho05] cite la notion de « Smart Object » proposée par Kallmann et Thalmann [KT99] qui consiste à permettre aux objets d'indiquer eux-mêmes les actions qu'il est possible de leur appliquer.

1.1.2.2 Contrôle d'application

Le contrôle d'application est l'interaction entre le ou les utilisateurs et le système qui ne fait pas directement partie de l'univers virtuel (comme les menus de paramétrage, la gestion des erreurs, l'aide,...). Cette interaction permet de modifier indirectement certaines propriétés du monde virtuel exploré par l'utilisateur comme le précisent Duval et Chauffaut [DC06]. D'après Coquillart et Wesche [CW99] et Thomas [Tho05], il existe plusieurs approches différentes pour réaliser le contrôle d'application :

- On peut intégrer des menus 2D dans l'environnement. Même si cette technique est la plus simple à mettre en place, elle réduit considérablement l'immersion de l'utilisateur dans le monde virtuel.
- On peut créer des menus en 3D dans l'environnement. De nombreuses implémentations de cette technique modélisent directement des objets 3D permettant le contrôle d'application. Ces objets sont un peu le parallèle en 3D des widgets offerts par les interfaces 2D classiques. Cependant, cette solution pose également certains problèmes comme de savoir où placer ces menus 3D dans le monde, comment ne pas les perdre lorsque l'on se déplace, etc. Une solution proposée par Coquillart et Wesche [CW99] pour résoudre ce problème est d'utiliser une palette virtuelle corrélée avec une vraie palette transparente pour afficher des menus, et ainsi réaliser le contrôle de l'application d'une manière immersive.
- On peut utiliser des outils réels. Simon [Sim05] propose de réaliser le contrôle de l'application décrite dans l'article, grâce à l'utilisation de PDA² sur lesquels sont affichés des menus contextuels (Les PDA servent également pour matérialiser l'objet qui sert de source au rayon virtuel, permettant d'interagir avec le monde) (cf. figure n° 1.4).

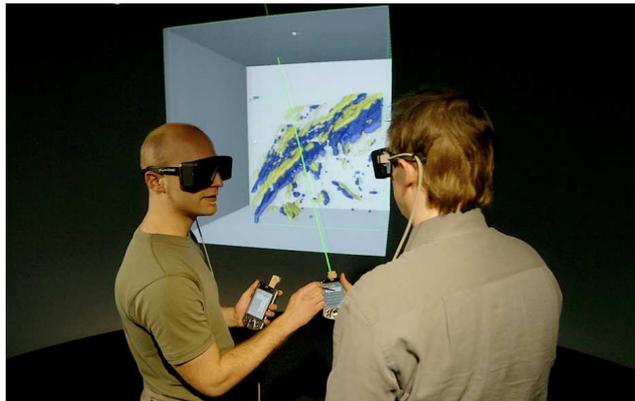


FIG. 1.4 – PDA matérialisant la source du rayon virtuel [Sim05]

- Enfin, certaines techniques de contrôle de l'application se basent sur les gestes de l'utilisateur ou sur des commandes vocales de ce dernier.

1.1.2.3 Interactions avec les autres utilisateurs

La principale interaction entre les utilisateurs dans les environnements collaboratifs est la communication, afin de leur permettre de réaliser des tâches en commun. Elle peut prendre différentes formes (vocale, textuelle,...). Par ailleurs, il existe aussi des interactions qui permettent d'agir sur le point de vue d'un autre utilisateur dans le but de lui faire voir quelque chose ou de bien le placer pour une action donnée (ce type d'interaction peut être réalisé grâce à un monde miniature, par exemple).

Cependant, les difficultés à visualiser les autres dans le monde virtuel peuvent entraîner des problèmes pour la compréhension. En effet, d'après Fraser et coll. [FBHH99], le fait de ne pas voir précisément les autres (ne pas percevoir où ils regardent et quels objets ils manipulent) pose des problèmes pour comprendre de quoi ils parlent. Les solutions proposées par Fraser et coll. [FBHH99] sont principalement de matérialiser les champs de vision des utilisateurs et leurs liens

²PDA : *Personal Digital Assistant* - Ordinateur de poche

avec les objets qu'ils manipulent (avec un bras qui s'allonge quand l'utilisateur manipule un objet à distance par exemple).

D'après Zhang et coll. [ZF02], dans les environnements virtuels multi-échelle, il peut arriver que les utilisateurs n'aient pas la même perception du monde, ce qui peut être source d'incompréhension ou de mauvaise compréhension. Par exemple, il existe une asymétrie de la perception de proximité entre deux utilisateurs possédant des échelles très différentes (cf figure n° 1.5). L'utilisateur qui est très grand aura l'impression d'être loin de l'utilisateur qui est très petit. Et à l'inverse, l'utilisateur qui est beaucoup plus petit aura l'impression d'être près de l'utilisateur qui est très grand.

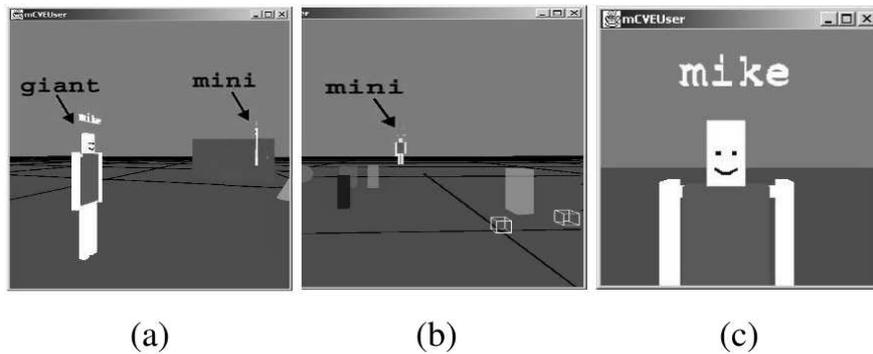


FIG. 1.5 – Perception asymétrique de la proximité : (a) vision « externe » de deux utilisateurs, (b) vision du petit par le grand, (c) vision du grand par le petit [ZF02]

1.1.3 Couplage navigation/interaction

Le couplage de la navigation avec les autres interactions peut poser plusieurs problèmes. On étudiera les deux principaux qui sont le transport des outils et la capacité à interagir en se déplaçant.

1.1.3.1 Le transport des outils

Dès que l'on navigue dans un environnement dans lequel on utilise des outils pour interagir (que ce soit pour interagir avec l'environnement ou pour contrôler l'application (menu 3D, par exemple)), un problème majeur se pose : comment peut-on transporter ces outils ? Par transporter les outils, on entend les déplacer lorsqu'on se déplace dans le monde virtuel, mais aussi les redimensionner lorsqu'on change d'échelle. Si l'on veut pouvoir interagir partout dans le monde et à n'importe quel niveau d'échelle, il n'est pas concevable de placer ces outils directement à un endroit donné du monde et à une échelle donnée. En effet, on peut facilement imaginer que dans le cas contraire, l'utilisateur risquerait d'oublier ou de « perdre » ses outils dans le monde virtuel et il perdrait un temps considérable si il devait se déplacer ou changer d'échelle dans le monde afin de les retrouver à chaque fois qu'il aurait besoin de changer de type d'interaction.

Il faut donc trouver un moyen de les « ranger » pour pouvoir les transporter et de ce fait toujours les avoir à porter de main :

La métaphore du « sac à dos » ou de la « ceinture d'outils » Généralement utilisée dans les jeux vidéos, cette métaphore consiste à ranger les outils dans un « sac à dos » fictif (ou bien sur une « ceinture d'outils » fictive). Même si cette solution est la plus simple à mettre en œuvre, elle comporte certains désavantages :

- Une fois rangés, les outils ne sont plus visibles par l'utilisateur. Pour choisir l'outil approprié pour réaliser une tâche, l'utilisateur doit donc avoir mémorisé le contenu du « sac à dos ». Différentes techniques sont utilisées pour résoudre ce problème dans certains jeux vidéos (comme des menus circulaires représentant les objets présents dans le « sac à dos »), mais elles masquent partiellement ou entièrement la vision de l'utilisateur par des menus (parfois 2D). Dans un dispositif immersif utilisant la vision stéréoscopique, on peut penser que de telles solutions dégraderaient la qualité de l'immersion.

- Cette métaphore nécessite un moyen de contrôler la sélection des outils différent de celui de la sélection des objets. Par exemple, on ne peut pas utiliser la main virtuelle pour prendre un outil, mais on doit plutôt presser sur un bouton. En conséquence, la sélection des outils est souvent peu intuitive.

Par contre, cette métaphore ne pose pas de problème pour le transport des outils, ni pour le changement d'échelles, étant donné que les outils ne sont pas visibles lors des tâches de navigation (sauf, éventuellement l'outil qui se trouve dans les mains de l'utilisateur).

Les espaces de stockage des outils Pierce et coll. [PCVDR99] proposent des espaces de stockage pour le rangement des outils (*toolspaces*), qui se situent autour de l'utilisateur (sur les côtés, derrière et au-dessus ou en-dessous de son champ de vision sur le monde virtuel). L'utilisateur accède à ces espaces grâce à un coup d'oeil (*glances*) dans la direction de l'espace qu'il veut voir. Ainsi son point de vue est automatiquement modifié pour lui permettre de voir l'espace choisi et son contenu. Il peut y déplacer des objets par une sorte de *drag-and-drop* afin de les stocker et de la même manière, il peut ramener ces objets dans le monde virtuel. L'utilisateur peut également manipuler les objets se trouvant dans ces espaces de stockage. L'article donne l'exemple du monde en miniature (WIM), qui peut être placé dans un des espaces de stockage, puis manipulé toujours dans cet espace sans être obligé de revenir à la vue sur le monde virtuel.

3DM Dans le modèleur 3DM [BDHO92], l'utilisateur évolue dans le monde virtuel sur une sorte de « tapis volant » (cf figure n° 1.6). Il peut se déplacer sur ce « tapis volant » grâce à ses déplacements physiques, mais il peut également modifier la position de ce « tapis volant » dans le monde virtuel grâce à un des outils. Tous les outils du modèleur sont accessibles au travers d'un menu 3D sur lequel on vient les sélectionner, grâce à un curseur. Afin que ce menu soit disponible pour l'utilisateur lors de ces déplacements, il peut être « accroché » à l'utilisateur. Mais il peut aussi être déconnecté de l'utilisateur et laissé n'importe où sur le « tapis volant ». Il se déplace donc en même temps que le « tapis volant » lorsque l'utilisateur modifie la position du tapis dans le monde virtuel.



FIG. 1.6 – Le modèleur 3DM : le cercle rouge représente la limite du « tapis volant » [BDHO92]

CVI Dans la cabine virtuelle d'immersion [DC06], les outils de l'utilisateur sont repérés par rapport au référentiel attaché à la cabine plutôt que par rapport au centre de l'univers virtuel. Ils naviguent donc avec la cabine, que ce soit pour le déplacement, mais aussi pour le changement d'échelles. En conséquence, les outils resteront à l'échelle de l'utilisateur présent dans la cabine, et seront accessibles à tout moment pour ce dernier.

Outils autour des objets A l'inverse des modes de transport d'outils centrés sur l'utilisateur, comme ceux vus précédemment, il existe certaines applications où les outils sont situés autour des objets qu'ils servent à manipuler. Par exemple, Lin et Loftin présentent dans [LL98] une application

permettant d'interpréter des données géologiques qui utilise un concept d'interface appelé Closed World Interaction (CWI) où les outils d'interactions sont situés sur la boîte englobante de l'objet à manipuler. Cependant, l'utilisation de cette technique est restreinte à un type d'application bien particulier, où les objets sont directement outillés en fonction des manipulations que l'utilisateur peut leur appliquer.

1.1.3.2 Interagir en se déplaçant

De façon générale, l'utilisateur réalise la majorité des tâches d'interaction grâce à ses mains, car cela permet de les rendre plus intuitives. En effet, on est habitué dans la vie de tous les jours à manipuler les objets principalement avec nos mains. Si on veut permettre à l'utilisateur d'interagir en même temps qu'il se déplace, il faut trouver une solution lui permettant de contrôler la navigation sans utiliser les mains, afin qu'elles soient libres pour interagir. De la même façon que les mains permettent des tâches d'interaction plus intuitives, il semble que la solution la plus intuitive pour contrôler les déplacements soit d'utiliser les pieds. LaViola et coll. [LAFKZ01] proposent d'utiliser les pieds pour contrôler un monde miniature (WIM) et ainsi pouvoir naviguer dans l'environnement virtuel en ayant les mains libres pour réaliser toutes sortes d'interaction.

1.2 Immersion

Le fait d'augmenter la qualité de l'immersion dans un monde virtuel permet non seulement d'augmenter le réalisme de l'application, mais surtout permet à l'utilisateur de réaliser plus facilement des tâches plus complexes. Après une introduction définissant l'immersion, nous verrons les facteurs qui peuvent permettre d'accroître la qualité de l'immersion pour la navigation et l'interaction dans les environnements virtuels.

1.2.1 Introduction

« Le traité de la Réalité Virtuelle » [trv00] définit, dans le cadre de la réalité virtuelle, l'immersion par deux sémantiques différentes : premièrement, c'est l'action d'exposer l'utilisateur à un environnement virtuel au moyen de dispositifs occultant en partie la perception de l'environnement réel alentours. Et deuxièmement, par extension, l'immersion peut alors être considérée comme l'effet avéré ou supposé de cette exposition sur l'utilisateur.

Pour l'instant, il n'est pas possible d'occulter toute la perception que l'utilisateur a du monde réel. Par exemple, il est très difficile d'occulter la perception que l'utilisateur a de son corps ou de la gravité dans le monde réel. De même, il est beaucoup plus facile de restituer le toucher d'un objet pour l'utilisateur en introduisant un objet réel dans le monde virtuel (interface tangible³). En conséquence, certains facteurs d'immersion ne consistent pas uniquement à simuler le monde virtuel, mais plutôt à mettre en relation l'univers virtuel avec le monde réel.

1.2.1.1 Facteurs d'immersion

Les facteurs « classiques » d'immersion sont essentiellement des facteurs permettant d'améliorer la vision que l'utilisateur a du monde virtuel :

- un large espace de visualisation (WorkBench, Reality Center, CAVE,...),
- une vision stéréoscopique,
- la corrélation entre les mouvements de la tête de l'utilisateur et la vision qu'il a du monde (grâce au suivi de la tête ⁴).

