

*Équipe Alcove**Agir et collaborer sur des objets virtuels
complexes**Futurs*

THÈME 3B



*R*apport
*d'A*ctivité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	1
3. Fondements scientifiques	2
3.1. Panorama	2
3.1.1. Les métaphores d'interaction	4
3.1.2. Les objets autonomes	4
3.2. Périphériques haptiques	5
3.3. Introduction de matériaux piézo-électriques dans les dispositifs haptiques	5
3.4. Interactions via des dispositifs à retour d'effort	6
3.5. Multirésolution et Multi-représentation de modèles physiques	7
3.6. Systèmes mécaniques répartis	7
3.7. Plate-forme de communication	8
4. Domaines d'application	8
4.1. Simulation physique pour le retour d'effort	8
4.1.1. Positionnement	8
4.1.1.1. la modélisation d'objets physiques :	8
4.1.1.2. la résolution des équations différentielles du mouvement :	9
4.1.1.3. la détection de collisions :	9
4.1.1.4. le contrôle de la simulation :	9
4.1.2. Spore	9
4.1.2.1. Décomposition des objets en trois composantes :	9
4.1.2.2. Les types de modèles simulés :	10
4.1.2.3. L'affichage des structures déformables :	10
4.1.2.4. Détection de collisions :	10
4.1.2.5. Méthodes d'intégrations des équations différentielles du mouvement :	10
4.1.2.6. L'interfaçage avec les systèmes à retour d'effort :	10
4.2. Travail de groupe sur les objets virtuels	11
4.2.1. Positionnement	11
4.2.1.1. Couplage homme machine :	11
4.2.1.2. Activité multi-utilisateurs :	11
4.2.1.3. Représentation des espaces de travail :	12
4.2.1.4. Interaction avec des objets complexes :	12
4.2.2. Plate-forme de communication	12
4.2.2.1. la couche de communication réseau permettant le partage des objets de l'activité :	13
4.2.2.2. La couche de gestion des objets :	13
4.2.2.3. La couche de gestion de l'interface :	13
4.3. Assemblage virtuel	14
4.3.1. Gestion des assemblages	14
4.3.2. Les outils d'assemblage	14
5. Logiciels	15
5.1. Spin 3D	15
5.2. SPIC	16
6. Résultats nouveaux	17
6.1. Plateforme de communication	17
6.2. Simulation de fils chirurgicaux	19
6.3. Interaction avec retour d'effort	19
6.4. Modélisation collaborative	19

7. Contrats industriels	19
7.1. France Telecom R&D	19
7.2. Simedge	20
8. Actions régionales, nationales et internationales	20
8.1. Actions nationales	20
8.1.1. ARC Simulation de Chirurgie Intestinale	20
8.1.2. Action Spécifique (CNRS)	20
8.1.3. Alspeme (RNTL 2001-2002)	20
8.1.4. RNTS 2002 intitulé E-simulation	20
8.2. Enseignement	20
10. Bibliographie	21

1. Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Christophe Chaillou [Professeur Université de Lille I, en détachement INRIA]

Université de Lille I

Betty Semail [professeur EUDIL, section 63 (génie électrique), L2EP]

Philippe Meseure [Maître de conférences, section 27, LIFL]

Patricia Plénacoste [Maître de conférences, section 16, en délégation CNRS, LIFL]

Laurent Grisoni [Maître de conférences, section 27, LIFL]

Fabrice Aubert [Maître de conférences, section 27, LIFL]

Personnel CNRS

Samuel Degrande [Ingénieur de recherche CNRS, LIFL]

Université de Lille III

Alain Preux [Maître de conférences, section 27, Université de Lille 3, LIFL]

Chercheurs doctorants

Jérémy Dequidt [MENRT, LIFL (octobre 2002)]

Laurent Hilde [ATER, LIFL]

Frédéric Triquet [ATER, LIFL]

Frédéric Giraud [ANM, L2EP]

Stéphane Louis dit Picard [BDI CNRS Région, LIFL]

Jérôme Davanne [MENRT, LIFL]

Julien Lenoir [MENRT, LIFL]

Géry Casiez [MENRT, LIFL et L2EP]

François Pigache [MENRT, L2EP]

Alexandre Lambin [LIFL (octobre 2002)]

Collaborateurs extérieurs

Mohamed Daoudi [Maître de conférences ENIC, HDR]

Wilfrid Perruquetti [Maître de conférences HDR, section 61, Ecole Centrale de Lille, LAIL]

Anne Marie Kökösy [Enseignant-chercheur, ISEN, LAIL]

Jean-Philippe Vandeborre [Enseignant Chercheur ENIC]

Said Mahmoudi [ENIC-EGIDE]

Jérôme Hondermark [ATER, Université d'Artois]

Sous contrat

Julie Delerue [SPIN 3D]

Mickaël De Preester [ARC SCI]

Nicolas Martin [SPIN 3D]

2. Présentation et objectifs généraux

Mots clés : *environnement 3D, monde virtuel coopératif, réalité virtuelle, IHM, modèles physique, métaphores d'interaction, interfaces 3D.*

Notre projet vise à proposer des méthodes et outils permettant à un ensemble de personnes de travailler en groupe sur des objets virtuels. Ce travail se situe à l'intersection de plusieurs grandes thématiques de recherche : les modèles physiques, la réalité virtuelle et l'IHM.

- L'animation et la simulation à base de modèles physiques de l'informatique graphique est un sujet de recherche très important. Les progrès, auxquels nous participons, permettent d'interagir par le toucher avec des modèles basés sur les lois de la physique. Les résultats les plus convaincants sont exploités pour faire de la simulation d'actes chirurgicaux.

- Depuis maintenant une décennie, de nombreux travaux de recherche visent à immerger les utilisateurs dans les mondes virtuels. Outre les aspects technologiques (dispositifs d'immersion visuelle, périphériques spécifiques), ces nouveaux dispositifs posent des problèmes nouveaux d'interaction entre l'homme et ces environnements. Il n'est plus possible d'utiliser les classiques interfaces informatiques à base de fenêtres et de menus. Les résultats de ces recherches montrent qu'il est difficile et sans doute inutile pour de nombreuses activités d'immerger totalement l'utilisateur. Ainsi naît une nouvelle voie de recherche : trouver un compromis entre le réalisme lié à immersion et les outils informatiques permettant de se déplacer et d'agir sur le monde virtuel.
- Les Interfaces hommes-machines dites graphiques sont utilisées par tous les ordinateurs. Elles atteignent pourtant leurs limites. Par l'ajout de nouvelles fonctionnalités, elles deviennent de plus en plus complexes. Elles ne sont plus adaptées aux usages courants de l'ordinateur comme la communication et la collaboration. Des recherches sont en cours pour les faire évoluer sur les aspects collaboratifs avec les recherches en Collaborative Virtual Environment (monde virtuel coopératif) ou les Tangible User Interface (interface utilisateur tangible). Sur les interfaces tangibles, l'approche est aujourd'hui d'utiliser la réalité augmentée en mixant le monde réel et l'informatique.

Notre projet se situe précisément sur le recouvrement entre ces trois grandes thématiques. Nous travaillons en animation et simulation, en effet nous souhaitons avoir des objets virtuels ayant un comportement conforme au réel. Nous sommes dans la mouvance de la réalité virtuelle au sens où nous souhaitons que les utilisateurs aient des interactions naturelles avec les modèles. Enfin, nous considérons appartenir à la communauté IHM, car nous travaillons sur de nouvelles métaphores et outils d'interface 3D entre les usagers et les objets informatiques et accordons une grande importance aux expérimentations et validations avec des utilisateurs.

3. Fondements scientifiques

3.1. Panorama

Mots clés : *métaphores d'interaction, objets virtuels autonomes.*

Le schéma suivant présente l'ensemble des actions que nous allons conduire dans les prochaines années pour proposer de nouvelles métaphores d'interaction et imaginer une représentation informatique pertinente sous forme d'objets autonomes.

Depuis déjà plusieurs années, notre équipe propose un environnement 3D abstrait non immersif avec pour métaphore la salle de réunion. L'ensemble des acteurs, possédant chacun son terminal, est réuni dans un bureau virtuel abstrait autour d'une tâche commune. En nous affranchissant d'un problème difficile, à savoir la navigation dans les mondes virtuels, nous avons abordé un nouveau champ de recherche : la manipulation d'objets virtuels dans un cadre coopératif. Cette étude se poursuit en collaboration avec France Télécom.

Les principales questions auxquelles nous aimerions trouver des réponses sont :

- Quelles abstractions (modèles) offrir des objets du monde réel ?
- Comment interagir avec ces modèles ?
- Quelle représentation informatique leur donner ?

De plus les réponses apportées à ces trois questions devront prendre en compte les spécificités du travail coopératif.

Pour répondre à ces interrogations, nous travaillons à l'intersection de trois domaines de compétence : les modèles 3D, l'interaction homme/objets informatiques et la coopération médiatisée par des outils informatiques.

Entre les notions de modèles et d'interaction, nous allons travailler sur l'interaction avec des objets virtuels. De même pour permettre le travail en collaboration autour d'un modèle, nous étudions la répartition de

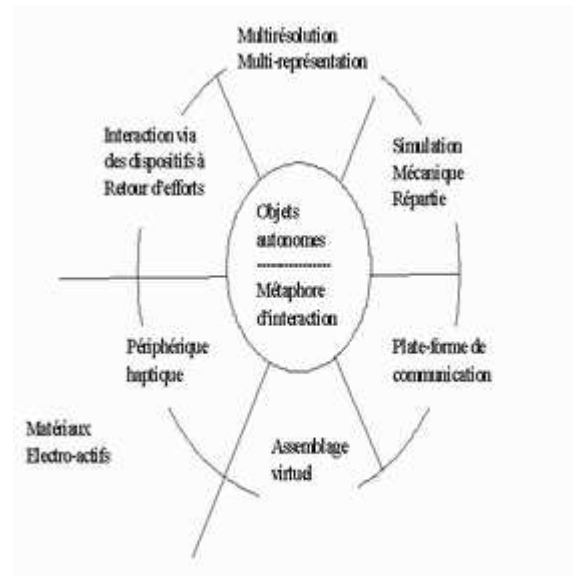


Figure 1.

modèles mécaniques. Enfin, pour les activités coopératives, il est important de travailler sur la perception des actions des autres utilisateurs sur les objets manipulés et de proposer une représentation adaptée. La figure suivante résume notre problématique de recherche.

