

# *Projet SIAMES*

*Synthèse d'Images, Animation, Modélisation et Simulation*

*Rennes*

THÈME 3B



*R*apport  
*d'**A*ctivité

2001



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>5</b>
3.1	Panorama . . . . .	5
3.2	Simulation d'éclairage et synthèse d'image . . . . .	6
3.3	Modèles dynamiques de mouvement . . . . .	8
3.4	Modélisation et simulation comportementale . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>11</b>
4.1	Panorama . . . . .	11
4.2	La réalité virtuelle, la réalité augmentée et la téléopération . . . . .	12
4.3	Humanoïdes virtuels et modèles biomécaniques . . . . .	12
4.4	Le multimédia, l'audiovisuel et les jeux . . . . .	13
4.5	Les modèles mécanique et le prototypage virtuel . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Logiciels</b>	<b>14</b>
5.1	Panorama . . . . .	14
5.2	Logiciel de simulation d'éclairage . . . . .	14
5.3	Plate-forme de simulation . . . . .	15
5.4	Définition d'un outil pour l'entraîneur sportif . . . . .	17
<b>6</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>18</b>
6.1	Navigation en temps réel dans des scènes complexes à travers un réseau bas débit	18
6.2	Synchronisation automatique de comportements . . . . .	20
6.3	Modélisation d'environnements urbains informés pour les agents autonomes . .	21
6.4	Scénario pour l'animation comportementale . . . . .	22
6.5	Interactions en Univers Virtuels 3D . . . . .	24
6.6	Modèles mécaniques et prototypage virtuel. . . . .	28
<b>7</b>	<b>Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)</b>	<b>28</b>
7.1	FranceTelecom : Modélisation d'Environnements Urbains en vue de Visualisation déportée, interactive et réaliste. . . . .	28
7.2	Cryo-Interactive : humain virtuel temps réel . . . . .	30
7.3	RNTL PERFRV : Plate-forme française de réalité virtuelle . . . . .	31
7.4	RNTL Mouvement : Estimation du mouvement . . . . .	33
7.5	RNTL Dramachina : scénario pour la fiction interactive . . . . .	36
7.6	RNTL Dynamicité : ville virtuelle peuplée d'entités autonomes . . . . .	36
7.7	RNRT VTHD . . . . .	37
7.8	Cité des sciences et de l'industrie : images animées autonomes . . . . .	38

<b>8</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>38</b>
8.1	Relations bilatérales internationales . . . . .	38
8.2	Actions nationales . . . . .	39
8.3	Actions financées par la Commission Européenne . . . . .	41
<b>9</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>41</b>
9.1	Animation de la communauté scientifique . . . . .	41
9.2	Enseignement universitaire . . . . .	42
<b>10</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>42</b>

# 1 Composition de l'équipe

## Responsable scientifique

Bruno Arnaldi [Professeur Insa de Rennes]

## Assistante de projet

Evelyne Livache [SAN Inria]

## Personnel Inria

Guy André [CR]

Alain Chauffaut [IR]

Jean-Luc Nougaret [CR]

Thierry Duval [CR, détachement INRIA jusqu'au 1er septembre 2001]

## Personnel CNRS

Stéphane Donikian [CR]

Annick Leroy [IE]

## Université de Rennes 1

Kadi Bouatouch [Professeur]

Rémi Cozot [Maître de conférences jusqu'au 1er septembre 2001]

Éric Maisel [Maître de conférences jusqu'au 1er septembre 2001]

Thierry Duval [Maître de conférences depuis le 1er septembre 2001]

## INSA de Rennes

Erwan Guillou [ATER]

## Personnel ENS Cachan

Georges Dumont [Maître de conférence ENS Cachan]

## Ingénieurs Experts

Guillaume Bataille [Inria]

Frantz Degrigny [Inria]

Olivier Filangi [Inria]

Claudie Fourn [Inria]

Armel Cretual [Inria]

Mathilde Vandenberghe [Inria]

Guillermo Andrade [Inria depuis le 1er avril 2001]

Christian Le Tennier [Inria depuis le 1er juillet 2001]

## Chercheurs doctorants

David Margery [Bourse MENRT jusqu'au 30 septembre 2001]

Frédéric Devillers [Bourse MENRT jusqu'au 30 septembre 2001]

Stéphane Menardais [Bourse MENRT]

Mickael Pouliquen [Bourse MENRT]

Tangi Meyer [Bourse INRIA-Région]

Nicolas Courty [Bourse CNET]

Fabrice Lamarche [Bourse MENRT]

Romain Thomas [Bourse INRIA]

Jean-Eudes Marvie [Bourse INRIA]

Caroline Larboulette [Bourse MENRT depuis le 1er octobre 2001]

Nicolas Mollet [Bourse INRIA depuis le 1er octobre 2001]

### Postes d'accueil jeune

Michael Rouillé [Depuis le 1er octobre 2001]

Jean-François Taille [jusqu'au 1er octobre 2001]

### Collaborateurs extérieurs

Gérard Hégron [Professeur École des Mines de Nantes]

Franck Multon [Laboratoire de physiologie et de biomécanique de l'exercice musculaire Rennes II]

## 2 Présentation et objectifs généraux

Le contexte général de nos travaux de recherche concerne la **simulation de systèmes complexes**. En effet, nos axes de recherche traitent de simulation d'éclairage, de simulation de modèles mécaniques, de contrôle de systèmes dynamiques, de simulation temps réel et de modélisation d'environnements virtuels.

Nos études s'organisent principalement autour de trois axes :

- **l'informatique graphique** : l'essentiel de nos travaux consiste à élaborer et intégrer des *modèles*, à définir des *algorithmes* et à étudier les *complexités* des solutions proposées ;
- **la simulation** : notre objectif principal est de pouvoir confronter les résultats produits par nos algorithmes à des valeurs numériques mesurées sur site réel, ceci afin de *valider* expérimentalement les approches et les concepts étudiés ;
- **l'organisation « système »** : pour développer les deux points précédents, nous devons être à même de traiter des cas « grandeur nature » et de valider nos approches par des mises en œuvre.

Plus précisément, les études s'articulent autour de trois champs d'activités complémentaires mais de problématiques distinctes :

- **la simulation d'éclairage** : les algorithmes de synthèse d'image réaliste permettent d'obtenir des résultats de très haute qualité par l'introduction de modèles d'éclairage fondés sur la physique, permettant d'évaluer les interactions entre la lumière et les objets ;
- **la simulation de systèmes physiques** : nous abordons la simulation de systèmes physiques sous l'angle des schémas de calcul nécessaires à la production des équations régissant ces systèmes. Nous étudions également la résolution de ces équations (approche symbolique / numérique). De plus, nous travaillons particulièrement sur les techniques de contrôle du mouvement de systèmes dynamiques (animaux, humanoïdes). Cette approche nous permet d'aborder les problèmes de simulation ou d'animation par ordinateur.
- **la modélisation et la simulation comportementale** : Afin de simuler le comportement humain (ou animal) lors de tâches spécifiques, nous nous intéressons à la réalisation d'outils de spécification et de simulation du comportement d'entités dynamiques, autonomes mais néanmoins contrôlables, ainsi qu'à la modélisation de l'environnement dans lequel ces « acteurs » vont évoluer. Pour le comportement individuel ou collectif, nous devons prendre en compte les aspects continus (lien avec le système moteur) et discrets (lien avec le système cognitif) : il s'agit donc de systèmes hybrides. En ce qui concerne la modélisation de l'environnement, il s'agit de gérer non seulement les caractéristiques géométriques, mais aussi toutes les informations pertinentes pour les modèles comporte-

mentaux (nature topologique et sémantique de l'environnement géométrique).

Deux thèmes transversaux sont aussi activement explorés :

- **les environnements virtuels** : plus connu sous la dénomination de *Réalité Virtuelle*, ce secteur d'activité fait en effet intervenir les différents thèmes de recherche du projet (éclairage, animation, simulation, etc... ). À travers des applications qui appartiennent aux domaines de la simulation ou de la téléopération, nous abordons ce champ applicatif en y incorporant pour une large part nos travaux de recherche.
- **les algorithmes parallèles** : la tendance actuelle est largement orientée vers l'utilisation de modèles de plus en plus complexes (forme, mouvement, rendu). Les conséquences directes en sont la forte augmentation des coûts de calcul liés à la production d'images fixes ou animées. Outre les recherches visant à réduire la complexité des algorithmes séquentiels, l'étude des schémas de parallélisation de ces algorithmes revêt un caractère fondamental. Ces travaux sont menés en étroite collaboration avec T. Priol du projet PARIS.

Notre activité de recherche nous a conduits à réaliser une **plate-forme logicielle de simulation** capable d'intégrer les différents composants de nos travaux dans un contexte de simulation temps réel distribuée. Cette plate-forme intègre les trois grandes familles de modèles de contrôle du mouvement :

**les modèles descriptifs ou phénoménologiques** qui sont utilisés pour reproduire uniquement les effets (mouvement, déformation), sans aucune connaissance a priori sur les causes qui pourraient les avoir produits. Ils décrivent la cinématique des phénomènes dynamiques.

**les modèles générateurs ou fondés sur la physique** qui décrivent les causes capables de produire un effet. Par exemple, les modèles utilisant la mécanique font partie des modèles générateurs.

**les modèles comportementaux** dont le but est de simuler le comportement d'individus vivants (plantes, animaux et êtres humains). Ces modèles définissent le comportement d'une entité, ses actions et ses réactions, de manière individuelle (animal, humain) ou collective (foule).

## 3 Fondements scientifiques

### 3.1 Panorama

**Résumé :** *Le projet s'intéresse de manière spécifique aux problèmes de simulation de systèmes dynamiques complexes incluant des besoins de restitution visuelle 3D des résultats, en temps réel ou différé selon la nature des phénomènes simulés. Dans le contexte général de l'informatique graphique, nos sujets d'étude portent essentiellement sur les couplages entre les calculs liés à des modèles de simulation complexes et la visualisation dynamique des résultats. Nos travaux portent sur les thèmes scientifiques suivants :*

- *l'étude des modèles dynamiques de mouvement pour l'animation et la simulation : ces travaux comprennent les problèmes liés à la modélisation des sys-*

- tèmes physiques, leur contrôle et les différents types d'interaction pouvant intervenir lors d'une simulation (guidage, collisions, contacts, ...);
- l'étude de la modélisation d'environnements dynamiques : la simulation d'entités comportementales s'appuie à la fois sur des modèles d'interaction entre entités, mais aussi sur la perception de l'environnement dans lequel elles vont évoluer. Les caractéristiques géométriques de l'environnement ne sont pas suffisantes pour rendre compte de l'interaction de l'entité comportementale avec son environnement. Il est nécessaire d'y adjoindre des informations sur l'organisation de l'espace et sur la caractérisation des objets qui le composent (niveaux topologiques et sémantiques).
  - la simulation d'éclairage : il s'agit de simuler l'éclairage dans des environnements architecturaux complexes nécessitant des ressources de calcul et de mémoire importantes. L'objectif visé est de réaliser cette simulation à la fois avec une station de travail ordinaire ou avec un réseau de machines. Cette simulation doit aussi fournir un moyen d'apprécier le résultat obtenu en évaluant des critères de confort visuel. Ces critères doivent guider l'éclairagiste à améliorer l'éclairage.

### 3.2 Simulation d'éclairage et synthèse d'image

**Mots clés :** algorithmes parallèles, simulation d'éclairage, synthèse d'image, radiosité.

**Glossaire :**

Radiométrie : mesure des grandeurs physiques liées au rayonnement.

Photométrie : mesure des grandeurs physiques liées au rayonnement perçu par un observateur humain moyen caractérisé par une fonction de sensibilité.

Radiosité : flux émis par unité de surface ; on l'appelle aussi émittance.

Modèle d'illumination global : modèle décrivant les différentes et multiples interactions entre lumière et matière.

Flux : énergie par unité de temps, exprimée en Watt ou Lumen.

Luminance : flux émis par unité de surface projetée et par unité d'angle solide.

Réflectance : rapport entre flux réfléchi et flux incident.

**Résumé :** Depuis les années 1980, la synthèse d'image a abandonné la voie de l'empirisme pour prendre une direction réellement scientifique et rigoureuse en s'appuyant sur l'informatique, la physique, la radiométrie et la photométrie, les mathématiques, la perception visuelle... C'est en suivant cette direction qu'une simulation de la propagation de la lumière dans un environnement est possible. Cette approche de la simulation d'éclairage doit permettre à un éclairagiste d'évaluer avec précision les grandeurs radiométriques en tout point d'une scène afin d'évaluer différents critères de confort visuel et de visibilité. Cette approche physique de la simulation est celle suivie par notre équipe. Par ailleurs, il est connu que la simulation d'éclairage (par la méthode de radiosité par exemple) est une tâche nécessitant beaucoup de ressources mémoire et de calcul. Sans une algorithmique spécifique, la simulation dans un environnement complexe est impossible à réaliser avec un seul processeur.

*Ce domaine de recherche touche à la fois le calcul de vues à partir de vues, la réalité virtuelle et la réalité augmentée.*

### Simulation d'éclairage et rendu temps réel

L'objectif de la simulation d'éclairage est de simuler à l'aide des lois de la physique, les échanges lumineux entre les sources de lumière naturelles (ciel et soleil) ou artificielles (lumières) et les différents constituants matériels d'un environnement. Cette simulation de l'éclairage compte deux objectifs principaux, permettre de simuler de manière précise la quantité de lumière émise en tout point d'un environnement et évaluer le confort visuel à l'intérieur d'une pièce et modifier les éclairages en conséquence.

Pour effectuer cette simulation, il est indispensable d'utiliser les modèles d'illumination globaux (équation de luminance) et les techniques avancées de synthèse d'images réalistes, telles que la radiativité et le lancer de rayon. Ainsi, à l'aide de ces méthodes, il est possible de calculer l'ensemble des flux lumineux distribués dans tout l'environnement (le résultat de cette simulation est la distribution des luminances). Il suffit alors, à partir de la description d'un observateur (position, direction du regard, sensibilité, ...), de calculer l'image des luminances telles qu'elles seront perçues par cet observateur placé dans cet environnement. Cette simulation nécessite la connaissance des propriétés physiques des matériaux et des sources de lumière (telles que la réflectance...) constituant la scène pour laquelle on veut réaliser l'éclairage. Ces propriétés sont soit mesurées soit données par un modèle.

L'approche suivie par notre équipe s'appuie sur la méthode de radiativité et de lancer de rayon. Elle est fondée sur la physique de la propagation d'énergie électromagnétique, utilise des lumières réels et l'éclairage naturel, et fait appel à des outils mathématiques tels que les techniques de projection, les ondelettes, la méthode de Monte Carlo, ... Les critères de confort visuel utilisés sont ceux définis par la Commission Internationale de l'Eclairage.

La simulation d'éclairage reste une tâche très coûteuse en temps de calcul et en capacité mémoire, même pour des environnements de complexité modérée. En effet, cette simulation consiste en fait à résoudre une équation intégrale que nous projetons dans un espace fonctionnel engendré par une base d'ondelettes. Cette projection implique le maillage des surfaces de la scène en plus petites surfaces appelées *éléments de surface*. De plus, de nombreuses structures de données sont mises en place pour représenter ce maillage et pour accélérer les calculs. Ceci nécessite une mémoire de stockage importante. Sans une algorithmique adaptée, ces techniques permettent de simuler l'éclairage dans des environnements de moyenne complexité (une ou deux pièces dans un bâtiment) mais non de traiter des bases de données plus conséquentes telles que des immeubles de plusieurs étages.

