

Équipe i3D

Interaction 3D

Rocquencourt

THÈME 3A

R *apport*
d'Activité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	1
3. Fondements scientifiques	2
3.1. Réalité virtuelle	2
3.2. Interaction 3D	3
3.3. Configurations de réalité virtuelle et Plan de Travail Virtuel	3
4. Domaines d'application	4
5. Logiciels	6
5.1. Panorama	6
5.2. Minify	6
5.3. Bibliothèques de détection de collisions et gestion des contraintes	6
5.4. Démonstrateur haptique Virtuouse/CONTACT	8
5.5. Installation de logiciels sur le Plan de Travail Virtuel	8
6. Résultats nouveaux	8
6.1. Panorama	8
6.2. Paradigmes et métaphores d'interaction	9
6.2.1. Quikwrite	9
6.3. Retours haptiques	9
6.3.1. Retour haptique à base de fils sur le Plan de Travail Virtuel.	9
6.3.2. Etude du retour pseudo-haptique pour le retour d'effort en couple	10
6.3.3. Détection de collisions	11
6.3.4. Gestion des contraintes	11
6.4. Facteurs humains	12
6.4.1. Evaluations du « Command and Control Cube »	12
7. Contrats industriels	12
7.1. ESA	12
7.2. EADS - Renault - PSA Peugeot Citroën	12
7.3. INRIA	12
7.4. Régional	13
7.5. National	13
7.6. International	13
9. Diffusion des résultats	13
9.1. Animation de la communauté scientifique	13
9.2. Enseignement universitaire	13
9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations	14
10. Bibliographie	14

1. Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Sabine Coquillart [DR-INRIA]

Assistante de projet

Sandrine Boute [TR - à temps partagé]

Ingénieurs

Boris Mansencal [ingénieur associé - jusqu'au 30 septembre 2002]

Tangui Morvan [ingénieur expert]

Nicolas Tarrin [ingénieur expert]

Doctorants

Mathieu Blossier [bourse MENRT]

Jean-Edouard Coste [financement et co-direction CEA-DAM]

Jérôme Grosjean [bourse MENRT]

Alexis Paljic [bourse INRIA/région Ile de France]

Stéphane Redon [bourse AMX - jusqu'au 30 septembre 2002]

Collaborateur extérieur

Abderrahmane Kheddar [maître de conférences - université d'Evry Val d'Essonne]

Stagiaires

Mazigh Ait-Youcef [DEA RVMSC - de mars à septembre 2002]

Haitem Hemana [DEA RVMSC - de mars à septembre 2002]

Olfa Triki [DEA RVMSC - financement et co-direction IFP]

2. Présentation et objectifs généraux

L'objectif du groupe i3D est de contribuer à rendre l'interaction avec les mondes virtuels au moins aussi simple et intuitive que l'interaction avec le monde réel.

Pour ce faire, trois axes de recherche sont privilégiés :

- L'étude des paradigmes et métaphores d'interaction
- L'étude des retours haptiques¹
- La prise en compte des facteurs humains

L'objectif du groupe i3D est de contribuer à rendre l'interaction avec les mondes virtuels au moins aussi simple et intuitive que l'interaction avec le monde réel. Sont privilégiés :

- **Les approches spatiales** : restitution et acquisition spatiales.
- **Les environnements immersifs** : immersion de la personne dans le monde virtuel ou immersion de l'application dans l'environnement réel de la personne.
- **Une meilleure exploitation des différents canaux sensoriels de l'homme** : visuel, haptique, sonore,...

Ces travaux s'appuient sur une configuration qui a été choisie pour ses potentialités en terme d'interaction et son adéquation avec les critères précédents : le **Plan de Travail Virtuel** (voir 3.3).

Les recherches du groupe s'articulent autour de trois axes :

- **L'étude des paradigmes et métaphores d'interaction.** Des tâches apparemment aussi simples que le déplacement à l'intérieur d'une scène virtuelle ou la prise d'un objet et son repositionnement sont aujourd'hui encore difficiles à réaliser dans un monde virtuel. L'objectif de ce thème

¹retour d'effort et/ou retour tactile

est d'étudier de nouveaux paradigmes et métaphores d'interaction en privilégiant les approches citées ci-dessus.

- **L'étude des retours haptiques.** Il existe plusieurs approches pour restituer une sensation de retour haptique : le *retour haptique actif* (utilisation d'un périphérique à retour haptique), le *retour pseudo-haptique* [18][17], l'utilisation d'accessoires « props » ou *retour haptique passif*, le recours à des *substitutions sensorielles*. L'objectif de ce thème est l'étude de ces différentes approches afin de permettre une meilleure caractérisation du retour haptique en fonction de la tâche à réaliser.
- **La prise en compte des facteurs humains.** En complément des deux thèmes précédents, le groupe de recherche entend chaque fois que c'est possible conduire des expérimentations soit en amont de ses recherches, pour des tests psychophysiques sur la perception humaine ou pour des évaluations de périphériques ou de techniques existantes, soit en aval pour l'évaluation des approches mises au point.

Le groupe i3D souhaite privilégier la généralité des solutions proposées. Les résultats ont pour vocation à être intégrés dans des applications variées issues de domaines applicatifs eux aussi variés. Cependant, concernant les développements applicatifs, le groupe privilégie actuellement les applications les plus prometteuses en terme de valorisation industrielle pour le Plan de Travail Virtuel :

- **L'exploration interactive de données complexes** : résultats de calculs scientifiques, modèles fractals, maillages,...
- **Le prototypage virtuel** : montage/démontage, routage... pour les secteurs automobile, aéronautique,...
- **La modélisation interactive** : définition en machine de la géométrie, aspect,... d'une scène 3D.

3. Fondements scientifiques

3.1. Réalité virtuelle

Mots clés : *réalité virtuelle.*

Nous proposons de commencer ce paragraphe sur les fondements scientifiques en précisant le sens du terme **réalité virtuelle** qui est sujet à discussions. Nous le ferons non pas en proposant une $n + 1^{eme}$ définition mais en situant la réalité virtuelle par référence au domaine de la synthèse d'images qui est plus ancien, mieux délimité, et que l'on a actuellement trop tendance à confondre avec la réalité virtuelle.