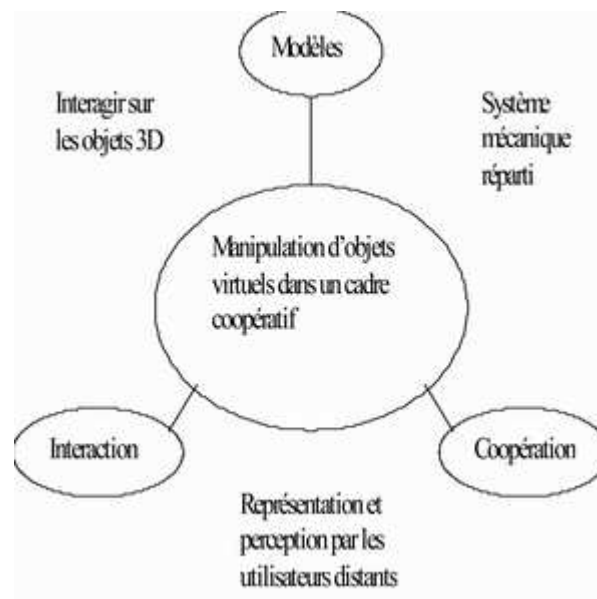


Figure 2.

Pour proposer des solutions radicalement innovantes, nous avons choisi de prendre de la distance avec les interfaces et outils logiciels existants. Nous proposons ainsi une nouvelle conception aussi bien sur les aspects modélisation des primitives que sur l'IHM. Nous focalisons nos recherches sur deux sujets : les métaphores d'interaction et les objets autonomes.

3.1.1. Les métaphores d'interaction

Nous avons défini deux types de métaphores : les métaphores d'action et les métaphores d'interaction. Les premières intègrent des invariants perceptifs pour guider l'action motrice. Les secondes intègrent des mécanismes qui permettent à l'utilisateur de coordonner ses actions en fonction de la tâche assignée et de ses intentions. Elles permettent l'accès à la compréhension.

Les métaphores tiennent compte des schèmes sensori-moteurs, des schèmes d'usage des objets et des connaissances de l'utilisateur. Par contre, elles ne reproduisent en aucun cas la réalité. Il y a en effet un risque important à rendre réaliste le comportement d'un objet. Grâce à ses connaissances et expériences, l'utilisateur s'attend à ce que l'objet se comporte d'une certaine manière dans l'usage envisagé. Si l'objet virtuel ne se comporte pas exactement comme dans le réel, il y a un conflit cognitif qui fait que l'utilisateur ne se focalise plus sur le but de son activité, mais sur la logique de fonctionnement du système informatique. Ainsi, nous avons fait le choix d'abstraire certains mécanismes, qui sont pris en compte automatiquement par le système, car non utiles pour l'activité réalisée. Toutefois, l'utilisateur doit pouvoir utiliser ces mécanismes de manière naturelle, sans aucune difficulté de compréhension. Pour faciliter l'assignation de sens, nous définissons des outils symboliques d'interaction. Ils sont de notre point de vue des médiateurs de l'activité. Ils sont donc un lien entre le périphérique et l'activité sur les objets de la collaboration. Ces outils permettent la mobilisation des habilités de l'utilisateur et l'attribution d'une signification aux fonctions supportées par l'outil, signification qui sera ensuite éventuellement réajustée pendant l'usage de l'outil.

On ne peut pas dissocier les invariants d'interaction des connaissances conceptuelles, fonctionnelles, opératives et sociales mises en oeuvre dans une activité singulière. Étudier les invariants d'interaction ne peut donc se faire sans une étude des usages relatifs au domaine envisagé de l'application. L'extraction des invariants organisateurs d'action et d'activité collaborative nous permettra d'abstraire les mécanismes et les représentations des outils d'interaction qui supportent cette activité.

Depuis quelques années, de nombreuses recherches ont pour objectif de construire des dispositifs à retour d'efforts (haptiques) permettant de percevoir les caractéristiques physiques des modèles. Nous avons choisi de fortement nous investir dans cette thématique. En effet, ces dispositifs permettent d'avoir des relations plus naturelles avec les objets virtuels mais ils imposent de revoir de manière profonde les concepts d'interaction avec les objets virtuels. Outre son intérêt propre, cette voie de recherche nous permet de proposer des métaphores d'interaction plus innovantes.

3.1.2. Les objets autonomes

Les développements informatiques bénéficient de règles logicielles facilitant une mise en place rapide et sûre. La programmation par objets, par agents en sont des exemples désormais classiques. Toutefois, dans le cadre qui nous intéresse, en particulier la simulation physique, cette encapsulation des traitements se heurte au fait que les solutions algorithmiques existantes sont souvent globales, et les traitements centralisés. La réutilisabilité des objets implémentés est donc difficile et les architectures logicielles sont lourdes. C'est pour cette raison que nous introduisons la notion d'objet autonome. Un objet autonome est une entité logicielle prenant totalement en charge sa modélisation (géométrique, mécanique, comportementale), sa visualisation ainsi que ses traitements (simulation mécanique, interaction avec l'utilisateur et les autres objets de l'environnement virtuel). De plus nous devons tenir compte que ces objets seront exploités dans un environnement coopératif.

Nous envisageons de mettre en place des objets qui puissent adapter leur modélisation à leur environnement ou à leur cadre d'utilisation : la notion de multirésolution, tant géométrique que mécanique, ou même celle de multi-représentation deviennent dès lors primordiales pour qu'un objet puisse garantir une représentation efficace. Un objet autonome est dit multi-représentation quand il possède plusieurs représentations qu'il utilise alternativement en fonction des sollicitations de son environnement.

Il est à noter que cette notion d'objet autonome diffère de celle, plus classique, d'agent, dans la mesure où de notre point de vue cette dernière intègre la notion de service. Nous souhaitons limiter les communications entre objets aux informations nécessaires pour déterminer quels traitements et représentations adopter.

Nous devons mettre en place une plate-forme support pour gérer les interactions entre les objets et partager les données entre les différents postes des utilisateurs travaillant sur l'activité. Pour la gestion des interactions, nous utiliserons, dans la mesure du possible, une solution existante comme OpenMASK développée par le projet Siames. Le partage des données entre les différents postes en collaboration sera faite dans la continuité de nos recherches sur les environnements 3D de collaboration.

3.2. Périphériques haptiques

Mots clés : *périphérique haptique.*

Participants : Gery Casiez, Betty Semail, Patricia Plénacoste, Christophe Chaillou.

Les périphériques informatiques peuvent se classer en deux grandes familles. Pour un périphérique isotonique, le déplacement de l'objet informatique est directement fonction du déplacement du périphérique. En deux dimensions le plus connu est la souris pour piloter le pointeur. Au contraire un périphérique isométrique est immobile, ou presque, c'est la pression qui induit le déplacement. La vitesse de déplacement est alors souvent fonction de la pression. Les joysticks sont isométriques. Des périphériques isotoniques à retour d'effort tels que le PHANToM de SensAble ou l'EXCALIBUR permettent d'ores et déjà d'effectuer entre autre des tâches d'assemblage virtuel avec les sensations de collision et de poids de l'objet manipulé. Des périphériques isométriques comme la SpaceBall de Labtec ou la SpaceMouse de LogiCad permettent quant à eux d'opérer des translations et des rotations sur des objets virtuels. Ces deux catégories de périphériques ont chacun leurs avantages : le contrôle en position est plus facile avec les périphériques isotoniques et le contrôle en vitesse plus aisé avec les périphériques isométriques. Cependant aucun de ces périphériques n'autorise la saisie d'un objet virtuel avec retour d'effort. Pour dépasser ces limites, nous développons actuellement un périphérique qui aura la capacité de rendre à l'utilisateur un retour d'effort lors de la saisie d'objets virtuels tout en permettant leur manipulation en rotation et en translation avec retour haptique.

Nos interrogations principales portent sur la possibilité de découpler les degrés de liberté, ce qui simplifierait considérablement la réalisation et permettrait de proposer des périphériques à bas coût, le nombre de degrés de liberté indispensables et sur l'articulation entre translation et rotation. Ce périphérique pourra aussi bien se manipuler en mode isométrique qu'en mode isotonique. Il s'agit alors de donner au périphérique les affordances nécessaires pour le rendre le plus intuitif et transparent possible à l'utilisateur. Les expérimentations seront conduites dans le cadre de l'assemblage virtuel présenté dans 4.3.

Outre la conception et la réalisation électromécanique du dispositif, sa commande représente une part importante de l'étude. En effet, il s'agit de commander une interface virtuelle qui dans certaines configurations ou phases doit être asservie d'une part en position et d'autre part en force. L'aspect multi-objectifs du contrôle sera donc à considérer. Clairement ce problème peut se ramener à un problème de commande optimale, du point de vue théorique. Il sera donc nécessaire d'introduire un critère à minimiser afin de formuler le problème dans ce contexte. Cette étude sera effectuée en collaboration avec le LAIL.

3.3. Introduction de matériaux piézo-électriques dans les dispositifs haptiques

Mots clés : *matériaux piézo-électriques, périphérique haptique.*

Participants : F. Pigache, F. Giraud, B. Semail.

L'exploitation des matériaux piezoélectriques dans les dispositifs à retour d'effort constitue l'une des activités de recherche du L2EP. Ces matériaux permettent la réalisation d'actionneurs dont les caractéristiques principales sont les suivantes : faible encombrement, efforts massiques importants et vitesses réduites sans réducteur mécanique externe. Ces propriétés offrent des perspectives intéressantes dans le cadre d'une application haptique.

De plus, les systèmes à retour d'effort déjà existants utilisent, pour la plupart, des actionneurs rotatifs électromagnétiques à un seul degré de liberté. Ceci impose de multiplier le nombre d'actionneurs en fonction du nombre de débattements souhaités, entraînant un système de transmission complexe et des non-linéarités importantes. L'élaboration d'actionneurs multi degrés de liberté permettrait d'éviter cet inconvénient.

L'étude en cours porte sur le développement, l'alimentation et la commande d'un actionneur piezoélectrique capable à lui seul de transmettre des efforts et des mouvements selon deux degrés de liberté. Un actionneur plan piezoélectrique a d'ores et déjà été réalisé au LEEI de Toulouse. En collaboration avec ce laboratoire, l'objectif est d'étudier ce dispositif afin de l'adapter à une application haptique. Les étapes nécessaires pour mener cette étude à son terme font actuellement l'objet d'une thèse. Il s'agit tout d'abord de modéliser cet actionneur à deux degrés de liberté qui fonctionne en mode résonnant et en onde stationnaire. La démarche de modélisation initiée dans le cadre de l'étude d'un moteur rotatif à onde progressive sera mise à profit. Cette démarche s'appuie sur l'exploitation du formalisme par graphes causaux développé au sein du laboratoire. A partir du modèle, la commande en vitesse ou position sera déduite par inversion du graphe de modélisation. Il faudra ensuite valider les fonctionnements moteur et frein de l'actionneur et élaborer la loi de commande en force spécifique au retour d'effort. Un tel dispositif haptique isotonique permettra de retranscrire les sensations physiques associées au profil d'une surface virtuelle : par exemple un relief, une frontière stricte de domaine ou un guidage par rail.