Par ailleurs, pour les tâches d'interaction avec les éléments de l'environnement virtuel, Ortega et Coquillart [OC05] mentionnent les différents facteurs d'immersion suivants :

- la co-localisation des outils entre le monde réel et le monde virtuel,
- les ombres des outils pour permettre de mieux apprécier la profondeur dans le monde virtuel,
- un retour d'effort selon 6 degrés de liberté,
- l'utilisation d'objets réels (interface tangible) pour réaliser un retour tactile réaliste.

³En anglais : *props*

⁴En anglais : *head-tracking*

Enfin, il existe de nombreux autres facteurs d'immersion qui dépendent de la nature de l'application, comme la température, les facteurs chimiques que ressent l'utilisateur (odeur et goût), etc.

1.2.1.2 Mise en correspondance virtuel/réel

La mise en correspondance entre le virtuel et le réel intervient pour certains de ces facteurs d'immersion comme la co-localisation des objets réels dans le monde virtuel ou la corrélation des mouvements de la tête de l'utilisateur avec sa vision. Mais elle permet aussi de représenter les limitations de l'immersion afin que l'utilisateur ne soit pas surpris par ces limites et qu'il ne les atteigne pas. Par exemple, le fait de matérialiser les limites du déplacement physique possible de l'utilisateur permet de lui éviter de s'approcher trop près des écrans d'un système immersif, ce qui pourrait nuire de façon importante à l'immersion. De même, le fait de matérialiser le champs d'action d'un outil lui permet de comprendre pourquoi il ne peut pas utiliser cet outil plus loin que la limite.

Sur le plan matériel, cette mise en correspondance virtuel/réel nécessite le repérage de l'objet réel dans le monde réel et le repérage de son avatar dans le monde virtuel afin de pouvoir les mettre en relation sur le plan spatial. Cette relation oblige une calibration précise du système.

Les facteurs d'immersion visuelle étant largement traités dans la littérature correspondante, nous traiterons uniquement les facteurs d'immersion mettant en correspondance le réel et le virtuel.

1.2.2 Co-localisation

La co-localisation est la mise en correspondance spatiale de la position d'un objet dans le monde réel et de celle de son avatar dans le monde virtuel. Généralement, la co-localisation se traduit par une correspondance visuelle, mais qui peut également être auditive ou haptique. Par exemple, on peut avoir un retour d'effort qui bloque le déplacement de l'objet réel lorsque son avatar entre en contact avec un élément de l'environnement virtuel.

Dans la plupart des cas, la co-localisation se fait pour les outils que l'utilisateur manipule. Mais, nous verrons, dans une deuxième partie, que la co-localisation peut être généralisée à différents éléments réels que l'on veut insérer dans l'univers virtuel.

1.2.2.1 Co-localiser l'outil que l'utilisateur manipule

La co-localisation est généralement utilisée pour les outils d'interaction afin de corrélérer leur avatar et, par extension, leur effet sur le monde virtuel avec l'objet réel manipulé par l'utilisateur. Cela permet d'augmenter le réalisme des actions effectuées par l'utilisateur et, par conséquence, la précision et la rapidité d'exécution de celles-ci, comme le soulignent Swapp et coll. [SPL06].

La co-localisation nécessite donc le repérage de l'objet réel à co-localiser (qui peut être une partie du corps de l'utilisateur) grâce à des capteurs de localisation. De plus, pour permettre une bonne co-localisation visuelle quelle que soit la position de l'utilisateur, il est aussi important de repérer son point de vue, grâce à une localisation de sa tête (*head-tracking*).

La co-localisation peut être réalisée directement sur l'utilisateur (pour les techniques de manipulation utilisant la main virtuelle, par exemple) ou plutôt sur un objet réel permettant de matérialiser l'outil virtuel. Par exemple, Simon [Sim05] effectue une co-localisation sur des PDA (réels), qui servent de source à un rayon virtuel (cf. figure n° 1.4). De même, Ortega et Coquillart [OC05] réalisent la co-localisation d'un pistolet à colle dans un univers virtuel. Cet pistolet à colle réel, utilisé comme une interface tangible permettant d'augmenter l'immersion par un retour tactile réaliste, permet de poser de la colle virtuelle sur une voiture virtuelle (cf. figure n° 1.7).

Cependant, selon le système de visualisation utilisé, le fait d'introduire un objet réel dans l'univers virtuel peut entraîner différents problèmes pour réaliser la co-localisation. D'après Swapp et coll. [SPL06], les principaux problèmes d'implémentation rencontrés sont :

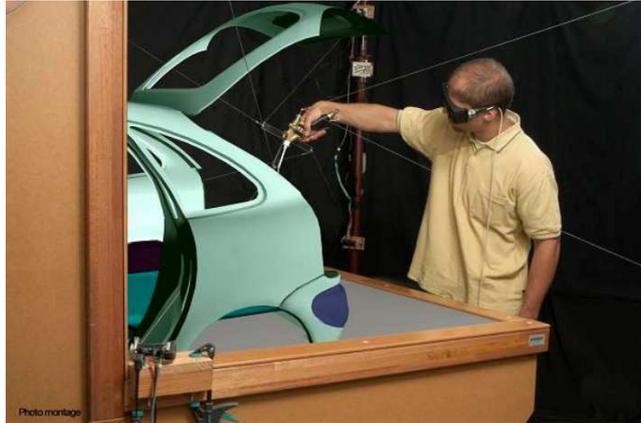


FIG. 1.7 – Application industrielle utilisant une interface tangible co-localisée [OC05]

L’occlusion Pour les systèmes utilisant des écrans de projection (par opposition aux visio-casques (HMD⁵)), des problèmes d’occlusion apparaissent lorsque l’objet réel (qui peut être la main de l’utilisateur) se situe derrière un objet virtuel. En effet, au lieu d’avoir l’objet réel masqué par l’objet virtuel, c’est l’inverse qui se produit. L’utilisation d’une interface tangible mixte (objet mi-réel, mi-virtuel) par Ortega et Coquillart [OC05] permet de solutionner en partie le problème. En effet, dans ce cas, le pistolet à colle est décomposé en deux parties : la partie réelle que l’utilisateur tient dans sa main et la partie virtuelle représentant le reste de l’objet. Les deux parties sont associées grâce à une co-localisation (cf. figure n° 1.8). Ainsi, la partie virtuelle de cet objet avec laquelle on interagit, peut être masquée par les éléments de l’environnement virtuel.

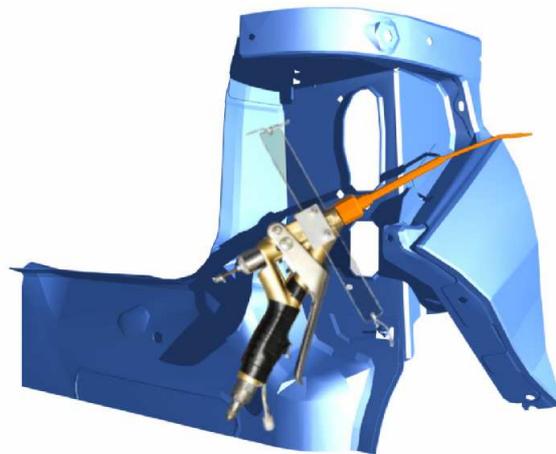


FIG. 1.8 – Pistolet à colle avec son « nez » virtuel co-localisé [OC05]

Par ailleurs, l’ajout d’une co-localisation haptique pose également des problèmes d’occlusions. Généralement, les dispositifs à retour d’effort sont assez encombrants, ce qui, par conséquence, ajoute des risques d’occlusion. Par exemple, un bras à retour d’effort a vite fait de cacher des objets virtuels qui devraient se trouver au premier plan. Les solutions qui consistent à placer des bras à retour d’effort à un endroit limitant l’occlusion ne permettent généralement pas d’avoir un grand champ d’action pour l’outil utilisé. L’utilisation d’un « Spidar » dans l’application d’Ortega et Coquillart [OC05] évite de masquer les éléments du monde virtuel avec le dispositif. En effet, le retour d’effort se fait au moyen de fils reliés à des moteurs aux 8 coins d’une armature englobant l’espace de travail (cf. figure n° 1.7). De plus, cette solution permet d’avoir un espace de manipulation plus grand qu’avec les bras à retour d’effort.

⁵Head Mounted Display

Enfin, pour les visio-casques (HMD), il n'y a pas ces problèmes d'occlusion étant donné que l'objet réel n'est pas présent dans le champ de vision de l'utilisateur (il ne voit que le monde virtuel avec des avatars représentant les objets réels).

L'accommodation visuelle Swapp et coll. [SPL06] soulignent que l'intégration d'objets réels devant des écrans de visualisation stéréoscopique pose des problèmes de focalisation visuelle pour l'utilisateur. Cet article donne l'exemple d'un cas où l'utilisateur touche un objet du monde virtuel (retour haptique) et affirme que dans ce cas, l'utilisateur n'est pas capable d'accommoder son regard simultanément sur l'objet virtuel et sur ses doigts (réels).

La calibration La co-localisation tant visuelle que haptique nécessite une calibration précise, c'est-à-dire un alignement des coordonnées du système de repérage des objets réels (système de *tracking*, position du bras à retour d'effort,...) avec celles du monde virtuel. Il est possible d'obtenir une bonne précision de calibration pour la co-localisation haptique (erreur inférieure au millimètre). Cependant, les erreurs de *tracking*, en particulier pour le repérage du point de vue de l'utilisateur, peuvent entraîner des erreurs de calibration pour la co-localisation visuelle. Ces erreurs sont caractérisées par un décalage de la position d'un objet réel (vu par l'utilisateur) avec la position de son instance virtuelle (son action dans le monde virtuel, ses contacts avec les autres éléments virtuels, son ombre virtuelle,...). Cela se traduit, notamment, par des incorrections de perception de la profondeur entre les objets réels et le reste du monde virtuel.

D'après Ortega et Coquillart [OC05], l'utilisation d'une interface tangible mixte (mi-réelle, mi-virtuelle) permet de minimiser l'effet des erreurs de calibration. En effet, grâce à cette solution, les erreurs de calibration n'interviennent plus sur le positionnement de la partie de l'interface qui permet d'interagir, car elle est aussi virtuelle. Ces erreurs de calibration peuvent néanmoins entraîner un décalage entre les deux parties de l'interface tangible, ce qui est beaucoup moins gênant pour l'interaction étant donné que l'utilisateur se focalise peu sur cette jonction. Par exemple, lorsqu'on écrit, c'est la position de la mine qui est importante et non celle du reste du stylo.

Pour réaliser la co-localisation visuelle d'un objet réel dans le monde virtuel, on doit prendre en compte le point de vue de l'utilisateur. Il est donc difficile d'intégrer plusieurs utilisateurs dans le même dispositif de visualisation car les images stéréoscopiques permettant d'intégrer l'objet réel sont calculées pour un utilisateur donné. Simon [Sim05] propose un système permettant de co-localiser les rayons virtuels de différents utilisateurs situés dans un même dispositif immersif. Ce système ne calcule en réalité qu'un couple d'images (vision stéréoscopique) pour tous les utilisateurs présents dans le dispositif. Ainsi lorsqu'un utilisateur bouge la tête, seule la position de son rayon est corrigée afin qu'il le voit bien co-localisé, et ni l'image de fond (la vision du monde virtuel), ni les rayons des autres utilisateurs ne sont modifiés. En conséquence, même si chaque utilisateur voit bien son rayon co-localisé avec son PDA (objet qui permet de matérialiser la source du rayon), il ne voit pas bien co-localisés les rayons des autres utilisateurs (cf. figure n° 1.9).



FIG. 1.9 – La même image « multi-point de vue » vue par deux utilisateurs différents (chaque utilisateur voit son rayon virtuel bien aligné) [Sim05]

Si les utilisateurs sont nombreux, il est difficile avec ce système de comprendre quel utilisateur

effectue quelle manipulation. Une autre solution pourrait être d'utiliser un dispositif permettant d'afficher plusieurs images « simultanément », afin d'afficher un couple d'images pour chacun des utilisateurs.

1.2.2.2 Co-localiser des objets physiques présents dans le monde virtuel

On peut généraliser la co-localisation à l'intégration de n'importe quel objet réel dans l'environnement virtuel. En effet, il peut être intéressant d'intégrer différents objets réels dans l'univers virtuel, afin de permettre d'autres retours que le retour visuel (en particulier, un retour tactile). Par exemple, on pourrait imaginer co-localiser une table réelle pour y poser des outils virtuels. Par ailleurs, on peut co-localiser des objets réels plus abstraits (le champ d'action d'un dispositif d'interaction,...) comme nous allons le voir par la suite.

1.2.3 Visualisation des limites spatiales des interactions

L'utilisation des différents dispositifs d'immersion et d'interaction impose certaines limites spatiales qu'il n'est pas toujours possible de rendre transparentes pour l'utilisateur (pour des raisons techniques ou de coût). Par exemple, les déplacements d'un utilisateur dans un dispositif de visualisation immersif (type CAVE) sont limités par les écrans. De même, avec un visio-casque, les déplacements sont limités par les murs de la pièce, la longueur du fil du casque de vision, ou la portée des capteurs de localisation. L'utilisation d'un dispositif haptique implique de la même façon un espace de manipulation restreint.

Afin que l'immersion n'en soit pas dégradée, ces limites spatiales doivent être perçues par l'utilisateur pour qu'il en soit conscient et ne les dépasse pas. Cela permet, d'une part, d'éviter les problèmes techniques (sortie de la zone de portée des capteurs de localisation,...) et d'autre part, à l'utilisateur de tenir compte de ces limites afin d'adapter sa manière d'interagir et de se déplacer. Il faut donc trouver un moyen de les matérialiser dans le monde virtuel (pas forcément visuellement). Par ailleurs, ces limites étant celles du monde réel, il faut également prévoir une co-localisation afin de mettre en relation leur localisation réelle avec leur position dans le monde virtuel.

1.2.3.1 Visualiser les frontières des déplacements physiques de l'utilisateur

Dans un CAVE, un WorkBench, un Reality Center, ou tout autre dispositif de projection, les principales frontières limitant le déplacement physique de l'utilisateur sont les écrans. Le fait de percevoir les limites évite à l'utilisateur d'entrer en contact avec les écrans (pour un CAVE, par exemple) ou de s'approcher trop près des écrans et de voir son ombre apparaître sur l'écran de projection dans le cas d'un Reality Center.