Une autre solution consiste à calculer des images d'une scène réelle ou virtuelle à partir de plusieurs images acquises à l'aide d'une caméra. Trois points sont étudiés. Le premier concerne la représentation de la scène à l'aide de primitives géométriques reconstruites ou de cartes de profondeur. Ce point concerne aussi l'extraction de textures indépendamment des ombres et des reflets. Le deuxième point traite du problème de rendu des scènes ainsi représentées : il s'agit de se déplacer dans ces scènes en temps réel et d'insérer des objets virtuels. L'objet du troisième point est d'estimer les conditions d'éclairage ainsi que les réflectances des objets afin de pouvoir recalculer la même scène éclairée de manière différente et d'homogénéiser l'éclairage

entre les objets virtuels et réels.

Ces dernières années, l'augmentation de la puissance des ordinateurs grand public et des cartes graphiques 3D a permis le développement d'applications 3D temps réel de très bonne qualité visuelle. D'autre part, l'amélioration des débits réseaux pour les accès internet offre la possibilité de télécharger des fichiers VRML de petite taille permettant de décrire des scènes 3D. Une fois le fichier rapatrié, un navigateur 3D permet de visualiser cette scène en temps réel. Cette technique pose cependant des contraintes sur la taille de la scène visitée. Il n'est en effet pas envisageable de rapatrier un modèle de ville afin de permettre une navigation parce que le temps de téléchargement graphique 3D serait incompatible avec un tel volume de données.

### 3.3 Modèles dynamiques de mouvement

**Mots clés :** mouvement, animation, simulation, identification, systèmes hybrides, niveaux de détail.

**Glossaire :**

Animation : modèles et algorithmes permettant de produire des mouvements conformes à la spécification de l'animateur.

Animation par modèles physiques : se dit des modèles d'animation qui prennent en compte les lois physiques, sur le plan structurel ou comportemental.

Système hybride : système dynamique mettant en interaction une partie différentielle continue et un système à événements discrets.

Vecteur d'état : vecteur de données représentant le système à un instant  $t$ , exemple : le couple position et vitesse.

**Résumé :** *A l'instar de l'approche adoptée en synthèse d'images photoréalistes, nous cherchons à baser nos algorithmes sur des modèles physiques. En outre, la synthèse de mouvements naturels nécessite la prise en compte de phénomènes complexes, au niveau mécanique, biomécanique ou neurophysiologique (activation neuromusculaire, planification et boucles d'asservissement, etc.).*

La création de mouvements d'objets ou de personnages synthétiques nécessite la mise en œuvre de modèles dynamiques adaptés aux différents contextes applicatifs de la synthèse d'images : la simulation du mouvement naturel, l'animation pour la production audio-visuelle ou l'animation-simulation interactive.

La modélisation mathématique des processus de génération du mouvement et leur mise en œuvre algorithmique s'appuient sur la théorie des systèmes dynamiques et utilisent les outils de la mécanique, de l'automatique et du traitement du signal. La forme générale d'un modèle dynamique de mouvement est celle d'un système hybride, interaction d'une partie différentielle continue, avec un système à événements discrets :

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f(x(t), u(t), t) \\ x_{n+1} &= g(x_n, u_n, n) \end{aligned} \tag{1}$$

où le vecteur d'état  $x$  est une concaténation des variables d'état discrètes et continues,  $u$  est le vecteur de commande et  $t$  le temps.

Typiquement, le traitement physique des contacts (chocs et frottements) est effectué à l'aide d'un modèle hybride. Les collisions se manifestent par des sauts dans l'espace d'état (impulsions correspondant à des discontinuités des vitesses). Les procédés de contrôle des différentes phases de la locomotion se formalisent également à l'aide de modèles hybrides.

Nos études consistent à définir les méthodes et les algorithmes servant à construire un modèle dynamique hybride à partir des spécifications d'un utilisateur. L'objectif principal est de transférer la puissance des outils d'étude et de simulation de ces modèles, au domaine de l'animation par ordinateur.

Dans ce contexte, plusieurs thèmes de recherche émergent :

**la génération automatique des modèles :** cela consiste, d'une part, à définir un langage de spécification des modèles de mouvement et d'autre part, à proposer des algorithmes optimisés pour des architectures spécialisées (comme des machines parallèles). Dans le cas d'objets inertes (sans actionneur), l'application des principes généraux de la mécanique garantit l'obtention du modèle à partir de ses caractéristiques géométriques et mécaniques. La synthèse des lois de commande peut faire appel à des méthodes systématiques comme la commande optimale, sous réserve que le problème posé puisse être mis sous la forme usuelle d'un schéma de commande.

**l'identification :** la validité d'un modèle de mouvement passe par une phase de calibrage et d'identification. A partir de l'étude de trajectoires réelles, des techniques d'identification paramétriques et structurelles permettent d'inscrire la conception des modèles de mouvement dans le cadre d'une approche analyse-synthèse.

**les niveaux de détail :** la notion de niveaux de détail est essentielle en animation. La restitution de scènes complexes nécessite une gestion adaptative des coûts de calculs associés aux différents objets animés de la scène. Ce problème comporte deux facettes complémentaires : la génération et la gestion en-ligne, à l'instar de ce qui est développé pour la géométrie et les textures.

**la commande interactive pour l'animation-simulation :** la démarche générale consiste à adapter certaines fonctions ainsi que des méthodes, issues de la robotique ou de l'automatique, au domaine de l'informatique graphique interactive.

L'objectif porte sur la production automatique du mouvement et la notion de contrôleur, destiné à être associé à chaque entité géométrique. Les recherches se situent ici comme des extensions par rapport aux techniques de contrôle au niveau cinématique ou dynamique (en particulier contrôle par contraintes). Nous cherchons à doter les entités de capacités sensorielles pour élaborer des fonctions de guidage adaptatif du mouvement. L'objectif est d'établir les fondements d'une structure de contrôle-commande en boucle fermée, pour la génération automatique de trajectoires dans un environnement complexe et/ou évolutif. Cette fonction de perception de l'environnement est fondamentale pour faire évoluer les techniques d'animation vers l'animation d'entités dotées de véritables propriétés comportementales.

### 3.4 Modélisation et simulation comportementale

**Mots clés :** modélisation topologique, modélisation sémantique, systèmes multi-agents, animation comportementale, simulation événementielle, automates, statecharts, réseaux de Petri, objets réactifs, objets temps réel, scénario de simulation.

**Glossaire :**

Modèle topologique : ensemble des relations spatiales reliant les objets géométriques entre eux et formant un graphe.

Modèle sémantique : ensemble des propriétés fonctionnelles d'un objet liées à son usage.

Perception : analyse de l'environnement virtuel à travers un ensemble de capteurs représentant la ressource de perception de l'entité.

Modèle décisionnel : il évalue le nouvel état d'une entité en fonction de la perception qu'elle a de son environnement, de ses buts et de son état courant.

Action : l'entité réagit en agissant sur ces ressources propres (ex : actionneur) ou sur son environnement direct.

Communication : dialogue avec les autres entités de l'environnement.

**Résumé :** *L'animation comportementale vise à aborder une dimension nouvelle de l'animation par ordinateur, l'animation de scènes complexes en contexte multi-acteurs (ou multi-agents). Nous introduisons une représentation qui associe à chaque entité (acteur ou agent comportemental) d'une scène une cellule : perception / décision / action / communication. Les recherches actuelles visent à doter les entités d'une scène d'une certaine autonomie, puis à les gérer à partir de directives de haut niveau. La simulation est constituée d'un ensemble d'objets dynamiques, dont les évolutions dépendent des interactions qui peuvent se produire sous des formes très variées. Afin de rendre compte de la complexité décisionnelle, il est nécessaire de traiter conjointement les aspects continus et discrets, de coordonner les comportements concurrents et de gérer leur structure organisationnelle. En complément de la représentation géométrique de l'environnement, il est nécessaire de fournir pour chaque entité un modèle symbolique de son environnement, afin de pouvoir produire des comportements complexes. Un scénario peut également être spécifié afin de transmettre des directives visant à coordonner l'animation.*

Plusieurs approches ont été étudiées dans différents laboratoires pour la définition du modèle décisionnel : stimulus / réponses, règles de comportement, environnements prédéfinis et automates. Ces modèles demeurent relativement simples, avec des champs de perception et d'action limités, et en outre ils ne prennent pas en compte l'aspect temporel qui est primordial (mémoire, prédiction, durée d'une action, séquençage de tâches). Nous cherchons donc à unifier ces différents modèles décisionnels et à les étendre à la prise en compte du temps. Le modèle d'une entité comportementale est composée de quatre parties : perception, décision, action, communication.

Le modèle décisionnel est quant à lui chargé de la définition de son nouvel état en fonction de la perception qu'il a de son environnement, à la fois au travers de la mémorisation de connaissances historiques (observation et interprétation), de l'évaluation de l'état courant et de l'anticipation du futur immédiat (modèle prédictif). A partir de ce nouvel état et des

éléments fournis par l'utilisateur et/ou le scénario, il doit définir un schéma d'actions qui pourra être remis en question dans le futur (événements prioritaires comme par exemple une collision potentielle).

En règle générale, il est nécessaire de pouvoir définir le comportement d'une entité de manière modulaire et hiérarchique, chaque niveau d'abstraction ne manipulant pas les mêmes concepts et ne prenant pas en compte les mêmes éléments de l'environnement. Il est de même important de pouvoir gérer plusieurs fils d'activité en parallèle. Ainsi, à notre sens, un modèle permettant la spécification du comportement d'une entité doit intégrer les paradigmes suivants : hiérarchie, parallélisme, modularité et réactivité.

### **Modélisation symbolique de l'environnement de simulation**

Nous nous plaçons dans le cadre de la modélisation non seulement de la géométrie de la scène, qui peut-être effectuée par n'importe quel modèleur 3D, mais aussi de toutes les informations pertinentes pour les comportements à simuler. En effet, il est nécessaire de représenter les éléments symboliques importants de l'environnement dans lequel les entités vont évoluer, éléments qui vont influencer sur le comportement. Ces éléments seront des objets, des positions, des espaces, seront typés et décriront une certaine topologie et sémantique de l'environnement.

### **Animation comportementale**

À un premier niveau, on considère le concept d'*entité comportementale* fondé sur les principes de *modularité* et de *réactivité*. Ce dernier point, indispensable, s'appuie sur la simulation événementielle (systèmes à événements discrets) incluant les modèles de type automates parallèles hiérarchisés, réseaux de Pétri et *statecharts*, ainsi que les aspects de langage et de génération de code. Le concept d'entité comportementale générique, vu comme un *objet réactif asynchrone*, conduit à approfondir plusieurs points : la conception même de l'entité, la génération et la modification des représentations états-événements, les processus d'interactions et de communications asynchrones. De plus, pour maîtriser le déroulement d'une animation, nous devons mettre l'accent sur les possibilités de contrôle des entités, tout en prenant en compte leur autonomie et les nombreuses interactions possibles au cours de l'évolution. C'est pourquoi nous nous intéressons à la notion de *scénario*, géré par l'utilisateur, et influant sur le comportement individuel ou collectif des entités.

## **4 Domaines d'applications**

### **4.1 Panorama**

**Résumé :** *Les domaines d'application du projet concernent principalement les domaines pour lesquels un fort couplage entre simulation de systèmes physiques et restitution visuelle des résultats de calcul sont primordiaux. Nous nous attachons dans chacun de ces domaines, d'une part, à l'étude fine des modèles sous jacents essentiellement liés à la physique du phénomène étudié et, d'autre part, à l'application directe de nos récents travaux de recherche. Les grands domaines applicatifs traités par le projet SIAMES concernent :*

- *les environnements architecturaux et urbains ;*
- *la propagation de rayonnement ;*
- *les humanoïdes virtuels et leurs applications en biomécanique ;*

- la réalité virtuelle, la réalité augmentée et la téléopération ;
- les simulateurs pour la recherche dans le domaine des transports ;
- l'animation : multimédia, audiovisuel et jeux.

## 4.2 La réalité virtuelle, la réalité augmentée et la téléopération

**Mots clés :** réalité virtuelle, réalité augmentée, téléopération.

### Glossaire :

Réalité virtuelle : désigne tout système qui procure à l'opérateur humain la sensation d'immersion et la capacité d'interaction face à un environnement *virtuel*, c'est-à-dire basé sur un modèle de synthèse entièrement généré par ordinateur.

Réalité augmentée : caractérise tout système qui améliore la perception de l'opérateur vis à vis de l'environnement réel, généralement par superposition d'images de synthèse sur des images réelles ou vidéo.

Téléopération : désigne les principes et les techniques qui permettent à l'opérateur humain d'accomplir une tâche à distance, à l'aide d'un système robotique d'intervention, commandé à partir d'une station de contrôle, par l'intermédiaire d'un canal de télécommunication.

**Résumé :** *Le projet SIAMES est directement concerné par tous ces domaines, qui eux-mêmes sont interdépendants. En effet, la mise en œuvre du concept de réalité virtuelle s'appuie sur l'infographie pour la production d'images de synthèse, sur la simulation pour la génération d'environnements virtuels en temps réel et sur la téléopération pour les interfaces de communication homme-machine. À travers les différents sujets de recherche abordés dans le projet et les différentes applications contractuelles, nous sommes pour une large part impliqués dans des travaux ayant trait à la réalité virtuelle :*

- simulation d'éclairage d'environnements virtuels et navigation interactive dans ces environnements ;
- simulation en temps réel et interactions en environnement urbain virtuel ;
- contrôle du mouvement en temps réel de systèmes dynamiques.

## 4.3 Humanoïdes virtuels et modèles biomécaniques

**Mots clés :** humanoïde de synthèse.

**Résumé :** *L'étude du mouvement humain est une science à part entière que médecins et biomécaniciens continuent à affiner. La représentation de cette connaissance sous forme de modèles paramétrables, le contrôle du niveau de détails, ainsi que la génération automatique d'un code de simulation numérique pour l'animation et la simulation, relèvent directement des compétences du projet SIAMES.*

L'étude du mouvement humain en situation se heurte à des problèmes pratiques, d'ailleurs difficilement contournables : le prélèvement in situ des paramètres du mouvement passe par l'utilisation de capteurs. L'acquisition des trajectoires 3D à l'aide de systèmes optiques ou

magnétiques demeure superficielle et difficile à traiter. Cependant, tous ces systèmes ne fournissent qu'une observation partielle et imprécise. Par ailleurs, les équipements matériels et leur utilisation parfois invasive peuvent contraindre le sujet d'étude et obliger à restreindre les objectifs de l'analyse. La simulation de modèles humanoïdes offre la possibilité de mettre en place des expérimentations virtuelles complémentaires. L'utilisation de modèles dynamiques permet de suivre l'évolution de l'état interne lors de l'accomplissement du mouvement. En fonction du niveau de détails choisi, on pourra par exemple accéder aux couples articulaires mis en jeu ou aux efforts musculaires. La notion d'expérimentation virtuelle est d'autant plus intéressante lorsqu'il s'agit d'études difficiles, voire impossibles à mettre en œuvre dans la réalité (accidentologie, environnements à risques ou contextes inexistantes). Dans ce cadre, notre objectif est de fournir des outils logiciels pour la génération automatique de modèles d'humanoïdes, en y incorporant la connaissance des médecins et des biomécaniciens. Ces modèles permettent de prendre en compte le facteur humain dans les outils de CAO-CFAO dès la phase de conception de systèmes destinés à un opérateur humain.