Parallèlement à l'utilisation d'actionneurs élaborés à base d'éléments piézo-électriques, celle du matériau piézo-électrique en lui-même peut également être envisagée pour la reproduction de sensations tactiles et de vibrations. La génération de vibration à partir de matériaux électro-actifs à fins d'amortissement de structures fait l'objet de nombreuses études, en particulier dans le domaine du contrôle actif de vibrations. C'est cette idée qui serait ici reprise avec pour finalité non pas l'atténuation de vibrations existantes mais la génération contrôlée selon l'effort appliqué par l'utilisateur. Il s'agirait alors de contrôler les aspects tribologiques à l'interface de contact homme-dispositif en jouant sur les caractéristiques d'alimentation des matériaux telles sa fréquence et sa tension. Cette deuxième famille de périphérique pourrait ainsi compléter, avec les sensations tactiles, la première, caractérisée par des déplacements plus importants.

3.4. Interactions via des dispositifs à retour d'effort

Mots clés : *interaction, modèle physique, retour d'effort, collision.*

Participants : P. Meseure, J. Davanne, F. Aubert.

Les dispositifs à retour d'effort que nous utilisons ou réalisons sont généralement conçus sur un modèle d'impédance : le périphérique contrôle la position d'un objet virtuel dans l'environnement et la simulation fournit les efforts à restituer. Un premier problème apparaît lorsque la simulation est dans l'incapacité de fournir les efforts à la fréquence exigée par le dispositif haptique. Il faut dans ce cas avoir recours à un modèle intermédiaire, issu de la simulation, mais utilisé par la boucle haptique, pour calculer les forces à haute fréquence. Le recours à ce type de modèle sera obligatoire dans notre contexte réparti, et il faudra définir la meilleure approche.

Cependant, pour traiter le problème de la commande dans un contexte d'objets autonomes, il est de plus nécessaire de découpler le calcul du retour d'effort de la simulation proprement dite (ce qui est en outre préconisé pour stabiliser le retour d'effort). Pour cela, nous comptons exploiter la technique du god-object/proxy, qui permet à l'objet de calculer ses propres efforts, sans solliciter la simulation. Dans notre objectif de manipulation d'objets complexes et afin de ne pas limiter les outils de manipulation proposés à l'utilisateur, nous souhaitons étendre cette technique à l'emploi d'objets rigides de formes complexes, de solides articulés et éventuellement de corps déformables. En outre, le technique du god-object/proxy nous permettra de manipuler des objets virtuels sans perturber la simulation physique et sans exiger l'usage de dispositifs à retour d'effort. Enfin, cette approche devrait nous affranchir des problèmes de commandes de retour d'effort dans des environnements distribués.

De façon liée, nous comptons étudier et améliorer les lois d'interactions entre corps (forces de non interpénétration et frottements) ainsi que les modèles de contraintes entre corps afin de reproduire des comportements plus réalistes et un retour haptique plus élaboré. Ces études pourront être validées sur notre plate-forme SPORE, avant d'être déployées sur la plate-forme répartie.

3.5. Multirésolution et Multi-représentation de modèles physiques

Mots clés : *multi-représentation, multirésolution, modélisation physique, modélisation géométrique.*

Participants : L. Grisoni, J. Lenoir, P. Meseure.

La multirésolution consiste à modéliser un objet à plusieurs échelles et apparaît comme une bonne solution aux problèmes de complexité de la scène. On cherche à utiliser l'échelle la plus fine aux endroits où c'est nécessaire (zones de collision, zones visualisées, etc) et des résolutions plus grossières ailleurs. Dans SPORE, la multirésolution concerne les trois composantes des modèles : mécanique (affinage mécanique dans les zones d'interaction), collisions (détection plus ou moins fine avec des modèles à sphères multi-échelle) et visualisation (mais à moindre titre et pour des besoins très ponctuels, car la puissance des cartes graphiques modernes est généralement suffisante dans notre contexte).

La multirésolution est essentielle pour les problèmes nécessitant une approche adaptative pour leur résolution. Ainsi, elle semble à l'heure actuelle incontournable pour la réalisation de noeuds avec le modèle de fils par splines dynamiques car les phénomènes mécaniques se concentrent sur des zones très petites et la résolution du modèle mécanique se doit d'être suffisamment fine lors du serrage. En outre, la multirésolution est une approche très intéressante pour traiter correctement des incisions et découpes dans les objets en des endroits non prédéterminés.

Enfin, nous considérons que la multirésolution fait partie d'un domaine plus large : la multi-représentation. En réalité virtuelle, la mise en place des objets intervenant pour une application donnée est soumise à la contrainte que leur modélisation aussi bien géométrique, que physique, est bien souvent fonction de l'application envisagée. Un exemple : un cube fait d'un matériau peu déformable pourra, avec une très bonne approximation pour des contraintes faibles, être modélisé par un solide non-déformable mais il devra être modélisé par des lois physiques plus complexes, et une modélisation géométrique plus souple, lorsqu'il est soumis à des contraintes plus fortes. Il est également important que, si d'une contrainte forte, l'on passe continûment à une contrainte faible sur ce cube, sa modélisation s'adapte de manière continue, d'un modèle déformable, à un simple cube non-déformable. En considérant cet état de fait, il devient dès lors naturel de penser que la mise en place d'un objet virtuel doit, afin de véritablement tirer le meilleur parti des potentialités de la machine, pouvoir adapter la complexité (au sens le plus large : occupation mémoire, représentation géométrique, mais aussi complexité de sa modélisation physique) au contexte d'interaction dans lequel il est placé. Ces objets, que nous appellerons par la suite objets « multi-représentation », sont particulièrement attractifs intellectuellement dans la mesure où, indépendamment de leur mise en place (certes délicate), ils seront particulièrement faciles à utiliser et intégrer dans une architecture de réalité virtuelle plus complexe. Eventuellement, ils pourront gérer une modélisation non-physique, dans le cas où cette dernière atteindrait les limites calculatoires de la machine, ou serait tout bonnement inutile. La multi-représentation est un volet important dans la conception des objets autonomes.

3.6. Systèmes mécaniques répartis

Mots clés : *modèle physique, simulation physique répartie, objets autonomes.*

Participants : L. Grisoni, S. Degrande, P. Meseure, F. Aubert.

Nous nous plaçons ici dans le cadre d'une application d'une application de coopération de type Spin 3D 5.1, au sein de laquelle nous voulons manipuler des objets guidés par des lois physiques. Ceci, à priori, pose un problème conceptuel de taille : pour des raisons de résistances aux pannes, ainsi que de souplesse de configuration, l'architecture choisie dans Spin 3D est totalement décentralisée. Une architecture sans serveur central pose des problèmes, dans la mesure où la plupart des moteurs de gestion physique sont centralisés, en particulier les routines concernant la résolution des équations, ou la gestion des interactions entre corps. Nous cherchons à reporter la gestion de ces routines sur les corps eux-mêmes, et à encapsuler le traitement, afin de manipuler des objets physiques avec l'architecture Spin 3D.

L'idée est d'utiliser une gestion mécanique par objets autonomes, sans aucun moteur centralisé : SPORE 4.1 apporte d'ailleurs à ce sujet certains débuts de solution, comme par exemple avec la notion de multi-système

pour la résolution des équations. Nous travaillons actuellement sur des méthodes permettant de faire des détections de collisions distribuées. Nous travaillons pour le moment sur une dérivation du modèle GJK. Nous illustrerons nos résultats par un exemple faisant intervenir des lois physique simples, sur des objets polygonaux non-déformables.

Ensuite, nous introduirons de la multirésolution, tant géométrique que mécanique, et même d'une manière plus générale de propriétés de multi-représentation afin d'éviter l'emploi de la mécanique lorsqu'elle est trop coûteuse ou inutile. Ces évolutions entraîneront des problèmes de transition entre une modélisation purement arbitraire (comportementale) et une modélisation guidée par la physique.

C'est dans cette action que seront construites nos propositions pour offrir une architecture logicielle autour d'objets autonomes [15].

3.7. Plate-forme de communication

Mots clés : *environnement coopératif, interaction 3D.*

Participants : S. Degrande, S. Louis Dit Picard.

La plate-forme logicielle Spin|3D 5.1 est construite au-dessus d'une couche (Spin|Com) assurant le partage des données entre les utilisateurs et la gestion distribuée d'une session de travail [7]. Afin d'assurer un niveau d'interactivité suffisant lors des manipulations d'objets 3D, nous avons pris le parti de définir une architecture totalement distribuée utilisant des communications multicast. Spin|Com assure l'accès et la modification aux données distantes par l'intermédiaire d'un bus CORBA pour lequel nous avons défini une couche de transport multicast fiable. Un service logiciel est nécessaire au fonctionnement de cette méthode de transport (un service de gestion de groupe). Si nous disposons actuellement d'une implémentation de base de ce service, des études sont nécessaires pour assurer un comportement stable lors des initialisations et en cas de coupure réseau.

Pour permettre le partage efficace de données d'animation, Spin|Com intègre également une couche de transport multicast de flux multimédia temps-réels, basée sur la spécification A/V Streams de l'OMG. Si cette spécification propose un mode de diffusion multicast des flux, le contrôle en lui-même reste centralisé. Nous travaillons à une proposition permettant de distribuer le contrôle des flux afin de l'adapter à notre architecture.

Pour la connexion des objets à la plate-forme de communication, un service de nommage distribué est nécessaire : il permet d'attribuer à un groupe d'objets un identifiant unique (nous définissons un « groupe d'objets » comme étant un ensemble d'objets dupliqués représentant un même objet logique).

Comme pour toute plate-forme multi-utilisateurs, il est nécessaire de gérer la concurrence des actions. Nous proposons un mécanisme de verrou pessimiste dont le contrôle, là aussi, doit être distribué.

4. Domaines d'application

4.1. Simulation physique pour le retour d'effort

4.1.1. Positionnement

L'animation basée sur la physique est devenue, ces dernières années, un sujet de recherche important. Non seulement elle permet d'obtenir des comportements d'objets réalistes, mais les calculs qu'elle engendre peuvent être exécutés rapidement grâce à la puissance des machines actuelles. De ce fait, il devient possible pour un utilisateur d'interagir en temps réel avec un système qui pourra répondre de façon attendue à n'importe quelle interaction. Pour permettre une telle interactivité, plusieurs verrous technologiques sont en voie d'être surmontés concernant :

4.1.1.1. la modélisation d'objets physiques :

si les objets rigides sont bien maîtrisés par la théorie physique, il n'en va pas de même pour l'ensemble très important des objets déformables (corps rigides articulés, structurés élastiques, très déformables mais structurés, amorphes,...). De nombreux modèles, comportements et schémas de résolution ont ainsi été

proposés, malheureusement, peu d'entre eux sont temps réels et de nombreux comportements ne sont pas encore simulés.

