

Projet SIAMES

Synthèse d'Images, Animation, Modélisation et Simulation

Rennes

THÈME 3B

R *apport*
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	6
3.1	Panorama	6
3.2	Simulation d'éclairage et synthèse d'image	6
3.3	Modèles dynamiques de mouvement	8
3.4	Modélisation et simulation comportementale	10
4	Domaines d'applications	11
4.1	Panorama	11
4.2	Les environnements architecturaux et urbains	12
4.3	La réalité virtuelle, la réalité augmentée et la téléopération	13
4.4	Les simulateurs pour la recherche dans le domaine des transports	13
4.5	Humanoïdes virtuels et modèles biomécaniques	15
4.6	Le multimédia, l'audiovisuel et les jeux	15
5	Logiciels	16
5.1	Panorama	16
5.2	Logiciel de simulation d'éclairage	16
5.3	Modeleur d'environnement urbain : VUEMS	18
5.4	Plate-forme de simulation	19
5.5	Définition d'un outil pour l'entraîneur sportif	22
5.6	Dream : un langage de modélisation de systèmes physiques	23
6	Résultats nouveaux	24
6.1	Prise en compte de niveaux de détail pour le calcul d'illumination par la méthode de radiosité	24
6.2	Structuration de scènes extérieures	24
6.3	Rendu à base d'images et de modèles	25
6.4	Scénario pour l'animation comportementale	26
6.5	Modélisation de l'environnement urbain pour la simulation du comportement de piétons	29
6.6	Outils de modélisation et de Contrôle du Mouvement pour l'Animateur	30
6.7	Système de visualisation immersive	33
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	34
7.1	CSTB : simulation d'éclairage	34
7.2	CSTB Grenoble : simulation de propagation d'ondes radioélectriques	35
7.3	Siradel : simulation de propagation d'ondes radioélectriques	36
7.4	Délinéateurs intelligents	37
7.5	Alias/Wavefront : contrôle du mouvement pour l'animation	37

7.6	CCETT : application interactive 3D multimédia	38
7.7	Cryo-Interactive : humain virtuel temps réel	38
7.8	Renault : Montage virtuel	40
8	Actions régionales, nationales et internationales	40
8.1	Actions nationales	40
8.2	Actions financées par la Commission Européenne	43
8.3	Relations bilatérales internationales	43
8.3.1	Amérique (du nord et du sud)	43
9	Diffusion de résultats	44
9.1	Animation de la communauté scientifique	44
9.2	Enseignement universitaire	44
10	Bibliographie	45

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 en détachement chez Sony Tokyo depuis le 1er février 1999]

Thierry Duval [CR, détachement Inria, depuis le 1er septembre 1999]

Personnel CNRS

Stéphane Donikian [CR]

Annick Leroy [IE]

Université de Rennes 1

Kadi Bouatouch [professeur]

Rémi Cozot [maître de conférences]

Éric Maisel [maître de conférences]

Gwenola Thomas [Ater depuis le 1er octobre 1999]

Ingénieur Expert

Richard Kulpa [Inria]

Chercheurs doctorants

Gwenola Thomas [bourse MENRT jusqu'au 30 septembre 1999]

Reynald Dumont [bourse Cifre jusqu'au 28 février 1999]

Erwan Guillou [bourse MENRT]

Nicolas Pazat [bourse AMN]

Bernard Valton [bourse CCETT]

David Margery [bourse MENRT]

Frédéric Devillers [bourse MENRT]

Stéphane Menardais [bourse MENRT depuis le 1er octobre 1999]

Mickaël Pouliquen [bourse MENRT depuis le 1er octobre 1999]

Tangi Meyer [bourse Inria-Région depuis le 1er octobre 1999]

Nicolas Courty [bourse Cnet depuis le 1er octobre 1999]

Post-doctorants

Guillaume Moreau [post-doc Industrielle Inria jusqu'au 1er septembre 1999]