#### 4.4 Le multimédia, l'audiovisuel et les jeux

**Mots clés :** animation, multimédia, audiovisuel, jeux.

**Glossaire :**

sprite : ensemble de textures d'un personnage reproduisant par affichage successif un mouvement complexe.

chipset graphique : ensemble de composants matériels réalisant les fonctions évoluées de synthèse d'image 3D.

**Résumé :** *L'animation est, dans la pratique, une partie intégrante des logiciels à vocation éducative ou ludique. Domaines de l'interactivité par excellence, ils nécessitent de mettre en œuvre des modèles de géométrie et de mouvement, suffisamment peu coûteux pour pouvoir maintenir la fréquence d'affichage des images.*

Les applications grand public, ludiques ou éducatives, utilisent de plus en plus la synthèse d'images et l'animation 3D. Logiquement, ce marché à fort potentiel suscite le développement de technologies nouvelles comme celui des cartes graphiques 3D pour ordinateurs personnels. L'animation interactive et le domaine des jeux vidéo en particulier, soulèvent des problèmes techniques spécifiques. Pendant longtemps, la puissance limitée des processeurs a contraint les concepteurs de ces applications aussi bien que les constructeurs des machines, à avoir recours à nombre d'artifices pour améliorer à moindre coût la qualité des animations (gestion des *sprites*, plaquage de textures, utilisation de la table des couleurs, notion de  $2D\frac{1}{2}$ ). Alors que le *chipset* embarqué sur les cartes graphiques ou les consoles de jeu a considérablement évolué, la maîtrise du coût calcul demeure une préoccupation constante, dans la mesure où les capacités sont rapidement utilisées pour gérer des environnements virtuels plus riches. Dans ce cadre, la notion de niveaux de détails est essentielle, qu'il s'agisse de géométrie, de textures, ou de modèles de mouvement. Des problèmes de compression et de codage de ces données apparaissent également, dans le contexte du multimédia et des applications distribuées sur un réseau.

## 4.5 Les modèles mécanique et le prototypage virtuel

**Mots clés :** Modèles mécanique, prototypage virtuel, retour sur conception.

**Résumé :** *La simulation numérique pour l'animation et la simulation, relèvent directement des compétences du projet SIAMES. La réalisation de simulateurs dans ce contexte est en cours, notamment celle d'un simulateur d'endoscopie. Par contre, la maîtrise des modèles mécaniques et leur adéquation à la réalité représentée n'est pas triviale.*

L'idée du prototypage virtuel est d'utiliser les résultats du simulateur en cours de réalisation en vue de la conception de l'objet mécanique réalisant les fonctionnalités désirées. Pour ce faire, nous étudions les techniques d'optimisation, basées sur l'utilisation d'algorithmes de type évolutionnaires et l'intégration des résultats obtenus dans le processus de conception de la CAO classique. Cette démarche est actuellement déclinée par la réalisation du simulateur d'apprentissage et l'étude parallèle de logiciels de CAO du commerce (SolidWorks) afin de définir correctement la boucle de retour.

## 5 Logiciels

### 5.1 Panorama

**Résumé :** *Du fait du caractère graphique de nos travaux de recherche, nous sommes amenés à valider nos travaux par la réalisation de prototypes logiciels capables de traiter des problèmes concrets. Les logiciels présentés dans cette section sont tous opérationnels et utilisés dans différents contextes contractuels (industriels ou projets européens).*

### 5.2 Logiciel de simulation d'éclairage

**Participant :** Kadi Bouatouch [correspondant].

**Mots clés :** logiciel, simulation d'éclairage.

**Glossaire :**

simulation inverse : technique permettant à partir d'un résultat d'éclairage désiré de trouver par calcul les positions et caractéristiques des sources lumineuses.

**Résumé :** *Différents types de logiciels ont été développés pour la simulation d'éclairage et le dimensionnement des tunnels : simulation d'éclairage naturel et artificiel, simulation en environnements complexes et simulateur parallèle.*

- *PAUS* : contrairement à *SAS*, ce logiciel est capable d'effectuer une structuration en cellules de scènes architecturales ou urbaines. Il est écrit en Java et utilise Java3D.
- *SimP* : *SimP* est une version parallèle de *SIM* utilisant l'environnement de programmation parallèle *MPI*, ce qui lui permet de fonctionner sur n'importe quel réseau de machines séquentielles ou parallèles.

- *SimT* : Les caractéristiques du logiciel *SimT* sont :
  1. Proposer un logiciel de simulation d'éclairage permettant d'obtenir une représentation virtuelle d'un tunnel et de son éclairage la plus proche possible de ce qu'elle devrait être en réalité.
  2. Proposer un outil d'aide à la conception. L'objectif est de déterminer, tout en respectant le niveau de luminance requis sur la chaussée, les meilleures configurations (choix du revêtement, type de sources, puissance d'émission, ...) relatives au tunnel. Conceptuellement, ce problème peut être vu comme un problème de simulation inverse.
  3. Proposer un outil de validation pour le concepteur de tunnel mais aussi par exemple pour les fabricants de luminaires qui pourront ainsi évaluer les performances de leurs luminaires vis à vis de la concurrence.
- *ModPh* : *ModPh* est un logiciel interactif de modélisation de sites réels à partir d'images. Il permet à un utilisateur de reconstruire des sites réels avec une précision suffisante afin de pouvoir les explorer ("walkthrough"). La reconstruction, interactive, est contrôlée aussi bien au moyen de plusieurs photographies du site que par une maquette virtuelle qui évolue au cours de la modélisation.
- *Magellan* : *Magellan* est une plateforme logicielle permettant à plusieurs clients Unix ou Windows de se connecter, par l'intermédiaire d'un réseau, à un serveur de scènes 3D complexes. Le serveur détermine la position de l'observateur client et lui transmet la partie de la scène qu'il est susceptible de voir. La transmission de données du serveur vers les clients prend en compte l'anticipation, les niveaux de détail des objets et les niveaux de résolution des textures.

### 5.3 Plate-forme de simulation

**Participant** : Alain Chauffaut [correspondant].

**Mots clés** : plate-forme logicielle, simulateur distribué, simulateur temps réel, modularité.

**Résumé** : *GASP (General Animation and Simulation Platform) a pour vocation d'être la plate-forme d'accueil et d'expérimentation des différents travaux de recherche menés au sein du projet dans les domaines de l'animation et de la simulation. Ceci nous a conduit à développer une architecture de programmation multicouches et modulaire, avec comme souci principal de réduire autant que possible les contraintes pour le programmeur concernant l'intégration d'un module au sein de la plate-forme. La plate-forme offre avant tout les services de synchronisation et de communication entre modules ayant des fréquences propres différentes (fonctionnant à des fréquences différentes afin de respecter leurs contraintes de simulation).*

Notre ambition, à travers ce projet d'équipe, est de réaliser une plate-forme logicielle de simulation et d'animation qui permette d'intégrer de manière homogène les différents travaux issus des thèmes de recherches développés dans le projet.

Afin d'être générale, la plate-forme de simulation doit intégrer les différents modèles (générateur, descriptif et comportemental) de contrôle du mouvement et des interactions d'objets dans une scène. Un système de simulation est constitué d'un certain nombre d'entités, dont l'état évolue au cours du temps, chaque entité possédant une fréquence propre de calcul. La plate-forme doit donc permettre la simulation, sur une même échelle temporelle, de plusieurs entités dont la synchronisation et les communications sont gérées par un noyau temps-réel.

Ces entités communiquent soit de façon synchrone par flot de données (à chaque pas de simulation, un objet de simulation obtient auprès des autres objets toutes les informations qui lui sont nécessaires) ou bien de façon asynchrone par envoi d'événement ou de message.

Le formalisme adopté est particulièrement adapté à la distribution des calculs, et ce de façon transparente pour un utilisateur de la plate-forme, c'est-à-dire pour un programmeur de modules.

Un des objectifs principaux consiste à rendre la conception d'un module d'animation complètement indépendant de l'architecture cible. Nous avons donc constitué un modèle orienté objet de la plate-forme dans lequel le concepteur d'un module doit respecter un canevas de programmation (le plus simplifié possible). Pour ce faire, il lui suffit de définir les entrées, les sorties, les paramètres de contrôle du module en utilisant des types prédéfinis, et de définir la fonction de transfert (initialisation, pas de simulation, terminaison) associée à l'objet. Une classe de service a aussi été définie : il s'agit de la visualisation 3D temps-réel des résultats de la simulation. Pour définir une simulation, il suffit ensuite de décrire à l'aide d'un fichier de configuration les différents éléments la constituant : l'environnement virtuel (par exemple, un quartier d'une ville), la configuration matérielle ainsi que le choix des entités dynamiques et de leur paramétrage.

Selon la configuration, des noyaux différents de la plate-forme pourront être utilisés pour effectuer une simulation : un noyau mono-processus, un noyau temps-réel mono-processus, un noyau temps-réel multi-processus mono-machine ou un noyau multi-processus multi-machines. Les évolutions récentes de la plate-forme sont les suivantes :

**Aspects distribués et temps-réel :** La version multi-processus multi-machines de GASP, reposant actuellement sur PVM, a été totalement intégrée, elle cohabite maintenant avec la version multi-processus mono-machine multi-processeurs qui repose quant à elle sur REACT-PRO.

Les communications entre processus et/ou machines se font aussi bien de façon synchrone, en flot de données entre entrées et sorties d'entités, que de façon asynchrone par envois d'événements ou de messages.

L'objectif des versions temps-réel est de garantir une équivalence entre le temps simulé et le temps physique, si elle est possible. Cette équivalence permet la réalisation de simulations interactives au cours desquelles le comportement des entités simulées peut être calibré de manière précise.

**Visualisation - nouvelle interface partenaires :** Une nouvelle interface (API) a été définie entre le service de visualisation et ses partenaires lui fournissant les valeurs d'animation de la scène 3D. Dans ce travail, l'objectif était de rendre l'API facilement extensible pour la prise en compte de nouveaux types de partenaires ou de nouveaux types de valeurs d'animation, sans reprogrammer le corps du visualiseur

**Visualisation et son spatial 3D :** Une spécialisation du visualiseur permet d'ajouter dans la scène 3D des sons, localisés dans le décor ou bien liés aux acteurs se déplaçant dans la scène. Ce travail s'appuie sur la bibliothèque AudioWorks. Les informations de localisation sont extraites du graphe de scène Performer.

**Visualisation interactive :** Une autre spécialisation du visualiseur permet à l'utilisateur final de désigner des objets dans la scène. Cette information est transmise au partenaire concerné qui peut alors mettre en place une interaction. En complément du visualiseur interactif, nous fournissons un ensemble de nouvelles classes : les interacteurs et les adaptateurs pour assister le programmeur du partenaire dans la gestion de certains types d'interactions.

**Gasp - odl Inria :** L'équipe Siames a répondu à et a été retenue par la campagne 2001 d'opérations de développement logiciel de l'Inria, à propos de la diffusion en OpenSource du logiciel Gasp. Dans ce cadre Michael Rouille a été recruté, comme ingénieur associé, pour assurer ce travail, basé sur une robustification du code, son anglicisation, la finalisation de la documentation et la mise en place d'un système de distribution.

## 5.4 Définition d'un outil pour l'entraîneur sportif

**Participant :** Bruno Arnaldi [correspondant].

**Mots clés :** Animation du mouvement sportif, suivi de l'entraînement.

**Résumé :** *L'analyse du mouvement sportif concerne principalement l'identification des paramètres liés à la performance de l'athlète. L'amélioration des performances passe en effet par une meilleure compréhension des phénomènes mécaniques qui y sont liés : forces, énergies... Pour y parvenir, il est nécessaire de mettre en place des outils associant visualisation 3D, analyse et synthèse du mouvement. Le logiciel que nous avons développé répond totalement à ces besoins et permet donc aux entraîneurs sportifs d'effectuer un suivi de la performance de leurs athlètes.*

L'analyse de la performance des athlètes intéresse depuis toujours les fédérations sportives nationales et internationales. Depuis le début du siècle, l'analyse à partir d'images est largement utilisée pour expliquer les raisons de la performance ou de la contre-performance d'un athlète. Toutefois, l'utilisation d'images 2D se révèle à l'heure actuelle insuffisante pour expliquer ces phénomènes. En conséquence, le nombre des systèmes d'analyse du mouvement en 3 dimensions a considérablement augmenté ces dernières années. La restitution des informations liées à la performance à partir de ces systèmes reste encore du domaine de la recherche. C'est pourquoi nous avons développé un logiciel permettant aux entraîneurs et aux sportifs de pouvoir exploiter simplement ces données (cf. figure 1). Ce système est développé en Java au sein d'une page Web associant une visualisation 3D (VRML) du mouvement et un ensemble d'outils d'analyse de la performance.

Ces outils sont composés :

- d'un prétraitement des données issues du système d'acquisition de mouvements (interpolation des points manquants, filtrage des données, calcul des angles à chaque articulation suivant le formalisme d'Euler),

- d'un calcul des vitesses et des accélérations des positions des segments et des angles aux articulations (ces valeurs sont affichées dans une fenêtre synchronisée avec la visualisation VRML),
- d'un affichage des trajectoires articulaires à divers échelles ainsi que d'un ensemble d'opérateurs de type *Motion Warping* permettant de modifier ces trajectoires et d'en visualiser les conséquences sur le geste.
- d'un affichage d'informations relatives au mouvement restitué. Ces données annexes sont généralement liées à la dynamique du mouvement telles que les énergies, les forces et les moments aux articulations.

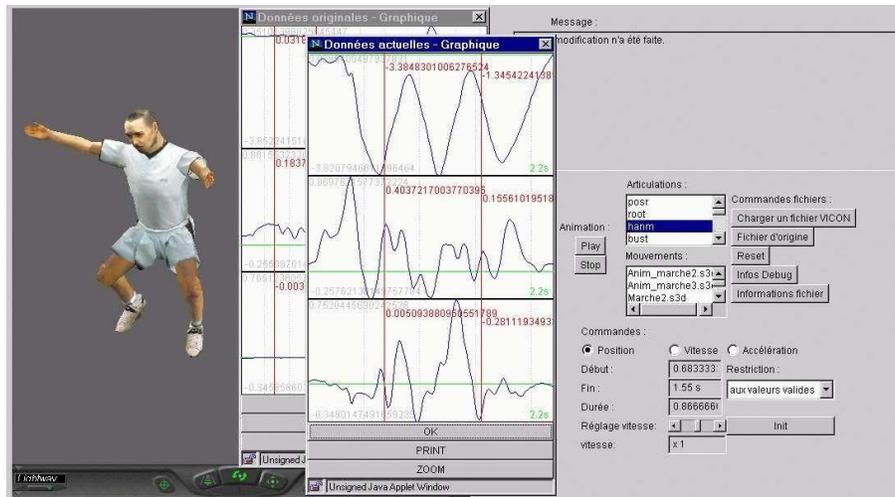


FIG. 1 – Interface du logiciel dédié aux entraîneurs et sportifs

La mise en place de ces outils dans une page Web permet aux entraîneurs de se connecter à un serveur de mouvements et de suivre l'évolution de leurs athlètes au cours du temps. De plus, cet outil peut servir de support de formation des athlètes par les entraîneurs en montrant les défauts les plus connus et en quoi les gestes peuvent être améliorés.