4.1.1.2. la résolution des équations différentielles du mouvement :

les méthodes rapides d'intégration sont généralement peu robustes, c'est pourquoi des méthodes plus fiables mais plus gourmandes en calcul sont préférables. Il faut trouver des méthodes rapides et qui restent efficaces quand le nombre ou la complexité des objets simulés croissent.

4.1.1.3. la détection de collisions :

elle peut accaparer plus de 90% du temps de calcul. Des méthodes d'accélération pour détecter des zones de collisions probables sont alors nécessaires. Les approches sont très diverses et nécessitent souvent d'être combinées pour un maximum d'efficacité. De plus, la simulation physique a généralement besoin d'informations plus pertinentes qu'une simple réponse booléenne. Souvent une évaluation quantitative de l'interpénétration entre objets est nécessaire mais elle reste coûteuse dans le cas général. Enfin, un grand nombre de méthodes sont incompatibles avec les corps déformables.

4.1.1.4. le contrôle de la simulation :

on définit ainsi des contraintes que le système se doit de vérifier. Le plus gros problème est d'obtenir une solution qui respecte strictement ces contraintes lorsque c'est possible, et permet de trouver un compromis dans le cas contraire.

Il existe des moteurs de simulation permettant un usage interactif : de l'ordre de la seconde ou du dixième de seconde de temps de calcul. Ainsi, des bibliothèques gérant des objets rigides et quelques objets déformables sont actuellement commercialisées (<http://www.mathengine.com>, <http://www.havoc.com>) pour les jeux vidéos. Cependant, les objets de ces environnements ne peuvent pas généralement être directement manipulés avec un système à retour d'effort. En effet, les dispositifs haptiques nécessitent d'être commandés à des fréquences de plusieurs centaines de Hertz, voire 1Khz. Lorsque ces impératifs fréquentiels ne sont pas respectés, il en résulte des instabilités très gênantes pour l'utilisateur (vibrations haute fréquence avec le dispositif). Des solutions ont été proposées pour lier la simulation au périphérique. Cependant, ces méthodes découpent ces deux parties en utilisant des modèles intermédiaires simplifiés, utilisés à haute fréquence par le système à retour d'effort et mis à jour à basse fréquence par la simulation. Ces méthodes engendrent des redondances d'algorithmes (principalement les détections de collisions). Par ailleurs, la constitution de modèles intermédiaires dans le cas d'objets mous reste un problème ouvert.

4.1.2. Spore

Nous concevons une plate-forme où le lien entre environnement simulé et dispositif haptique est très étroit [12]. Ce projet a été baptisé SPORE pour Simulation Physique d'Objets virtuels dédiée au Retour d'Effort. Plus précisément, nous cherchons à réaliser une bibliothèque d'éléments logiciels permettant la simulation de corps physiques de types variés, la résolution des équations Newtoniennes ou Lagrangiennes régissant leur comportement, le calcul des collisions, la visualisation et le calcul des efforts. Le concept fondamental de SPORE est de diviser tous les corps simulés en trois composantes : une composante mécanique calculant le comportement, une composante géométrique, appelée également habillage, permettant la visualisation du corps, et enfin la composante de collision (à base de sphères) permettant au corps d'interagir avec l'environnement.

4.1.2.1. Décomposition des objets en trois composantes :

Afin de rendre notre plate-forme souple et générique, les corps sont autonomes. Ils établissent eux-mêmes leurs équations et définissent les liens entre les diverses composantes. En revanche, les aspects liés aux interactions entre corps sont centralisés dans le moteur, à savoir la détection des collisions, la résolution des équations différentielles (qui se charge également de la synchronisation des états des corps, c'est à dire de déterminer leur configuration à un temps t identique pour tous), ainsi que les contraintes de liaisons entre corps.

Nous souhaitons un lien étroit entre la simulation et les systèmes à retour d'effort. Ainsi, les informations pour commander le dispositif doivent être directement issues de la simulation. Nous cherchons à obtenir un temps de calcul d'un pas de simulation inférieur à 10ms. Les modèles simulés doivent donc être simples.

Par ailleurs, nous n'utilisons pas de détection des collisions spécifiques : les collisions du manipulateur avec l'environnement sont calculées par l'environnement. En outre, la prise en compte centralisée des collisions implique que les corps fournissent un modèle de collisions établi selon un même formalisme. Nous avons choisi un modèle de collision volumique basé sur des sphères, car il offre un bon compromis entre temps de calcul et précision.

La bibliothèque SPORE est fonctionnelle. Elle simule le comportement de plusieurs modèles basés sur la physique en temps réel, tout en permettant à un utilisateur d'interagir avec ces objets. Plus précisément, voici les divers points que nous étudions dans le cadre de ce projet :

4.1.2.2. *Les types de modèles simulés :*

nous enrichissons continuellement la bibliothèque de corps de SPORE. Les corps simulés incluent les solides rigides, les modèles masses/ressorts surfaciques, avec éventuellement une référence rigide [9], les modèles à particules, etc. Plus récemment, ce sont les splines dynamiques, issues des travaux du laboratoire LERI à Reims que nous avons adaptées au temps-réel : elles sont à la base de notre modèle de fil, mais aussi d'un modèle d'intestins. En outre, nous souhaitons pouvoir simuler certains modèles statiques comme des maillages éléments finis ou masses/ressorts.

4.1.2.3. *L'affichage des structures déformables :*

nous avons proposé une méthode très rapide pour afficher des surfaces implicites à squelette discret par l'algorithme des Marching Cubes [10] [31]. Nos travaux actuels concernent le contrôle du mélange entre surfaces implicites dans le cadre des Marching Cubes, l'affichage à base de graines pour les objets structurés et l'utilisation des surfaces de convolution. Par ailleurs, nous continuons de prospecter de nouveaux types d'habillage de modèles mécaniques ou d'effets spéciaux purement géométriques pour la représentation graphique d'objets complexes.

4.1.2.4. *Détection de collisions :*

avant le commencement du projet SPORE, nous avons étudié la détection des contacts entre modèles polyédriques. Nous avons fait des propositions de calculs permettant de détecter la collision entre deux facettes. Nous avons également proposé, pour deux objets éventuellement déformables, une méthode permettant de trouver rapidement les couples de facettes en collision probable [27]. Cependant, les temps de calculs s'avéraient longs et rendaient le retour d'effort instable. Pour le projet SPORE, nous nous sommes orientés vers une approche radicalement différente, pour des raisons de robustesse et de compatibilité avec les objets déformables. Nous détectons les recouvrements plutôt que les contacts car les méthodes à pénalité nous permettent de calculer rapidement les réponses aux interpénétrations. Nous avons choisi de modéliser le volume des objets par des sphères, car la non-collision et la distance d'interpénétration entre sphères sont évaluées très facilement. Afin de construire des modèles basés sur les sphères, nous explorons actuellement les diverses méthodes d'implicitisation d'objets polyédriques pour la construction de modèles de collisions à sphères. La détection de collisions est accélérée par division de l'espace en une grille régulière gérée par des algorithmes spécifiques optimisés.

4.1.2.5. *Méthodes d'intégrations des équations différentielles du mouvement :*

nous avons étudié [11] les limites des méthodes d'intégration explicite et proposé une méthode d'intégration implicite rapide et indépendante des modèles utilisés basée sur la méthode de Broyden. Notre étude sur la résolution des équations dynamiques du mouvement se prolonge actuellement par l'étude du multi-système où les équations de chaque objet sont intégrées séparément. Cette étude doit déboucher sur une solution d'intégration multi-méthode, où les équations de chaque objet sont intégrées avec la méthode la plus appropriée.

4.1.2.6. *L'interfaçage avec les systèmes à retour d'effort :*

les contraintes de temps imposées par les systèmes à retour d'effort nous obligent à une programmation très rigoureuse et optimisée. En outre, nous avons conçu une plate-forme dédiée exploitant le parallélisme des machines bi-processeurs afin que les calculs de la mécanique puissent accaparer un processeur, pendant que l'affichage et éventuellement la commande du dispositif haptique sont exécutés sur l'autre processeur.

En outre, SPORE a été interfacée à la fois avec un dispositif à retour d'effort dédié à la simulation de la coelioscopie [24], et avec le système PHANToM de la société Sensable (<http://www.sensible.com>). Afin de stabiliser le système à retour d'effort, nous proposons une méthode permettant de tirer parti de la grille utilisée par la simulation pour la détection de collision [1].

Actuellement SPORE est utilisée pour la simulation chirurgicale. Cependant, le couplage du dispositif PHANToM par SPORE nous offre la possibilité d'utiliser notre bibliothèque dans d'autres types d'environnements virtuels.

4.2. Travail de groupe sur les objets virtuels

4.2.1. Positionnement

Traditionnellement, les environnements virtuels sont utilisés dans les domaines de la formation, pour simuler des phénomènes physiques ou représenter des objets de l'environnement naturel, notamment dans le domaine de la médecine, du nucléaire (EDF), des transports (SNCF, aviation militaire et civile). Leur objectif est de reproduire l'environnement et les objets tels qu'ils sont, c'est-à-dire en intégrant à l'identique les propriétés des objets, des phénomènes physiques et les contraintes de l'environnement. Simuler un environnement naturel pose, du point de vue de la perception humaine, un certain nombre de problèmes. C'est pour cette raison que des recherches s'intéressent à la perception humaine, aux modes de navigation et à la manipulation des périphériques d'interactions. Cependant les aspects de la collaboration humaine sont encore peu traités dans la communauté de la réalité virtuelle.

Notre point de vue est sensiblement différent. En effet, nous avons choisi de nous situer dans le cadre de la collaboration virtuelle synchrone de petit groupe de personnes réalisant des activités autour d'objets 2D et 3D virtuels. Notre proposition permet à ces personnes d'utiliser leurs environnements informatiques bureautiques (poste de travail et portable) et ne les coupe pas de leur environnement de travail au sens large. L'environnement que nous proposons est construit autour d'une représentation abstraite qui immerge l'utilisateur dans un environnement connu (une salle de réunion), sans être toutefois une copie de la réalité. En minimisant la navigation et les gestes de manipulation, il permet à plusieurs personnes, distantes les unes des autres, de se focaliser sur la réalisation d'une tâche technique. Les abstractions de représentation et d'interaction que nous mettons en oeuvre ont pour objectif de favoriser la compréhension et l'apprentissage de concepts, les objets 2D/3D n'étant ici qu'un support à la collaboration.