Jordi Reginos [post-doc Inria depuis le 1er juillet 1999]

Zhongke Wu [post-doc Inria depuis le 15 octobre 1999]

Collaborateur Extérieur

Georges Dumont [maître de conférence ENS Cachan]

Gérard Hégron [professeur École des Mines de Nantes]

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

Thierry Duval [maître de conférence Ensai Rennes, jusqu'au 31 aout 1999]

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 comportementaux (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 **plateforme logicielle de simulation** capable d'intégrer les différents composants de nos travaux dans un contexte de simulation temps réel distribuée. Cette plateforme 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 systèmes 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

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 (luminaires) 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 radiosité 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 radiosité et de lancer de rayon. Elle est fondée sur la physique de la propagation d'énergie électromagnétique, utilise des luminaires 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.

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 neuro-musculaire, planification et boucles d'asservissement, etc.).*

La création de mouvements d'objets ou de personnages synthétiques nécessite la mise en oeuvre 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 oeuvre 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 :

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

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 calibration 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 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 le 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 Pétri, objets réactifs, objets temps réels, 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.

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 (mémorisation, prédiction, durée d'une action, séquençement 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, 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 modeleur 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 Les environnements architecturaux et urbains

Mots clés : simulation d'éclairage, environnements urbains, architecture, éclairage publique, éclairage naturel, éclairage artificiel.

Résumé : *Les travaux sur la simulation d'éclairage peuvent être étendus à des spectres de longueurs d'onde non visibles tels que l'infrarouge. De plus, nous avons exploité le résultat de nos travaux pour : (I) réaliser l'éclairage dans des environnements architecturaux, (II) éclairer et dimensionner les tunnels dans le but de permettre de rendre visible tout obstacle sur la chaussée, (III) modéliser à la fois des environnements architecturaux et urbains, (IV) simuler la conduite de véhicules en fonction des critères évalués par le logiciel de simulation, (V) simuler la propagation de rayonnement infrarouge. Nos travaux peuvent déboucher sur d'autres types d'applications liés à d'autres types de rayonnements : téléphone microcellulaire, réseau informatique sans fil,...*

La principale application de nos travaux concerne la simulation d'éclairage et l'évaluation de critères de confort visuel et de visibilité. Un des logiciels que nous avons développés avec le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) a permis de simuler l'éclairage pour différents types de scènes réelles, certaines ont été validées par des mesures expérimentales. Les exemples suivants représentent les dernières études réalisées par le CSTB en utilisant notre outil de simulation :

- Stade de France ;
- Tunnel de Tokyo ;
- Locaux de la Maif ;
- Stade de la Beaujoire ;
- Le Louvre.

En fait, le champ d'application de ces techniques de simulation d'éclairage est vaste : éclairage public et d'édifices historiques, confort visuel (bureau, atelier), tunnel, grandes surfaces,

studio de cinéma. Elle peuvent jouer aussi un rôle important dans la vérification des normes d'éclairage naturel et artificiel, ou dans la simulation de luminaires avant fabrication.

Nous avons aussi appliqué notre logiciel d'éclairage et de dimensionnement des tunnels. Selon le type de tunnel, ce logiciel propose, en fonction de l'éclairage naturel extérieur, différentes solutions d'éclairage : type de sources, nombre de rangées de sources, réflectivités de la chaussée, murs et plafond.

4.3 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 urbains virtuels ;*
- *contrôle du mouvement en temps réel de systèmes dynamiques.*

4.4 Les simulateurs pour la recherche dans le domaine des transports

Mots clés : simulation, transport, sécurité, trafic.