## 6 Résultats nouveaux

### 6.1 Navigation en temps réel dans des scènes complexes à travers un réseau bas débit

**Participants :** Kadi Bouatouch, Eric Maisel, Jean-Eudes Marvie.

**Mots clés :** Navigation, temps réel, client-serveur, niveaux de détail.

**Résumé :** *Dans le cadre de plusieurs projets (V2NET, OPENISE) nous nous intéressons à la navigation réaliste interactive dans des scènes complexes à travers un réseau bas débit (typiquement Internet). Le problème posé consiste à déterminer à chaque instant de la visite d'une scène quelle représentation de celle-ci transférer*

du serveur de scènes au terminal graphique (le client) de façon à réduire les temps de latence de l'affichage induits par la complexité géométrique et photométrique des scènes.

Pour résoudre ce problème nous avons développé une plateforme de navigation distribuée basée sur une architecture client/serveur. La difficulté principale de cette étude résidant dans le choix de l'architecture logicielle permettant d'obtenir une fréquence d'affichage élevée tout en assurant une flexibilité importante afin de tester l'utilisation conjointe de représentations variées de scènes, chacune liée à une technique d'optimisation particulière.

La plate-forme de navigation Magellan que nous avons conçue et implémentée est une plate-forme distribuée basée sur un algorithme asynchrone. Une partie de l'algorithme est exécutée chez le serveur, l'autre partie est exécutée chez le client. C'est dans la partie asynchrone placée chez le client que la navigation et le rendu sont effectués. Le schéma de connexion est du type 1 serveur,  $N$  clients. L'algorithme est implémenté en langage C++ sous forme d'une plate-forme de développement. La gestion des processus légers est basée sur la bibliothèque POSIX Threads. Afin d'en permettre une utilisation plus souple, nous avons encapsulé la gestion des processus dans des objets C++. La gestion du rendu des objets 3D est basée sur la bibliothèque OpenGL. La communication entre le serveur et les clients utilise quand à elle les sockets définis dans le standard POSIX.

Notre plate-forme propose un algorithme générique de gestion de scènes structurées dans un environnement distribué. Le développeur utilisateur de la plate-forme doit implémenter un certain nombre d'objets graphiques avant de pouvoir proposer un logiciel de navigation à un utilisateur quelconque. Celui-ci doit posséder une bonne compréhension du fonctionnement interne de la plate-forme mais ne nécessite en aucun cas de connaître les techniques utilisées dans l'implémentation de celle-ci. L'utilisation de la plate-forme dans le cadre d'un développement d'application nécessite une bonne connaissance du langage C++ ainsi que de la bibliothèque OpenGL.

#### Architecture générale de la plate-forme

La plateforme propose un algorithme générique de gestion de scènes structurées. La plate-forme ne se soucie pas de savoir comment sont représentés les objets graphiques qu'elle manipule. Celle-ci sait uniquement qu'elle manipule quatre *classes* d'objets graphiques génériques :

1. des cellules,
2. des objets géométriques,
3. des matériaux,
4. des textures.

De plus, la plateforme doit permettre l'utilisation de plusieurs *types* d'objets au sein de chaque *classe*. Par exemple l'utilisation de plusieurs formats de textures. Les seules contraintes posées sur ces classes d'objets graphiques résident dans le fait que chaque objet doit savoir :

1. Charger ses données à partir d'un fichier,
2. Sérialiser ses données dans un tampon mémoire afin de pouvoir les envoyer via un réseau,

3. Désérialiser ses données depuis un tampon mémoire afin de pouvoir les réceptionner via un réseau,
4. ainsi que :
  - S'afficher à l'aide de commandes OpenGL dans le cas des cellules et des objets géométriques.
  - S'activer et se désactiver à l'aide de commandes OpenGL dans le cas des matériaux et des textures.
  - Renvoyer la liste des identificateurs de ses cellules potentiellement visibles dans le cas des cellules.

## 6.2 Synchronisation automatique de comportements

**Participants :** Fabrice Lamarche, Stéphane Donikian.

**Résumé :** *Pour illustrer ce travail, prenons un exemple concret. Une personne fume une cigarette en buvant un café tout en lisant le journal. Ce type de comportement, relativement simple à réaliser pour un être humain, pose divers problèmes en terme d'animation comportementale. D'une part, ce comportement est la résultante du mélange de trois comportements indépendants, d'autre part, l'importance de ces derniers est corrélée à différents paramètres (psychologiques ou physiologiques). Il s'agit donc de trouver un formalisme permettant de décrire les comportements de manière indépendante, permettant de gérer les différents conflits et enfin permettant de générer automatiquement le comportement global.*

Le modèle HPTS (Hierarchical Parallel Transition System) est un système réactif, multi agent, dans lequel les agents sont organisés sous la forme d'une hiérarchie d'automates parallèles. Dans ce modèle, chaque comportement est décrit sous la forme d'un ou plusieurs automates. De façon à automatiser le mélange des comportements en respect de leur importance relative, trois nouvelles notions ont été introduites :

- Les ressources : il s'agit de sémaphores permettant de gérer l'exclusion mutuelle des comportements sur des parties du corps par exemple.
- Les priorités : cette notion permet de stipuler l'importance d'un comportement dans un contexte donné. Il s'agit d'une sorte de coefficient d'adéquation (activation) ou d'inadéquation (inhibition) entre le comportement et le contexte. Elles peuvent être définies dynamiquement et évoluer au cours du temps.
- Les degrés de préférence : il s'agit d'une valeur numérique associée à chaque transition d'un automate. Cette valeur permet de décrire la propension de l'automate à utiliser cette transition lorsqu'elle est franchissable.

En combinant ces différentes notions, il devient possible de créer un ordonnanceur ayant différents buts :

- Assurer le respect de la contrainte d'exclusion mutuelle sur les ressources.
- Eviter les interblocages sur les ressources.
- Favoriser les comportements les plus prioritaires, tout en assurant leur cohérence et en adaptant leur exécution dans la mesure du possible.

Ce système permet de décrire les comportements de manière fine, avec toutes leurs possibilités d'adaptation (via le mécanisme de degrés de préférence), et la description d'un nouveau comportement, grâce au mécanisme d'évitement des interblocages, ne nécessite pas la connaissance des comportements déjà décrits. D'autre part, la notion de priorité, grâce à la gestion des ressources, permet de manipuler un comportement de manière abstraite sans avoir de connaissance sur la description de ce dernier. Enfin, l'ordonnanceur assure un mélange cohérent tout en favorisant l'exécution des comportements les plus prioritaires.

Ces notions ont été introduites dans le compilateur associé au langage d'HPTS et l'ordonnanceur a été inclus dans le moteur d'exécution des automates. Ceci a permis de montrer les avancées de ce système sur un exemple montrant un humanoïde virtuel buvant un café et fumant une cigarette tout en lisant un journal. Les comportements ont été décrits de manière indépendante en corrélant leur priorité à des paramètres physiologiques évoluant au cours du temps. L'ordonnanceur a ensuite mélangé, de manière automatique et cohérente, ces différents comportements pour reproduire le comportement global (Cf. fig. 2).

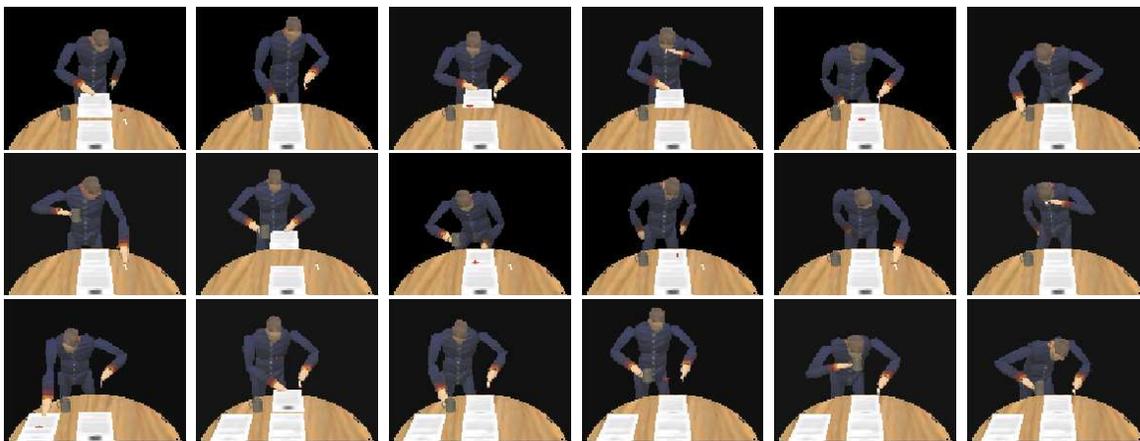


FIG. 2 – Exemple d'ordonnement automatique de comportements.

### 6.3 Modélisation d'environnements urbains informés pour les agents autonomes

**Participants :** Romain Thomas, Stéphane Donikian.

#### **Résumé :**

*Aux vues des différents travaux effectués en Animation Comportementale, engageant des agents autonomes évoluant dans des environnements urbains, il apparaît que ces agents ont des capacités de locomotion et de perception de leur environnement mais pas d'interaction langagière sur ce même environnement. Le fait de leur permettre d'échanger des informations sur leur environnement apporte indéniablement plus de réalisme aux simulations. En environnement urbain, une tâche de communication intéressante est celle de pouvoir indiquer sa route à un visiteur*

*perdu ou en quête d'information (agents autonomes n'ayant pas une bonne connaissance des lieux ou avatar d'une personne immergée dans l'environnement virtuel). Celle-ci a de plus le mérite d'enrichir les comportements possibles dans la simulation : il est nécessaire pour un agent désireux d'établir une communication, de chercher une interaction gestuelle et verbale avec les autres agents. De plus, une fois les informations pertinentes communiquées, il est possible d'observer la façon dont l'agent a intégré ces informations en étudiant la façon dont il les utilise pour naviguer dans l'environnement (et éventuellement se perdre).*

*Pour réaliser cet objectif, il est important de modifier les bases de données existantes décrivant des environnements urbains, de façon à y inclure des informations cognitives supplémentaires. Il est aussi nécessaire que l'agent soit doté d'un modèle de mémoire humaine que nous adapterons des modèles de psychologie cognitive. Enfin, il faut adapter les modèles d'échange d'informations sur les chemins, issus de la psychologie expérimentale, au modèle que nous voulons réaliser. Ces trois axes représentent actuellement l'essentiel de nos travaux.*

La majorité des bases de données urbaines informées pour l'animation comportementale réalisées à l'heure actuelle, ne présente pas de hiérarchie, c-à-d, peuvent être vues comme un graphe topologique informé sans niveau d'abstraction. Ou si abstraction il y a, elle ne s'effectue que selon des découpages spatiaux arbitraires, pauvres en informations liées au comportement.

Nous avons repris la notion de graphe topologique hiérarchique pour l'élaboration de notre base de données urbaines, à laquelle nous avons ajouté une hiérarchie conçue en adaptant les travaux de l'urbaniste Kevin Lynch, qui définit les notions de noeuds et de quartiers, permettant d'inclure des informations cognitives partagées par le plus grand nombre de citoyens.

Une fois la hiérarchie ajoutée, la BDD a une structure très similaire à celle d'un AH-graphe. Les points concernant la mémoire et la communication de chemins entre agents sont en cours de développement.

## 6.4 Scénario pour l'animation comportementale

**Participants :** Frédéric Devillers, Stéphane Donikian.

**Mots clés :** scénario pour l'animation.

**Résumé :** *Afin de maîtriser le déroulement d'une animation, nous devons mettre l'accent sur les possibilités de contrôle des entités, tout en prenant en compte leur autonomie et les nombreuses interactions possibles au cours de l'évolution. C'est pourquoi nous nous intéressons à la notion de scénario, géré par l'utilisateur, et influant sur le comportement individuel ou collectif des entités.*

Dès lors que l'on parle de spécification de l'utilisateur en ce qui concerne les actions des acteurs autonomes, se pose le problème du langage de spécification. Pour l'utilisateur, plus le langage sera proche du langage naturel, plus la tâche d'écriture du scénario sera simplifiée. Par contre, les acteurs autonomes n'ont aucune connaissance d'un tel langage naturel. Les premiers travaux sur la notion de script ou de scénario pour l'animation ont eu tendance à proposer des langages de programmation à l'utilisateur, ce qui n'offre pas un niveau d'abstraction assez élevé

pour qu'un non informaticien puisse être à même d'écrire de tels scénarios. De tels scénarios sont composés de " triggers " (capteurs) et " beacons " (avertisseurs), utilisés pour produire des événements spécifiques, et de contrôleurs de comportements utilisés pour orchestrer les actions des entités dans le but de produire des situations particulières. Il s'agit ici d'un scénario vu comme une méta-entité dont la programmation se fait comme pour les entités à l'aide d'une bibliothèque d'objets C++.

Un des objectifs de ce travail est de s'approcher le plus possible du langage utilisé par les scénaristes. Il faudra ainsi être capable de passer d'une description dans un langage proche du langage naturel à un modèle opérationnel de cette description. Nous avons tout d'abord décrit un langage de représentation interne des scénarios qui servira de base pour la construction des langages de scénarisation plus proches du langage naturel. La sémantique de ce langage a été spécifiée en utilisant une extension du modèle HPTS pour le séquençement des instructions et la gestion des branchements et la logique d'Allen pour l'ensemble des contraintes temporelles sur les scénarios et les séquences d'actions.

Nous travaillons actuellement à l'automatisation du processus de compilation. Un scénario est décomposé en un ensemble de sous-scénarios et un scénario de base correspond à un ensemble de tâches ou d'actions. À tout niveau de la hiérarchie, il est possible de fournir des contraintes temporelles relatives ou absolues (un scénario doit débuter à telle date ou après que tel événement se soit produit ou encore terminer telle action trois secondes après le démarrage de telle autre). Afin de déterminer certaines situations, des observateurs doivent être positionnés dans la scène et toute action d'un acteur sur son environnement doit pouvoir être prise en compte (ouverture d'une porte par exemple). Les instructions d'un scénario peuvent modifier les caractéristiques, activités, ou motivations d'un acteur. Comme celui-ci peut avoir différentes activités en parallèle, il est nécessaire de prendre en compte des niveaux de priorité évoluant en fonction de ses motivations et de ses paramètres physiologiques (la faim ou la peur par exemple), ainsi que les ressources nécessaires pour réaliser telle ou telle action.

Nous avons terminé la réalisation et les tests d'un langage de scénario nommé Sluhrg<sup>1</sup>. Ses divers points caractéristiques sont :

- des instructions permettant la gestion de l'évolution du scénario au cours du temps, d'une part entre sous-scénarios et d'autre part à l'intérieur d'un scénario. Le parallélisme entre scénarios et à l'intérieur d'un scénario est donc possible.
- un système de dialogue avec les acteurs. L'information est véhiculée dans les deux sens sous forme d'événements. Ils permettent aux scénarios d'envoyer des demandes aux acteurs et de recevoir de leur part des comptes rendus.
- une notion d'interface qui représente la vision que le module de scénario a d'un acteur. Cet aspect, lié à la communication, peut cependant être considéré séparément parcequ'il permet la généricité du langage de scénario. Sluhrg n'est pas lié à un domaine d'application particulier. Pour l'adapter à un nouveau domaine, il suffit d'écrire les interfaces des acteurs liés à ce domaine.
- des instructions de réservation d'acteur. Un scénario peut réserver un acteur avant de l'utiliser. En effet, les interventions concurrentes de scénarios parallèles pourraient amener de graves incohérences de comportements.