La réalisation d'un environnement collaboratif virtuel centré sur l'activité pose un certain nombre de problèmes, relatifs tant aux sciences humaines qu'à l'informatique, en particulier :

4.2.1.1. Couplage homme machine :

En choisissant des modes de représentation et d'interaction adéquats, notre objectif est de permettre à l'utilisateur d'« oublier » l'interface en elle-même. Nous devons lui donner le « sentiment » d'agir directement sur les éléments de l'environnement, en fonction des buts qu'il poursuit. Les environnements virtuels immersifs sont construits en ce sens, mais les résultats sont peu transposables dans un cadre bureautique. Notre point de vue est que l'utilisateur est en situation d'usage avec les objets de l'activité. Les connaissances liées à l'usage permettent d'abstraire la représentation des objets et les interactions sur ceux-ci, tout en leur conservant un caractère tangible (d'un point de vue cognitif). En se focalisant sur les usages, il est possible d'extraire les invariants de la perception et de l'interaction, d'un point de vue informatique et ergonomique.

4.2.1.2. Activité multi-utilisateurs :

La recherche d'un environnement mono-utilisateur idéal, du point de vue de la perception ou de l'interaction, ne suffit pas à résoudre les mécanismes d'activités collectives synchrones. En plus du point de vue de l'utilisateur sur l'objet en cours de manipulation (c'est-à-dire la manière dont il le regarde), et l'effet de ses propres actions, il faut également représenter les effets des actions des autres participants. Ceci est nécessaire pour attribuer de la signification à la manipulation des autres, mais n'est pas suffisant pour appréhender l'activité globale. Cette compréhension passe par la communication verbale entre les différents acteurs, l'observation de leurs actions et leur collaboration.

4.2.1.3. Représentation des espaces de travail :

La collaboration en temps-réel, en situation de travail, impose un espace public commun, dans lequel on travaille ensemble en observant sa propre activité et celle des autres, sur les objets partagés. Dans cet espace, chaque utilisateur doit pouvoir organiser son environnement en fonction de sa représentation cognitive de l'activité et du type d'activité qu'il doit effectuer. Ce principe d'organisation est métaphoriquement identique aux habitudes de travail dans les environnements de travail 2D (multifenêtres, représentations iconiques, barres d'outils flottantes...). Cette organisation est propre à chaque utilisateur et ne peut donc être rendue publique, c'est-à-dire visible à l'ensemble des participants. Elle concerne la disposition des objets et la manière dont on les regarde. Cet espace public ne permet pas de travailler de manière individuelle sur un objet. Pourtant dans toute activité il n'est pas rare de tester individuellement sa compréhension sur le fonctionnement d'un objet, ou de préparer un document avant de le diffuser au groupe. Il apparaît donc souhaitable de disposer de deux espaces : un espace public, commun à l'ensemble des participants, dans lequel on peut cependant disposer les objets comme on le souhaite, et un espace privé où l'on peut à certains moments travailler individuellement mais sans perdre le contexte de l'activité collaborative.

4.2.1.4. Interaction avec des objets complexes :

Dans les environnements collaboratifs actuels, il est possible d'afficher et parfois de partager des objets, mais les possibilités de manipulations interactives restent très limitées. Les interactions sous contraintes, par exemple, sont rarement prises en compte. Or, en situation de conception, d'assistance ou de formation il est nécessaire d'effectuer des actions complexes sur les objets, comme assembler, ajuster et/ou déplacer différentes pièces. Intégrer de telles actions pour la manipulation d'objets demande que l'on prenne en compte des contraintes géométriques, mécaniques et physiques. Seuls les invariants pertinents sont transposés voir transformés pour rendre compréhensible les différentes manipulations sur les objets.

4.2.2. Plate-forme de communication

Nos premiers travaux ont porté sur la composition de la représentation de la scène abstraite de telle sorte que l'ensemble des éléments de la scène soit visible en permanence et ce, quelles que soient les actions sur les objets de la scène. Nous avons proposé l'utilisation d'une métaphore de type « table de réunion », sur laquelle est posée l'objet qu'un utilisateur désire manipuler, les autres objets 2D ou 3D de l'activité étant placés autour de cette table virtuelle (dans ce que nous appelons un bandeau) [2]. La disposition des objets au sein de l'environnement est propre à chaque utilisateur, qui peut ainsi organiser son interface en fonction de son activité. L'environnement en lui-même n'est donc pas partagé, seuls les objets le sont. En conséquence, toutes les actions locales d'un utilisateur (comme la désignation, par exemple) doivent être réinterprétées à distance. Il en est de même des gestes de l'utilisateur tels que la direction du regard ou des bras, ce qui nous a amené à l'utilisation d'une représentation synthétique des participants, sous forme de clones 3D anthropomorphiques, qui sont également disposés autour de la table de réunion.

Ces études ont fait l'objet de trois thèses [30][20][25], et ont abouti à la réalisation d'une plate-forme appelée Spin. Une application ludo-éducative, basée sur ce prototype, a été mise en place durant toute l'année 2000 à la Cité des Sciences et de l'Industrie de La Villette (Paris) [26].

Les principaux apports de Spin dans le domaine de l'IHM concernent les mécanismes d'actions et d'interactions avec des objets 3D dans un environnement type bureautique. En effet, l'interface étant affichée sur un écran 2D, en vision monoscopique, les utilisateurs ont des difficultés pour agir sur les objets et surtout pour les situer dans la profondeur. Nous avons donc étudié, au travers de différentes expérimentations [29], les invariants à transposer dans l'environnement virtuel pour guider l'action des utilisateurs. Ces invariants sont des métaphores d'action.

Les résultats ont mis en évidence que des indices tels que les ombres sont pertinents pour notre environnement 3D. Nous avons montré que la combinaison d'une ombre statique (ombre portée de l'objet) et d'une ombre dynamique (associée au pointeur) apporte une aide significative et suffisante aux utilisateurs pour localiser les objets [28]. Ces études ont confirmé le fait que l'on pouvait modifier les invariants perceptifs naturels.

Par la suite nous avons étudié la manière dont on peut améliorer la précision finale du geste lors de la sélection d'un objet. Ce travail a testé l'apport d'un indice dynamique lié à l'objet ou à une partie de l'objet. Cet indice dynamique est appelé « boîte englobante dynamique ». Il est fondé sur l'affichage d'une boîte englobante qui entoure l'objet dont l'utilisateur s'approche, et dont la taille et la couleur varient en fonction de la distance à l'objet [21]. Cet indice permet à l'utilisateur d'ajuster rapidement son geste. Cependant ce mécanisme apparaît comme insuffisant lorsque les objets sont proches les uns des autres.

Pour pallier ce problème, nous étudions, en lien avec le guidage d'action, la manière de rendre les objets plus tangibles (d'un point de vue cognitif) à l'utilisateur. On peut rendre l'objet cognitivement tangible en donnant à l'utilisateur la « sensation » de l'objet, c'est-à-dire son contact mais sans que celui-ci soit réaliste. Cette sensation pourrait être conçue sur le principe de « l'attraction-répulsion », en utilisant un dispositif haptique. Des expérimentations sont en cours pour valider ce concept.

En relation avec les métaphores d'action, qui sont des invariants statiques et dynamiques, nous étudions différents périphériques d'interaction. Une première comparaison a été effectuée entre l'usage de la souris et un périphérique de pointage 3D main libre (FreeD). Les résultats ont mis en évidence la supériorité du FreeD, et ce d'une manière significative. En effet, ce type de périphérique, plus compatible avec un environnement 3D, respecte le mouvement écologique du geste en permettant une relation isométrique entre le déplacement de la main et le mouvement du pointeur dans l'interface. Toutefois, étant utilisé main levée, il se révèle extrêmement fatigant à l'usage pour les utilisateurs. Nous avons donc comparé par la suite le FreeD avec le Phantom, basé sur un mécanisme de bras articulé. Le geste devient moins naturel et donc moins écologique du point de vue du mouvement. Les résultats de cette étude sont en cours de traitement.

Parallèlement à ce travail expérimental, nous avons conduit une étude empirique avec France Télécom, qui nous a permis d'étudier la compréhension, qu'ont les utilisateurs, des concepts mis en oeuvre dans notre environnement virtuel, lors d'une activité collaborative autour d'un simulateur d'appareil photo. Cette étude a révélé que les utilisateurs éprouvaient des difficultés de compréhension en ce qui concerne l'objet 3D (appareil photographique) manipulé par les autres acteurs. En effet, le point de vue sur l'appareil (son orientation) est une donnée privée à chaque utilisateur, alors que les actions de manipulation (orientation des bagues de réglage) sont partagées. De fait, ils pensaient que la position de l'appareil était commune à tous. Cette non-conformité à leurs attentes a impliqué chez les utilisateurs un conflit cognitif résolu par la coordination verbale entre les participants. Ce problème nous a conduit à faire de nouvelles propositions en ce qui concerne la métaphore de représentation des différents points de vue et en ce qui concerne la forme des pointeurs. Les études sur le prototype Spin nous ont permis de définir l'ensemble des composants logiciels nécessaires pour le développement d'une nouvelle plate-forme, Spin|3D [8][7] qui permettra, de manière aisée, d'écrire des applications coopératives synchrones, en prenant en compte les différents concepts d'IHM que nous proposons. Spin|3D peut donc être vu comme un « atelier logiciel », découpé en trois niveaux :

4.2.2.1. *la couche de communication réseau permettant le partage des objets de l'activité :*

pour assurer un niveau d'interactivité suffisant, les objets sont dupliqués sur chaque poste. Cette couche apporte les mécanismes permettant de maintenir la cohérence entre les différentes instances d'une même donnée partagée. Elle prend également en charge les services nécessaires à la gestion d'une session de travail (entrée/sortie de participants par exemple).

4.2.2.2. *La couche de gestion des objets :*

le choix du langage de description des objets s'est porté sur VRML97 pour ses possibilités de définition des interactions (sensors), de scripting et d'extension (ExternProtos). Les mécanismes d'interactions locales sur les objets (boîtes englobantes dynamiques, sélection, manipulation...) sont définis à ce niveau.

4.2.2.3. *La couche de gestion de l'interface :*

elle se charge de la représentation des éléments de l'environnement (table, bandeau, décor) et des participants (clones au format H-Anim). Elle gère les actions globales telles que le transfert d'un objet d'un élément à un autre, ou la notion de point de vue sur un objet (2D ou 3D). Elle intègre les outils métaphoriques d'action et d'interaction.

4.3. Assemblage virtuel

4.3.1. Gestion des assemblages

La plupart des situations de travail impliquant l'utilisation d'objets manufacturés ne demande pas juste une simple manipulation d'objets (rotations ou translations sur l'objet ou sur des parties de celui-ci), mais plutôt la mise en oeuvre d'activités plus complexes comme l'assemblage, démontage ou adaptation d'objets. Les interactions doivent alors être réalisées sous contraintes, ce que ne permet pas actuellement la plate-forme Spin 3D.