Résumé :

Le simulateur reproduisant finement le comportement du couple véhicule et conducteur en interaction avec son environnement est, à la fois, un outil d'entraînement à la conduite de véhicules et un outil d'étude et de recherche permettant une

meilleure connaissance du système conducteur-véhicule-environnement. Ces dernières années ont vu une évolution très rapide des simulateurs haut de gamme dédiés à la recherche. La mobilisation sur le thème de la sécurité routière et les grands programmes de recherche sur les véhicules et l'assistance à la conduite n'ont fait qu'accentuer le développement de tels moyens d'essais. Ces simulateurs sont centrés sur un véhicule réel instrumenté dans lequel un conducteur va permettre de fermer la boucle de simulation en réagissant à chaque instant aux résultats du calcul qui lui seront rendus perceptibles. Pour ce faire, ces simulateurs sont composés de plusieurs sous-systèmes : dynamique du véhicule, retour d'efforts aux commandes, restitution visuelle, sonore et du mouvement, modèle d'environnement et de trafic. De tous ces sous-systèmes, le moins réaliste à l'heure actuelle est le modèle d'environnement et de trafic. Notre objectif est de pouvoir effectuer des simulations de conduite dans des environnements urbains réels et dotés d'un trafic dense et multimodal (poids-lourds, voitures, deux-roues, piétons). Les différents constituants de telles simulations sont le modèle mécanique des moyens de locomotion, le modèle de comportement des conducteurs et le modèle du réseau routier.

À travers une longue expérience dans le domaine de la simulation de systèmes physiques et en particulier sur les simulations de véhicules (projet de simulateur avec l'Inrets, projet Praxitèle, projet européen Diats), le projet Siames aborde le problème de la simulation dans le domaine du transport sous l'angle d'une conception intégrée de composants permettant d'offrir des possibilités aussi variées que :

- un modèle physique des modes de transport ;
- la définition d'un trafic réaliste (par spécification de comportement de pilotes virtuels) ;
- la simulation configurable en fonction du nombre d'entités ;
- la simulation temps réel interactive ou hors ligne ;
- un environnement 3D réaliste ;
- etc ...

Modèle mécanique des moyens de locomotion

La précision et le réalisme dans le comportement dynamique des entités simulées, comme des véhicules ne peuvent être obtenus que par la prise en compte d'un modèle mécanique plus ou moins détaillé. À travers la spécification d'un tel modèle (cf Dream : 5.6), s'intégrant dans notre plate-forme de simulation (cf Gasp : 5.4), nous pouvons prendre en compte et spécialiser selon l'application les différents modèles dynamiques des entités évoluant dans la scène.

Modèle de comportement des conducteurs

En complément au modèle dynamique du mode de transport, il est nécessaire de pouvoir définir un comportement de pilote virtuel. En effet, le réalisme de la simulation dépendra pour beaucoup de la fidélité et de l'efficacité de ce pilote. Nous avons utilisé le modèle formel (Système de Transition Parallèle Hiérarchisé) pour décrire le comportement d'un conducteur de véhicule.

Modélisation du réseau de transport

La définition de l'environnement dans lequel se déroule la simulation est aussi prépondérante quant à la qualité du simulateur. Dans le cas de la simulation de conduite, le comportement du pilote dépend de plusieurs types d'informations : les caractéristiques physiques de la route, la topologie du réseau routier, la signalisation routière et, si nous nous plaçons dans un cadre urbain, les éléments occultants. Toutes ces informations sont en fait de trois natures différentes mais complémentaires : géométriques, topologiques et sémantiques. Nous avons cherché à regrouper ces trois types de données à l'intérieur d'un modèle unique, avec comme objectif la reconstruction de toute l'infrastructure de réseaux de circulation urbains réalistes, à partir de données réelles fournies par la ville de Rennes.

4.5 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.

4.6 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. Dans ce domaine, nous entretenons un partenariat avec la société canadienne Alias-Wavefront ainsi qu'avec le Cnet de Rennes.