La synthèse d'images regroupe l'ensemble des techniques conduisant à la production d'images (fixes ou animées) représentant une maquette numérique, une scène ou un monde virtuel. Pour simplifier, on peut dire que la synthèse d'images est une restitution d'une scène virtuelle à travers un album photo (image fixe) ou un film (images animées).

La réalité virtuelle permet d'enrichir la perception de la scène virtuelle en offrant à la personne la possibilité d'interagir avec cette scène. Il lui est proposé de passer d'un rôle passif à un rôle actif, de « vivre » l'expérience virtuelle au lieu de se contenter de la visionner. En reprenant l'image précédente, la réalité virtuelle peut être comparée à la visite d'un pays en se rendant sur place par opposition au reportage photo ou au film documentaire. Cependant, contrairement au cas réel, où le reportage photo ou le film documentaire sont bien distincts du vécu de l'expérience, dans le monde virtuel il existe un continuum entre les applications graphiques et la réalité virtuelle. C'est principalement la position de cette frontière qui est sujette à discussions. Un premier élément de réponse se trouve en consultant les diverses définitions de la réalité virtuelle. La notion la plus couramment associée au terme réalité virtuelle est celle d'immersion. On parle de réalité virtuelle lorsque l'interaction est suffisamment réaliste pour procurer une sensation d'immersion, de communion, de fusion entre la personne et l'application. Cette notion d'immersion reste bien subjective. Doit-on la préciser ? Ou n'est-elle pas plutôt sujette à évolution au fur et à mesure des progrès de la recherche en réalité virtuelle ?

Nous optons pour cette deuxième solution et nous nous contenterons d'énumérer, dans le désordre, quelques critères conduisant à améliorer l'immersion : vision stéréoscopique, visualisation sur grands écrans, suivi des mouvements de la tête, interaction spatiale, superposition des espaces virtuels et réels, interaction à deux mains, interaction multi-sensorielle, simulation temps-réel,... Pour résumer, nous dirons que plus nombreux sont ces critères, plus forte est la sensation d'immersion et plus justifié est le terme **réalité virtuelle**.

3.2. Interaction 3D

Mots clés : *interaction 3D, IHM.*

L'importance de l'interaction 3D en réalité virtuelle (voir 3.1 pour une définition de la réalité virtuelle) couplée à l'immaturité du domaine, en fait un des **tout premiers défis** de la réalité virtuelle.

Malgré son importance majeure, l'interface homme-application² est actuellement loin de procurer le même niveau de satisfaction que d'autres sous-domaines de l'informatique graphique [11]. En informatique graphique, la course au réalisme engagée depuis plus de vingt ans a conduit à des résultats impressionnants où le monde virtuel est parfois difficilement discernable du monde réel. Qui n'a pas un jour hésité en voyant certaines images de radiosité sur des scènes complexes, avec des effets d'éclairage des plus réalistes. Qu'il s'agisse de la modélisation, de l'animation, ou de la visualisation, nous avons tous un jour douté devant une image ou une séquence d'images que nous ne savions pas comment classer : réel ou virtuel ? En revanche, ce sentiment de doute est beaucoup plus rare dès qu'il y a interaction. A l'inverse, c'est souvent un sentiment de malaise ou de maladresse qui domine. En effet, les processus d'interaction avec les mondes virtuels sont encore souvent très pauvres. Une grande majorité des systèmes est développée sur des configurations 2D du type station de travail. L'interface est aussi fréquemment inspirée du 2D. On retrouve souvent le concept WIMP (windows, icons, menus, and pointing). A titre d'exemple, des opérations aussi simples que la navigation à l'intérieur de scènes 3D virtuelles, ou la manipulation (déplacement) d'entités dans une scène 3D virtuelle, sont des problèmes qui suscitent encore des recherches. Cette relative pauvreté de l'interaction avec les mondes virtuels est d'autant plus mal perçue que le monde réel, dans lequel nous vivons et avec lequel nous avons l'habitude d'interagir, est un monde très riche. Toute « machine » un peu complexe (voiture, vélo, télévision, téléphone, instrument de musique,...) dispose de son propre mode d'interaction adapté à la tâche à accomplir. En contrepartie de cette relative pauvreté des interfaces actuelles, certaines configurations et certaines approches récentes sont très prometteuses. Ce sont des approches plus spécifiquement 3D ou exploitant mieux les différents canaux sensoriels.

En résumé, nous sommes actuellement face à :

- **un réel besoin** : utilisateurs de plus en plus exigeants et foisonnement d'applications.
- **une situation non satisfaisante** : interfaces pauvres : essentiellement 2D, avec une forte sous-utilisation de la bande passante entre l'homme et l'utilisateur.
- **de fortes potentialités** : des configurations et des approches très prometteuses à étudier ou à concevoir.

3.3. Configurations de réalité virtuelle et Plan de Travail Virtuel

Mots clés : *CAVE-tm, mur plats ou cylindriques, plan de travail virtuel, workbench, visiocasque, immersion.*

Beaucoup des travaux de recherche et surtout de développement du groupe sont dictés par le **Plan de Travail Virtuel** acquis fin 1999 par l'INRIA-Rocquencourt. Ce paragraphe décrit brièvement cette configuration et la situe par rapport aux autres configurations de la même classe.

La réalité virtuelle a longtemps été identifiée aux visiocasques. Dans cette classe, on trouve les visiocasques HMD (Head Mounted Display) souvent appelés casques de réalité virtuelle qui isolent l'utilisateur de son

²on parlera d'interface homme-application et non homme-machine comme on a l'habitude de le faire en 2D car l'objectif est bien de rendre la machine transparente et de donner l'impression à l'utilisateur d'interagir directement avec l'application

environnement réel et nécessitent l'usage d'avatars. On trouve aussi les casques semi-transparents (see-through) qui présentent l'avantage de voir le monde réel par transparence mais offrent des caractéristiques en terme de résolution, champ de vision,... trop faibles pour la plupart des applications industrielles.

Les visiocasques sont aujourd'hui souvent délaissés au profit des configurations à base de projections sur grands écrans. Plus récentes, moins invasives et offrant de meilleurs caractéristiques, ces configurations prennent plusieurs formes. Dans cette classe, on trouve les CAVETM, les murs plats ou cylindriques et les Plans de Travail Virtuel (Workbenches). Voir [10] pour une introduction plus détaillée de cette classe de configurations.