---

<sup>1</sup>Scenario Language using HPTS running on GASP

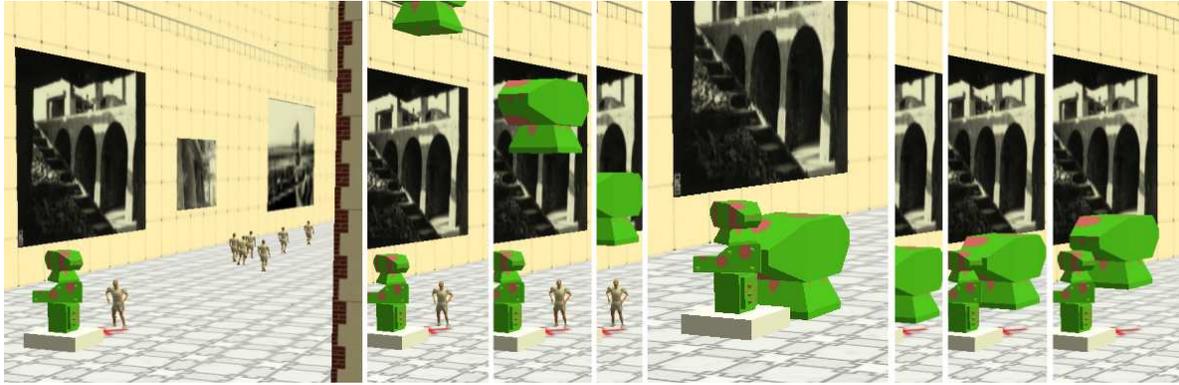


FIG. 3 – suivre les indications peut être dangereux

Nous avons réalisé plusieurs applications avec ce langage. Elles nous ont permis d'illustrer le spectre de scénarios exprimables avec Sluhrg. Il est par exemple possible d'écrire des scénarios quasi cinématographiques. L'utilisateur est alors relégué au rang de spectateur, même s'il peut influencer sur le déclenchement d'une partie de l'action. L'image 3 montre la fin d'un scénario du genre : un visiteur, perdu dans un musée virtuel, s'est, en suivant les indications d'un autre personnage, positionné sur une croix rouge peinte au sol. Mal lui en a pris.

Un autre scénario nous a permis de réaliser des tests psychologiques. L'utilisateur doit réaliser une action simple. Dans le musée virtuel de l'exemple précédent, il doit déplacer une statuette d'un point à un autre. Le scénario va influencer sur le comportement des visiteurs de musée pour qu'ils gênent (mais pas trop) l'utilisateur. Un robot manipulateur réalise une action comparable, pour donner une référence temporelle. Ici le moteur de l'action est l'utilisateur. Le scénario se charge d'adapter les comportements des acteurs pour assurer la gêne.

Enfin un troisième scénario nous a permis de réaliser notre soutenance de thèse avec le langage Sluhrg. Cette fois ce scénario est plus complexe : il s'agit d'une alternance entre des phases de soutenance "classique" et des scénarios illustrant les diverses instructions du langage Sluhrg. Dans le premier cas la caméra "regarde" un transparent, et l'utilisateur navigue dans la soutenance. Il peut parfois déclencher un exemple, et passe alors dans le second cas, avec la possibilité d'influer sur les scénarios illustratifs quand ils l'ont prévu. Les scénarios illustratifs passent de l'univers bidimensionnel de la présentation à une illustration plus ou moins immersive, toujours via le musée virtuel des exemples précédents.

Le lecteur intéressé pourra se reporter à notre thèse [9] pour plus de détails techniques.

## 6.5 Interactions en Univers Virtuels 3D

**Participants :** Thierry Duval, Alain Chauffaut, Michael Rouillé, Christian Le Tenier, Frédéric Devillers, Stéphane Ménardais, Franck Multon.

**Mots clés :** interactions immersives, réalité virtuelle, coopération, multimodalité.

**Résumé :** *Nous continuons à améliorer les possibilités d'interaction offertes entre*

*un utilisateur et les environnements virtuels 3D, puis d'une part à enrichir ce dialogue en explorant différentes possibilités d'interaction dans le domaine :*

- de la coopération entre utilisateurs,*
- des interactions multi-modales,*

*et d'autre part à automatiser les moyens à mettre en œuvre afin de pouvoir interagir avec des objets virtuels, en offrant :*

- des moyens d'intégrer efficacement et de façon homogène des dispositifs physiques d'interaction,*
- des moyens de rendre interactifs des objets virtuels.*

*Ces travaux de recherche utilisent la plate-forme GASP comme support de développement afin de prouver les concepts, de réaliser des démonstrateurs, et d'offrir ces moyens d'interaction aux autres membres du projet. Les interactions à plusieurs utilisateurs et/ou multimodales sont rendues possibles par notre paradigme GASP de communication par flot de données entre objets de simulation via leurs entrées et leurs sorties, permettant ainsi une fusion aisée d'entrées en provenance de plusieurs canaux. La distribution des interactions sur des sites distants est quant à elle possible grâce au mécanisme de GASP mettant en relation les référentiels et leurs miroirs.*

Les travaux menés cette année concernent :

**La coopération entre utilisateurs :** Les coopérations entre utilisateurs distants et les environnements virtuels 3D étant possibles grâce à la mise au point de la version PVM et des travaux menés autour de la répartition des objets de simulation GASP sur plusieurs processus, nous avons pu travailler sur deux points importants :

- la mise en évidence des interactions coopératives : ceci afin de permettre aux utilisateurs de mieux comprendre les actions des autres, pour plus d'efficacité en coopération ;
- la validation de la coopération entre des sites distants, au dessus du réseau expérimental VTHD, avec un modèle CAO de Renault Scénic comme cadre de coopération.

Nous avons également réalisé l'intégration de nouveaux dispositifs d'interaction :

- capteurs magnétiques "MotionStar" (Ascension),
- gants de données "Data Glove" (5DT),
- souris 3D "SpaceMouse Plus XT" (LogiCad),
- joystick sur port série RS232,
- souris sur port série RS232.

**Intégration homogène de dispositifs d'interaction :** Pour l'intégration des nouveaux dispositifs d'interaction, nous avons continué à utiliser notre décomposition logicielle en interacteurs de bas niveau ou "pilotes" (*drivers*) et interacteurs de plus haut niveau.

**Nouveaux paradigmes d'interaction :** Nous avons également travaillé à la proposition de nouveaux paradigmes d'interaction, construits sur nos pilotes de périphériques d'interaction, comme le rayon virtuel à taille variable et la main virtuelle permettant de saisir des objets.

**Adaptateurs pour objets interactifs :** Nous continuons à travailler sur les méthodes d'adaptation efficace des modèles d'architecture logicielle issus du domaine des Interfaces Homme-Machine tels que le modèle PAC-Amodeus, et d'autre part à fournir des adaptateurs lo-

giciels pour rendre interactifs *a posteriori* des objets de simulation qui n'avaient pas été conçus pour l'interaction. Ces adaptateurs permettent aux objets rendus ainsi interactifs d'interagir avec plusieurs types d'interacteurs, si ceux-ci implémentent le bon protocole d'interaction.

Nous allons également continuer à travailler dans cette direction pour fournir des interactions contraintes sur les objets de nos univers.

**Interaction pour la navigation :** Nous avons cherché à unifier les concepts d'interaction et de navigation : il est maintenant possible de naviguer dans un environnement virtuel à l'aide d'une cabine virtuelle emmenant avec elle un ou plusieurs supports de caméra, la navigation se faisant alors sous la forme d'interaction (pour le déplacement et l'orientation) avec cette cabine virtuelle.

Ce concept de navigateur explicite présente de plus un avantage supplémentaire lors de la coopération puisqu'il permet en quelque sorte de donner facilement une représentation physique à chaque point de vue actif de l'univers (un point de vue actif est un point de vue effectivement utilisé par une visualisation lors d'une session coopérative ou non).

**Evaluation du sentiment de présence en interaction :** En collaboration avec le laboratoire de Psychologie expérimentale de l'Université de Rennes 2, nous avons monté une expérimentation visant à évaluer quels facteurs d'immersion pouvaient renforcer le sentiment de présence ressenti par un utilisateur lors d'une interaction dans un monde virtuel. Nous avons donc mené une étude sur 20 sujets, chacun devant effectuer une tâche identique, dans 4 conditions d'immersions différentes, combinant les facteurs de vision (mono ou stéréoscopique) et de projection (utilisation d'une vue large dans le Reality Center ou au contraire utilisation d'une vue classique devant un moniteur). Les résultats ont montrés l'intérêt de la vision stéréoscopique et de la projection sur grand écran.

**Expérimentation virtuelle et immersion :** En analyse du mouvement, l'une des plus grandes difficultés est d'assurer la reproductibilité des situations étudiées. Prenons l'exemple d'un tir au handball faisant intervenir un duel entre le tireur et le gardien de but. Dans le jeu, on sait que le gardien prend des informations pour déclencher une parade. Cependant, on est incapable à l'heure actuelle de savoir parfaitement quels indices exacts sont pris par le gardien ; est-ce la trajectoire de la balle elle-même ou le mouvement d'un ou de plusieurs segments corporels ? Si on met en place une expérimentation pour juger de ces indices on se confronte inévitablement au problème de la reproductibilité de la situation de jeu. Ainsi un tireur à qui on demande d'effectuer plusieurs fois le même tir ne peut pas assurer que tous ses essais sont parfaitement identiques au point que l'on puisse associer à coup sûr un type d'attaque à un type de parade de la part du gardien. La mise en place d'une expérimentation dans laquelle le tireur est virtuel et le gardien réel permet de reproduire à coup sûr le même type d'attaque. En collaboration avec Benoît Bideau de l'Université de Rennes 2, nous avons donc mis en œuvre cette expérimentation en immergeant plusieurs gardiens de but dans un terrain de handball virtuel dans lequel évoluent des attaquants qui viennent tour à tour tirer au but (cf. figure 4). Afin de rendre la situation plus réaliste et permettre au gardien de retrouver ses points de repère, nous avons placé un but de handball réel dans la salle d'immersion. Nous avons calibré l'environnement virtuel afin que la perception de cet environnement ressemble le

plus possible à un environnement réel. Le gardien était équipé de marqueurs infrarouges permettant de capturer son mouvement grâce au système optoélectronique Vicon 370 d'Oxford Metrics (7 caméras infrarouges cadencées à 60Hz). Le système Vicon 370 nous permet de mesurer les réactions exactes du gardien. Une première expérimentation dans le monde réel nous avait permis de mesurer les mouvements de chacun des gardiens de but face à un ensemble de joueurs eux-mêmes équipés de marqueurs. Ainsi, pour chaque situation de jeu et chaque gardien, on avait à disposition la cinématique du joueur et du gardien. En rejouant exactement la cinématique du joueur, on assure que la situation dans le monde virtuel est fidèlement reproduite. Ainsi, les mouvements du gardien dans le monde virtuel peuvent être comparés à ceux obtenus en réel pour cette même situation. 5 situations différentes ont été testées et répétées chacune 5 fois, de manière aléatoire. Pour chaque situation, nous avons comparé les mouvements du gardien dans la situation réelle et virtuelle. Les résultats montrent que les mouvements obtenus dans les deux environnements sont tout à fait comparables. Cette phase nous a permis de valider l'utilisation de la réalité virtuelle pour analyser le comportement du gardien de but.



FIG. 4 – Expérimentation virtuelle faisant intervenir un gardien de but réel et des tireurs virtuels.

La phase suivante consiste à modifier la situation réelle reproduite dans le monde virtuel. Ainsi, alors qu'une cinématique de tireur correspond dans le réel à un ballon entrant en haut à gauche du but, nous avons forcé la trajectoire du ballon virtuel à aller vers une autre zone. Les résultats montrent que les réactions à ce type de situation truquée diffèrent d'un gardien à l'autre. Les gardiens de haut niveau se laissent surprendre par ce trucage et partent du mauvais côté. Ceci indique qu'ils anticipent la trajectoire de la balle en prenant des informations sur la cinématique du tireur. Au contraire, les gardiens de niveau plus faible continuent à aller où la balle se rend réellement sans tenir compte de la cinématique du tireur. Cette première série d'expérimentations nous montre l'intérêt et la validité d'utiliser la réalité virtuelle pour comprendre des phénomènes naturels. Les perspectives à ce travail sont :

- de mettre en place des méthodes d'interaction entre le gardien réel et le tireur réel

- qui permettent au gardien de tenter des stratégies de feintes qui modifient le tir de l'adversaire virtuel, comme c'est le cas dans le réel,
- de généraliser ce type d'expérimentation afin de mettre en place un outil d'évaluation des gardiens de but en handball,
  - et de multiplier les situations pour juger des paramètres cinématiques réellement responsables des choix du gardien de but en cherchant une manière expérimentale d'isoler ces paramètres grâce à la réalité virtuelle.

## 6.6 Modèles mécaniques et prototypage virtuel.

**Participants :** Georges Dumont, Guillermo Andrade, Christofer Kühn.

**Mots clés :** Modèles mécanique, prototypage virtuel, retour sur conception.

**Résumé :** *Nous avons développé, ou organisé l'intégration, de deux modules de simulation dynamiques (SMR et Dynamo) dans la plate-forme logicielle GASP. Des travaux sont actuellement en cours sur l'optimisation des ces modules ainsi que sur leur facilité d'utilisation. Les premiers résultats concernant la progression d'un modèle d'endoscope dans une base de donnée médicale sont présentés ici.*

### Présentation des résultats pour l'endoscope

Nous avons défini un modèle mécanique d'endoscope. Celui-ci est basé sur un enchaînement de modules articulés les uns par rapport aux autres. L'actionnement est assuré par des actionneurs en alliage à mémoire de forme dont nous avons modélisé le comportement. L'environnement extérieur est issu d'une base de données médicale acquise, de manière routinière, par scanner. Cette base est prétraîtée pour permettre l'interaction entre le modèle d'endoscope et celle-ci. En effet, le calcul des interactions de contact nécessite, dans une première phase, la détermination géométrique d'interpénétration au cours de la simulation et, dans une deuxième phase, le calcul des forces d'interactions. Ce dernier fait intervenir des calculs de distances, que nous avons choisi de précalculer pour viser une réponse du simulateur proche du temps réel. La figure 5 présente une telle interaction d'un endoscope dans une artère.