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.*

- *Gin* : *Gin* est un logiciel de simulation d'éclairage développé en collaboration avec le CSTB. L'approche utilisée est spectrale, les longueurs d'ondes des échantillons sont déterminées automatiquement en fonction de la forme des spectres des sources de lumière et de celle des réflectances des matériaux. Le logiciel prend en compte l'éclairage naturel (utilisant des modèles de ciel et de soleil) et artificiel (utilisation des catalogues de luminaires). L'effet de la modification des propriétés de réflectance des matériaux sur l'éclairage est quasi instantané. La modification du type de source implique peu de calculs. Le logiciel s'appuie principalement sur la méthode de radiosité et utilise dans une deuxième passe le lancer de rayon pour les effets de réflexion spéculaire et de transparence.
- *Sim* : *Sim* permet d'effectuer une simulation d'éclairage dans des environnements complexes sur une station de travail courante. L'approche mise en œuvre est basée sur le découpage de l'environnement en plusieurs parties que nous appelons *cellules*. Chaque cellule ayant une liste d'ouvertures (portes ou fenêtres) à travers lesquelles elle voit d'autres cellules. Un calcul de visibilité détermine pour chaque cellule la liste de ses cellules visibles à travers des ouvertures. Ces opérations constituent la *structuration* de l'environnement. Le résultat de cette structuration est une liste de cellules et un graphe de visibilité. A partir des résultats de cette structuration, la simulation d'éclairage dans des environnements complexes est rendue possible. En effet, une surface appartenant à une cellule émet son énergie vers les surfaces de cette cellule mais aussi vers les surfaces des cellules qui lui sont visibles. Ce fait est exploité par *Sim* pour ne garder en mémoire que les cellules éclairées par la cellule émettrice courante, le reste des cellules étant stocké sur disque. Cela permet de réduire à tout instant l'espace mémoire utilisé et de rendre possible la simulation dans des environnements complexes.
- *Sas* : *Sas* est un logiciel interactif permettant de structurer un environnement complexe en cellules à des fins, soit de simulation d'éclairage, soit de déplacement virtuel en temps réel. Ce logiciel s'appuie sur les bibliothèques *Motif* et *OpenGL*.
- *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. Ceci est d'un intérêt crucial pour le concepteur de tunnel qui pourra ainsi visualiser le tunnel avant sa construction effective, obtenir certains renseignements très utiles comme les niveaux de luminance ou une évaluation de

- l'éblouissement en certains points de la scène. Il disposera alors d'un outil permettant de détecter d'éventuels défauts et les qualités que pourrait présenter ce tunnel après construction.
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. Son principe repose sur les méthodes décrites plus loin. Il permet à un utilisateur de reconstruire des sites réels avec une précision suffisante afin de pouvoir les explorer ("walk-through"). 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. Il est ainsi facile d'ajouter des objets virtuels dans ce site ainsi que de modéliser certains objets directement sur cette maquette lorsqu'on ne dispose pas de suffisamment d'informations dans les images. Le logiciel peut sauvegarder les modèles reconstruits dans différents formats (VRML, Iv, Pov, NFF,...). Enfin, une grande partie de ce logiciel a été développée en Matlab, ce qui augmente ses capacités d'évolution.

5.3 Modeleur d'environnement urbain : VUEMS

Participant : Stéphane Donikian [correspondant].

Mots clés : logiciel, environnements virtuels, géométrie, topologie, sémantique, transport.

Résumé : VUEMS (*Virtual Urban Environment Modeling System*) est un modeleur d'environnements urbains qui a pour vocation de représenter le plus fidèlement possible l'espace urbain pour des applications liées à la simulation du comportement humain (conduite automobile, locomotion...). Il s'agit donc de représenter la voirie, la signalisation routière, mais aussi tous les éléments de l'espace urbain ayant un impact sur le comportement (bâtiments, éclairage public, arbres,...).