La CAVE^{TM3}, [13] est probablement la plus connue de ces configurations. C'est aussi la plus chère et la plus lourde à mettre en œuvre et à maintenir. Elle se présente sous la forme d'une pièce d'environ 3 mètres de côté avec une rétro-projection du monde virtuel sur un nombre de faces allant de 4 (trois murs et le sol) à 6 pour certaines configurations récentes. Cette configuration procure une bonne sensation d'immersion grâce aux écrans qui « entourent » la personne, à la visualisation stéréoscopique et à l'affichage avec capture des mouvements de la tête. Cette configuration est très bien adaptée à des applications de navigations à l'intérieur de grands espaces (visite de sites virtuels : architecture, parc d'attraction, simulation de conduite,...).

Le mur est un grand écran plat ou cylindrique sur lequel le monde virtuel est visualisé à l'aide généralement de 3 projecteurs. Le positionnement des personnes qui sont assises devant l'écran et l'absence de capture des mouvements de la tête en font une configuration plus passive, idéale pour des expériences en groupe d'une vingtaine de personnes comme des revues de projets par exemple.

Le Plan de Travail Virtuel (ou « Workbench », ou « Responsive Workbench »^{TM4} [12], par référence au premier système développé [16][15]) est la plus « légère » de ces configurations (voir Figure 1). Souvent moins connue que la CAVETM, cette configuration n'en est par beaucoup d'aspects pas moins attractive, bien au contraire. Disposant d'un écran horizontal (plus éventuellement un deuxième vertical permettant d'élargir le champ de vision) qui représente un plateau de table, le Plan de Travail Virtuel permet de visualiser une scène virtuelle à portée de mains, devant l'observateur. Pour ce faire, un projecteur vidéo, après réflexion sur un ou plusieurs miroirs, projette l'image par rétro-projection sur l'écran représentant la surface de la table. Une vision en relief est procurée par un système de visualisation stéréoscopique avec lunettes actives. Comme pour la CAVETM, un système de capture des mouvements de la tête est disponible.

Outre sa forme qui la prédestine à des manipulations sur un plateau de table, cette configuration se caractérise par de fortes potentialités en terme d'interactivité. Son système de capture des mouvements de la tête permet une superposition des espaces de visualisation et de manipulation (espace virtuel et espace réel) et ouvre la voie à des interactions plus simples et plus intuitives. De surcroît, alors qu'une immersion maximum de la personne dans le monde virtuel a longtemps été prônée, en particulier avec les visiocasques, cette configuration introduit l'approche inverse, plus confortable : l'immersion de l'application dans l'environnement (réel) de l'utilisateur (dans le bureau d'étude par exemple, à côté ou à la place de la table à dessiner). Ce dispositif vient donc s'insérer dans le monde réel de l'utilisateur, lui procurant des sensations très agréables et très proches de ce qu'il peut connaître quand il observe ou manipule des objets sur une table. C'est donc tout naturellement que les applications de cette configuration sont celles où l'utilisateur observe et manipule des données ou maquettes numériques qui reposent devant lui, à portée de mains.

4. Domaines d'application

Dans le domaine de l'interaction 3D, les applications revêtent un intérêt tout particulier. Outre leur rôle important en matière de transfert industriel, elles sont indispensables en aval et en amont des travaux de recherche que nous menons. Elles permettent à la fois de valider nos travaux, de faire connaître le Plan de Travail Virtuel, et de susciter de nouveaux problèmes d'interaction, donc de nouvelles recherches.

³CAVE est une marque déposée de l'université d'Illinois

⁴« Responsive Workbench » est une marque déposée du GMD

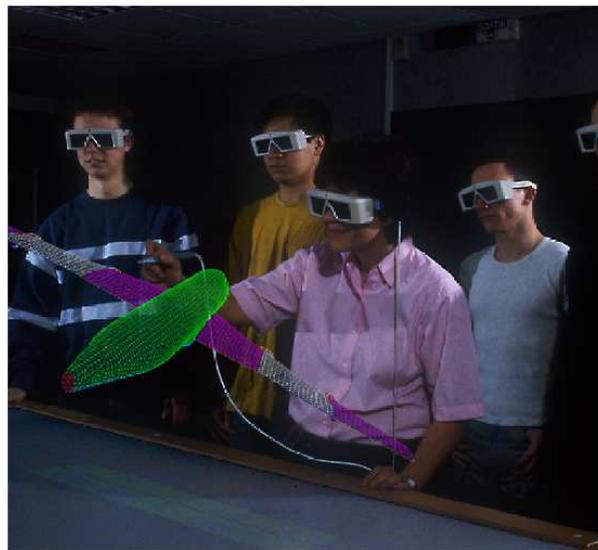


Figure 1. Le Plan de Travail Virtuel

Nous souhaitons privilégier les tâches et les problèmes génériques dans nos recherches. Par conséquent, les résultats de nos travaux ont pour vocation à être intégrés dans des applications variées. Cependant, tout en mettant l'accent sur la généralité des résultats, nous avons choisi quelques applications pour lesquelles l'utilisation du Plan de Travail Virtuel nous semble particulièrement prometteuse. Ces applications sont par ordre d'importance : la visualisation et l'analyse de données complexes (données géologiques, modèles fractals, maillages complexes, graphes,...), le prototypage virtuel (montage/démontage,...) et la modélisation.

Nous ne nous fixons en revanche aucune contrainte sur les domaines applicatifs auxquels nous appliquons nos résultats.

5. Logiciels

5.1. Panorama

Dans la continuité des années précédentes, en 2002, les développements logiciels se sont poursuivis principalement dans deux directions : travaux autour de la plate-forme de visualisation MiniFly et travaux autour du retour haptique (bibliothèques de détection de collisions et gestion des contraintes CONTACT Toolkit, retour haptique sur Virtuose). Les deux axes deviennent complémentaires lors de l'intégration de système à retour d'effort sur le Plan de Travail Virtuel.

5.2. Minifly

Participants : Boris Mansencal, Jérôme Grosjean, Sabine Coquillart.