Pour les visio-casques (HMD), comme pour les dispositifs précédents, on peut également avoir des contraintes spatiales dues à la portée des capteurs de localisation. En effet, pour un système utilisant un suivi de l'utilisateur, ce dernier ne peut pas se déplacer en dehors de la zone de portée des capteurs si on veut que l'application fonctionne correctement. Le modèleur 3DM [BDHO92], basé sur un HMD, utilise la métaphore d'une sorte de « tapis volant » pour que l'utilisateur perçoive la limite de portée des capteurs magnétiques. Ce « tapis volant » est matérialisée par un cercle rouge 2D au sol (cf. figure n° 1.6).

1.2.3.2 Visualiser les champs d'actions des outils

La visualisation des champs d'actions des outils permet d'une part une meilleure compréhension du monde pour l'utilisateur, mais surtout l'optimisation de sa façon d'interagir. Par exemple, il peut être très désagréable pour l'utilisateur d'avoir à modifier plusieurs fois sa position pour se rendre compte à chaque fois que l'outil utilisé ne lui permet toujours pas d'atteindre l'objet qu'il veut manipuler.

Dominjon [Dom06] décrit un concept permettant de visualiser les frontières entre différents modes d'interaction. Par extension, il pourrait être étendu à la visualisation des limites du champ d'actions d'un outil. Ce concept consiste à matérialiser la frontière par une forme 3D semi-transparente. La notion intéressante de ce concept est que pour éviter de surcharger la scène graphique inutilement, l'opacité de la forme 3D varie en fonction de la proximité de l'objet avec

la frontière. Par exemple, dans notre cas, la limite du champ d'action n'apparaîtrait que lorsque l'outil s'en approcherait. Par contre, cette méthode ne résout pas le problème précédent qui oblige l'utilisateur à se repositionner plusieurs fois afin de pouvoir atteindre un objet avec un outil dont le champ d'action est limité.

1.2.4 Observation et déplacement physique de l'utilisateur

En plus de la navigation servant à se déplacer dans le monde virtuel comme décrite dans la première partie, il peut être intéressant pour l'utilisateur de pouvoir modifier légèrement son point de vue afin de pouvoir observer le monde virtuel ou de pouvoir se placer précisément pour interagir avec un objet virtuel. Par exemple, un utilisateur peut avoir envie de se déplacer autour d'un objet 3D pour mieux l'observer. Pour que l'immersion soit maximale, il est important que cette tâche soit la plus intuitive possible. L'avantage des dispositifs immersifs ayant un espace de travail relativement grand (CAVE, Reality Center, WorkBench, HMD) est de permettre à l'utilisateur de réaliser cette modification fine du point de vue, simplement en se déplaçant physiquement et en bougeant sa tête dans la direction où il souhaite regarder.

Cette tâche nécessite donc une co-localisation de l'utilisateur pour déterminer sa position et la direction de son regard (suivi de la tête). De plus, pour les dispositifs qui n'utilisent pas un HMD, il est nécessaire de redéfinir les images projetées en fonction de la position de la tête de l'utilisateur. En effet, d'après Arsenault et Ware [AW00], pour toutes les images en perspectives, il y a un point appelé : centre de perspective. Dès qu'une image est vue d'une position qui est différente du centre de perspective correct, les lois de la géométrie suggèrent que des distorsions apparaissent dans l'image. Cette distorsion des images peut entraîner un mouvement des formes en 3D qui peut dégrader la qualité de l'immersion et être très fatiguant pour l'utilisateur. Il est donc nécessaire de recalculer les images en compensant le décalage entre la position de la tête et le centre de perspective.

1.3 Conclusion de l'état de l'art

Dans ce chapitre, nous avons pu voir que, parmi les nombreuses techniques permettant de naviguer et d'interagir dans les univers virtuels, des solutions utilisant l'aspect multi-échelle commencent à apparaître. Ces techniques peuvent être classées en deux catégories : les techniques qui utilisent les changements d'échelle pour faciliter la navigation ou les interactions, et les techniques qui permettent à l'utilisateur d'évoluer et d'effectuer des tâches dans un univers vraiment multi-échelle (plusieurs niveaux de détails,...). Par ailleurs, la navigation et les interactions avec l'univers virtuel sont fréquemment couplées, mais les concepteurs de telles applications explicitent rarement comment le couplage entre les deux est réalisé et il semble que les problèmes induits soient traités au « cas par cas ». En effet, comme nous venons de le voir, ce couplage entraîne certains problèmes, en particulier pour le transport des outils. Il faut trouver un moyen pour que l'utilisateur puisse emmener avec lui les outils dont il a besoin pour interagir lors de ses déplacements, mais aussi lors de ses changements d'échelle. Les outils doivent donc également rester à l'échelle de l'utilisateur.

Étant donné que ces tâches de navigation et d'interaction sont effectuées par un utilisateur en immersion dans l'univers virtuel, elles imposent des facteurs d'immersion supplémentaires, en particulier la mise en correspondance du monde réel (où se trouve l'utilisateur) avec le monde virtuel. Pour permettre une bonne immersion dans le monde virtuel, les objets réels qui permettent d'interagir dans le monde réel (le corps de l'utilisateur, une interface tangible ou un simple objet) doivent être parfaitement co-localisés afin que l'utilisateur ne se sente pas à « l'extérieur » du monde virtuel. De même, il doit pouvoir percevoir les limites spatiales des dispositifs, de la façon plus transparente possible dans l'univers virtuel afin qu'il puisse comprendre ces contraintes et trouver une solution pour les contourner. Enfin, permettre à l'utilisateur d'avoir un déplacement physique et détecter où il regarde, permet de réaliser de façon très intuitive pour l'utilisateur une observation du monde virtuel ou un placement plus précis pour interagir. Ces trois facteurs permettent d'augmenter de manière importante la qualité de l'immersion dans l'univers virtuel.

2 Cabine Virtuelle d’Immersion

Comme nous l’avons présenté dans le chapitre précédent, le concept de Cabine Virtuelle d’Immersion, décrit par Duval et Chauffaut [DC06], permet de gérer de façon générique la navigation et l’interaction d’un utilisateur en immersion dans un univers virtuel collaboratif multi-échelle. Nous commencerons par détailler ce concept, avant de présenter les améliorations proposées durant mon stage de Master recherche. Dans une troisième partie, nous verrons une application utilisant le concept de CVI que nous avons développée dans la cadre d’une collaboration entre le projet « Part@ge » (l’homme en interaction collaborative avec un environnement 3D) et le projet « SCOS » (visualisation de données scientifiques). Enfin, nous présenterons une expérience réalisée pendant la fin de mon stage ayant pour but de comparer entre elles différentes méthodes d’interaction dans les univers virtuels 3D.

2.1 Concept de CVI

Tel que décrit dans l’article de Duval et Chauffaut [DC06], le concept de CVI permet à un utilisateur en immersion dans un univers collaboratifs multi-échelle de naviguer en transportant avec lui ses outils d’interaction. Nous commencerons par expliquer ce concept, avant de définir le but de mon stage.

2.1.1 Principe

L’utilisateur en immersion dans un univers virtuel, est situé dans une « cabine » virtuelle qui correspond à son dispositif immersif. En effet, la taille de la CVI va dépendre de la taille de l’espace de déplacement physique de l’utilisateur autorisé par le dispositif immersif. Par exemple, la taille de la CVI peut correspondre à la taille du CAVE utilisé ou au champs de porté du capteur de localisation de l’utilisateur. Le concept de CVI peut s’adapter à n’importe quel type de dispositif immersif en allant de la simple station de travail jusqu’au CAVE ou au Reality Center.

Ce concept permet ainsi deux types de navigation. L’utilisateur peut, soit déplacer la CVI dans l’univers virtuel afin de réaliser des grands déplacements, soit, lorsque le dispositif immersif le permet, se déplacer physiquement pour effectuer des déplacements plus fins. Cette dernière méthode permet de réaliser les tâches de positionnement ou d’observation de façon beaucoup plus intuitive. Dans le cas d’un univers multi-échelle, l’utilisateur peut également changer l’échelle de la CVI afin d’évoluer dans l’univers virtuel à une échelle différente. Sa taille dans l’univers virtuel, ainsi que la taille de ses déplacements physiques seront alors affectées par ce changement d’échelle.

Par ailleurs, le concept de CVI permet de coupler la navigation et les interactions de façon simple et générique quelque soit le dispositif d’immersion ou le type d’application. En effet, les différents outils d’interaction (rayon virtuel, monde en miniature, etc) sont repérés par rapport au référentiel de la CVI et non par rapport à celui du monde. Ainsi, il n’y a plus de problème pour gérer le transport de ces outils lorsque l’utilisateur se déplace ou change d’échelle, car les outils « suivent » automatiquement le référentiel de la cabine lorsqu’elle est déplacée ou changée d’échelle. Les outils d’interaction sont donc toujours à portée de main de l’utilisateur dans la cabine virtuelle.

Pour les applications collaboratives, le concept de CVI permet à plusieurs utilisateurs de co-habiter dans un univers virtuel partagé. Chaque utilisateur situé dans un dispositif immersif différent possède une CVI et peut aussi évoluer librement sans être contraint par la position et l’échelle des autres utilisateurs. Les différentes CVI présentes dans l’univers virtuel peuvent être

représentées par un avatar, qui matérialise dans l'univers, à la fois l'utilisateur et son dispositif immersif. Cela permet aux utilisateurs de mieux comprendre ce qu'un utilisateur fait et quelles sont ses possibilités d'interaction en fonction du dispositif immersif dans lequel il se trouve. Le concept de CVI offre aussi certaines possibilités d'interaction collaborative. Par exemple, un utilisateur peut déplacer la cabine d'un autre utilisateur afin de l'emmener voir un élément intéressant de l'univers ou de gérer pour lui la navigation lorsqu'il réalise une interaction particulière.

Enfin, avant le début de mon stage, il existait déjà une implémentation du concept de CVI pour un application « test » où les utilisateurs pouvaient manipuler des objets à différents niveaux d'échelle (cf. figure n° 2.1).

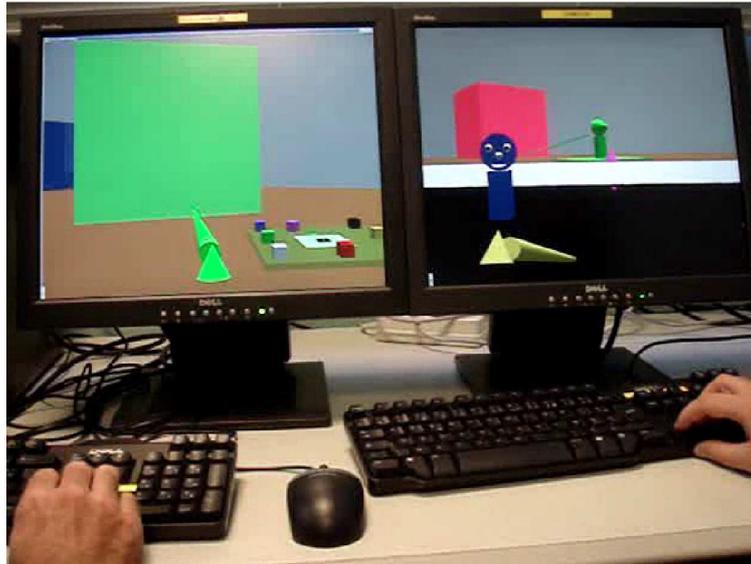


FIG. 2.1 – Implémentation initiale de la CVI

2.1.2 But du Stage

On peut décomposer les objectifs de mon stage de Master recherche en deux axes principaux :

Le premier consiste à augmenter l'aspect immersif de la CVI. Cet axe se divise en différentes tâches :

- Matérialiser les frontières de la CVI ainsi que les champs d'action de l'utilisateur présent dans la CVI pour lui permettre de mieux comprendre les limites de ses possibilités d'interaction.
- Mettre en relation la position réelle de la tête de l'utilisateur avec son point de vue sur l'univers virtuel.
- Co-localiser les objets présents dans la CVI, c'est-à-dire mettre en relation les objets réels que l'utilisateur manipule avec leur représentation virtuelle ou leur action sur l'univers virtuel. Il serait également intéressant de trouver des solutions pour faciliter, voire automatiser la calibration des différents systèmes de localisation.

Le deuxième axe de recherche est plutôt porté sur l'aspect collaboratif de la CVI. En particulier, on souhaiterait développer des outils pour faciliter l'exploration coopérative d'un univers virtuel.

Une phase d'évaluation des différentes améliorations de la CVI dans le cas d'un dispositif immersif pourrait permettre d'évaluer la pertinence des solutions proposées que ce soit en terme de qualité d'immersion, de facilité d'interaction ou de facilité de compréhension et d'apprentissage.

Par ailleurs, un objectif supplémentaire du stage serait de trouver un cas d'utilisation plus concret pour remplacer l'application « test » existante. Il faudrait trouver une application collaborative pour laquelle il est nécessaire d'effectuer des actions à différents niveaux d'échelle, afin de pouvoir présenter et évaluer le concept de CVI sur un cas plus réel.

2.2 Améliorations proposées pour la CVI

Nous présenterons dans cette partie les différentes améliorations de la CVI proposées dans le cadre de mon stage de Master recherche, afin de répondre aux deux axes de recherche détaillés dans la partie précédente (cf. partie 2.1.2).

2.2.1 Visualiser les limites spatiales des interactions

Comme nous l'avons expliqué dans la partie 1.2.3 de l'état de l'art, l'utilisation des différents dispositifs d'immersion et d'interaction impose des limitations spatiales (zone de déplacement restreinte, zone de portée des capteurs de localisation limitée,...) qu'il n'est pas toujours possible de rendre transparentes à l'utilisateur (pour des raisons techniques ou de coût). Il peut parfois être judicieux de permettre à l'utilisateur de visualiser ses limitations afin qu'il puisse en être conscient et qu'il puisse adapter ses interactions en conséquence. Cela peut permettre que ces limitations dégradent le moins possible la qualité de l'immersion.

2.2.1.1 Visualiser les frontières de la CVI

Selon le type d'application et le type de dispositif immersif, il peut être intéressant d'offrir la possibilité à l'utilisateur de visualiser les frontières de sa cabine « virtuelle ». Cela peut permettre d'atténuer certains problèmes techniques qui nuisent à l'immersion. En effet, en permettant à l'utilisateur de visualiser les frontières de sa CVI, l'utilisateur a moins de chance de sortir des limites de sa zone de déplacement maximum et ainsi certains problèmes techniques ne se posent pas. Par exemple, cela peut lui éviter de s'approcher trop près des écrans du dispositif immersif et d'y voir apparaître son ombre.