## 7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

### 7.1 FranceTelecom : Modélisation d'Environnements Urbains en vue de Visualisation déportée, interactive et réaliste.

**Participant :** Kadi Bouatouch.

**Mots clés :** simulation, ondes radioélectriques.

#### Résumé :

*Un aspect important des systèmes informatiques concerne la représentation réaliste du monde qui nous entoure. Grâce à cette représentation, nous sommes en*

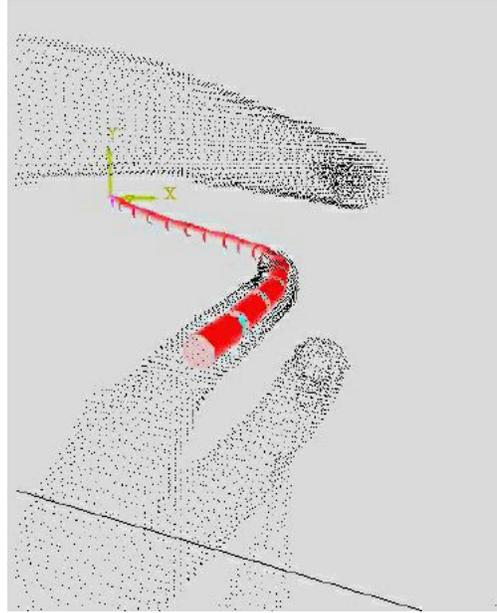


FIG. 5 – Interaction d'un endoscope dans une base de données médicale

*mesure de mieux comprendre, expliquer ou reproduire différents phénomènes physiques de plus en plus complexes.*

*Pour ce projet, nous nous intéressons à la représentation précise d'environnements urbains. Notre objectif est de reproduire des villes entières à des fins de visualisation réaliste et interactive. Nous souhaitons également que ces villes virtuelles puissent être visitées à partir d'un site distant. Ceci est important pour de nombreuses raisons liées au commerce, au tourisme, à l'information, ou encore à l'aménagement du territoire.*

Pour cela, nous proposons de fournir un ensemble d'outils permettant de :

- Modéliser, à l'aide de cartes généralisées, une ville virtuelle complète, comportant de nombreuses informations à la fois géométriques, photométriques mais également topologiques ;
- Reconstituer une ville de manière automatique ou semi-automatique à partir de données réelles telles que les modèles numériques de terrain, les images acquises à partir de satellites, de plans cadastraux, le résultat d'un système de reconstruction 3D, etc.

Une attention particulière sera portée à tous les problèmes concernant la taille des données, à la fois pour résoudre le problème de stockage mais également pour permettre d'accélérer le transfert d'une partie de la scène, représentant la ville, entre deux ordinateurs distants.

Pour contourner les contraintes liées à la taille de la base de données, nous prendrons en compte d'autres types d'information :

- représentation hiérarchique de la géométrie,
- niveaux de détail,
- représentation hiérarchique de certaines images,

- utilisation d'imposteurs,
- techniques de rendu basées image,
- techniques de compression,
- calcul de relations de visibilité,

Par ailleurs, nous souhaitons permettre l'accès à certains types de données topologiques telles que la position de l'observateur en termes de rue ou de place à l'intérieur de la ville. Pour cela, il est nécessaire de répertorier le maximum d'informations relatives à l'environnement dans lequel l'utilisateur sera plongé au cours de la visualisation.

## 7.2 Cryo-Interactive : humain virtuel temps réel

**Participants :** Bruno Arnaldi, Rémi Cozot, Franck Multon.

**Mots clés :** humanoïde, temps réel, locomotion, habillage, jeu vidéo.

### Résumé :

*Le projet "Humain Virtuel Temps Réel" a pour but la création d'un module d'animation temps réel d'un humain virtuel. Ce module est intégré dans la plate-forme de développement CryoGen de la société Cryo Interactive. Les principales fonctions du module d'animation sont la locomotion (marche, course), la préhension d'objet et l'habillage de l'humain. Le module est entièrement paramétrable. Les mouvements produits sont calculés à partir de mouvements de référence spécifiés par les concepteurs de jeux.*

Le projet "Humain Virtuel Temps Réel" a pour but la création d'un module d'animation temps réel d'un humain virtuel. Ce module est intégré dans la plate-forme de développement CryoGen de la société Cryo en collaboration avec l'université de Rennes 2. Les principales fonctions du module d'animation sont :

- la locomotion (marche, course)
- la préhension d'objet
- l'habillage de l'humain.

Le module est entièrement paramétrable : les mouvements produits sont issus de mouvements de référence spécifiés par les concepteurs de jeux.

Le module de locomotion calcule automatiquement les mouvements de marche et de course qui s'adaptent à la configuration du sol. La locomotion humaine est générée à partir de trajectoires de référence définies par un animateur ou obtenues par acquisition de mouvements. Ces trajectoires sont décomposées automatiquement en suites de positions clés qui sont modifiées grâce à des règles issues de la biomécanique. Ces règles décrivent l'évolution des cycles de locomotion en fonction de la vitesse et de paramètres externes (configuration du sol). Le système peut alors calculer très rapidement (garantissant largement une animation temps réel) les positions intermédiaires. Le mouvement ainsi produit préserve les caractéristiques du mouvement de référence et vérifie les règles issues de la biomécanique.

Le module de préhension détermine automatiquement les mouvements de prise d'objets simples (ne faisant pas intervenir des configurations complexes des doigts) par un humain virtuel. L'un des objectifs est d'obtenir des mouvements respectant les caractéristiques de chaque

personnage. A cet effet, le module utilise et déforme des trajectoires de référence fournies par le concepteur de jeux. Le résultat assure que la main approche l'objet dans une configuration permettant de le saisir dans de bonnes conditions.

Le module d'habillage en temps réel de l'humanoïde substitue à la modélisation par corps rigides une modélisation à partir d'un squelette et d'une peau (et des vêtements) déformables. Traditionnellement, le corps humain est abstrait par un ensemble de volumes indéformables articulés. Cette modélisation introduit des effets de cassure au niveau des articulations. Le module remplace cette modélisation en prenant en compte un modèle hiérarchique composé d'un squelette rigide articulé et d'une peau qui entoure le squelette. Le rôle du module est de calculer la déformation de la peau et des vêtements en fonction de la configuration du squelette. Cette dernière est calculée par les deux premiers modules : locomotion et préhension.

### 7.3 RNTL PERFRV : Plate-forme française de réalité virtuelle

**Participants :** Bruno Arnaldi, Alain Chauffaut, Guy André, Thierry Duval, Tangi Meyer, Guillermo Andrade, Christian Le Tennier.

**Mots clés :** Réalité Virtuelle, Immersion, Retour d'effort, travail coopératif.

**Résumé :** *Les objectifs essentiels de la plate-forme PERF-RV concernent d'une part la mutualisation d'un ensemble de configurations matérielles pour la réalité virtuelle (Reality Center, Workbench, systèmes d'interaction haptiques, ...), et d'autre part la factorisation multidisciplinaire de l'étude de problèmes génériques en réalité virtuelle dans des secteurs applicatifs différents et complémentaires (automobile, défense, recherche pétrolière).*

Les partenaires de PERF-RV sont : l'INRIA, le CEA, l'Ecole des Mines de Paris, l'ENSAM Chalon sur Saône, le Labri, le Laboratoire de Robotique de Paris, le LIMSI, l'ADEPA, EADS, l'IFP, le Centre Lavallois de Ressources Technologiques, Dassault Aviation, Giat-Industrie, PSA et Renault.

L'enjeu industriel des applications de réalité virtuelle est important. En effet, si actuellement les systèmes de visualisation immersifs de qualité permettant de démontrer des applications en réalité virtuelle restent des environnements haut de gamme, disponibles en petit nombre sur le territoire, la démocratisation annoncée de ces systèmes assure à court terme un déploiement industriel à grande échelle et à bas coût, qu'il est nécessaire de préparer maintenant.

Il est donc apparu nécessaire de créer en France une plate-forme d'expérimentation en réalité virtuelle sur la thématique du " Bureau d'Etude du Futur ", destinée à soutenir un programme scientifique sur la Modélisation et Simulation Numérique, les Interfaces et la Communication Homme-Machine ainsi que sur les Méthodes, Usages et Perceptions. Ces thèmes concourent à définir des méthodes, outils et interfaces communs aux différents domaines d'application, et l'objectif de PERF-RV est d'offrir un cadre permettant d'y apporter des réponses au travers de la mise en commun des ressources humaines et expérimentales des différents laboratoires et partenaires industriels. Cette mise en commun concerne les équipements expérimentaux (Reality Center, Workbench, CAVE, dispositifs d'interaction, ...) et l'expérience

acquise au travers de développements coordonnés et partageables permettant de capitaliser les ressources temporellement et géographiquement.

De plus, en cours de fonctionnement, cette plate-forme d'expérimentation, unique en France, sera ouverte à des partenaires académiques et industriels rejoignant le consortium initial et sera à même de nous positionner au niveau européen et mondial.

Dans le cadre de cette plate-forme, les activités du projet Siames concernent essentiellement trois points :

**coordination de PERF-RV :** B. Arnaldi est le responsable du projet PERF-RV. A ce titre, il organise le déroulement du projet :

- conduite et organisation des réunions plénières ou des groupes de travail ;
- synthèse et organisation de la rédaction des "deliverables" pour le Ministère de la Recherche.

**Travail multimodal et coopératif :** dans cette partie du travail, outre une étude bibliographique sur le domaine, nous avons exploré les métaphores de navigation 3D adaptées à des dispositifs "semi" immersifs (comme les Reality Center et Workbench, par opposition à des dispositifs totalement immersifs comme des "Cave" ou des visiocasques), permettant d'embarquer des outils d'interaction 3D.

Nous avons, de plus, développé sur notre environnement logiciel GASP des drivers de périphériques physiques d'acquisition 3D ou plus classiques dont nous avons fait l'acquisition (capteurs magnétiques 6 DoF, gants de données, joystick, souris 3D) ainsi que des dispositifs logiques de navigation 3D basés sur des orientations 3D (commande absolue de la position, commande relative en vitesse, commande mixte : absolue pour les petits angles et relative pour les angles plus importants, avec continuité au niveau des transitions) et des dispositifs logiques d'interactions 3D, qui peuvent évoluer dans un repère relatif, celui d'un navigateur par exemple, (Mains virtuelles permettant la saisie, la manipulation et le relâchement d'objets virtuels, rayon virtuel de taille variable permettant lui aussi saisie, manipulation et relâchement d'objets virtuels, avec changement de taille du rayon hors ou en cours d'interaction)

Une démonstration intégrant toutes les réalisations effectuées a été finalisée pour le 5 octobre 2001.

**Immersion et retour haptique :** L'état de l'art réalisé présente le panorama complet et détaillé des périphériques de commande à retour d'effort, leur principe, leur architecture, leur classification, leurs caractéristiques. Les interactions haptiques quant à elles, orientent vers un état de l'art de modules logiciels tels que : logiciels de détection de collision et de simulation physique, adaptés pour les calculs en temps réel.

Suite à différentes réflexions pour réaliser une revue d'application de montage virtuel dans le domaine automobile les besoins identifiés concernent :

- simuler un montage/démontage sans système haptique
- simuler un montage/démontage système haptique
- réaliser une revue en locale ou distante
- ajouter de la réalité augmentée pour une aide au montage, la formation, insérer un objet numérique dans un environnement réel .

Nous sommes actuellement en cours de réalisation, sur la base de notre environnement logiciel GASP, un prototype d'application permettant d'expérimenter le retour haptique dans un contexte de visualisation immersif. Ce prototype est fondé sur l'intégration dans GASP d'un simulateur dynamique, d'un détecteur de collision et d'un module de génération d'efforts. De plus, nous sommes en cours d'acquisition d'un dispositif à retour d'effort.

## 7.4 RNTL Mouvement : Estimation du mouvement

**Participants :** Jean-Luc Nougaret, Arnel Cretual, Mathilde Vandenberghe, Franck Multon, Rémi Cozot.

**Mots clés :** Mouvement, Animation par modèles physiques, Acquisition de mouvement, Identification de modèles, Estimation, Fusion des informations capteurs.

### Résumé :

*Le projet RNTL Mouvement associe les laboratoires industriels des sociétés Infogrames, Realviz et CEA-LETI, le laboratoire de physiologie et de biomécanique de l'exercice musculaire de l'Université de Rennes II et le projet SIAMES. Son objectif est d'exploiter la complémentarité de différentes sources de mesures et de tenir compte d'une connaissance a priori, afin de s'affranchir de certaines restrictions et limites des systèmes existants pour l'acquisition du mouvement.*

*Il s'agit avant tout d'un projet de développement logiciel basé sur une approche de prototypage rapide, justifiée par la mise au point itérative de l'interface utilisateur et des modes opératoires. Sur le plan scientifique, le modèle mathématique sur lequel se basent la conception générale du système et sa mise en œuvre algorithmique renvoie à des concepts fondamentaux de la théorie de l'automatique et du signal.*

Le projet RNTL Mouvement a pour objectif de fournir un prototype logiciel innovant et performant sur le thème de l'acquisition du mouvement. Le logiciel que nous devons y développer apporte un ensemble de nouveaux services, complémentaires des outils habituels de la chaîne d'acquisition et de traitement du mouvement, et basés sur le principe d'une estimation du mouvement à partir de mesures réelles (observations). L'originalité du système d'estimation de mouvement est de permettre à l'utilisateur de spécifier *a priori* une connaissance sur le mouvement et sur le contexte de la mesure (nature et placement des capteurs). Dans le domaine des jeux vidéo, l'intérêt potentiel est de définir dès le départ un modèle procédural de synthèse du mouvement, et de le paramétrer à partir de mesures réelles. Dans le domaine de l'analyse biomécanique du geste sportif, cette approche autorise par exemple d'évaluer la capacité d'un modèle a priori à expliquer les trajectoires réelles. Le modèle fournit également un service d'assistance à la mesure lorsque l'absence, l'invalidité momentanée ou partielle des mesures justifient l'utilisation de trajectoires synthétisées pour la fusion des informations des capteurs.

La connaissance injectée par l'utilisateur sert de guide et conduit à reformuler le problème de l'acquisition de mouvement en un problème d'estimation des paramètres d'un modèle de mouvement que l'on cherche à identifier : il s'agit de retrouver parmi la classe de mouvement spécifiée, celui offrant la meilleure compatibilité avec les mesures observées. Cette approche

permet en principe de palier aux difficultés inhérentes à la reconstruction des trajectoires à partir de la mesure (inversion de la fonction associée au processus de mesure), par un recours à la puissance de calcul de l'ordinateur. Il ne s'agit donc plus d'enregistrer les mesures et de reconstruire après-coup les trajectoires pour pouvoir ensuite remonter au modèle. Au contraire, le choix du modèle est ici antérieur au traitement des trajectoires réelles. Sur le plan de sa décomposition fonctionnelle représentée par la figure 6, ce système repose sur la notion de générateur de mouvement paramétré et sur un processus de simulation des capteurs. Ce dernier calcule un ensemble de mesures virtuelles à partir des trajectoires synthétisées. Un algorithme opérant en mode semi-automatique ajuste les paramètres du modèle de manière à faire coïncider au mieux mesures réelles et mesures virtuelles. L'ajustement terminé, les trajectoires synthétisées par le modèle générateur du mouvement peuvent être exploitées par l'utilisateur. On suppose que dans de nombreux cas, c'est l'obtention d'un modèle paramétré, davantage que les trajectoires qu'il produit, qui intéresse au final l'utilisateur.