Minifly est le résultat du portage de Perfly (application Performer) sur le Plan de Travail Virtuel. Ce portage a été initié en 2000. L'utilisation de plus en plus fréquente de cette plate-forme comme base de développements du groupe i3D nous a conduit à l'enrichir année après année. En 2002, de nouveaux outils ont été ajoutés, comme celui d'écriture avec « Quikwrite » (voir 6.2.1). Boris Mansencal et Robert Ehrlich ont travaillé sur le code du gestionnaire du système d'enregistrement des mouvements, Polhemus Fastrack. Le contrôle peut maintenant fonctionner en mode continu, avec Performer. La méthode de chargement des fichiers de configuration (système d'enregistrement des mouvements et menu C^3) de la plate-forme a été assouplie. La plate-forme MiniFly est aussi utilisée pour les premiers tests d'intégration du système haptique Spidar sur le Plan de Travail Virtuel (voir 6.3.1). Cette application vient s'ajouter à celles développées les années précédentes telles que le démonstrateur de visualisation de modèles d'ingénierie, la modélisation à partir d'une image, le démonstrateur de montage/démontage intégrant les bibliothèques CONTACT (voir 6.3.3 et 6.3.4), le système de visualisation de modèles fractales 3D, le premier démonstrateur de retour haptique sur Plan de Travail Virtuel intégrant une poignée à retour d'effort,...

5.3. Bibliothèques de détection de collisions et gestion des contraintes

Participants : Stéphane Redon, Tangui Morvan, Abderrahmane Kheddar, Sabine Coquillart.

Les travaux portant sur la détection de collision et la gestion des contraintes (voir 6.3.3 et 6.3.4) ont été rassemblés dans une bibliothèque C++ portable, CONTACT Toolkit, déposée à l'APP et testée avec succès sur plate-formes Windows NT, Linux et Unix. Plusieurs démonstrateurs ont été mis au point sur stations de travail et sur le Plan de Travail Virtuel.

Afin de pouvoir manipuler les diverses bases de données, mises à disposition par les partenaires industriels, dans la bibliothèque CONTACT Toolkit, un convertisseur a été développé. Ce convertisseur accepte en entrée le format Inventor et produit des fichiers sous le format cdo (format propre à CONTACT Toolkit).

Des simulations interactives avec des objets provenant de bases de données industrielles fournies par Renault et Airbus-EADS ont été réalisées (voir Figure 2).

CONTACT Toolkit a été fourni à EADS, Renault et PSA à des fins de tests et d'évaluations internes.

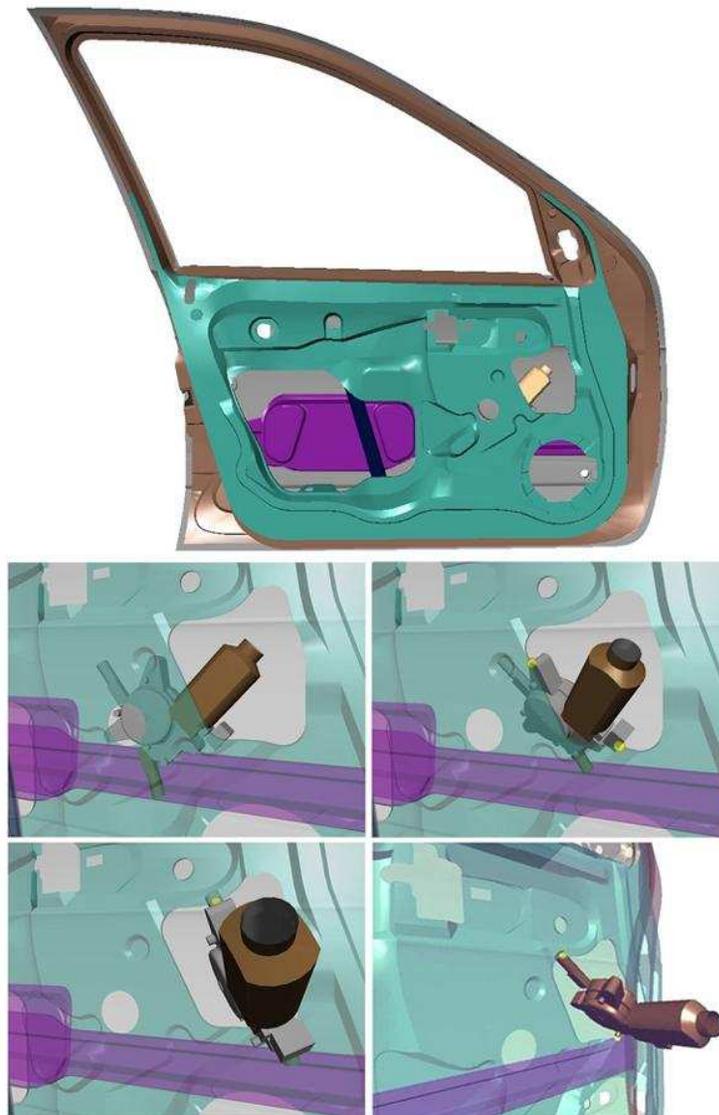


Figure 2. Extraction d'un moteur de lève-vitre d'une portière de voiture - Modèle ©Renault

5.4. Démonstrateur haptique Virtuose/CONTACT

Participants : Tangui Morvan, Stéphane Redon, Nicolas Tarrin, Sabine Coquillart.

Dans le cadre du projet Perf-RV et en collaboration avec le CEA un démonstrateur haptique couplant le bras à retour d'effort Virtuose développé par le CEA et la bibliothèque CONTACT Toolkit (voir 5.3) a été développé. Pour ce faire un prototype de couplage virtuel a, dans un premier temps, été développé sur station de travail, puis ensuite adapté à la bibliothèque de contrôle du Virtuose.

Le démonstrateur ainsi réalisé permet de manipuler des objets simples avec retour d'effort à six degrés de liberté.

5.5. Installation de logiciels sur le Plan de Travail Virtuel

Participants : Boris Mansencal, Sabine Coquillart.

i3D a poursuivi ses efforts de diffusion et de promotion autour de la configuration Plan de Travail Virtuel. Dans ce cadre, le soutien aux industriels souhaitant tester le portage de leurs applications a été poursuivi. Le logiciel Amira de la société TGS a été porté avec succès. Le portage d'Enseight distribué par la société Simulog est en cours.

6. Résultats nouveaux

6.1. Panorama

Les résultats de recherche les plus significatifs se répartissent entre les trois axes de recherche détaillés en 2.1.

- Paradigmes et métaphores d'interaction

Pour cet axe, depuis le début de ses activités, le groupe i3D s'est intéressé prioritairement à des tâches génériques qui sont soit particulièrement difficiles à réaliser dans un environnement tel que le Plan de Travail Virtuel, soit plus difficile à réaliser que dans l'environnement traditionnel d'une station de travail.