A l'Irisa, au sein de l'équipe « Bunraku », nous utilisons pour nos tests un dispositif immersif de type Reality Center avec un système ArTracking¹ pour repérer la position de l'utilisateur. Lorsque l'utilisateur s'approche trop près des écrans, il sort du champ de vision des caméras infrarouge de l'ArTracking et sa position n'est plus repérée. Alors, sa vue n'est plus calculée en fonction de cette position et se retrouve « figée », ce qui nuit à l'immersion. Nous avons trouvé qu'il était judicieux de placer les frontières de la CVI à la limite du champ de vision des caméras infrarouge, afin d'alerter l'utilisateur pour qu'il ne s'approche pas trop près des écrans et qu'il ne subisse pas ce désagrément.

La solution proposée consiste à placer des « vitres » semi-transparentes aux frontières de la CVI, dans le monde virtuel (cf. figure n° 2.2). Lorsque l'utilisateur présent dans la CVI se trouve éloigné des « vitres », elles sont totalement transparentes et donc ne gênent pas la vision de l'utilisateur. Par contre, plus l'utilisateur se rapproche de l'une de ces « vitres », plus elle s'opacifie afin de rappeler à l'utilisateur qu'il y a là une frontière qu'il ne peut pas dépasser. Néanmoins, il faut bien régler la transparence maximum de la « vitre » afin que l'utilisateur puisse la voir lorsqu'il en est proche, mais qu'elle ne gêne pas trop sa vision de l'univers virtuel.

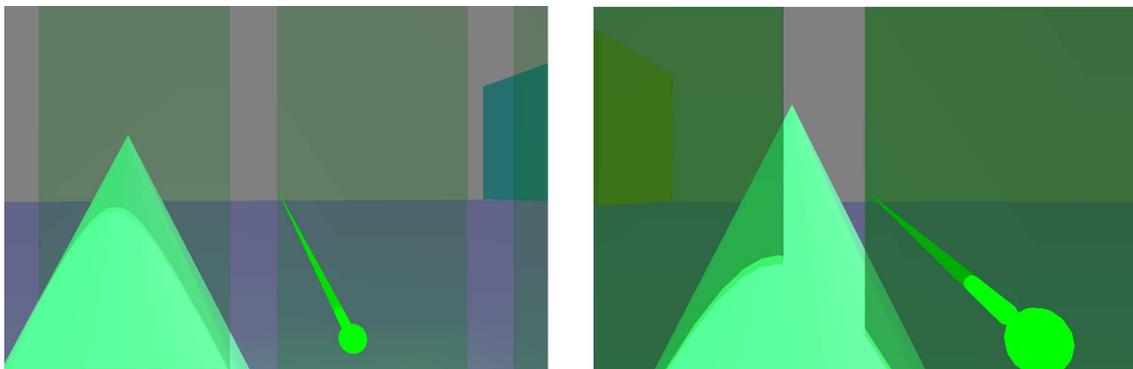


FIG. 2.2 – « Vitres » semi-transparentes délimitant les frontières spatiales de la CVI

¹Capteurs de localisation infrarouge

2.2.1.2 Visualiser le champ d'action d'un utilisateur

D'autre part, il peut être intéressant pour un utilisateur de visualiser le champ d'action de l'outil d'interaction qu'il manipule. En effet, cela peut lui permettre de mieux comprendre les limites et les contraintes de cet outil afin d'optimiser sa façon d'interagir. Dans le cas d'un univers virtuel collaboratif, il est également intéressant pour les autres utilisateurs de percevoir le champ d'action d'un utilisateur donné. Les différents utilisateurs peuvent ainsi mieux se comprendre lorsqu'ils effectuent un travail en commun. Par exemple, un utilisateur ne va pas demander à un autre de manipuler un objet qui ne se trouve pas dans son champ d'action.

La solution proposée consiste à placer dans la scène une lumière de couleur qui éclaire les objets présents dans le champ d'action d'un utilisateur. On choisit une lumière dont la portée correspond à la taille du champ d'action de l'outil d'interaction utilisé. On peut associer à chacun des utilisateurs une lumière de couleur différente afin de dissocier leur différent champ d'action grâce aux différentes couleurs. Les objets de l'univers virtuel, qui se trouvent dans le champ d'action d'un utilisateur, sont alors colorés d'un « reflet » lumineux correspondant à la couleur de cet utilisateur (cf. figure n° 2.3). Cela permet à chacun des utilisateurs de visualiser son champ d'action, ainsi que celui des autres utilisateurs sans que cela ne surcharge trop l'univers virtuel.

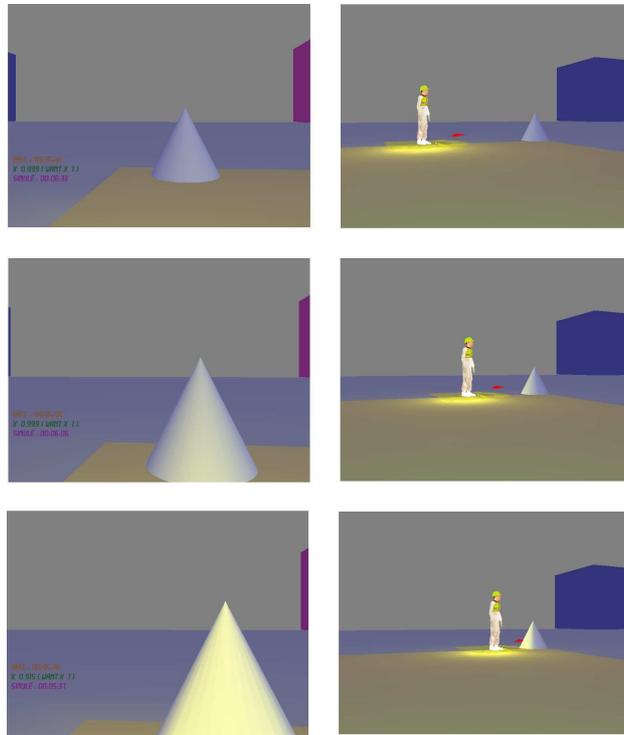


FIG. 2.3 – « Reflet » coloré correspondant au champ d'action de l'utilisateur « jaune » (vu par l'utilisateur « jaune » lui-même à gauche et vu par un autre utilisateur à droite)

Le principal inconvénient de cette solution est la nécessité d'avoir une couleur spécifique pour les objets du monde virtuel. En effet, pour que les objets puissent être éclairés de la même façon par les différentes lumières colorées de chacun des utilisateurs quelque soit leur couleur d'origine, nous avons été obligés de jouer sur les différentes composantes de la couleur. Par exemple, la lumière, permettant de matérialiser les champs d'action émet uniquement de la lumière diffuse. Les objets sont colorés à la base grâce à leur composante émissive et ont une couleur diffuse blanche. Ainsi, lorsqu'un objet se trouve dans le champ d'action d'un utilisateur, sa couleur diffuse devient celle de la lumière matérialisant ce champ d'action. L'objet se colore alors de la couleur associée à l'utilisateur. Cependant, cela pose deux problèmes : premièrement, la qualité du rendu, et plus particulièrement la couleur des différents objets, est dégradée. Deuxièmement, cela nécessite un pré-traitement des modèles 3D de tous les objets de la scène afin de leur donner cette couleur spécifique.

2.2.2 Mise en relation réel / virtuel

Pour augmenter l'aspect immersif de la CVI, nous avons vu dans la partie 1.2.1.2 de l'état de l'art qu'il était nécessaire de mettre en relation le réel et le virtuel, c'est-à-dire de mettre en correspondance chaque objet réel avec sa représentation ou son effet dans l'univers virtuel. Nous détaillerons le cas de la mise en relation de la position de la tête de l'utilisateur avec sa vision du monde virtuel, puis de façon plus généralement, la co-localisation des objets réels présents dans la CVI avec leur avatar virtuel.

2.2.2.1 Mettre en relation la position de la tête de l'utilisateur avec sa vision du monde virtuel : *head-tracking*

Comme nous l'avons expliqué dans la partie 1.2.4, en plus de la navigation pour se déplacer dans l'univers virtuel, l'utilisateur peut effectuer de la navigation plus précise pour observer un objet ou pour se placer finement pour interagir. Pour que l'immersion soit maximale, il est important que l'utilisateur puisse effectuer cette navigation fine d'une façon la plus intuitive possible. Lorsque le dispositif immersif offre un espace de travail suffisamment grand, le plus intuitif est de permettre à l'utilisateur de modifier son point de vue en se déplaçant simplement dans le dispositif immersif comme s'il se déplaçait vraiment autour des objets virtuels. Il faut donc être capable de mettre en relation la position et l'orientation de la tête de l'utilisateur avec son point de vue sur le monde virtuel.

Pour commencer, il faut localiser la tête de l'utilisateur. Pour cela, nous avons utilisé le système de localisation « ArTracking » basé sur des caméras infrarouge (cf figure n° 2.4), qui est installé dans la salle de réalité virtuelle de l'Irisa. On peut alors associer la position de la tête de l'utilisateur ainsi mesurée avec la position de la camera virtuelle qui nous donne la vue sur l'univers virtuel.

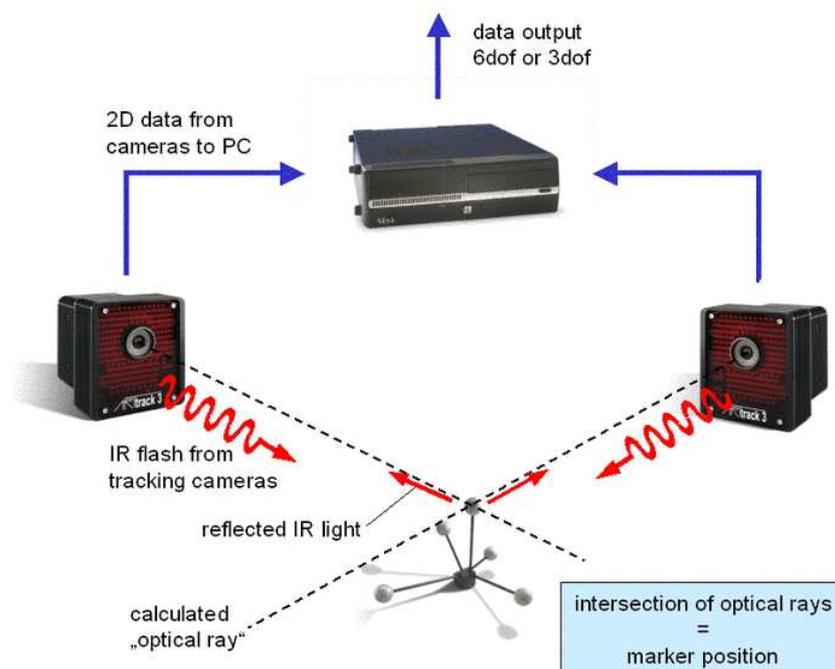


FIG. 2.4 – Système de localisation « ArTracking »

Dans le cas des dispositifs immersifs offrant une vision stéréoscopique et utilisant des écrans (par opposition HMD), il va en plus être nécessaire de déformer la pyramide de vue en fonction de la position de la tête de l'utilisateur, pour que l'utilisateur est vraiment l'impression de se trouver dans le monde virtuel. En effet, si l'on ne déforme pas la pyramide de vue, lorsque l'utilisateur va se déplacer par rapport à l'écran, il va subir les distorsions des images dues à son placement par rapport à l'écran et il va avoir l'impression que les objets de la scène 3D bougent dans l'univers virtuel (cf. figure n° 2.5).

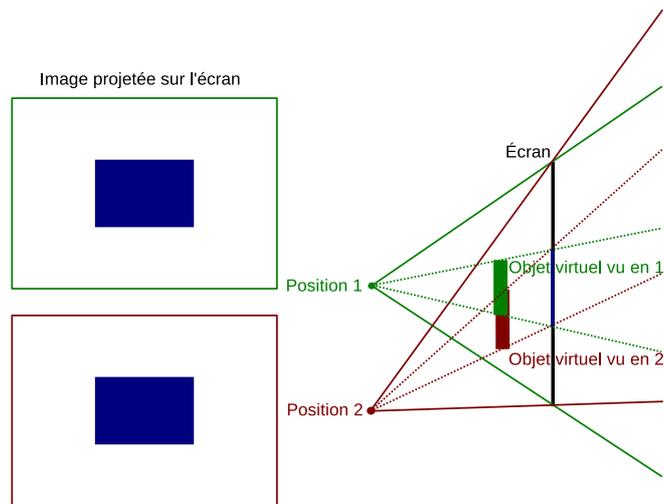


FIG. 2.5 – Sans déformation de la pyramide de vue : quelque soit la position de l'utilisateur (ici, 1 ou 2), l'image projetée sur l'écran est la même. Avec une vision stéréoscopique, si un objet virtuel est situé en avant de l'écran, un utilisateur situé en 1 verra l'objet virtuel à la position verte. Lorsqu'il se déplace en 2, il verra le même objet virtuel à la position rouge. Lors de son déplacement, il verra donc l'objet virtuel bouger de la position verte à la position rouge. Il se passe la même chose pour les objets virtuels situés en arrière de l'écran.

Il est donc nécessaire de recalculer la pyramide de vue en fonction de la position de la tête de l'utilisateur par rapport à l'écran afin de compenser ces distorsions (cf. figure n° 2.6). Nous avons utilisé une fonctionnalité de OpenGL (la visualisation utilisée pour nos applications) qui recalculer la pyramide de vue en fonction de la position des quatre coins de l'écran et de la position de la tête de l'utilisateur. Ainsi, lorsque les objets virtuels sont en avant de l'écran, l'utilisateur peut « tourner » autour de ces objets qui « sortent » de l'écran. Lorsque les objets sont loin derrière l'écran, l'utilisateur les voit immobiles, ce qui accentue l'impression de profondeur.