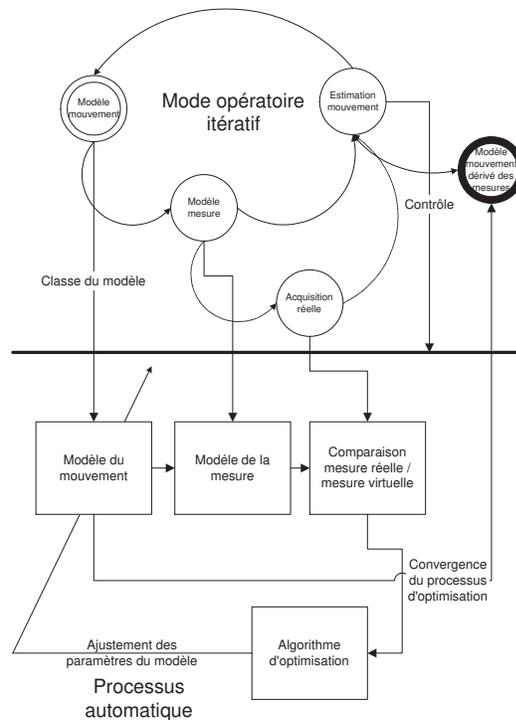


FIG. 6 – Diagramme représentant, en haut, les étapes successives de la spécification des modèles du mouvement et de la mesure par l'utilisateur. En bas, le schéma fonctionnel du processus d'optimisation comprenant le modèle de mouvement à identifier, la simulation des capteurs à partir des trajectoires à estimer. Ce processus vise à retrouver la "signature" du mouvement dans l'espace de la mesure.

Sur le plan pratique, la validité du concept proposé est essentiellement déterminée par l'aptitude du système à faire coopérer efficacement l'utilisateur avec la machine, de façon à tirer le meilleur parti de sa puissance de calcul. En plus de la conception d'algorithmes adaptés,

le succès de cette approche semi-automatique est donc tributaire de modes opératoires et d'une interface utilisateur performants. Pour atteindre ces objectifs, nous avons choisi d'aborder la conception du prototype logiciel par une méthode de développement itératif basée sur une architecture ouverte, sur des outils de développement rapide et sur la génération automatique de code. A ce stade, le prototype visé prend davantage la forme d'une boîte à outils, i.e. d'une *toolkit*, dont l'intégration prototype est réalisée au sein du logiciel d'animation professionnel Maya (Alias-Wavefront, filiale de Silicon Graphics). A terme, l'élaboration d'un environnement de développement d'applications d'acquisition de mouvement, i.e. d'un véritable *framework*, peut être envisagée. L'architecture du prototype en cours de développement repose sur un ensemble de composants distribués (technologies COM), dont l'intégration au sein du logiciel d'accueil est réalisée à l'aide de scripts et de bibliothèques dynamiques basés sur l'API Maya. La figure 7 représente le diagramme de composants du prototype en cours de développement.

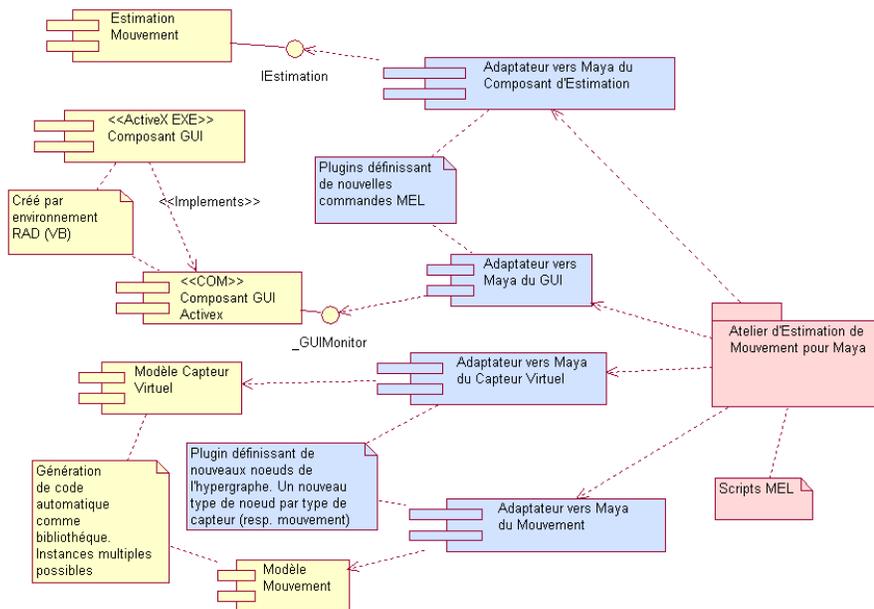


FIG. 7 – Diagramme de composants du prototype logiciel que nous développons dans le cadre du projet RNTL Mouvement.

Sur le plan théorique, l'approche étudiée renvoie à des concepts fondamentaux du domaine de l'automatique et du traitement du signal : ceux de l'*estimation* et l'*identification*. L'objectif scientifique corollaire de ce projet de développement est d'explorer le potentiel et les limites de ces outils théoriques, en évaluant notamment l'apport des modèles statistiques : ainsi différentes politiques d'estimation sont envisageables, selon que les lois de probabilité a priori des paramètres, voire du bruit de mesure, sont connues ou non (hypothèse Bayésienne ou maximum de vraisemblance), mais aussi selon que l'on recherche un estimateur optimal (meilleur au sens de l'espérance statistique) ou un estimateur robuste (meilleur au sens du pire cas). Plus généralement, l'approche proposée se base sur un processus d'optimisation dont la formulation mathématique et la mise en œuvre algorithmique dépendent des hypothèses disponibles et de

la politique d'estimation choisie.

## 7.5 RNTL Dramachina : scénario pour la fiction interactive

**Participants :** Guillaume Bataille, Frantz Degrigny, Stéphane Donikian.

**Mots clés :** jeux vidéo, fiction interactive, langage de scénario, outil auteur.

### Résumé :

*La société Dramaera travaille depuis 2 ans sur un modèle d'environnement narratif, à travers une recherche poussée, et la réalisation d'une fiction interactive sur cédérom, "The Insider". Elle souhaite aujourd'hui étendre cette recherche et adapter sa méthode à de nouveaux environnements, en particulier Internet et la télévision interactive. Le projet de recherche proposé consiste à développer un nouveau modèle d'environnement narratif, adapté aux différents supports visés et à créer un outil d'assistance à l'écriture, qui permettra aux auteurs de créer des scénarios directement exploitables par le modèle d'environnement narratif que nous aurons créé.*

La première année de ce contrat a été consacrée à l'analyse de la technologie développée par la société Dramaera en ce qui concerne la fiction interactive, à savoir les différentes étapes et modèles utilisés pour passer de la protohistoire linéaire décrite sous forme textuelle au jeu vidéo correspondant à la fiction interactive écrite avec des outils traditionnels (traitement de texte, tableur, ...) par le scénariste. À partir de la compréhension de ce premier modèle de fiction interactive, nous avons proposé un modèle de représentation plus ambitieux, c'est à dire qui puisse prendre en compte plusieurs types d'architectures de fiction interactive et qui puisse prendre aussi en compte différentes trames dramatiques telles qu'elles ont pu être analysées par les structuralistes et autres théoriciens de la littérature. Nous avons aussi cherché à prendre en compte plusieurs modèles permettant de décrire la psychologie des personnages et leurs couples relationnels. L'architecture complète de l'application a ensuite été réalisée à l'aide d'un atelier de génie logiciel, et nous sommes maintenant dans la phase de développement de l'outil auteur. Pour ce faire, nous avons décidé de nous appuyer sur des composants logiciels remplissant certaines des fonctionnalités de base (traitement de texte, édition de graphe, analyse lexicosyntaxique de la langue naturelle), afin de pouvoir nous concentrer sur les couches de plus haut niveau.

## 7.6 RNTL Dynamicité : ville virtuelle peuplée d'entités autonomes

**Participants :** Olivier Filangi, Claudie Fourn, Stéphane Donikian.

**Mots clés :** Environnements virtuels, maquettes numériques, animation comportementale.

### Résumé :

*La société IWI a développé une technologie innovante et unique qui lui permet une quasi-automatisation du processus de modélisation de villes numériques*

*d'un très grand niveau de réalisme, à partir d'un ensemble de données géoréférencées. L'objectif du projet est de mettre en commun nos outils de modélisation et de simulation du comportement humain ainsi que le savoir faire en modélisation d'IWI afin de pouvoir proposer, à l'issue du projet, des maquettes virtuelles de villes réelles, dans lesquelles l'utilisateur pourra se déplacer et interagir avec des acteurs autonomes. Les problématiques scientifiques abordées sont la modélisation la plus automatique possible d'environnements virtuels urbains de grande taille, et l'animation d'une quantité importante d'entités autonomes au sein de ces maquettes numériques.*

La première étape de ce projet a été de proposer un modèle de représentation commun de la base de données permettant de représenter les différents aspects de l'espace urbain utiles tant pour la génération automatique de maquettes numériques que pour la simulation comportementale. Une fois ce modèle spécifié à l'aide d'un atelier de génie logiciel, il a été implémenté à l'aide d'une base de données relationnelle. Différents modules d'import-export ont aussi été réalisés, ainsi qu'une sauvegarde au format XML des informations utilisées par la suite au sein du simulateur. L'import XML au sein de la plate-forme de simulation et la construction de la base de connaissances équivalentes ont aussi été réalisés. Les travaux en cours concernent l'utilisation de cette base de connaissance par des acteurs autonomes (piétons, conducteurs de véhicules), ainsi que la réalisation d'un module de jeu, permettant lorsque la phase de simulation ne peut pas être temps-réel (pour des contraintes de nombres d'acteurs autonomes à simuler) de pouvoir naviguer quand-même en temps-réel dans le résultat de la simulation.

## 7.7 RNRT VTHD

**Participant :** Thierry Duval.

**Mots clés :** interactions coopératives en univers virtuels, interactions 3D, coopération en environnements 3D.

### Résumé :

*Dans le cadre de ce contrat, nous avons mis en place une démonstration d'interactions coopératives entre les sites de Rennes et de Rocquencourt.*

Nous avons utilisé le réseau VTHD (en particulier les avantages offerts par sa très faible latence) pour mettre en oeuvre une démonstration de coopération en univers virtuel entre les sites INRIA de Rennes et de Rocquencourt.

Cette démonstration est construite au dessus du noyau PVM de GASP, et permet à des utilisateurs distants, chacun placé dans un environnement immersif (Reality Center à Rennes et WorkBench à Rocquencourt), de manipuler de façon coopérative les éléments principaux d'une Renault Scénic.

Ceci nous a permis de valider notre noyau GASP PVM pour des machines distantes, tout en mettant en évidence les besoins de réaliser des applications plus conséquentes afin de mieux étudier l'intérêt d'un tel réseau à haut débit, et afin de travailler sur les paradigmes d'interaction coopératifs les mieux adaptés à de telles interactions distantes. Ces travaux vont continuer dans le cadre de la suite du projet VTHD (VTHD++) à partir de janvier 2002.

## 7.8 Cité des sciences et de l'industrie : images animées autonomes

**Participants** : Jean-François Taille, Stéphane Donikian, Fabrice Lamarche, Stéphane Menardais.

**Mots clés** : animation comportementale, environnement virtuel, scénario pour l'animation.

La Cité des sciences et de l'industrie, à Paris, a réactualisé son exposition permanente sur l'image qui a ouvert sous sa nouvelle configuration en juin 2001. À cette occasion, le projet Siames (Irisa/ INRIA Rennes) a été invité à présenter un prototype de musée virtuel illustrant les travaux sur le contrôle du mouvement d'humanoïdes, la modélisation du comportement humain et la scénarisation. Cette factorisation a eu lieu grâce à l'utilisation de la plate-forme GASP développée au sein de l'équipe. Un scénario détaillé a été rédigé avec la cité des sciences afin de décrire le comportement des visiteurs d'un musée ainsi que celui de quelques personnages particuliers tels qu'un voleur, un photographe, un gardien, une mère et son enfant. Cette application a été un bon champ d'expérience tant pour la plate-forme GASP, que pour nos travaux sur la modélisation du comportement et le contrôle du mouvement. Les visiteurs réels peuvent voir évoluer des personnages animés autonomes, et ils peuvent influencer les agissements en sélectionnant des paramètres comme le degré d'agitation de l'enfant ou l'acuité visuelle du gardien.

## 8 Actions régionales, nationales et internationales

### 8.1 Relations bilatérales internationales

#### Amérique du nord

**Participants** : Stéphane Donikian, Frédéric Devillers.

Dans le cadre d'une collaboration soutenue par le programme NSF <sup>2</sup>/ INRIA, des échanges ont été mis en place entre notre équipe et un laboratoire américain de l'Université d'Iowa <sup>3</sup> sur le thème des scénarios pour la simulation de conduite. L'équipe américaine *Hank* travaille dans le domaine de la simulation de conduite (Iowa Driving Simulator) et utilise un modèle de représentation du comportement (HCSM) proche du nôtre (HPTS). Cette coopération s'est terminée cette année et a eu comme résultat la soutenance de deux thèses, une coté américain et l'autre coté français, avec deux approches complémentaires en ce qui concerne l'écriture de scénarios. Deux langages de scénario, l'un interprété réalisé à l'université d'Iowa et l'autre compilé réalisé à l'IRISA, sont le résultat de cette coopération.

Joe Kearney (professeur à l'Université d'Iowa) a effectué un séjour d'une semaine en juillet dans notre projet. Stéphane Donikian a effectué un séjour d'une semaine à l'Université d'Iowa en mai.

#### Amérique du sud

---

<sup>2</sup>National Science Foundation

<sup>3</sup><http://www.cs.uiowa.edu/~hank/index.html>

**Participants :** Stéphane Donikian, Romain Thomas.

Nous venons de démarrer cette année une collaboration avec le professeur Soraia Raupp Musse de l'Université UNISINOS au Brésil, dans le cadre du programme de coopération franco-brésilien soutenu conjointement par le CNRS et le CNPq. Dans cette coopération, nous souhaitons confronter deux points de vue, sur la modélisation des comportements de groupes de personnes. L'approche développée à UNISINOS consiste à modéliser le comportement de groupe, chargé de contrôler ensuite les comportements individuels, tandis que l'approche développée à l'IRISA consiste à modéliser les comportements collectifs au sein de chaque agent et d'obtenir ainsi des comportements de groupes émergents. Un autre aspect qui va nous intéresser lors de cette coopération concerne l'extension de la notion de groupe à une communauté de pensée, alors qu'aujourd'hui elle concerne principalement une proximité géométrique.

Stéphane Donikian a effectué un séjour d'une semaine à UNISINOS en octobre et Romain Thomas de trois semaines en décembre 2001. Soraia Raupp Musse effectuera un séjour d'un mois dans notre projet en janvier 2002.

## 8.2 Actions nationales

### Autres actions

- GREVE - Groupe de Réflexion sur les Environnements VirtuEls  
Depuis fin 1997, quatre équipes de recherche (le projet SIAMES de l'IRISA, équipe Informatique graphique du LaBRI, le LISSE de l'ENSM.SE et I3D) se sont regroupées au sein d'un groupe de réflexion dans le domaine de la réalité virtuelle baptisé GREVE. L'objectif premier du groupe de réflexion GREVE est le regroupement des forces de plusieurs laboratoires de recherche sur le thème de la réalité virtuelle. A travers une structure souple, les objectifs de GREVE sont poursuivis à travers des actions communes sur les trois points suivants :
  - Recherche : étude des complémentarités entre les membres du groupe et mise en place de collaborations de recherche bi ou multilatérale.
  - Valorisation : Développement commun de démonstrateurs, et mise à disposition de matériels spécifiques.
  - Veille technologique : mise en commun d'informations scientifiques et techniques relatives à la réalité virtuelle.Dans le cadre de GREVE, une Action de Recherche Coopérative (ARC) de l'INRIA, d'une durée de deux ans est en cours. Cette ARC a pour objectif de développer une plate-forme française ouverte et modulaire dédiée à la réalité virtuelle, qui soit multi-sites et multi-configurations et qui permette les développements (communs ou non) de chacune des équipes ou d'équipes extérieures.
- Pôle MESI :  
Le projet MESI repose sur un groupement de laboratoires qui ont mis des moyens en commun pour mener un projet de recherche sur l'endoscopie intelligente. Cette activité s'inscrit dans le cadre de l'axe "machines intelligentes" du CNRS. Ces laboratoires associés sont :
  - le Laboratoire de Robotique de Paris (LRP, Université de Versailles-Saint Quentin et

- Paris VI) ;
- l'Irisa ;
- l'Ecole Normale Supérieure de Cachan dans sa composante rennaise.