En 2001, l'accent avait été mis sur le contrôle d'applications, avec la proposition d'un concept original, le « Command and Control Cube ». Cette année, nos efforts ont été focalisés sur une tâche, aussi générique, et complémentaire du contrôle d'application, la saisie de chaînes de caractères (voir 6.2.1).
- Retours haptiques

Les travaux sur les retours haptiques concernent le retour pseudo-haptique et le retour haptique actif. Ils se déclinent sous deux formes :

 - la poursuite des travaux théoriques sur le retour pseudo-haptique (voir 6.3.2) et sur les outils de base que sont la détection de collisions (voir 6.3.3) et la gestion des contraintes (voir 6.3.4).
 - la poursuite de l'étude sur l'intégration de retours haptiques actifs sur le Plan de Travail Virtuel. Les travaux sur l'intégration du système Spidar [21] sur le Plan de Travail Virtuel se situent dans ce cadre (voir 6.3.1).
- Facteurs humains

L'étude des facteurs humains est une préoccupation commune à la plupart de nos travaux, ce qui fait de cet axe, un axe transversal. Cette année, deux évaluations ont été réalisées. L'une sur le retour pseudo-haptique qui contribue à montrer que les résultats sur le retour pseudo-haptique en force peuvent sous certaines conditions être étendus au retour pseudo-haptique en couple (voir 6.3.2). Cette étude est décrite dans l'axe sur les retours haptiques. L'autre évaluation concerne le menu « Command and Control Cube » C^3 développé en 2001. Cette année, le C^3 a été évalué sous différentes conditions d'utilisation (voir 6.4.1).

6.2. Paradigmes et métaphores d'interaction

6.2.1. Quikwrite

Participants : Jérôme Grosjean, Sabine Coquillart.

Les environnements virtuels comme le Plan de Travail Virtuel nécessitent le développement de nouveaux paradigmes d'interaction. Une opération aussi simple que la saisie de texte, bien que nécessaire dans de nombreuses opérations, comme enregistrer son travail sous un nom de fichier, ou entrer une valeur numérique précise, reste un problème ouvert sur ces configurations. Il n'est en effet ni aisé ni adéquat d'utiliser le clavier traditionnel, trop encombrant. D'autre part, le Plan de Travail Virtuel dispose la plupart du temps de périphériques d'interaction à faible nombre d'entrées (stylo à un bouton, gants sans bouton). Le développement de nouveaux périphériques, plus légers et plus portables serait possible, mais coûteux. D'autre part, ajouter un périphérique par tâche identifiée est une approche qui n'est pas nécessairement souhaitable. Dans l'idée de réutiliser les périphériques standards du Plan de Travail Virtuel, nous avons développé une solution de saisie de texte s'inspirant des assistants personnels digitaux (PDA). En effet, l'écriture sur PDA s'effectue à l'aide d'un stylet et est spécifiée pour la prise de notes simples. Sur le Plan de Travail Virtuel nous disposons d'un stylo dont la position est repérée dans l'espace, et nous avons un objectif identique. Une méthode d'écriture efficace sur PDA s'appelle Quikwrite. Elle se base sur la division d'une zone plane en 3x3 cases (voir Figure quickwrite). Le stylet écrit en se positionnant en case centrale, puis sans quitter la surface, en effectuant des boucles avec les cases adjacentes. Cette méthode permet une écriture assez proche de l'écriture manuscrite, tout en étant logistiquement beaucoup plus légère qu'une reconnaissance d'écriture complète. Cette idée a été adaptée et testée sur le Plan de Travail Virtuel, en utilisant un plan virtuel et le stylo standard comme outil d'interaction. Les premiers résultats ont été présentés dans la session « Sketches and Applications » à la conférence Siggraph'2002 [2].

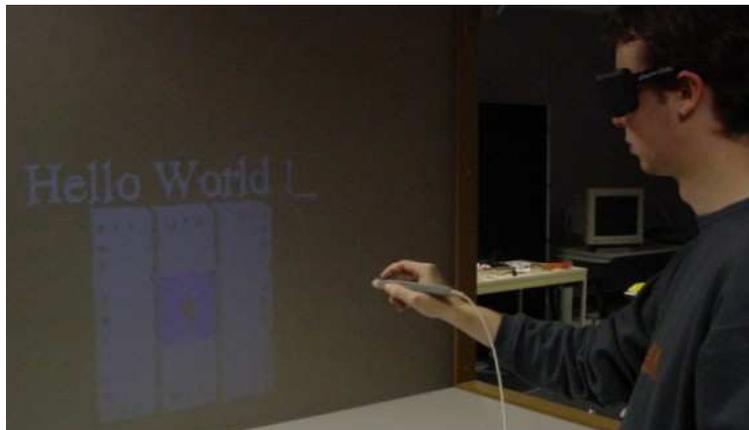


Figure 3. Quikwrite

6.3. Retours haptiques

6.3.1. Retour haptique à base de fils sur le Plan de Travail Virtuel.

Participants : Nicolas Tarrin, Tangui Morvan, Stéphane Redon, Sabine Coquillart.

Ce travail s'inscrit dans la suite des travaux sur l'intégration de retour haptique actif sur le Plan de Travail Virtuel. Suite aux tests réalisés en 2001 avec une poignée à retour d'effort développée par le CEA, une réflexion globale sur les solutions possibles a conduit au choix d'un système de retour haptique souple et léger, à base de fils.

Le système SPIDAR (Space Interface Device for Artificial Reality) développé par l'équipe du professeur Sato du Tokyo Institute of Technology est en cours d'adaptation sur le Plan de Travail Virtuel. Une première

installation a été réalisée et permet de vérifier certaines hypothèses. En effet, comme anticipé lors de la réflexion, l'utilisation d'un système à fils semble résoudre certains des problèmes rencontrés dans d'autres travaux concernant l'installation de systèmes haptiques à base fixe sur des configurations immersives à grands écrans. La perception stéréoscopique de la scène ne semble pas perturbée par la présence des fils, et l'enregistrement des mouvements à l'aide du système électromagnétique s'effectue dans de bonnes conditions. L'installation actuelle nécessite cependant différentes évolutions, notamment l'adaptation de l'espace couvert par le SPIDAR au grand espace de manipulation offert par le Plan de Travail Virtuel.