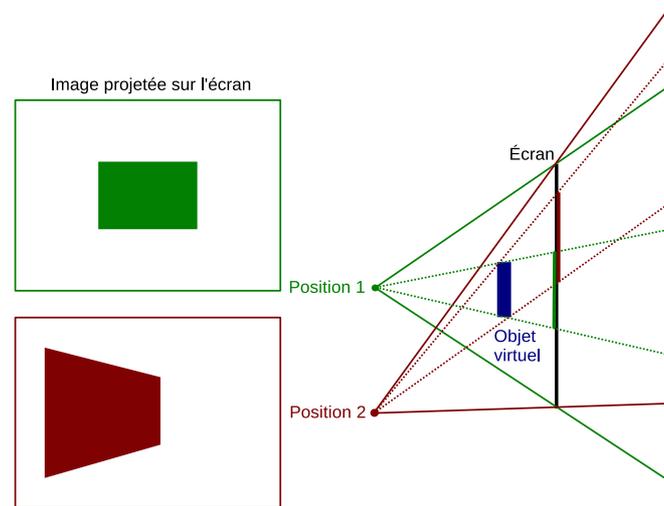


FIG. 2.6 – Avec déformation de la pyramide de vue : l'image projetée est recalculée en fonction de la position de l'utilisateur. Lorsque l'utilisateur se trouve en 1, l'image projetée affiche l'objet virtuel à l'endroit vert. Lorsque l'utilisateur se trouve en 2, l'image projetée est recalculée afin d'afficher l'objet virtuel à l'endroit rouge. Ainsi, quelque soit la position de l'utilisateur (ici, 1 ou 2), il verra l'objet virtuel à la position bleue. Il en est de même avec les objets virtuels en arrière de l'écran.

2.2.2.2 Co-localisation d'objets

On peut généraliser la co-localisation à la mise en correspondance spatiale de n'importe quel objet réel présent dans le dispositif immersif avec leur représentation dans l'univers virtuel (cf. partie 1.2.2 de l'état de l'art). Les objets co-localisés peuvent être les outils d'interaction que manipule l'utilisateur ou simplement des objets présents à la fois dans le monde réel et le monde virtuel, comme par exemple, une table réelle pour poser des objets virtuels.

Nous avons co-localisé un rayon virtuel qui sert à la sélection et la manipulation d'objet virtuel. L'utilisateur tient dans sa main un objet qui est repéré grâce à « ArTracking ». Nous effectuons alors une mise en correspondance spatiale entre cet objet réel et le rayon virtuel. Ainsi l'objet réel sert de « source » au rayon virtuel. Grâce au *head-tracking* de l'utilisateur présenté dans la partie précédente, cette co-localisation permet à l'utilisateur de toujours voir le rayon virtuel partir de cet objet, même lorsqu'il se déplace ou bouge l'objet quand il le tient dans sa main (cf. figure n° 2.7). Cela permet à l'utilisateur d'interagir de façon très intuitive : il a l'impression de tenir un vrai rayon dans sa main pour sélectionner et manipuler les objets de l'univers virtuel.

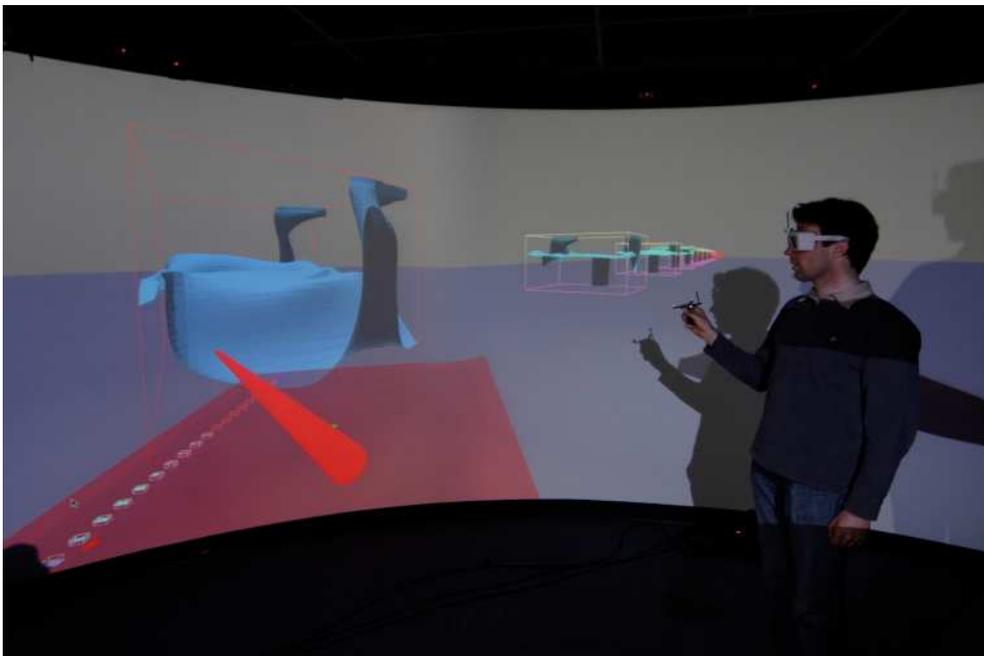


FIG. 2.7 – Rayon virtuel co-localisé : l'utilisateur voit vraiment le rayon rouge partir de sa main

L'objet « source » du rayon et l'utilisateur sont repérés par rapport au centre de la CVI. Ainsi, lorsque l'utilisateur se déplace ou change d'échelle dans l'univers virtuel, c'est la CVI qui est déplacée ou changée d'échelle en transportant avec elle l'utilisateur et les objets co-localisés. La co-localisation est alors conservée sans problème quelque soit la position ou l'échelle de la CVI.

2.2.3 Exploration coopérative

Le deuxième axe d'amélioration de la CVI était d'augmenter l'aspect collaboratif et en particulier, permettre l'exploration coopérative à plusieurs utilisateurs. Nous avons donc développé plusieurs outils pour faciliter cette exploration coopérative.

2.2.3.1 Déplacer les autres utilisateurs

Une première fonctionnalité permet à un utilisateur de déplacer les autres utilisateurs. Plus précisément, lorsqu'un utilisateur sélectionne un objet particulier de la CVI d'un autre utilisateur avec son rayon virtuel, il peut alors déplacer la cabine de cet autre utilisateur comme un simple objet (cf. figure n° 2.8). Le deuxième utilisateur est alors déplacé avec tous les objets présents dans sa CVI.

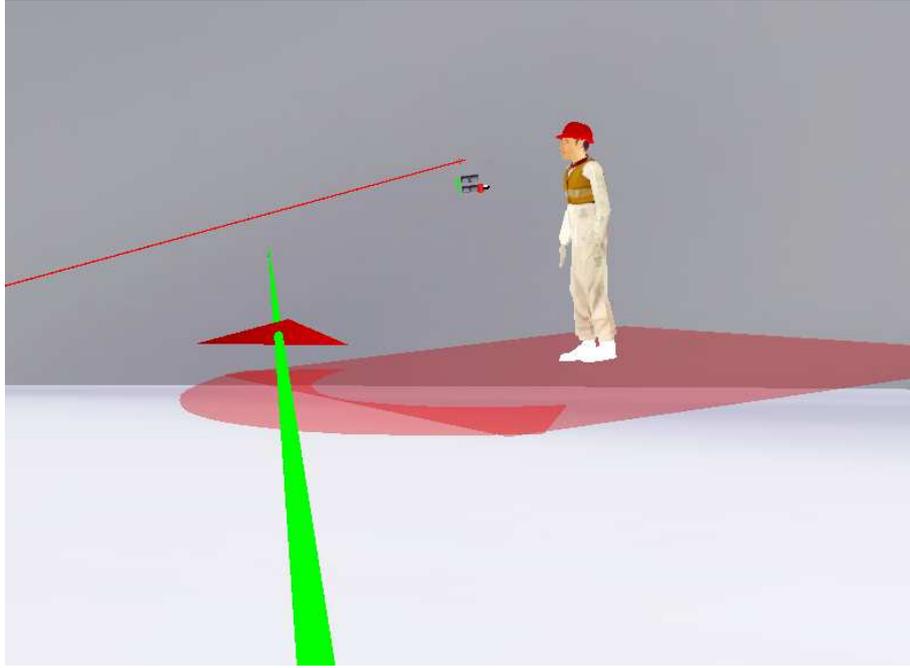


FIG. 2.8 – Lorsqu’un utilisateur sélection la flèche rouge, il peut alors déplacer la CVI de l’autre utilisateur. Ici, l’utilisateur vert déplace la CVI de l’utilisateur rouge grâce à son rayon virtuel (en vert).

Cela va permettre à un utilisateur d’emmener un autre utilisateur voir quelque chose d’intéressant, de le placer finement ou de le déplacer pendant qu’il effectue une autre tâche d’interaction.

Il faudrait sûrement ajouter une gestion des droits pour qu’un utilisateur puisse choisir quels autres utilisateurs ont le droit de déplacer sa CVI.

2.2.3.2 Laisser des annotations dans l’univers virtuel

Dans le cas d’une exploration coopérative, il peut être judicieux de pouvoir laisser des annotations dans l’univers virtuel pour les autres utilisateurs. Cela pourrait permettre à un utilisateur de signaler aux autres des détails de l’univers virtuel qui suscitent un intérêt particulier.

Pour réaliser cette « annotation », nous avons proposé aux utilisateurs de laisser des points de vue dans l’univers virtuel. Ainsi, en sélectionnant un des points de vue présent dans l’univers virtuel, un autre utilisateur pourra venir se positionner au même endroit et à la même échelle que l’utilisateur qui a déposé le point de vue. Il aura alors exactement la même vision de l’univers virtuel que ce dernier et verra donc les mêmes détails intéressants à observer. Pour matérialiser les points de vue déposés dans l’univers virtuel, nous avons choisi de placer un petit appareil photo avec un « objectif » de la couleur de l’utilisateur qui l’a déposé (cf. figure n° 2.9).



FIG. 2.9 – L’appareil photo représente un point de vue laissé par l’utilisateur rouge. Un utilisateur peut rejoindre ce point de vue, simplement en le sélectionnant (ici, avec le curseur rouge).

Un utilisateur peut déposer deux types de points de vue : des points de vue absolus au monde virtuel ou des points de vue relatifs à un objet du monde virtuel. Ces derniers seront toujours rattachés à leur objet : par exemple, si l'on déplace l'objet, ses points de vue relatifs seront déplacés avec. Pour laisser un point de vue absolu, l'utilisateur a simplement à activer une commande qui place un point de vue à l'endroit où il se trouve. Par contre, pour laisser un point de vue relatif, il doit sélectionner en plus l'objet auquel il faut associer le point de vue avec son rayon virtuel (ou son curseur selon le type de dispositif immersif utilisé). Dans les deux cas, on place alors un point de vue dans l'univers virtuel qui nous permet de sauvegarder la position, l'orientation, ainsi que l'échelle de l'utilisateur au moment où il a laissé le point de vue.

Pour se placer sur un point de vue absolu existant, l'utilisateur doit simplement le sélectionner avec son rayon virtuel ou son curseur. Pour se placer sur un point de vue relatif existant, l'utilisateur peut soit sélectionner directement le point de vue, soit sélectionner l'objet auquel le point de vue est associé et utiliser l'outil de navigation. En effet, pour les points de vue relatifs, nous avons développé un outil (cf. figure n° 2.10) qui permet de naviguer de point de vue en point de vue, afin de permettre à un utilisateur de laisser un « chemin » de point de vue à suivre. Dès que l'on sélectionne un point de vue relatif, son objet associé devient alors l'objet courant (idem si l'on sélectionne directement l'objet). L'outil nous permet d'abord de choisir l'utilisateur dont les points de vue nous intéressent et il nous permet ensuite de parcourir ses points de vue relatifs à l'objet courant. Afin que l'utilisateur ne soit pas désorienté lorsqu'il passe d'un point de vue à un autre, nous avons trouvé qu'il est judicieux de réaliser une interpolation de sa position, son orientation et son échelle pour l'amener en douceur sur le point de vue à atteindre.



FIG. 2.10 – Lorsque l'on « clique » sur l'appareil de photo de gauche, on peut choisir l'utilisateur dont on va parcourir les points de vue (ici, on parcourt les points de vue de l'utilisateur rouge). Puis avec les boutons « Next » et « Previous », on peut passer de point de vue en point de vue.

Par la suite, il faudrait ajouter une fonctionnalité qui permettrait d'associer une description à chacun des points de vue laissés. Chaque utilisateur pourrait ainsi décrire la raison pour laquelle il a placé ce point de vue, le détail intéressant à voir ou le problème à résoudre. On peut imaginer plusieurs types de description : simplement du texte, un message vocal, etc.

Enfin, de la même façon, on pourrait imaginer pouvoir déposer d'autres « icônes » différentes dans l'univers virtuel afin de signaler des autres points de détail ayant des significations particulières.

2.2.3.3 Attirer l'attention des autres utilisateurs

Enfin, il peut être nécessaire qu'un utilisateur puisse attirer l'attention des autres utilisateurs afin de les inviter à le rejoindre pour voir quelque chose d'intéressant ou pour effectuer une interaction à plusieurs.

Nous avons proposé de permettre à l'utilisateur d'afficher un grand point d'exclamation animé à la fois dans l'univers virtuel, mais aussi dans le monde en miniature (cf. figure n° 2.11). Ce point d'exclamation reste visible pendant une durée déterminée, avant de disparaître progressivement (Nous avons trouvé qu'une durée d'apparition d'environ 40 secondes était suffisante).

Lorsque les autres utilisateurs voient apparaître un point d'exclamation, ils peuvent rejoindre l'endroit où il a été placé en le sélectionnant soit directement dans l'univers virtuel ou dans leur monde en miniature. Ils sont alors transportés près du point d'exclamation afin de pouvoir interagir avec l'utilisateur qui l'a déposé.