Il existe des systèmes de modélisation permettant de définir des contraintes entre points, arêtes et plans des objets. Ces systèmes permettent de limiter les interactions possibles, mais les contraintes sont prédéfinies à la construction des objets. Or, dans le cadre d'applications interactives, les opérations d'assemblage effectuées par l'utilisateur sont libres. Les contraintes doivent donc être créées dynamiquement. Une solution consiste à mettre en oeuvre un système de simulation permettant de prendre en compte les interactions mécaniques entre objets, avec détection de collisions et gestion des propriétés mécaniques telles que le glissement, les objets devant alors être modélisés fidèlement. Une alternative est d'abstraire les mécanismes d'interactions afin de ne pas entraver l'usage naturel des objets, et ce d'autant plus que le but n'est pas l'utilisation de l'objet pour lui-même mais bien l'apprentissage conceptuel au travers l'usage de cet objet. Notre proposition consiste à définir, sur les objets, des « zones de contact », la mise en correspondance des zones de contacts de deux objets créant une contrainte géométrique. Pour simplifier les interactions, on peut envisager une propriété s'apparentant à une aimantation.

La manipulation d'objets techniques virtuels dans ce cadre nécessitera de prendre en compte : La gestion des conflits d'accès à un objet. Par exemple, une action sur un objet peut avoir une influence sur autre objet manipulé par un autre utilisateur. Ceci est d'autant plus important pour la constitution de l'ensemble des moyens d'interactions mis à la disposition de l'utilisateur dans l'environnement collaboratif. La définition de métaphores adaptés à des manipulations contraintes s'intégrant dans un environnement bureautique.

4.3.2. Les outils d'assemblage

Dans le cadre d'une activité d'assemblage, l'utilisateur dispose soit d'un objet virtuel déjà constitué, qu'il peut démonter ou dont il peut déplacer des parties, soit d'un ensemble d'objets qu'il doit assembler et adapter. Afin que l'objet virtuel remplisse son rôle de médiateur de l'activité finalisée individuelle et/ou collective, il est nécessaire d'intégrer des supports à la manipulation adaptés à cette activité et qui n'entrave pas l'usage naturel des objets. Pour réaliser les différentes actions liées à l'assemblage (prendre un objet, le déplacer, l'orienter et le manipuler pour l'intégrer et l'adapter aux autres pièces), l'utilisateur dispose dans notre environnement virtuel de différents moyens d'interaction : les périphériques physiques isotoniques ou isométriques et les outils métaphoriques. Les premiers doivent être adaptés à des manipulations contraintes et s'intégrer dans un environnement bureautique. De plus, l'utilisation de ces périphériques doit être transparente pour l'utilisateur afin de ne pas entraver son activité cognitive.

Les seconds moyens d'interaction sont les outils métaphoriques. Ils autorisent des actions que le périphérique ne permet pas. Leur conception repose sur les connaissances des utilisateurs sur les objets et leurs usages ainsi que sur le type de manipulations proposées par le périphérique utilisé (nombre de degrés de liberté, isotonique ou isométrique). Les manipulations des outils métaphoriques sont dépendantes du périphérique choisi. Elles doivent être cohérentes avec les usages naturels des objets et le but de l'action (la fonction) sur l'objet. Ainsi, pour assembler des objets virtuels, l'utilisateur utilise un périphérique pour sélectionner des outils qu'il applique ensuite sur l'objet.

A ce jour, il n'existe pas de périphériques permettant d'effectuer l'ensemble des actions nécessaire pour une activité d'assemblage. Le périphérique isotonique permet d'effectuer des tâches de pointage et de sélection d'objet avec ou sans retour d'effort. Le périphérique isométrique permet, quant à lui, d'effectuer des translations et rotations sur l'objet sans retour haptique. Notre objectif est de définir un périphérique qui soit le plus approprié à l'activité d'assemblage. Pour cela nous adoptons une démarche expérimentale. Nous proposons des améliorations aux périphériques existants et définirons des outils métaphoriques en association avec le type de périphérique. Par exemple, nous comparerons le Phantom avec une solution moins onéreuse qui

reprend le principe de ce dernier mais qui utilise des freins au lieu du retour d'effort. Nous testerons également les limites des périphériques isométriques dans une tâche d'assemblage. En fonction des résultats nous ferons des propositions d'outils métaphoriques qui permettent d'améliorer la manipulation d'objets.

5. Logiciels

5.1. Spin 3D

Participant : Samuel Degrande [correspondant].

Le développement de la plate-forme de travail coopératif synchrone Spin 3D, présentée au paragraphe travail de groupe sur les objets virtuels 4.2, est effectué en collaboration avec France Télécom R&D (centre de Lannion). Une équipe multidisciplinaire (informaticiens et psychologues) d'une dizaine de personnes (moitié à Lille, moitié à Lannion) travaille sur ce projet.

L'objectif est de fournir un environnement complet permettant de réaliser simplement des applications coopératives.

Pour cela, Spin 3D a été conçu afin de permettre l'adjonction de modules externes, sans besoin de recompilation du noyau. Ces modules externes peuvent être de deux types : des plugins d'affichage, pour la prise en charge d'objets dont le format est inconnu par le noyau (on dispose, par exemple, d'un plugin HTML), ou des applications externes autonomes dialoguant avec le noyau par l'intermédiaire d'un bus Corba local (ce qui permet, par exemple, de connecter des applications patrimoines, type logiciel de CAO, sans nécessiter d'intégration lourde).

Le LIFL travaille principalement sur les couches « basses » en fournissant la plate-forme de communication Spin|Com, ainsi que la couche de gestion des objets. France Télécom de son côté s'intéresse plus particulièrement à la communication homme/homme en fournissant le module de prise en charge des clones, et à la définition d'outils auteurs pour la création d'environnements spécifiques.

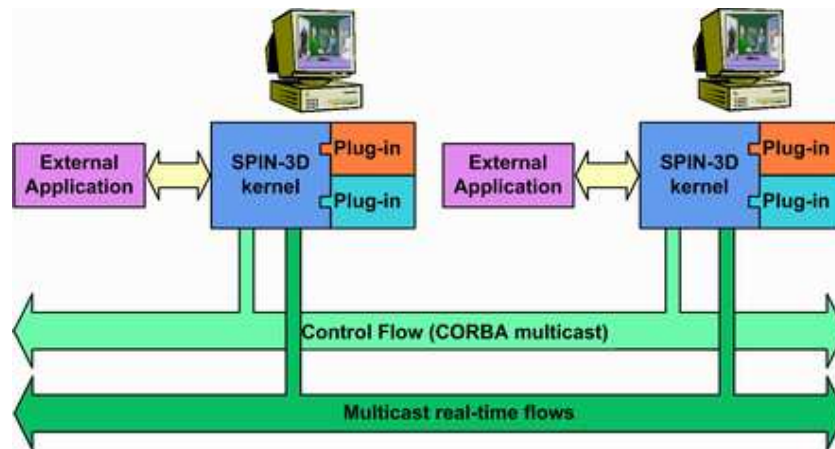


Figure 3.

Les principales applications visées sont la revue de projet, les TP virtuels et les jeux. Nous participons au projet européen, Divilab (Distributed Virtual Laboratory-IST-1999-12017), pour lequel nous proposons un TP d'apprentissage de l'utilisation d'un oscilloscope. D'autres applications sont envisagées, tant du côté du LIFL (jeu de cirque coopératif), que du côté de France Télécom (jeu de carte type UNO).



Figure 4.

5.2. SPIC

Participant : Philippe Meseure [correspondant].

Dans le cadre du GIS nous liant à l'ITM (Institut des Technologies Médicales de Lille) et le CHR de Lille, nous développons depuis 1995 un prototype de simulateur chirurgical baptisé SPIC pour Simulateur Pédagogique d'Interventions Coelioscopiques [6].

Les premiers développements ont été réalisés pour un simulateur en gynécologie. Une première version de ce dispositif (appelé SPIC 0) ne permettait que la manipulation des outils, mais aucune interaction avec les organes n'était possible. Pour ce dispositif, nous avons conçu un manipulateur restituant l'interface habituelle des médecins, à une caméra et deux pinces, dont les positions sont mesurées grâce à des potentiomètres. Nous avons également modélisé une cavité pelvienne avec les principaux organes, à partir de mesures effectuées sur patientes [22]. Au niveau logiciel, nous avons développé les routines permettant la visualisation en temps réel de l'environnement, ainsi que la détection des collisions entre outils et organes [23]. En outre, nous avons développé un certain nombre d'exercices à difficulté croissante, permettant la reconnaissance anatomique et diverses manipulations des outils, couplés à un protocole d'enseignement et d'évaluation. Même si cette version semble rudimentaire, elle offre des perspectives pédagogiques intéressantes pour un coût modique. Aussi, dans le cadre d'un partenariat avec la société SIMEDGE et l'IRCAD (Institut de Recherche sur les Cancers de l'Appareil Digestif) à Strasbourg et grâce au soutien d'une ACI télémédecine, nous étendons SPIC 0 au domaine viscéral. Le but est de transférer un simulateur pouvant être vendu 10KEuros environ.

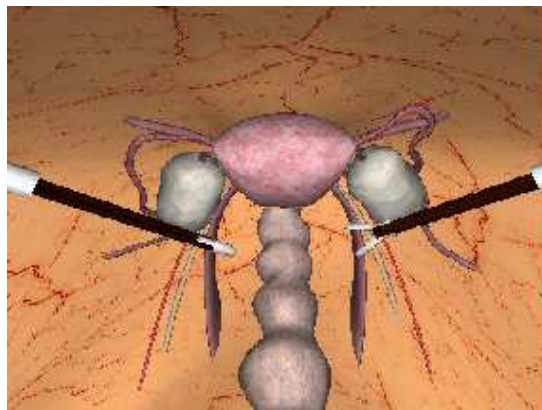


Figure 5.

Depuis 1998, nous cherchons à étendre l'utilisation de SPIC à des manipulations plus complexes afin d'offrir des perspectives pédagogiques plus larges. Nous souhaitons en particulier que l'apprenti chirurgien puisse manipuler les organes virtuels du simulateur. Nos recherches se sont donc divisées en deux volets principaux.



Figure 6.

Tout d'abord, nous avons ajouté la bibliothèque SPORE (voir 4.1) au simulateur SPIC afin de simuler la mécanique des organes de la cavité abdominale. Ensuite en collaboration avec l'ICAM (Institut Catholique des Arts et Métiers) à Lille, nous avons conçu un dispositif haptique reproduisant une pince coelioscopique à 5 degrés de libertés dont 3 motorisés permettant un retour d'efforts à l'utilisateur. Les actionneurs utilisés sont des moteurs « brushless » délivrant un couple suffisant évitant l'utilisation de réducteurs (ces derniers entraînent un jeu rendant le système à retour d'effort instable). En outre, le retour d'effort en enfoncement est réalisé grâce à un système original. Le moteur est déporté et lié à la pince par un câble push/pull. En outre, il n'est actif que dans une direction, afin de compenser un ressort pré-contraint. L'effort dans un sens est donc restitué par le ressort, et l'effort dans l'autre sens par le moteur. Par ailleurs, la caméra et l'autre pince ne renvoient pas d'effort mais sont équipés de capteurs numériques pour une acquisition précise des positions. Ce développement a bénéficié d'un financement ANVAR jusqu'en 2000. Les efforts actuels se concentrent surtout à augmenter le réalisme de la simulation. Nous travaillons en particulier sur la simulation de diverses interventions réelles (cholécystectomie, salpingectomie...) : ceci inclut à la fois la recherche de modèles appropriés et de divers effets spéciaux purement visuels. En outre, Nous collaborons avec l'équipe iMAGIS de Grenoble sur la modélisation et la simulation d'un intestin grêle, dans le cadre d'une ARC.