D'un point de vue logiciel, une version minimale a été développée pour effectuer les premiers tests. Les forces envoyées au SPIDAR sont calculées à partir de la bibliothèque de simulation de collisions CONTACT. Ces calculs et la commande du SPIDAR s'effectuent sur un PC, qui est connecté à une Onyx SGI s'occupant de l'affichage. Cette première approche nécessite des évolutions importantes, en terme de modularité notamment pour permettre une meilleure souplesse d'utilisation.

6.3.2. Etude du retour pseudo-haptique pour le retour d'effort en couple

Participants : Alexis Paljic, Sabine Coquillart.

Ces travaux rentrent dans le cadre des recherches visant à caractériser les différents types de retour haptique possibles et à apprendre à les employer à bon escient.

En 2000 et 2001, des tests psychophysiques avaient permis de caractériser un phénomène dit « pseudo-haptique » [18][17]. Il avait en particulier été montré qu'il était possible de simuler un ressort en couplant un retour visuel à un capteur de forces. Le taux de discrimination, en terme de raideur, d'un tel ressort simulé, avec un ressort réel étant semblable au taux de discrimination entre deux ressorts réels. Le but des recherches présentées ici est d'étudier si le concept de retour pseudo-haptique pourrait être étendu au retour de forces en couple.

Le principe de l'évaluation proposée consiste à comparer un ressort en torsion réel à un ressort en torsion simulé par le principe pseudo-haptique (couplage retour visuel et capteur de couple). La tâche de discrimination ressort réel/ressort virtuel est réalisée grâce à un dispositif permettant de proposer à l'évaluation plusieurs ressorts réels de raideur différente et un ressort virtuel (pseudo-haptique) de raideur variable (voir Figure 4).



Figure 4. Retour pseudo-haptique pour le retour d'effort en couple

La tâche de discrimination ressorts réels/ressorts virtuels est proposée à 17 sujets. Pour les sujets, l'apparence des ressorts réels ou virtuels est la même. La personne actionne un bouchon cylindrique. Les sujets apprécient les constantes de torsion réelles en tournant manuellement deux bouchons offrant des résistances

différentes. Le ressort virtuel est simulé grâce à l'utilisation conjointe d'un périphérique d'entrée mesurant le couple appliqué par l'utilisateur et d'un retour visuel sur écran de station de travail.

Une première étude a eu pour objectif l'évaluation du retour pseudo-haptique en couple en utilisant un périphérique d'entrée totalement immobile ou isométrique.

Les résultats valident le concept de retour pseudo-haptique en couple. Le phénomène d'illusion haptique observé dans les travaux de Lécuyer et al. est aussi observé ici : le sens proprioceptif est abusé par le retour visuel pour la majorité des sujets. Ceux-ci estiment que le bouchon se déplace d'un angle moyen de 45 degrés lors de la manipulation bien que celui-ci soit immobile. Des paramètres caractéristiques de la perception humaine dans cette tâche sont évalués. En particulier, le JND (Just Noticeable Difference) qui représente la résolution de perception humaine pour un stimulus donné, ainsi que le PSE (qui caractérise la distorsion subjective de perception) ont été calculés. Dans ce cas, et pour les deux ressorts réels présentés, les JND trouvés sont de 28,2% (constante du ressort réel 1 $C_1 = 2.05 \cdot 10^{-2} N \cdot m \cdot rad^{-1}$) et 14,3% (constante du ressort réel 2 $C_2 = 3.2 \cdot 10^{-2} N \cdot m \cdot rad^{-1}$).

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Jean-Marie Burkhardt (Université Paris V et INRIA-Eiffel).

6.3.3. Détection de collisions

Participants : Stéphane Redon, Abderrahmane Kheddar, Sabine Coquillart.

L'action i3D poursuit la mise au point d'une méthode de détection de collisions en continu. Les travaux initiaux [19][20] ont étudié la détection de collisions entre objets polyédriques. La solution proposée consiste à utiliser un mouvement arbitraire pour interpoler les positions successives des objets. Ce mouvement est suffisamment général pour interpoler deux positions quelconques de façon rigide (l'objet n'est pas déformé au cours du mouvement), et suffisamment simple pour que la détection de collisions entre primitives se réduise à une équation polynomiale de degré inférieur ou égal à trois. Le mouvement arbitraire est utilisé pour remplacer le mouvement réel de l'objet, inconnu ou inexploitable pour la détection de collisions, et obtenir des équations de détection de collisions continues faciles à résoudre.

L'approche proposée dans [20] utilisait des sphères englobantes pour accélérer la détection de collisions. Les sphères sont cependant peu adaptées lorsque les objets sont plats ou fins. Une nouvelle approche a consisté à utiliser des boîtes englobantes orientées comme structure d'accélération de la détection de collisions continue [5]. L'arithmétique d'intervalles a été utilisée afin d'obtenir un test de recouvrement entre boîtes englobantes *continu* à partir d'un test discret bien connu [14]. Ici encore l'utilisation de mouvements intermédiaires arbitraires pour remplacer le mouvement réel des objets permet d'obtenir des équations de détection de collisions qui peuvent être résolues efficacement.

Par ailleurs, de nouveaux travaux ont consisté à exploiter le *mouvement* des objets afin d'accélérer la détection de collisions. La méthode proposée est une généralisation de la technique de Vanecek [23] qui remarque que deux triangles qui s'éloignent l'un de l'autre ne peuvent entrer en contact. La méthode de Vanecek, cependant, effectue les tests de recul au niveau du *triangle*, et dépend donc linéairement du nombre de triangles composant l'objet, ce qui est impraticable pour les objets complexes. La généralisation proposée effectue les tests de recul au niveau du *volume englobant* et *en temps constant par volume englobant*, pour accélérer significativement la détection de collisions, même pour des objets complexes, en particulier lorsque les objets sont très proches les uns des autres. Cette généralisation est applicable pour n'importe quel type de volume englobant, et pour les méthodes de détection de collisions discrètes et continues [7].

6.3.4. Gestion des contraintes

Participants : Stéphane Redon, Abderrahmane Kheddar, Sabine Coquillart.