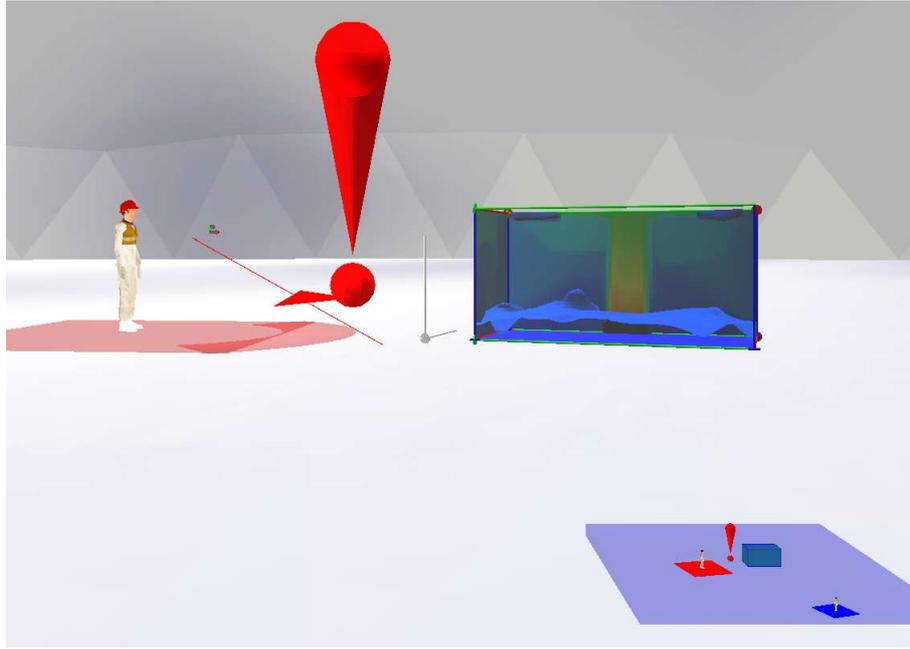


FIG. 2.11 – Point d’exclamation animé pour attirer l’attention des autres utilisateurs. On le retrouve également dans le monde en miniature

2.3 Démonstration utilisant le concept de CVI

Après avoir présenté les différentes améliorations proposées lors de mon stage de Master recherche, nous allons détailler l’application de démonstration que nous avons développée. Cette application concrète du concept de CVI intègre également ces nouvelles améliorations. Nous commencerons par situer le cadre de l’application, ainsi que les buts recherchés. Nous présenterons ensuite les différentes solutions que nous avons proposées pour réaliser cette application, ainsi que la démonstration que nous avons faite lors du salon de réalité virtuelle de « Laval Virtual ».

2.3.1 Buts de l’application

L’application développée lors de mon Master recherche est le résultat d’un échange entre l’équipe « Bunraku » et EDF dans le cadre d’une collaboration entre le projet « Part@ge » (l’homme en interaction collaborative avec un environnement 3D) et le projet « SCOS » (visualisation de données scientifiques). Le but de cette application est de permettre à des experts de chez EDF de se retrouver dans un univers virtuel afin de pouvoir exploiter à plusieurs des résultats de calcul scientifique.

2.3.1.1 Visualiser des données scientifiques

Les données à visualiser sont des résultats de simulation qui nous sont fournis directement par EDF. Le temps de calcul et la taille des données nécessaires pour obtenir ces résultats étant très importants, nous ne faisons qu’exploiter les données géométriques qui nous sont fournies par EDF.

Pour notre application, EDF nous a fourni des données provenant de la simulation d’un cas d’école : il y a une pièce dans laquelle se trouve un radiateur et deux bouches d’extraction d’air dans deux des coins supérieurs de la pièce. On veut voir comment la chaleur se répartit dans la pièce à partir du moment où l’on allume le radiateur jusqu’à ce que l’état stationnaire soit atteint. EDF nous fournit donc les géométries d’isosurfaces à des températures et des pas de temps de la simulation différents (cf. figure n° 2.12), ainsi que des plans de coupes des températures de la pièce selon les trois axes et pour des pas de temps différents.

Il y a un grand nombre de géométries différentes. Il faut donc trouver un moyen de visualiser cette grande quantité de données d’une façon la plus intuitive possible et qui permette de les visualiser à plusieurs utilisateurs en même temps.

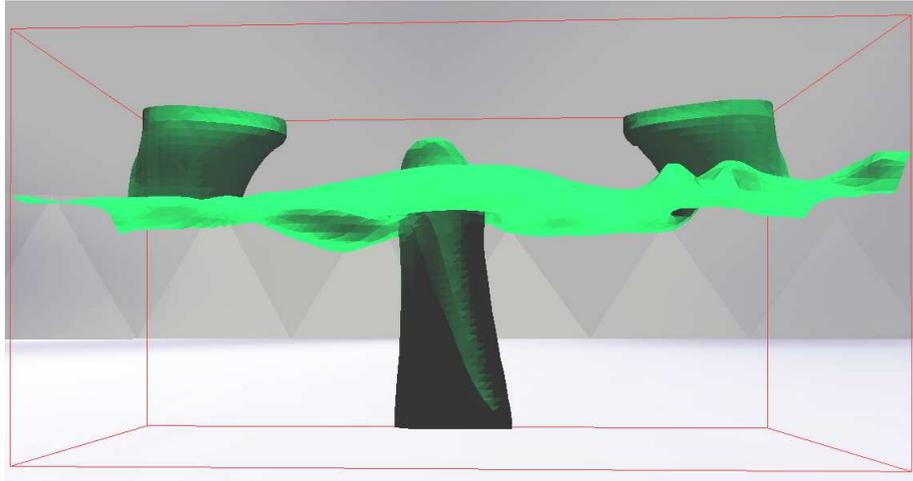


FIG. 2.12 – Exemple d’une isosurface de température fournie par EDF

2.3.1.2 Faire collaborer des experts dans un même univers virtuel

Le but de l’application est de permettre à des experts, qui ne sont pas forcément présents sur le même lieu géographique, de se retrouver dans un univers virtuel pour travailler ensemble sur ces résultats de calcul. Pour que l’aspect collaboratif soit un atout, on souhaiterait :

- que chaque utilisateur puisse évoluer indépendamment des autres, c’est-à-dire qu’il ait sa propre position, sa propre échelle et qu’il soit libre de ses déplacements,
- que chaque utilisateur puisse travailler sur des données scientifiques différentes,
- mais aussi, que plusieurs utilisateurs puissent travailler ensemble sur une même donnée,
- qu’un utilisateur puisse alerter les autres utilisateurs et leur montrer les détails qu’il a trouvés intéressants,
- qu’un utilisateur puisse laisser des annotations pour les autres utilisateurs,
- que les utilisateurs puissent communiquer facilement entre eux.

Le concept de CVI avec les améliorations proposées semble particulièrement bien répondre à cette problématique, car il garantit l’indépendance des différents utilisateurs (vis-à-vis de leur déplacement, de leur échelle par exemple), mais il permet aussi des interactions collaboratives grâce aux différents outils transportés dans la CVI. Le concept de CVI offre aussi le moyen de représenter, dans l’univers virtuel, chaque utilisateur et son espace de travail grâce à la représentation virtuelle de sa CVI.

2.3.2 Solutions proposées

Nous avons donc intégré le concept de CVI dans notre application, ce qui permet de gérer la navigation et le transport des outils pour chacun des utilisateurs. Nous avons également ajouté pour chaque utilisateur un monde en miniature afin qu’il puisse se repérer dans l’univers virtuel, mais aussi repérer les autres utilisateurs.

Concernant le travail collaboratif, c’est suite à la demande des experts d’EDF que nous avons développé certains outils d’exploration coopérative vus précédemment (cf. partie 2.2.3.2 et 2.2.3.3). En particulier, ils souhaitaient pouvoir annoter l’univers virtuel pour pouvoir attirer l’attention des utilisateurs sur des points de détail importants, comme par exemple des zones de surpression, de surchauffe, etc.

Chacune des données EDF (isosurface ou plan de coupe) est un objet de l’univers virtuel que les utilisateurs peuvent déplacer, ce qui peut permettre, par exemple, à un utilisateur de juxtaposer deux données pour les comparer entre elles. Ces données sont également présentes dans le monde en miniature sous forme simplifiée afin de permettre à l’utilisateur de se repérer dans l’univers virtuel, principalement lorsqu’il y a beaucoup de données. Par ailleurs, les points de vue relatifs (cf. partie 2.2.3.2) sont placés relativement aux données EDF, ce qui permet aux experts de détailler chacune de ces données de façon indépendante.

Nous avons proposé deux organisations différentes des données, chacune ayant leurs avantages et leurs inconvénients :

2.3.2.1 Sélection d'une donnée dans un regroupement de données

Nous regroupons ici les données dans une structure qui va nous permettre de demander l'affichage de l'une des données grâce à la sélection d'un critère. On peut passer d'une donnée à une autre en utilisant un curseur (cf. figure n° 2.13) qui permet de sélectionner le pas de temps de la simulation, la température ou la position de la donnée que l'on veut voir.

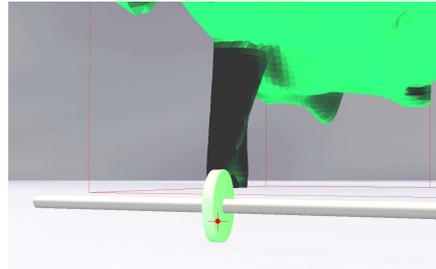


FIG. 2.13 – Curseur permettant de faire varier le pas de temps de la simulation

Dans notre application, nous utilisons plutôt des regroupements « bi-dimensionnels » qui permettent de regrouper des éléments que l'on pourra ainsi sélectionner sur deux critères : le pas de temps et la température pour les isosurfaces (cf. figure n° 2.14) ou le pas de temps et la position pour les plans de coupe (cf. figure n° 2.15).

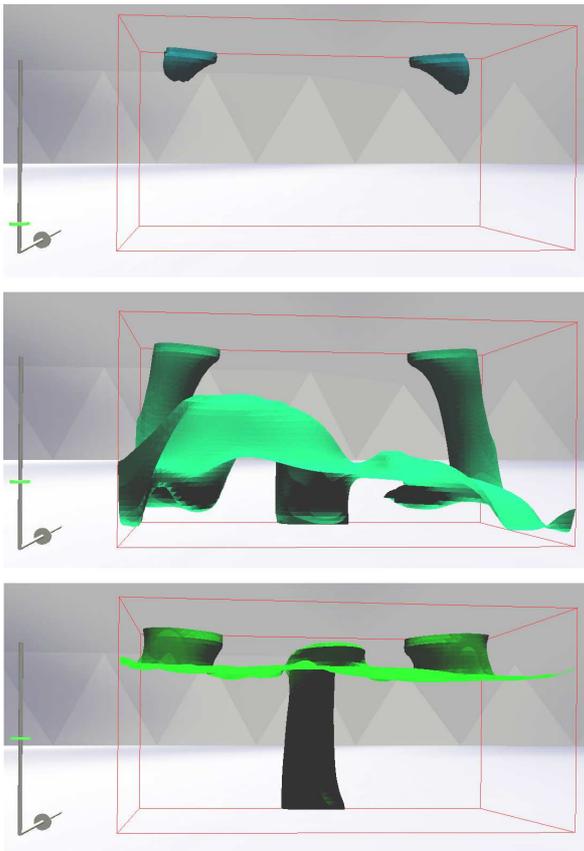


FIG. 2.14 – Isosurfaces à des températures différentes obtenues en déplaçant le curseur de gauche

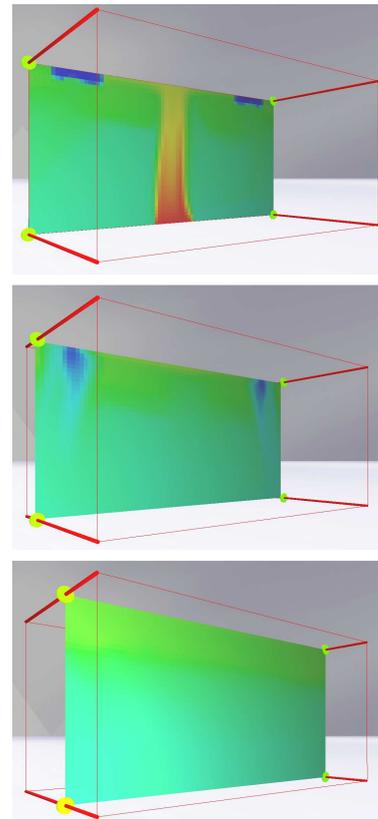


FIG. 2.15 – Plans de coupe à des positions différentes obtenues en déplaçant un des curseurs situés aux coins du plan de coupe

Avantages Ce type d'organisation des données présente plusieurs avantages :

- On peut superposer à la fois les isosurfaces et les plans de coupe selon les trois axes (cf. figure n° 2.16), ce qui permet d'avoir une utilisation plus intuitive des quatre types de données.
- Les isosurfaces et les plans de coupe selon les trois axes sont synchronisés au même pas de temps.
- Peu de données sont présentes en même temps dans l'univers virtuel, ce qui évite de ralentir l'application.

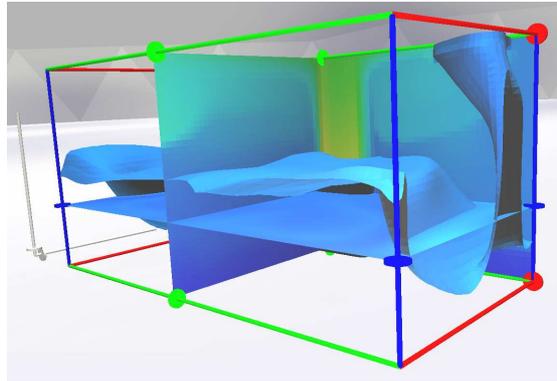


FIG. 2.16 – On utilise ici les isosurfaces et les plans de coupe selon les trois axes, superposés

Inconvénients Cependant, cette organisation ne donne pas la possibilité d'avoir accès à toutes les données en même temps, ce qui ne permet pas :

- à plusieurs utilisateurs de travailler en même temps sur des données différentes,
- de comparer la même donnée à des pas de temps différents.

2.3.2.2 Données « dispersées »

La deuxième solution proposée pour organiser les données consiste à les répartir de façon organisée dans l'univers virtuel. Ainsi les utilisateurs peuvent se déplacer au milieu des données comme s'ils se « promenaient » dans un « musée ». Nous avons choisi de répartir les isosurfaces selon deux dimensions : un axe pour les températures et un axe pour les pas de temps de la simulation (cf. figure n° 2.17). Cela nous permet de représenter les variations de temps et de température via une dispersion spatiale.

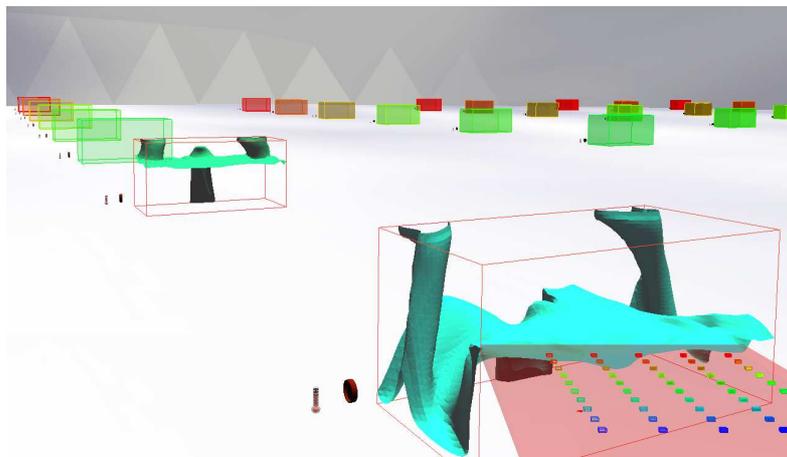


FIG. 2.17 – Les isosurfaces sont « dispersées » dans l'univers virtuel selon deux dimensions (une pour le temps, l'autre pour la température). On peut également voir l'ensemble des données dans le monde en miniature.