Enfin, avec le développement de SPIC, nous avons pu envisager la réalisation d'une bibliothèque de composants logiciels baptisée ALSPEME (Atelier Logiciel pour la conception de Simulateurs PÉdagogiques MÉdicaux), en collaboration avec la société SIMEDGE. Ce projet est financé par le RNTL. Le but est d'automatiser la conception de simulateurs chirurgicaux en mixant les techniques de simulation basées sur la physique, les méthodes de rendu d'images médicales et des outils pédagogiques génériques.. Le schéma ci-dessous présente l'architecture générique d'un simulateur médical basé sur ALSPEME. L'entreprise Simededge est en charge des aspects pédagogiques et de la mise en place d'une application. Nous travaillons sur la bibliothèque de simulation qui repose sur SPORE.

Ainsi, la conception d'un nouveau simulateur ne nécessite que la modélisation des organes et outils nécessaires à la reproduction de l'acte chirurgical. La production de nouveaux simulateurs est alors accélérée et les développements sont minimaux. Le développement de cet atelier s'est effectué sur le simulateur SPIC, mais nous souhaitons mettre en oeuvre ce système sur autre simulateur, en ophtalmologie, dont le développement démarre actuellement.

6. Résultats nouveaux

6.1. Plateforme de communication

Mots clés : *applications collaboratives, interaction 3D, VRML 97.*

De façon à rendre transparente l'utilisation de la plate-forme de communication (Spin|Com) [7] du point de vue du programmeur d'applications collaboratives, nous proposons [8] une extension multi-utilisateur à VRML97. Cette extension permet au concepteur de décrire les différentes parties partagées d'un objet VRML97.

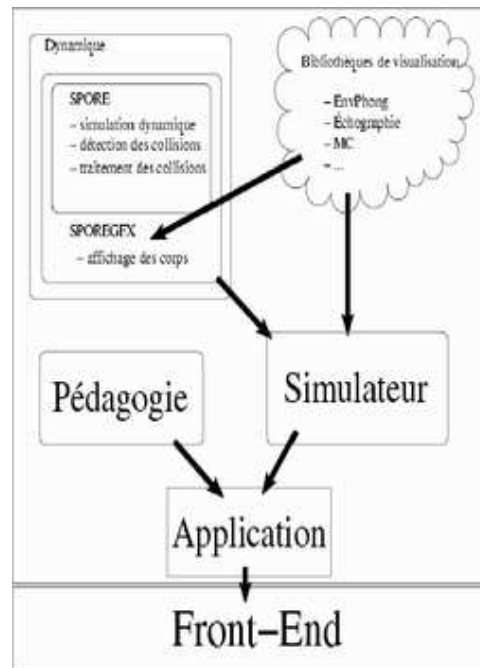


Figure 7.

Pour le partage de données, les approches classiques des mondes multi-utilisateurs (Living Worlds et ses dérivés Core Living Worlds de Sony, la proposition multi-utilisateur de Blaxxun, etc) sont basées sur un mécanisme d'insertion : des noeuds, chargés de propager à distance les modifications locales (événements), sont introduits dans le graphe de scène VRML97. Cela nécessite de la part du concepteur de l'objet partagé de casser les routes existantes en deux afin de tenir compte de ces noeuds dit "de partages". De plus avec ce mécanisme d'insertion, il n'y a aucune cohérence entre les différents postes au niveau des capteurs de manipulation (appelés Sensors en VRML97) : étant les initiateurs de la cascade d'événements (i.e. à l'origine d'une route VRML97), leurs sorties ne peuvent être synchronisés avec ce mécanisme. L'état de chaque capteur de manipulation n'est donc pas cohérent avec l'état des variables qui lui sont reliées via le mécanisme de routes. Bien sur, seul le poste à l'origine de la modification est cohérent ; sur les autres postes, cela va introduire des problèmes de compréhension de la part de l'utilisateur lors des futures manipulations (un saut brusque lors de l'animation pour retrouver un état cohérent entre la valeur de sortie du capteur et les variables qui lui sont connectées via le mécanisme de route).

L'extension proposée par Spin|3D est basée sur un mécanisme de substitution : le concepteur d'objet spécifique (en VRML97) les différents champs partagés de son objet dans un entête de partage. Dynamiquement, le noyau Spin|3D va utiliser ces informations de partage pour remplacer un champ « normal » (i.e. non partagé) par son équivalent partagé. Ces champs partagés sont chargés de propager à distance les modifications locales. La description du partage contient différentes informations permettant de configurer le canal de communication à utiliser (CORBA ou flux), de gérer les accès concurrents, etc. Hormis la description du partage, aucune modification supplémentaire au fichier VRML97 ne doit être effectuée. Contrairement aux approches classiques, les modifications à apporter à des fichiers VRML97 existants sont minimales permettant ainsi de concevoir très facilement des objets multi-utilisateurs à partir d'objets mono-utilisateur. De plus le mécanisme de substitution permet de résoudre le problème de cohérence des capteurs de manipulation : en effet, il est possible de déclarer comme partagées les différentes sorties de ces capteurs assurant ainsi leur cohérence globale (i.e. sur les différents postes).

L'extension multi-utilisateur proposée est intégrée au browser VRML97 présent dans le noyau de Spin|3D.

6.2. Simulation de fils chirurgicaux

Mots clés : *Simulation chirurgicale, animation de courbe basée sur la physique, habillage, suture.*

Nous proposons un modèle de fil pour l'apprentissage de certains gestes chirurgicaux comme la suture d'une plaie ou la réalisation de noeuds [19]. Ce modèle est basé sur l'animation d'une spline par la dynamique Lagrangienne contrainte par les multiplicateurs de Lagrange et dont les auto-collisions sont traitées par des méthodes à pénalité. Cela permet de simuler la création de noeuds en temps interactif.

6.3. Interaction avec retour d'effort

Mots clés : *interaction haptique, collision, environnement dynamique virtuel, modèle intermédiaire pour le retour d'effort.*

Il est délicat d'intégrer un dispositif à retour d'effort dans un environnement virtuel simulé à fréquence interactive. En effet, les dispositifs haptiques doivent être pilotés à hautes fréquences (500hz-10kHz) et en temps réel, alors que les simulations fonctionnent à fréquence réduite (10hz-50Hz) et en temps interactif.

Ainsi, d'une part, les approches naïves qui consistent à connecter directement la simulation au retour d'effort conduisent inévitablement à l'apparition d'instabilités. D'autre part, les approches classiques utilisent des modèles intermédiaires qui par leur simplicité permettent de fournir les informations nécessaires au pilote du dispositif à retour d'efforts à la fréquence souhaitée. Ces modèles intermédiaires sont des approximations locales de la géométrie, des forces ou de la dynamique. La limite de ces méthodes réside dans leur localité. En effet, si la mise à jour du modèle intermédiaire est trop lente, le modèle devient de plus en plus inexacte à mesure que l'on s'éloigne de la position d'évaluation du modèle intermédiaire.

Nous proposons [1] donc d'utiliser un modèle intermédiaire global, créé à partir d'une vision instantanée de l'ensemble de la scène simulée. Pour cela, on impose à la simulation de faire une détection des collisions à partir d'une décomposition en sphères des corps physiques. Cette détection est accélérée par une grille régulière de cellules. La complexité de cet algorithme de détection est linéaire en terme de nombre de sphères (sous certaines conditions).

A l'issue de cet algorithme, la grille de cellule contient l'ensemble des sphères de la scène. On utilise alors cette grille comme modèle intermédiaire global. Ainsi, la complexité de l'algorithme de détection des collisions entre l'image du dispositif haptique et la scène est linéaire (sous certaines conditions) en terme du seul nombre des sphères issues de la décomposition du dispositif haptique. De plus, afin de rendre cette méthode robuste aux déplacements des objets virtuels de la scène simulée, les centres des sphères de collision sont interpolés linéairement d'une grille à la suivante.

Cette méthode permet ainsi de piloter le dispositif haptique à la fréquence requise et d'assurer le temps réel sans pour autant imposer de fréquence minimale de mise à jour du modèle intermédiaire.

6.4. Modélisation collaborative

Mots clés : *environnement virtuel collaboratif, modélisation géométrique, sculpture virtuelle, IHM.*

Un premier environnement de modélisation collaborative a été présenté [18], mettant en évidence les classes de problèmes intrinsèquement liés à ce type d'outil. Une solution est présentée, permettant d'effectuer une tâche de modélisation simple (sculpture virtuelle à base d'outils implicites) de manière pleinement collaborative.

7. Contrats industriels

7.1. France Telecom R&D

Nous travaillons depuis 1994 avec France Télécom. Dans un premier temps, de 1994 à 1997 nous avons conduit une collaboration dans le cadre d'un contrat CTI pour la réalisation d'une première version d'une interface de travail coopératif. C'est dans ce cadre que nous avons réalisé une première version de SPIN. Ce travail a donné lieu à la soutenance de Deux thèses au LIFL dont une financée par le contrat.

Après un creux en 1998, France Télécom a montré son intérêt pour notre travail en recrutant le thésard ayant travaillé sur le premier contrat et en recrutant en thèse Pascal Lemer qui a soutenu sa thèse fin 2001 [25] sur l'articulation en action et communication dans les environnements virtuels non immersifs. Afin de faire un noyau complet et fiable de travail coopératif non immersif, nous avons mis en place un second contrat de collaboration pour les années 2000 et 2001 pour un montant de 1,1 MF hors taxe. Aujourd'hui 5 personnes travaillent à temps plein à Lannion sur le projet, maintenant nommé SPIN3D.

La collaboration se poursuit, mais il nous faut maintenant négocier un nouveau contrat pour les années à venir. Nos partenaires de France Télécom ont maintenant pour objectif de mettre en place des usages autour de la plateforme SPIN

7.2. Simedged

Deux membres de notre équipe (Sylvain Karpf et Eric Varlet) ainsi qu'un enseignant de l'ICAM (Dominique Lamy) avec qui nous collaborions pour réaliser les dispositifs à retour d'efforts ont créé l'entreprise SIMEDGE <http://www.simedged.com> qui industrialise le projet Sophocle. L'entreprise a été créée au printemps 1999. Ils sont actuellement 8 permanents. Simedged démarre avec un capital d'environ 1,2 MF, ses principaux actionnaires (en plus des 3 créateurs) sont : I-Source Gestion émanation de l'INRIA, Finorpa et Nord innovation des fonds régionaux et la société Archimed.