Une fois qu'une solution est apportée au problème de la détection de collisions, se pose le problème de la *réponse* à la collision, autrement dit le problème de la *gestion des contraintes*. Un exemple simple est celui d'un cube soumis à la gravité et posé sur une table. Une fois détectée la collision entre le cube et la table, il faut déterminer le mouvement contraint du cube. Le problème de la gestion des contraintes est divisé en deux sous-problèmes : le calcul des vitesses de rebond des objets, lorsqu'un choc intervient, et le calcul des accélérations contraintes, lorsque les objets sont en contact. La plupart des approches permettant de résoudre

les deux sous-problèmes dans le cas de forces extérieures et de coefficients de restitution quelconques, pour un nombre d'objets lui aussi quelconque, utilisent des lois de complémentarité entre les accélérations (resp. vitesses) aux points de contact, et les forces (resp. impulsions) aux points de contact. La gestion des contraintes prend alors la forme d'un problème de complémentarité linéaire dans l'espace des *contacts*.

De nouveaux travaux [6] ont montré que la formulation des problèmes dynamiques sans frottements dans l'espace des *mouvements*, obtenue à partir du principe des moindres contraintes de Gauss, est mathématiquement équivalente à la formulation traditionnelle dans l'espace des contacts, mais présente plusieurs avantages algorithmiques : la formulation dans l'espace des mouvements est mieux conditionnée, toujours creuse, requiert moins de mémoire et évite les calculs redondants. Nous avons pu constater qu'elle permet de tirer parti de la formulation naturellement creuse du problème pour être de plus en plus efficace (relativement à la formulation dans l'espace des contacts), à mesure que le nombre moyen de contacts par degré de liberté augmente.

6.4. Facteurs humains

6.4.1. Evaluations du « Command and Control Cube »

Participants : Jérôme Grosjean, Sabine Coquillart.

Le menu « Command and Control Cube » (C^3) développé en 2001 a fait l'objet d'évaluations formelles avec un ensemble d'utilisateurs novices. L'analyse statistique des résultats a permis de montrer sa rapide prise en main, la validité d'une approche où la manipulation s'effectue « en aveugle » pour des utilisateurs chevronnés, et d'étudier les performances générales par cases du cube. Elle a également permis de juger de l'efficacité de l'ajout de retours d'informations supplémentaires, sonore ou tactile, pour aider l'utilisateur dans la manipulation du C^3 .

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Jean-Marie Burkhardt (Université Paris V et INRIA-Eiffel), et Paul Richard (Université d'Angers).

Ces évaluations ont fait l'objet d'une publication à la conférence IEEE ICMI'2002 (International Conference on Multimodal Interface) [1].

7. Contrats industriels

7.1. ESA

Participants : Nicolas Tarrin, Sabine Coquillart.

Mots clés : *visualisation immersive, système terrestre.*

i3D collabore avec EADS (ex Matra) et ACS sur la conception d'un système de visualisation immersive du système terrestre pour l'ESA (European Space Agency). i3D a un rôle d'expertise et de conseil. Un rapport d'expertise sur les logiciels de visualisation a été produit [22].

7.2. EADS - Renault - PSA Peugeot Citroën

Participants : Stéphane Redon, Abderrahmane Kheddar, Sabine Coquillart.

La bibliothèque CONTACT Toolkit a été fourni à EADS, Renault et PSA Peugeot Citroën pour tests et évaluations internes.

7.3. INRIA

- **Projet Eiffel :** les compétences sur les facteurs humains et l'analyse de données du projet Eiffel intéressent fortement le groupe i3D. Plusieurs collaborations ayant conduit à publication ont été menées avec Jean-Marie Burkhardt sur l'exploitation de résultats d'évaluations : pour le retour pseudo-haptique, pour l'évaluation du « Command and Control Cube ».
- **Projet Siames :** plusieurs actions sont en cours avec le projet Siames. Comme elles font aussi intervenir d'autres partenaires nationaux, elles sont présentées dans les actions nationales.

7.4. Régional

- i3D collabore avec le **CEA** et a développé un démonstrateur haptique intégrant la bibliothèque CONTACT Toolkit et le système haptique Virtuose développé par le CEA.

7.5. National

- **VTHD++** Dans la suite du projet RNRT VTHD, i3D et Siames participent au projet VTHD++. L'objectif est le développement et le test de solutions collaboratives basées sur la plate-forme OpenMask (ex. GASP).
- **Perf-RV** Siames et i3D collaborent aussi, avec de nombreux autres partenaires, autour d'un projet RNTL de plate-forme de réalité virtuelle nommé Perf-RV. i3D participe à deux actions : une sur le prototypage virtuel avec EADS, Dassault et le CEA, l'autre sur l'interaction coopérative avec Simaes, le Limsi, le LaBRI et Renault. Voir la proposition pour une liste exhaustive des partenaires et des actions.

7.6. International

- Collaboration avec le groupe **Sato-Koike de l'« Institute of Technology of Tokyo »** sur le portage du système Spidar sur le Plan de Travail Virtuel (voir 6.3.1).

9. Diffusion des résultats

9.1. Animation de la communauté scientifique

- Sabine Coquillart est membre du conseil d'administration d'EUROGRAPHICS et membre du comité des séminaires et groupes de travail d'EUROGRAPHICS.
- Sabine Coquillart est membre du comité de lecture de la revue « Computer Graphics Forum ».
- Sabine Coquillart a été membre du comité de programme des conférences suivantes : VRIC'2002, SCCG'2002, WSCG'2002, CGI'2002, EG Workshop on Virtual Reality'2002, IPT - Immersive Projection Technology'2002, Eurographics'2002, IEEE Virtual Reality'2002 et relecteur de Siggraph'2002.
- Sabine Coquillart a été co-responsable du comité de programme de la conférence Pacific Graphics'2002.
- Sabine Coquillart a été membre du comité de programme d'IMAGINA'2002.

9.2. Enseignement universitaire

- **ENSTA**, Sabine Coquillart assure un cours de Visualisation.
- **DEA I3 Université Paris-Sud-Orsay**, Sabine Coquillart participe à l'enseignement du module « Environnements Virtuels et Interfaces Avancées ».
- **DEA VRMSC, Universités Evry et de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines**, Sabine Coquillart participe à l'enseignement du module « Réalité Virtuelle ».
- **ENST**, Sabine Coquillart donne un séminaire sur la réalité virtuelle pour les élèves de 3ème année.
- **DESS Innovation Technologique, Interaction Homme-Machine et Réalité Virtuelle d'Angers**, Jérôme Grosjean assure un cours sur Performer.
- **DEA Art et Technologies, Paris VIII**, i3D organise un séminaire avec démonstrations sur le Plan de Travail Virtuel.