Nous avons développé un outil pour se déplacer facilement de donnée en donnée. Cela permet aux utilisateurs de parcourir les données de façon automatique et de leur éviter de perdre du temps à se repositionner correctement à chaque fois qu'ils veulent observer une nouvelle donnée. On regroupe au préalable les objets (ici, les données EDF) que l'on veut parcourir à la suite. Contrairement au cas précédent, ce regroupement est ici un regroupement « logique » et non plus un regroupement « physique » sous forme de superposition 3D. Cela peut être fait soit à la création de l'univers virtuel, soit dynamiquement par un utilisateur lors du déroulement de l'application. Chacun des objets appartenant à un groupe est alors marqué d'une petite icône propre à chaque groupe (cf. figure n° 2.18). Lorsqu'un utilisateur sélectionne l'icône d'un des objets, il définit ainsi le groupe qu'il va parcourir et l'objet courant vis-à-vis duquel il va être repéré. Puis avec des boutons « Next » et « Previous », il va pouvoir parcourir les différents objets du groupe. Il sera alors placé de telle façon que sa position relative par rapport au nouvel objet soit exactement la même que sa position relative à l'objet courant lorsqu'il avait appuyé sur un des deux boutons. Ainsi, lorsqu'un utilisateur est placé à un endroit intéressant par rapport à l'objet courant et qu'il passe à l'objet suivant, il sera alors placé au même endroit par rapport au nouvel objet. Cela lui permet d'une part d'éviter d'avoir à ré-effectuer la tâche de placement et d'autre part de pouvoir comparer facilement les deux objets entre eux. De même que pour le parcours des points de vue, nous avons trouvé qu'il était judicieux d'effectuer une interpolation lors du passage de donnée en donnée afin de permettre à l'utilisateur de mieux se situer dans l'univers virtuel lorsqu'il est déplacé automatiquement.

Dans notre application, nous créons deux types de groupe lors de la création de l'univers virtuel : les groupes contenant les isosurfaces ayant la même température et les groupes contenant les isosurfaces qui appartiennent au même pas de temps de la simulation. Ainsi, les utilisateurs vont pouvoir se déplacer de donnée en donnée en faisant varier soit la température, soit le pas de temps. On pourrait aussi imaginer qu'un utilisateur crée son propre groupe avec les données qu'il a trouvé intéressantes lors de son exploration de l'univers virtuel.

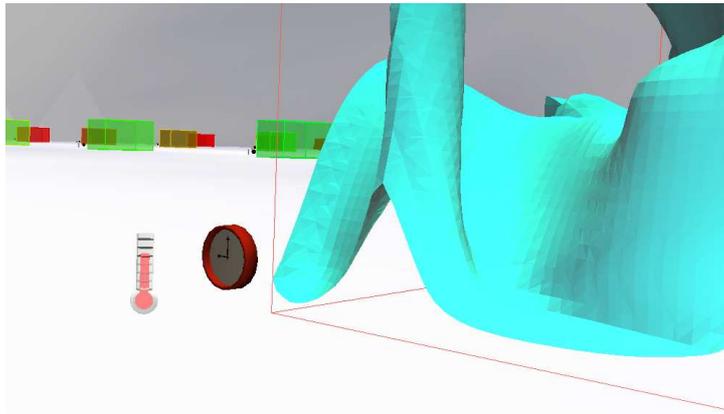


FIG. 2.18 – Les petites icônes à gauche de la donnée permettent de définir cette donnée comme la donnée courante et de sélectionner le groupe à parcourir (celui qui fait varier la température (thermomètre) ou le pas de temps (horloge)).

Avantages Ce type d'organisation des données présente plusieurs avantages :

- Chaque utilisateur peut travailler sur la donnée qui l'intéresse indépendamment des autres.
- Il peut être intéressant d'avoir une vue d'ensemble des données.
- Il est assez intuitif pour l'utilisateur de passer de donnée en donnée.

Inconvénients Le principal inconvénient de cette organisation est qu'elle est très coûteuse au niveau du rendu graphique. En effet, on ne peut pas afficher toutes les données en même temps afin de ne pas ralentir l'application. Nous avons été obligés d'ajouter des niveaux de détail dans les données afin de ne pas surcharger la scène 3D. Par ailleurs, il est plus difficile de mettre en relation les isosurfaces et les plans de coupe car ils ne sont pas forcément présents au même endroit de l'univers virtuel.

Il pourrait également être intéressant de mixer ces deux modes d'organisation de données. On pourrait, par exemple, associer trois regroupements de plans de coupe à chaque isosurface. Cependant, il faut faire attention à ne pas trop surcharger la scène 3D au niveau visuel et pour ne pas trop ralentir l'application (le rendu visuel). Le fait d'ajouter beaucoup de données augmente aussi les temps de chargements, soit au démarrage de l'application, soit durant l'application si ces chargements se font dynamiquement.

2.3.3 Démonstration lors de « Laval Virtual »

Nous avons présenté cette application lors du salon de réalité virtuelle de « Laval Virtual² » qui s'est déroulé du 9 au 12 avril 2008. Les trois premiers jours du salon étant réservés aux professionnels, nous avons donc pu faire une démonstration de notre application aux différents professionnels (universitaires et industriels) venus visiter le salon.

Pour effectuer notre démonstration, nous avons installé trois stations de travail réparties sur deux stands différents du salon (nous n'avons pas pu disposer d'un dispositif immersif). Une des trois machines se trouvait sur le stand du pôle « Images et Réseaux », tandis que les deux autres se trouvaient sur le stand du projet « Part@age », ce qui permettait de souligner l'aspect distribué à distance de notre application. Chacune des trois stations de travail offrait la possibilité à un utilisateur de naviguer et d'interagir dans l'univers virtuel. Il était donc possible d'avoir trois utilisateurs à travailler ensemble autour des données scientifiques d'EDF.

Comme nous n'avions pas de dispositif immersif, nous avons intégré des « Wiimotes³ » afin de rendre la navigation et les interactions plus intuitives qu'avec le clavier et la souris. Cette manette est composée de deux parties : un joystick qui permettait de naviguer dans l'univers virtuel et la manette à proprement parler qui est constituée de plusieurs boutons et d'une caméra infrarouge. Grâce à deux LED infrarouge placées sur les écrans des stations de travail, la manette servait de dispositif de pointage. En effet, dès que la caméra infrarouge de la manette captait les deux LED de l'écran, il était possible d'associer la position de la manette avec un curseur sur l'écran. Ce curseur perçu comme un curseur 2D par l'utilisateur qui le manipulait, était en fait un rayon virtuel 3D dans l'univers virtuel (cf. partie 2.4.1). La manette était donc utilisée pour interagir dans l'univers virtuel : le curseur qu'elle contrôlait et ses différents boutons permettaient de sélectionner et de manipuler les objets du monde 3D, de changer d'échelle, de poser des points de vue, de rejoindre des points de vue, d'activer les boutons « Next » et « Previous », etc.

Enfin, nous avons ajouté un micro et un casques audio sur chacune des stations de travail pour que les utilisateurs puissent communiquer facilement entre eux par la voix, lorsqu'ils ne se trouvaient pas sur le même stand.

2.4 Evaluation de différentes méthodes d'interaction

Pour la démonstration de « Laval Virtual », nous avons développé un curseur 2D / rayon virtuel 3D pour permettre des interactions collaboratives lorsque l'utilisateur se trouve dans un dispositif non-immersif ou semi-immersif. Nous avons souhaité comparer cette métaphore d'interaction avec le rayon virtuel 3D traditionnellement utilisé pour des applications utilisant un dispositif immersif. Cette évaluation s'est concrétisée par la soumission d'un article pour la conférence VRST (Virtual Reality Software and Technology) qui se déroulera à Bordeaux du 27 au 29 Octobre 2008.

2.4.1 Description du curseur 2D / rayon virtuel 3D

Ce curseur est en fait un rayon 3D qui est situé toujours à la même distance de son utilisateur. Lorsque le curseur est déplacé, il est orienté automatiquement de telle façon que l'utilisateur, qui le manipule, voit uniquement la base du rayon (cf. figure n° 2.19).

Ainsi, l'utilisateur du curseur a l'impression de manipuler un curseur 2D qu'il déplace sur l'écran. On peut alors utiliser un périphérique 2D pour le contrôler, comme une souris ou une

²www.laval-virtual.org

³manettes de la console de jeux video « Wii »



FIG. 2.19 – Le curseur 2D / rayon virtuel 3D jaune vu par son utilisateur

« Wiimote », ce qui est pratique dans le cas où l'on utilise un dispositif non-immersif ou semi-immersif.

Par ailleurs, dans le cas d'une application collaborative, les autres utilisateurs voient bien le curseur comme un rayon virtuel 3D dans l'univers virtuel, ce qui est important pour comprendre quels objets sont manipulés par le propriétaire du rayon.

2.4.2 Expérience réalisée

Nous avons choisi d'évaluer quatre types de dispositif d'interaction différents :

Technique 1 (dispositif non-immersif) :

- une station de travail
- une souris pour contrôler le curseur 2D / rayon virtuel 3D
- le joystick de la « Wiimote » pour se déplacer



Technique 2 (dispositif semi-immersif) :

- un grand écran
- la « Wiimote » pour contrôler le curseur 2D / rayon virtuel 3D
- le joystick de la « Wiimote » pour se déplacer

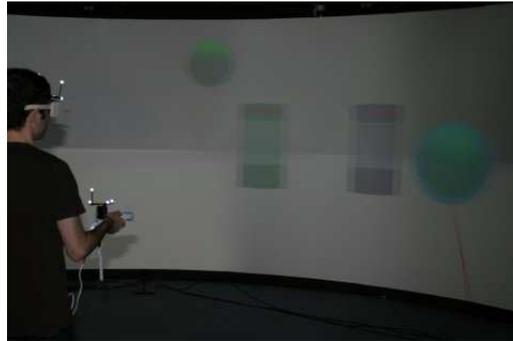


Technique 3 (dispositif immersif sans *tracking* de tête) :

- une vision stéréoscopique dans le Reality Center
- l'« ArTracking » pour repérer la source du rayon virtuel (cf. figure n° 2.4)
- le joystick de la « Wiimote » pour se déplacer

Technique 4 (dispositif immersif avec *tracking* de tête) :

- une vision stéréoscopique dans le Reality Center avec *tracking* de la tête de l'utilisateur
- l'« ArTracking » pour repérer la source du rayon virtuel
- le joystick de la « Wiimote » pour se déplacer



Pour comparer entre elles ces différentes techniques, nous avons développé une application où l'utilisateur doit simplement placer quatre objets sur quatre supports (cf. figure n° 2.20).

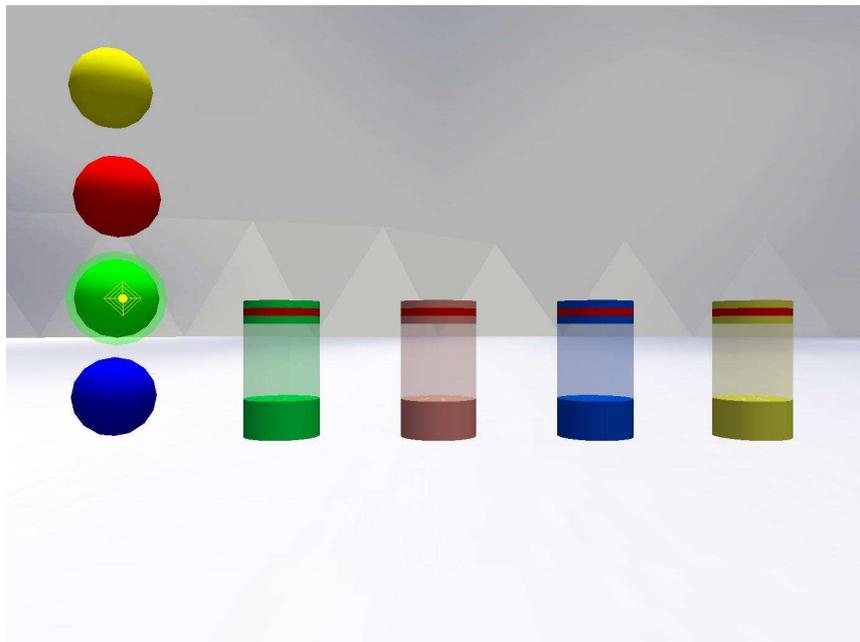


FIG. 2.20 – L'application expérimentale consiste à placer chacune des boules sur le support de même couleur

Trente quatre personnes se sont portées volontaires pour participer à l'expérience. Pour chacun des quatre dispositifs, nous leur avons demandé de réaliser deux types de manipulations : trois manipulations où les boules étaient dans le même plan que leur support et trois manipulations où les boules n'étaient pas dans le même plan que leur support, ce qui obligeait les personnes à gérer en plus la profondeur. A chaque fois, ils ont réalisé les deux types de manipulations avec trois tailles de boules différentes. Plus les boules étaient petites plus elles étaient difficiles à placer.

2.4.3 Résultats

Pour chacune des manipulations, nous avons mesuré le temps pour réaliser la tâche (placer les quatre objets sur leur support)(cf. figure n° 2.21), ainsi que la précision du placement des objets sur leur support et le nombre de sélection par objet. Nous avons également demandé aux personnes de remplir un questionnaire afin de savoir quelle technique ils ont trouvée la plus efficace, la plus agréable, la plus fatigante, etc.