Les endoscopes actuels utilisés pour l'inspection de réseaux de tubes dans l'industrie ou pour l'inspection du corps humain sont encore bien rudimentaires. L'idée portée par le projet est d'intégrer une stratégie de commande reposant sur l'utilisation de matériaux actifs (alliage à mémoire de forme) en guise d'actionneurs.

L'ENS et l'Irisa travaillent plus particulièrement sur la modélisation d'un tel système en utilisant des techniques de prototypage virtuel. Il s'agit de réaliser le modèle, puis la simulation, d'un endoscope dans un réseau représentant au mieux la réalité.

Une thèse de l'ENS Cachan, encadrée par Georges Dumont, a débuté dans le cadre de cette collaboration en septembre 2000. Il s'agit d'utiliser le prototypage virtuel pour optimiser, en vue de sa réalisation, un prototype d'endoscope. Elle se décline en deux phases :

- La réalisation, dans l'environnement Gasp d'un simulateur d'étude d'endoscopie. Ce simulateur permettra de tester le comportement de l'endoscope dans un environnement géométrique représentant les vaisseaux du corps humain à explorer ;
- L'optimisation, à partir des résultats du simulateur, des prototypes mécaniques d'endoscopes. Cette optimisation servira de base au retour sur conception de l'objet endoscope en vue de sa réalisation effective. Cette partie explore des thèmes nouveaux qui visent à intégrer les résultats du calcul dans la phase de conception. Ils pourront trouver des échos dans les problématiques de la Plate-Forme Française de Réalité Virtuelle (PERF-RV).

Le financement de ce projet est arrivé à échéance cette année. Néanmoins, les actions initiées dans ce cadre se poursuivent et la collaboration est toujours active, comme en témoignent les publications communes en 2001.

- V2NET V2NET est un projet RNRT (Réseau National pour la Recherche en Télécommunication). Les différents partenaires de ce projet sont : THOMSON multimedia, Le LABRI (laboratoire de recherche en informatique dépendant de l'université de Bordeaux 1, de l'ENSERB et du CNRS), Le GROUPE RDC (société d'ingénierie informatique), ARCHIVIDEO (société spécialisée dans la production de simulations 3D fixes et animées pour les métiers de la construction), le laboratoire " Hyperlangages et Dialogues Multimédia " de la Direction des Interactions Humaines de Francetelecom R&D et enfin l'IRISA. L'objectif du projet V2NET est de développer et intégrer de nouveaux outils pour une navigation optimale dans des mondes 3D réels et virtuels dans un contexte d'applications client-serveur. L'optimalité étant ici définie comme la recherche d'un meilleur compromis qualité d'image/fluidité de navigation. En effet, le développement des réseaux et de la technologie 3D vont permettre l'émergence de nouveaux services de consultation en ligne, qui permettront d'accéder à de grandes bases de données contenant des scènes réelles/virtuelles. Or, les outils existants ne sont pas adaptés à ces futurs services. Il faut développer les outils algorithmiques appropriés en analysant l'intégralité des processus mis en jeu dans une application client-serveur. Ceci couvre les aspects de modélisation et de représentation compressée des objets, de structuration de scène, de dialogue client-serveur et de visualisation des scènes. L'intérêt de ce projet est donc de combiner les

connaissances scientifiques et les savoir-faire des partenaires pour traiter ces problèmes dans un contexte de services de télécommunications.

### 8.3 Actions financées par la Commission Européenne

#### IST : OPENISE

OPENISE est un projet européen IST réunissant différents partenaires : français, allemands, italiens, grecs et israéliens. Ce projet a pour objectif de définir, développer, intégrer et expérimenter une plate-forme ouverte et échelonnée pour fournir des services interactives de qualité à travers un réseau. Les différents objectifs visés sont :

- plate-forme d'application : en évaluant et recommandant de nouvelles technologies multimédia émergentes (MPEG4, VRML et ses extensions) le projet développe un ensemble de technologies clés essentielles pour supporter de nouvelles applications interactives ; deux exemples d'application seront développées, couvrant deux scénarios de service : les jeux et l'héritage culturel.
- plate-forme de contenu : le projet étudie, définit et intègre une plate-forme de haute performance modulaire et ouverte pour le codage et la transmission (à travers un réseau) de contenu tout en prenant en compte les exigences de QoS (Qualité de Service) dans des environnements de réseau IP et ATM.
- plate-forme de réseau : pour supporter efficacement les différentes applications prévues, le projet spécifie et intègre une plate-forme de diffusion de données (contenu) avec des possibilités de QoS, Multicast et accès rapide (ADSL, ADSL Lite, Radio large bande).
- expérimentations : les composantes contenu, application et réseau seront intégrées dans une plate-forme de laboratoire pour réaliser des expérimentations visant à évaluer les performances de la plate-forme OPENISE compte tenu des objectifs du projet.

## 9 Diffusion de résultats

### 9.1 Animation de la communauté scientifique

- Membre du jury de thèse SPECIF : B. Arnaldi.
- Membre du Comité d'Orientation du RNTL : B. Arnaldi.
- Participation aux travaux de l'association française d'informatique graphique AFIG – trésorier de l'association : S. Donikian.
- Co-animation du groupe de travail Animation-Simulation de l'AFIG et du GDR ALP : S. Donikian.
- Membre du comité scientifique du Programme Interdisciplinaire de Recherche du CNRS, ROBEA (Robotique et Entités Artificielles) : S. Donikian.
- Participation au groupe de travail national sur la réalité virtuelle (GT-RV), dans le cadre du GDR ISIS (Communication Homme-Machine) : G. André assure la représentation de l'Irisa.
- Thierry Duval a animé un workshop sur les architectures logicielles pour les applications interactives 3D lors de la conférence IHM-HCI'2001, à Lille, le 11 septembre 2001.

- Participation aux travaux du pôle de microrobotique. Nous organiserons les prochaines journées de cette communauté en 2002 : G. Dumont.

## 9.2 Enseignement universitaire

- responsabilité de la filière *Image* du DEA d'informatique (K. Bouatouch).
- DEA d'informatique Ifsic : synthèse d'image (K. Bouatouch).
- DEA d'informatique Ifsic : Mouvement temps réel (B. Arnaldi).
- DIIC LSI & INC, DESS ISA Ifsic : cours sur les interfaces homme-machine et la conception d'applications interactives (S. Donikian).
- DEA d'informatique : participation au cours sur le raisonnement spatial et temporel (S. Donikian).
- DIIC-INC : Ifsic, Rennes 1, (K. Bouatouch, É. Maisel, R. Cozot) option image.
- DESS ISA Ifsic : partie synthèse d'image du cours d'imagerie numérique (É. Maisel).
- DESS CCI Ifsic : option informatique graphique (R. Cozot, É. Maisel).
- ENSTB Brest : cours sur la synthèse d'image avancée (K. Bouatouch).
- École des Mines de Sophia-Antipolis (ISIA), cours de synthèse d'image et d'animation (K. Bouatouch).
- MAÎTRISE D'INFORMATIQUE Ifsic : partie synthèse d'image de l'option images numériques (É. Maisel).
- Magistère de mathématiques, université de Rennes 1 : cours sur la modélisation géométrique et la synthèse d'images (R. Cozot, K. Bouatouch).
- DESS de mathématiques, université de Rennes 1 : cours sur la modélisation géométrique et la synthèse d'images (R. Cozot).
- Responsabilité du module Réalité Virtuelle et IHM du dess Mitic (T. Duval)
- DIIC LSI & INC, DESS ISA, DESS MITIC Ifsic : cours sur les interfaces homme-machine et la conception d'applications interactives (T. Duval).
- DESS CCI Ifsic : option informatique graphique (K. Bouatouch, T. Duval).
- MAÎTRISE D'INFORMATIQUE Ifsic : partie synthèse d'image de l'option images numériques (T. Duval).
- Mastère Réalité Virtuelle Distribuée de l'ENI de Brest : cours sur la coopération en univers 3D et sur la multimodalité (T. Duval).
- Module Interfaces de l'ENI de Brest : cours sur la conception, les modèles d'architecture et l'ergonomie des interfaces homme-machine (T. Duval).
- DIIC LSI, DESS MITIC, DESS ISA option Génie Logiciel, Ifsic : cours sur les interfaces homme-machine (lien avec les Design Patterns) (T. Duval).
- DEA RESIN ENS Cachan, Paris6 et UVSQ : Prptotypage virtuel (G. Dumont).

## 10 Bibliographie

### Ouvrages et articles de référence de l'équipe

- [1] B. ARNALDI, R. COZOT, G. DUMONT, « A unified Model for Physically based Animation and Simulation », *in : Applied Modelization, Simulation and Optimization*, Cancun, Mexique, juin 1995.

- [2] B. ARNALDI, T. PRIOL, L. RENAMBOT, X. PUEYO, « Visibility Masks for Solving Complex Radiosity Computations on Multiprocessors », *Parallel Computing (Elsevier)* 23, 7, juillet 1997, p. 887–897.
- [3] B. ARNALDI, *Animation de systèmes physiques*, mémoire d’habilitation à diriger les recherches, université de Rennes I, février 1994.
- [4] D. BADOUEL, K. BOUATOUCH, T. PRIOL, « Distributed data and control for ray tracing in parallel », *IEEE Computer Graphics and Applications* 14, 4, juillet 1994, p. 69–77.
- [5] K. BOUATOUCH, P. GUITTON, B. PÉROCHE, F. SILLION, « Simulation de la lumière en synthèse d’images : aspects algorithmiques », *TSI* 14, 10, novembre 1996.
- [6] S. DONIKIAN, « Les modèles comportementaux pour la génération du mouvement d’objets dans une scène », *Revue Internationale de CFAO et d’Infographie, numéro spécial AFIG-GROPLAN* 9, 6, 1994.
- [7] G. HÉGRON, B. ARNALDI, C. LECERF, *Computer Animation*, Prentice Hall, juillet 1995, ch. Dynamic Simulation and Animation.
- [8] J. NOUGARET, B. ARNALDI, « Spécification cinématique et simulation dynamique : quelle combinaison optimale pour l’animation ? », *Numéro Spécial “Journées d’informatique graphique”*, *Revue Internationale de CFAO et d’Informatique Graphique* 10, 4, octobre 1995.

### Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [9] F. DEVILLERS, *Langage de scénario pour des acteurs semi-autonomes*, thèse de doctorat, université de Rennes I, septembre 2001.
- [10] D. MARGERY, *Environnement logiciel temps-réel distribué pour la simulation sur réseau de PC*, thèse de doctorat, université de Rennes I, novembre 2001.

### Articles et chapitres de livre

- [11] G. ROUGERON, F. GAUDAIRE, Y. GABILLET, K. BOUATOUCH, « Simulation of the indoor propagation of a 60 GHz electromagnetic wave with a time-dependent radiosity algorithm », *Computer And Graphics* 26, 1, 2001, p. 1–17.
- [12] A. ZARGHILI, N. GADI, R. BENSLIMANE, K. BOUATOUCH, « Arabo-Moresque decor image retrieval system based on mosaic representations », *The Journal of Cultural Heritage* 2, 2, 2001, p. 149–154.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [13] P. BIDAUD, S. RÉGNIER, S. SZEWCZYK, J. GUINOT, V. DESARS, S. HALIYO, G. DUMONT, L. BUCHAILLOT, D. SALLÉ, M. DAHAN, « Microrobotic Systems for MIS and Micromanipulation », in : *IARP International Workshop On Opportunities And Challenges Of Advanced Robotics Research And Applications At The Outset Of The New Century, Shanghai*, Shanghai, China, avril 2001. 15-17 avril 2001.
- [14] N. COURTY, E. MARCHAND, B. ARNALDI, « Through-the-eyes control of a virtual humanoid », in : *Computer Animation and Simulation 2001*, Séoul, Coreia, novembre 2001.
- [15] S. DONIKIAN, « HPTS : a Behaviour Modelling Language for Autonomous Agents », in : *Fifth International Conference on Autonomous Agents*, ACM Press, Montreal, Canada, mai 2001.
- [16] S. DONIKIAN, « L’animation comportementale », in : *Exposé invité lors de la journée AFIG du colloque ASTI’2001*, La Villette, Paris, avril 2001.

- 
- [17] S. DONIKIAN, « Les niveaux de comportement : le grand écart entre le contrôle des tâches bas-niveaux et le raisonnement en langage naturel », in : *Huitième journées du Groupe de Travail Animation-Simulation de l'AFIG et du GDR ALP*, S. Donikian, IRISA, Rennes, juillet 2001.
- [18] S. DONIKIAN, « A programming environment for behavioral animation », in : *GTEC'01*, Hong Kong, janvier 2001.
- [19] G. DUMONT, G. ANDRADE, C. KÜHL, « Le prototypage virtuel comme outil de conception : Application à un prototype d'endoscope actif », in : *quatrième journées du pôle microrobotique*, INSA Lyon, juillet 2001.
- [20] G. DUMONT, F. CHAPELLE, P. BIDAUD, « Toward Virtual Prototyping of Active Endoscopes », in : *Proceedings of ISR2001 (International Symposium on Robotics)*, IFR (International Federation of Robotics), p. 821–826, Seoul, Korea, avril 2001. 19-21 avril 2001.
- [21] S. GOULEAU, G. DUMONT, B. FURET, P. MOGNOL, « Prototype d'endoscope : du virtuel au fonctionnel », in : *7<sup>ième</sup> Colloque sur la Conception Mécanique Intégrée*, Primeca/AIP 2001, p. 225–234, avril 2001.
- [22] E. GUILLOU, E. MAISEL, K. BOUATOUCH, « Approximation de conditions d'éclairage pour la réalité augmentée. », in : *TAIMA'01*, F. Ghorbel (éditeur), p. 283–292, Hammamet, Tunisie, Octobre 2001, <http://site.voila.fr/TAIMA/>.
- [23] C. KÜHL, G. DUMONT, G. ANDRADE, « Simulateur d'étude de micro-endoscopes à actionneurs distribués », in : *Actes du 15<sup>ième</sup> congrès français de mécanique*, Association Universitaire de Mécanique, septembre 2001.
- [24] F. LAMARCHE, S. DONIKIAN, « The Orchestration of Behaviours using Resources and Priority Levels », in : *Computer Animation and Simulation 2001*, M. Cani, N. Magnenat-Thalmann, D. Thalmann (éditeurs), Springer-Verlag, p. 171–182, Manchester, UK, septembre 2001.
- [25] J. NOUGARET, M. OHMORI, « An information appliance capable of seamless screen-display atop printed matter : towards paper-anchored hypertext and multimedia », in : *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP2001*, p. 1110–1113, octobre 2001.