Sophocle, dont l'entreprise construit et vend une version industrielle sous le nom de PixEyes est un simulateur de photocoagulation laser de la rétine. Nous possédons un brevet sur ce produit dont nous avons accordé une licence exclusive à Simedged. A ce jour Simedged a vendu une douzaine de simulateurs. Nous avons en 1999 et 2000 collaboré pour la finalisation d'un simulateur de ponction de liquide amniotique qui n'a pas conduit à un produit commercialisable. Nous achevons avec eux la réalisation d'un simulateur de coelioscopie dans le cadre d'une ACI Télémedecine.

Nous poursuivons notre collaboration avec eux au travers du développement d'une bibliothèque logicielle générique ALSPEME (labellisée par le RNTL en juin 2000). Nous avons également obtenu un financement dans le cadre d'une opération RNTS 2002 intitulé E-simulation. Ce programme vise au développement, à la mise en place et à la validation d'une plate-forme nationale d'e-training en ophtalmologie basée sur un réseau de simulateurs de formation au diagnostic et au traitement. Notre participation concerne l'expertise en travail coopératif synchrone.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions nationales

8.1.1. ARC Simulation de Chirurgie Intestinale

en collaboration [17][16] avec iMAGIS (projet INRIA), l'ITM (institut des technologies médicales, Lille) et SIMEDGE (<http://www.simedged.com>).

8.1.2. Action Spécifique (CNRS)

Philippe Meseure (Alcove, Lille I), Abderrahmane Kheddar (LSC, Evry) et François Faure (GRAVIR, Grenoble) portent l'action sur la détection de collision entre objets virtuels (RTP synthèse d'images/réalité virtuelle).

8.1.3. Alspeme (RNTL 2001-2002)

en collaboration avec l'ITM et Simedged pour le développement d'un atelier logiciel pour les simulateurs médicaux

8.1.4. RNTS 2002 intitulé E-simulation

ce programme vise au développement, à la mise en place et à la validation d'une plate-forme nationale d'e-training en ophtalmologie basée sur un réseau de simulateurs de formation au diagnostic et au traitement. Notre participation concerne l'expertise en travail coopératif synchrone.

8.2. Enseignement

- DEA Université de Lille I (Environnements 3D, Image, ...) : P. Meseure, M. Daoudi

- EPU (Ecole Polytechnique Universitaire de Lille) - Synthèse d'images : L. Grisoni, L. Hilde
- EPU - Interface et Réalité Virtuelle : L. Grisoni, L. Hilde
- ENIC Telecom Lille I - Ingénierie et informatique pour le multimédia - Synthèse d'images : P. Meseure
- Maitrise Informatique université de Lille I - Synthèse d'Images : F. Aubert, J. Davanne
- IUP GMI3 - informatique graphique et projet C++ : F. Aubert, J. Davanne
- IUP GMI3 - IHM - ergonomie : P. Plénacoste

10. Bibliographie

Bibliographie de référence

- [1] J. DAVANNE, P. MESEURE, C. CHAILLOU. *Stable haptic interaction in a dynamic virtual environment*. in « International Conference on Intelligent Robots and Systems - IROS'2002 », Lausanne, october, 2002.
- [2] C. DUMAS, S. DEGRANDE, C. CHAILLOU, G. SAUGIS, P. PLÉNACOSTE, M. VIAUD. *SPIN : A 3-D Interface for cooperative work*. in « Virtual Reality Journal », 1999.
- [3] C. DURIEZ, D. LAMY, C. CHAILLOU. *A parallel manipulator as a haptic interface solution for amniocentesis simulation*. in « Proceedings of the IEEE Roman International Workshop on Robot and Human Interactive Communication », Bordeaux-Paris, september, 2001.
- [4] F. GIRAUD, B. LEMAIRE-SEMAIL, J. HAUTIER. *Model and Control of a Travelling Wave Ultrasonic Motor*. in « EPE », 2001.
- [5] L. HILDE, P. MESEURE, C. CHAILLOU. *A fast implicit integration method for solving dynamic equations of movement*. in « VRST'2001 Conference - Banff (Canada) », November, 2001.
- [6] A. JAMBON, D. QUERLEU, P. DUBOIS, C. CHAILLOU, P. MESEURE, S. KARPF, C. GÉRON. *SPIC : Pedagogical Simulator for Gynecologic Laparoscopy*. in « 8th Medecine Meets Virtual Reality Conference », Newport Beach, 2000.
- [7] S. LOUIS DIT PICARD, S. DEGRANDE, C. GRANSART, G. SAUGIS, C. CHAILLOU. *A CORBA Based Platform as Communication Support For Synchronous Collaborative Virtual Environment*. in « ACM Multimedia 2001, International Multimedia Middleware Workshop », Ottawa, Canada, october, 2001.
- [8] S. LOUIS DIT PICARD, S. DEGRANDE, C. GRANSART, G. SAUGIS, C. CHAILLOU. *VRML Data Sharing in The Spin-3D CVE*. in « Web3D 2002 », Tempe, Arizona USA, February, 2002.
- [9] P. MESEURE, C. CHAILLOU. *A Deformable Body Model for Surgical Simulation*. in « Journal of Visualization and Computer Animation », 2000.
- [10] F. TRIQUET, P. MESEURE, C. CHAILLOU. *Fast polygonisation of implicit surfaces*. in « WSCG'01 , Plzen, République Tchèque », 2001.

Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [11] L. HILDE. *Algorithmes de résolution des équations du mouvement pour l'animation basée sur la physique*. Thèse de doctorat, Université de Lille I, 2002.
- [12] P. MESEURE. *Animation basée sur la physique pour les environnements interactifs temps-réel*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Lille I, 2002.
- [13] J.-P. VANDEBORRE. *Modèles 3D : indexation, et habillage par textures extraites de photographies*. thèse de doctorat, Université de Lille I, 2002.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [14] O. CROQUETTE, J. VANDEBORRE, M. DAOUDI, C. CHAILLOU. *Indexing and retrieval VRML models*. in « SPIE Electronic Imaging 2002 Symposium (Internet Imaging Conference) », San Jose, California, USA, 2002.
- [15] J. DEQUIDT, L. GRISONI, P. MESEURE, C. CHAILLOU. *Détection de collisions entre objets rigides convexes autonomes*. in « AFIG'2002 », Lyon, december, 2002.
- [16] L. FRANCE, A. ANGELIDIS, P. MESEURE, M.-P. CANI, J. LENOIR, F. FAURE, C. CHAILLOU. *Implicit Representation of The Human Intestines for Surgery Simulations*. in « Conference on Modelling and Simulation for Computer-aided Medicine and Surgery (MS4CMS) », INRIA, Rocquencourt, 2002.
- [17] L. FRANCE, J. LENOIR, P. MESEURE, C. CHAILLOU. *Simulation of a minimally invasive surgery of intestines*. in « Virtual Reality International Conference - VRIC'02 », Laval (France), june, 2002.
- [18] L. GRISONI, S. DEGRANDE, C. CHAILLOU, E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL. *SpinCAS : a step toward virtual collaborative sculpting*. in « Virtual Reality International Conference - VRIC'02 », Laval (France), June, 2002.
- [19] J. LENOIR, P. MESEURE, L. GRISONI, C. CHAILLOU. *Surgical Thread Simulation*. in « Modelling & Simulation for Computer-aided Medicine and Surgery (MS4CMS) », November, 2002.

Bibliographie générale

- [20] C. DUMAS. *Un modèle d'interaction en 3D : Interaction homme-machine et homme-machine-homme dans les interfaces 3D pour le TCAO synchrone*. thèse de doctorat, Université de Lille I, 1999.
- [21] C. DUMAS, P. PLÉNACOSTE. *Les indices dynamiques dans les interfaces 3D : au-delà des ombres portées*. in « Conférence ERGO-IHM 2000, ergonomie et informatique avancée, Interaction Homme-Machine », Biarritz, France, october, 2000, in french.
- [22] A. JAMBON, F. DUBECQ-PRINCETEAU, S. KARPF, D. QUERLEU, P. DUBOIS. *Measure of abdominal cavity volumes by gynecologic laparoscopy*. in « Contracept. Fertil. Sex. », numéro 25, 1997, pages 6-12.
- [23] A. JAMBON, P. DUBOIS, S. KARPF. *A Low-Cost Training Simulator for Initial Formation in Gynecologic*

Laparoscopy. in « Proceedings of CVR MED II and MRCAS III », volume tome 1215, éditeurs S. LNCS., Grenoble, France, march, 1997.

- [24] D. LAMY, C. CHAILLOU. *Design, Implementation and Evaluation of an Haptic Interface for Surgical Gesture Training*. in « Virtual Reality and Prototyping », pages 107-116, Laval, 1999.
- [25] P. LEMER. *Modèle de communication Homme-Clone-Homme pour les Environnements Virtuels Collaboratifs non-immersifs*. thèse de doctorat, Université de Lille I, 2001.
- [26] S. LOUIS DIT PICARD, S. DEGRANDE, P. PLÉNACOSTE, C. CHAILLOU. *The SpIn Platform for an Application of Cooperative Training at La Villette Museum*. in « First French-British international workshop on Virtual Reality », Brest, France, july, 2000.
- [27] P. MESEURE, L. HILDE, C. CHAILLOU. *Accélération de la détection de collisions entre corps rigides et déformables*. in « 6ième journées du GT Réalité Virtuelle, PRC-GDR Communication Homme-Machine », Paris, 1998, in french.
- [28] P. PLÉNACOSTE, C. DEMAREY, C. DUMAS. *The role of static and dynamic shadows in a three-dimensional computer environment*. in « Conference of AACE-Association for the Advancement of Computing in Education in cooperation with WW/internet bussinesses & Industry, Proceedings of WebNet 98 », Orlando, Florida, USA, november, 1998.
- [29] P. PLÉNACOSTE, C. DUMAS. *Définition d'un modèle d'interaction pour une interface de travail tridimensionnelle à partir d'expérimentation*. in « Onzième conférence Internationale francophones sur l'interaction Homme-Machine - IHM99 », le Corum Montpellier, november, 1999.
- [30] G. SAUGIS. *Interfaces 3D pour le travail coopératif synchrone, une proposition*. thèse de doctorat, Université de Lille I, 1998.
- [31] F. TRIQUET. *Habillage de modèles mécaniques : facettisation temps-réel de surfaces implicites*. thèse de doctorat, Université de Lille I, 2001.