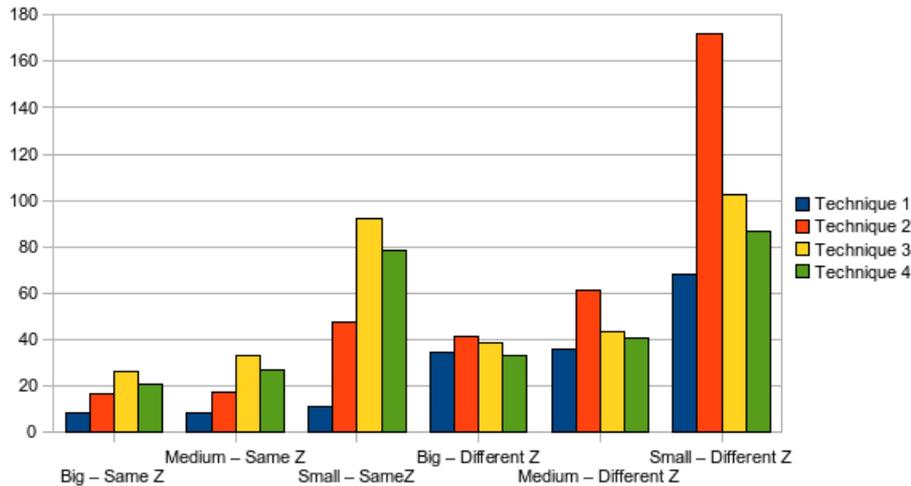


FIG. 2.21 – Graphique du temps mis pour réaliser les six tâches avec chacune des quatre techniques

Cela nous a permis de valider les hypothèses suivantes :

- La souris (technique 1) est le périphérique le plus efficace (rapide et précis) pour réaliser les tâches de placement planaires et non planaires.
- La meilleure solution pour les interactions 3D est le dispositif immersif avec le *tracking* de tête (technique 4). En effet, même si en terme d'efficacité, elle arrive légèrement derrière la souris, c'est cette technique que les utilisateurs ont majoritairement préférée.
- Le curseur 2D / rayon virtuel 3D est aussi efficace que le dispositif immersif avec le *tracking* de tête (technique 4). En conséquence, on peut imaginer que des utilisateurs n'ayant pas de dispositif immersif puisse interagir dans un environnement virtuel collaboratif avec le curseur 2D / rayon virtuel 3D. Ils seront alors perçus comme des autres utilisateurs, c'est-à-dire comme s'ils avaient un rayon virtuel.
- Dans les environnements semi-immersifs (pas de vision stéréoscopique et pas de *tracking* de tête), le curseur 2D / rayon virtuel 3D est plus efficace que le rayon virtuel, car le fait que ce dernier ne soit pas co-localisé le rend difficile à utiliser.

Conclusion et perspectives

Etat initial

Après avoir vu, dans l'état de l'art, que le couplage de la navigation et de l'interaction était généralement traité au « cas par cas » dans les différentes applications de réalité virtuelle, nous avons vu que le concept de CVI permettait de gérer ce couplage de façon générique, que l'application soit collaborative ou multi-échelle. Par ailleurs, nous avons également vu qu'il existe des contraintes supplémentaires pour naviguer et interagir dans un univers virtuel lorsque l'utilisateur se trouve en immersion. En particulier, il existe des contraintes dues à la nature du dispositif immersif (zone de déplacement physique restreinte, portée des outils d'interactions limitée, etc) ou au fait que l'on doit maintenir la relation réel/virtuel même lorsque l'utilisateur navigue ou change d'échelle dans l'univers virtuel. Etant donné que la CVI a son référentiel propre (qui reste le même lorsque la CVI est déplacée ou changée d'échelle), le concept de CVI offre la possibilité de gérer simplement la mise en correspondance du réel avec le virtuel. Enfin, nous avons vu que le concept de CVI permet à plusieurs utilisateurs de se retrouver dans le même univers virtuel et d'y évoluer librement (sans être contraint par la position ou l'échelle des autres utilisateurs).

Contribution

Parmi les différentes améliorations du concept de CVI que nous avons développées durant mon stage de Master recherche, on peut distinguer deux axes. Le premier axe d'amélioration était d'augmenter la qualité de l'immersion d'un utilisateur présent dans une CVI. Nous avons donc développé des solutions pour lui permettre de visualiser les limites spatiales de son déplacement physique dans le dispositif immersif, ainsi que le champ d'action de l'outil d'interaction qu'il utilise. Ces améliorations permettent à l'utilisateur d'avoir conscience des limitations du dispositif immersif afin qu'il puisse adapter sa façon de naviguer et d'interagir en tenant compte de ces limitations. Nous avons également ajouté des fonctionnalités afin de mettre en relation la position de la tête de l'utilisateur avec sa vision de l'univers virtuel et de co-localiser certains objets présents à la fois dans le monde réel et dans l'univers virtuel, comme le rayon virtuel que l'utilisateur utilise pour sélectionner et manipuler les objets du monde 3D. Cette mise en relation du réel et du virtuel permet à l'utilisateur d'être pleinement immergé dans l'univers virtuel et de pouvoir effectuer les tâches de positionnement et d'interaction d'une façon très intuitive. Le deuxième axe d'amélioration était l'aspect collaboratif de la CVI. En plus de permettre aux utilisateurs de cohabiter dans l'univers virtuel, nous avons souhaité que les utilisateurs puissent explorer l'univers virtuel de façon coopérative. Nous avons donc développé des outils pour faciliter le travail collaboratif dans l'univers virtuel. Nous avons proposé de permettre à un utilisateur de laisser des points de vue dans l'univers virtuel afin d'offrir la possibilité aux autres utilisateurs de venir voir les détails qu'il a trouvés intéressants. Grâce à une autre fonctionnalité, un utilisateur peut placer un point d'exclamation dans l'univers virtuel afin d'inviter les autres utilisateurs à le rejoindre pour leur montrer un détail ou pour discuter d'un problème qu'il a rencontré. Ces différents outils permettent de faire de l'exploration coopérative un atout pour les utilisateurs.

En parallèle, nous avons développé une démonstration afin d'illustrer le concept de CVI. L'application concrète que nous avons développée, est le résultat d'une collaboration entre les projets « Part@ge » et « SCOS ». Elle a pour but de permettre à des experts de venir exploiter à plusieurs des données scientifiques qui nous sont fournies par EDF. Cette application illustre bien le concept

de CVI car elle est à la fois multi-échelle (on peut avoir besoin de changer d'échelle pour étudier les données scientifiques) et collaborative (les experts ont besoin de se retrouver à plusieurs pour travailler autour de ces données). Nous avons développé pour cette application deux méthodes pour organiser les données scientifiques : un regroupement de données ou une dispersion de données dans l'univers virtuel. Par ailleurs, nous avons montré cette démonstration lors du salon de réalité virtuelle de « Laval Virtual ».

Par ailleurs, l'évaluation des différentes métaphores d'interaction a permis de montrer que dans le cas d'un dispositif semi-immersif, la métaphore du curseur 2D / rayon virtuel 3D que nous avons développé pour la démonstration de « Laval Virtual » était plus efficace que le rayon virtuel. En effet, il permet à l'utilisateur, qui le manipule, de l'utiliser comme un simple curseur 2D. Par contre, les autres utilisateurs présents dans l'univers virtuel voient bien un rayon virtuel 3D, ce qui est essentiel pour comprendre ce que fait le premier utilisateur. Nous avons donc soumis un article présentant cette métaphore, ainsi que les résultats de notre évaluation à la conférence VRST (Virtual Reality Software and Technology).

Perspectives

Cependant, il reste encore des améliorations à apporter au concept de CVI et principalement pour l'exploration coopérative. D'une part, on peut améliorer les outils développés pendant mon stage. On pourrait, par exemple, ajouter des descriptions aux points de vue que les utilisateurs laissent dans l'univers virtuel afin de connaître la signification de chaque point de vue. On pourrait également ajouter des trajectoires entre les différents points de vue afin de permettre aux utilisateurs de savoir dans quel ordre ils vont parcourir un ensemble de points de vue. D'autre part, il pourrait être intéressant de développer des techniques pour permettre aux utilisateurs de naviguer ensemble dans l'univers. Par exemple, on pourrait imaginer que des utilisateurs puissent naviguer par groupe dans l'univers virtuel. Il faudrait aussi ajouter la gestion des droits sur les différentes interactions collaboratives afin d'éviter, par exemple, qu'un utilisateur puisse déplacer un autre utilisateur alors qu'il n'en a pas envie ou qu'un utilisateur déplace le curseur d'un regroupement de données alors qu'un autre utilisateur est en train d'étudier la donnée courante de ce regroupement.

Enfin, une autre perspective serait de proposer des outils pour faciliter le déploiement d'applications coopératives utilisant le concept de CVI et les améliorations proposées. On pourrait, par exemple, avoir un outil qui nous permette d'adapter la CVI au besoin de l'application et au type de dispositif immersif utilisé. Il serait également intéressant de développer des « meta-outils » pour faire évoluer facilement les outils et les métaphores d'interactions existants, ainsi que pour créer de nouveaux outils ayant des fonctionnalités proches.

Annexe

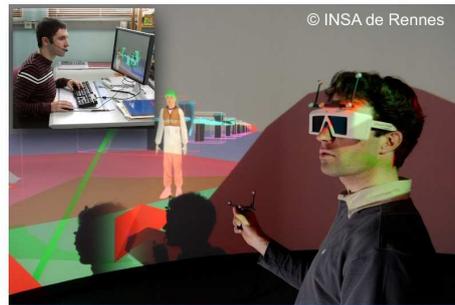


Collaboration autour de données de simulation



Il s'agit ici de permettre à des utilisateurs d'explorer de façon coopérative un univers virtuel dans lequel on va trouver des résultats de calculs scientifiques de type mécanique des fluides.

Plusieurs modes d'exploration seront proposés à trois utilisateurs qui auront la possibilité d'annoter l'univers virtuel en y déposant des points de vue absolus ou associés à des objets du monde.



Ces utilisateurs pourront également se coordonner pour se rejoindre ou pour aller d'un point de vue à un autre.

Partenaires : INSA de Rennes (Part@ge) et EDF R&D Clamart (SCOS)

Contact : Thierry.Duval@irisa.fr



FIG. 3.1 – Poster de la démonstration de « Laval Virtual »

Bibliographie

- [Amo06] K. Amokrane. Etude et proposition d'un formalisme pour la gestion dynamique des interactions dans les environnements virtuels collaboratifs. Master's thesis, Université d'Evry Val d'Essonne, 2006.
- [AW00] R. Arsenault and C. Ware. Eye-hand co-ordination with force feedback. In *CHI '00 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 408–414, 2000.
- [BDHO92] J. Butterworth, A. Davidson, S. Hench, and M. T. Olano. 3DM : A three dimensional modeler using a head-mounted display. In *SI3D '92 : Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 135–138, 1992.
- [BKLP04] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola, and I. Poupyrev. *3D User Interfaces : Theory and Practice*. Addison Wesley, 2004.
- [CW99] S. Coquillart and G. Wesche. The virtual palette and the virtual remote control panel : A device and an interaction paradigm for the responsive workbench(tm). In *VR '99 : Proceedings of the IEEE Virtual Reality*, page 213, 1999.
- [DC06] T. Duval and A. Chauffaut. La cabine virtuelle d'immersion (CVI) : un mode de transport des outils d'interaction dans les univers 3D. In *IHM '06 : Proceedings of the 18th international conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pages 167–170, 2006.
- [Dom06] L. Dominjon. *Contribution à l'étude des techniques d'interaction 3D pour la manipulation d'objets avec retour haptique en environnement virtuel à l'échelle humaine*. PhD thesis, Ecole Doctorale d'Angers, 2006.
- [FBHH99] M. Fraser, S. Benford, J. Hindmarsh, and C. Heath. Supporting awareness and interaction through collaborative virtual interfaces. In *UIST '99 : Proceedings of the 12th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 27–36, 1999.
- [Han97] C. Hand. A survey of 3D interaction techniques. *Comput. Graph. Forum*, 16(5) :269–281, 1997.
- [KNBP06] R. Kopper, T. Ni, D. A. Bowman, and M. Pinho. Design and evaluation of navigation techniques for multiscale virtual environments. In *VR '06 : Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference*, page 24, 2006.
- [KT99] M. Kallmann and D. Thalmann. Direct 3d interaction with smart objects. In *VRST '99 : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 124–130, 1999.
- [LAFKZ01] J. J. Jr. LaViola, D. Acevedo Feliz, D. F. Keefe, and R. C. Zeleznik. Hands-free multi-scale navigation in virtual environments. In *SI3D '01 : Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 9–15, 2001.
- [LL98] C.-R. Lin and R. B. Loftin. Application of virtual reality in the interpretation of geoscience data. In *VRST '98 : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 187–194, 1998.
- [MBJS97] M. R. Mine, F. P. Brooks Jr., and C. H. Sequin. Moving objects in space : Exploiting proprioception in virtual-environment interaction. *Computer Graphics*, 31(Annual Conference Series) :19–26, 1997.

- [OC05] M. Ortega and S. Coquillart. Prop-based haptic interaction with co-location and immersion : An automotive application. In *HAVE2005 : IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environnements and their Applications*, pages 23–28, 2005.
- [PCVDR99] J. S. Pierce, M. Conway, M. Van Dantzich, and G. Robertson. Toolspaces and glances : storing, accessing, and retrieving objects in 3D desktop applications. In *SI3D '99 : Proceedings of the 1999 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 163–168, 1999.
- [SCP95] R. Stoakley, M. J. Conway, and R. Pausch. Virtual reality on a WIM : interactive worlds in miniature. In *CHI '95 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 265–272, 1995.
- [Sim05] A. Simon. First-person experience and usability of co-located interaction in a projection-based virtual environment. In *VRST '05 : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 23–30, 2005.
- [SPL06] D. Swapp, V. Pawar, and C. Loscos. Interaction with co-located haptic feedback in virtual reality. *Virtual Reality*, 10(1) :24–30, May 2006.
- [Tho05] S. Thomas. Evaluation de paradigmes de navigation et d'interaction en environnements virtuels coopératifs. Master's thesis, Université de Rennes 1, Fev 2005.
- [trv00] *Le traité de la réalité virtuelle*, volume 1. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2ème edition, 2000.
- [WHB06] C. A. Wingrave, Y. Haciahmetoglu, and D. A. Bowman. Overcoming world in miniature limitations by a scaled and scrolling WIM. In *3DUI '06 : Proceedings of the 3D User Interfaces (3DUI'06)*, pages 11–16, 2006.
- [ZF02] X. Zhang and G. W. Furnas. Social interactions in multiscale CVEs. In *CVE '02 : Proceedings of the 4th international conference on Collaborative virtual environments*, pages 31–38, 2002.