9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations

- Sabine Coquillart participe à l'Action Spécifique CNRS « Réalité Virtuelle et Cognition ».
- Sabine Coquillart, Boris Mansencal, Alexis Paljic et Nicolas Tarrin ont participé à l'École d'Été d'Informatique CEA/EDF/INRIA « Visualization Scientifique Haute Performance et Réalité Virtuelle », Centre Port Royal, Saint-Lambert-des-Bois, 17-28 juin 2002. Sabine Coquillart co-responsable, Boris Mansencal, Alexis Paljic et Nicolas Tarrin assistants.
- Sabine Coquillart a fait une présentation invitée intitulée « 3D Interaction and Virtual Reality » au Tokyo Institute of Technology, Japon, Novembre 2002.
- Sabine Coquillart a fait une conférence invitée intitulée « Haptic Workbench » à ICAT'2002, décembre 2002, Tokyo, Japon.

Se reporter à la bibliographie pour connaître la liste des conférences auxquelles les membres d'i3D ont présenté des articles.

10. Bibliographie

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [1] J. GROSJEAN, J.-M. BURKHARDT, S. COQUILLART, P. RICHARD. *Evaluation of the Command and Control Cube*. in « ICMI'2002 », IEEE, Pittsburgh, USA, October, 2002.
- [2] J. GROSJEAN, S. COQUILLART. *Quickwriting on the Responsive Workbench*. in « Siggraph'2002 - Sketches and Application », ACM Siggraph, San Antonio, Texas, USA, July, 2002.
- [3] A. LÉCUYER, C. MEGARD, J. BURKHARDT, T. LIM, S. COQUILLART, P. COIFFET. *The Effect of Haptic, Visual and Auditory Additional Information on an Insertion Task on the Holobench*. in « Immersive Projection Technology - IPT'2002 », Orlando, USA, March, 2002.
- [4] A. PALJIC, J. BURKHARDT, S. COQUILLART. *A Study of Distance of Manipulation on the Responsive Workbench*. in « Immersive Projection Technology - IPT'2002 », Orlando, USA, March, 2002.
- [5] S. REDON, A. KHEDDAR, S. COQUILLART. *Fast Continuous Collision Detection between Rigid Bodies*. in « Eurographics'2002 », Saarsbruck, Germany, September, 2002.
- [6] S. REDON, A. KHEDDAR, S. COQUILLART. *Gauss' Least Constraints Principle and Rigid Body Simulations*. in « International Conference on Robotics and Automation - ICRA'2002 », Washington D.C., USA, May, 2002.
- [7] S. REDON, A. KHEDDAR, S. COQUILLART. *Hierarchical Back-Face Culling for Collision Detection*. in « IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems - IROS'2002 », Lausanne, Switzerland, October, 2002.

Divers

- [8] H. HEMANA. *Evaluation du retour haptique pour le retour d'effort en torsion*. rapport technique, Université de Versailles Saint Quentin, septembre, 2002.

- [9] M. A. YUCEF. *Evaluation du retour haptique sur un plan de travail virtuel*. rapport technique, Université de Versailles Saint Quentin, septembre, 2002.

Bibliographie générale

- [10] S. COQUILLART. *Environnements virtuels à base de projections sur grands écrans*. in « GT-RV'98 », 1998.
- [11] S. COQUILLART, J. GROSJEAN, A. LÉCUYER. *Interaction et systèmes haptiques*. rapport technique, Séminaire INRIA "Environnements virtuels à base de projections sur grands écrans", 2000.
- [12] S. COQUILLART, G. WESCHE. *Interaction Techniques and Applications on the Workbench*. rapport technique, Séminaire INRIA "Environnements virtuels à base de projections sur grands écrans", 2000.
- [13] C. CRUZ-NEIRA, D. SANDIN, T. DEFANTI. *Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality : The Design and Implementation of the CAVE*. in « Computer Graphics (SIGGRAPH Proceedings) », pages 135-142, août, 1993.
- [14] S. GOTTSCHALK, M. LIN, D. MANOCHA. *OBB-Tree : A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection*. in « Siggraph'96 Conference Proceedings », ACM SIGGRAPH, August, 1996.
- [15] W. KRÜGER, C. BOHN, B. FRÖHLICH, H. SCHÜTH, W. STRAUSS, G. WESCHE. *The Responsive Workbench : A Virtual Work Environment*. in « IEEE Computer », juillet, 1995, pages 42-48.
- [16] W. KRÜGER, B. FRÖHLICH. *The Responsive Workbench*. in « IEEE Computer Graphics and Applications », mai, 1994, pages 12-15.
- [17] A. LÉCUYER, J.-M. BURKHARDT, S. COQUILLART, P. COIFFET. *"Boundary of Illusion" : an Experiment of Sensory Integration with a Pseudo-Haptic System*. in « IEEE VR'2001 », Japan, March, 2001.
- [18] A. LÉCUYER, S. COQUILLART, A. KHEDDAR, P. RICHARD, P. COIFFET. *Pseudo-Haptic Feedback : Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback ?*. in « IEEE Virtual Reality 2000 », IEEE, New Brunswick, NJ, USA, March, 2000.
- [19] S. REDON, A. KHEDDAR, S. COQUILLART. *An Algebraic Solution to the Problem of Collision Detection for Rigid Polyhedral Objects*. in « IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'2000 », IEEE, pages 3733-3738, San Francisco, USA, April, 2000.
- [20] S. REDON, A. KHEDDAR, S. COQUILLART. *CONTACT : Arbitrary in-between Motions for Continuous Collision Detection*. in « IEEE ROMAN'2001 », September, 2001.
- [21] M. SATO. *A Story of SPIDAR*. in « The 10th. International Conference on Artificial Reality and Tele-existence(ICAT2000) », Taipei, Taiwan, October, 2000.
- [22] N. TARRIN, S. COQUILLART. *Visualisation Software Analysis Document*. rapport technique, Rapport d'étude VRES - Virtual Reality Earth-Observation Studio, i3D - INRIA, 2001.

- [23] G. VANECEK. *Back-Face Culling Applied to Collision Detection of Polyhedra*. in « Journal of Visualization and Computer Animation », numéro 1, volume 5, 1994, pages 55-63.