VUEMS permet de générer des bases de données complètes très réalistes, car construites à partir de données utilisées par les services de la voirie et de la circulation de la ville de Rennes. Le modeleur accepte actuellement en entrée deux types de données : une base de données, au format Ascodes, d'une précision 1/200 (l'erreur minimale est de 5 cm sur la localisation d'un point, ce qu'il faut comparer avec l'erreur des bases de données cartographiques les plus fines de l'IGN qui est de l'ordre du mètre) qui contient toutes les informations relatives à la topographie de surface de la ville, et des plans numérisés fournissant des informations complémentaires sur le marquage au sol. Une partie des informations est extraite automatiquement de la base de

données, tandis que l'utilisateur du modèleur construit le réseau routier à l'aide des tronçons élémentaires, ce qui fournit une base de données réaliste, intégrant les trois types d'informations, géométriques, topologiques et sémantiques. Deux types de données sont produites en sortie du modèleur : une base de données tactique utilisée par les pilotes virtuels et une base de données géométrique utilisée pour la visualisation. De plus, nous nous sommes intéressés à la texturation automatique des bâtiments grâce à l'utilisation de jeux de textures types. Seuls certains monuments verront leur modélisation retravaillée a posteriori.

Dans une première version du modèleur, les informations topologiques et sémantiques étaient spécifiques aux besoins de la simulation du comportement de pilotes de véhicules sur la voirie (poids lourds, bus, véhicules légers, cycles,...) ainsi que de conducteurs de tram sur voie ferrée. Un nouveau modèle de représentation de l'espace urbain en terme d'espaces de circulation contrainte (couloir, trottoir, chemin), d'espaces de circulation libre, de zones d'aiguillage et de portes de passage a été défini afin de prendre en compte le comportement des piétons. VUEMS a été étendu afin de prendre en compte cette nouvelle structuration de l'espace (cf figure 1).



FIG. 1 – Scène 3D générée automatiquement par VUEMS

5.4 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 module.

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,
- un noyau multi-processus multi-machines.

Le noyau temps-réel multi-processus mono-machine a pour but l'obtention d'une plus grande puissance de calcul, il est plus particulièrement dédié aux machines SGI multi-processeurs.

Le noyau multi-processus multi-machines est quant à lui voué à l'utilisation d'un parc hétérogène de machines, son objectif est double. D'une part, nous visons une augmentation supplémentaire de la puissance de calcul et, d'autre part, la coopération entre plusieurs utilisateurs humains au sein d'un environnement 3D virtuel.

Notons enfin qu'après une période de développement et de mise au point, cette plate-forme est maintenant arrivée à un stade tel qu'il devient possible de l'exploiter pleinement, et elle va ainsi être largement diffusée au sein de la communauté française d'informatique graphique.

Les évolutions récentes de la plate-forme sont les suivantes :

Fiabilité, évolutivité et nouvelles fonctionnalités Nous sommes dernièrement passés de la version 1 de Gasp (première génération) à la version 2 (seconde génération). Ce changement de génération a vu une certaine évolution de l'architecture de cette plate-forme, qui a ainsi fait d'importants progrès sur le plan du génie logiciel, en particulier au niveau de la fiabilité du typage des attributs (entrées, sorties ou paramètres de contrôle des entités simulées) lui apportant ainsi plus de robustesse.

Un mécanisme d'envoi asynchrone d'événements et de messages a également été ajouté aux communications par flots de données qui étaient jusqu'alors les seules possibilités offertes par notre première génération de plate-forme.

Par ailleurs, les aspects multi-fréquentiels sont maintenant gérés de manière efficace et de façon homogène entre les différents noyaux de la plate-forme, lesquels ont également été fusionnés et cohabitent maintenant au sein de Gasp.

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. Dans ce dernier cas, pour la version multi-machines, nous ne pouvons garantir une réception immédiate des messages, alors que nous sommes en mesure d'offrir une synchronisation entre toutes les machines, à un "clic d'horloge" près, c'est-à-dire que nous ne pouvons garantir au mieux que la propriété suivante : au temps t , les entités calculées sur un processus peuvent accéder aux valeurs exactes des sorties des entités calculées sur les autres processus à l'instant $t - dt$, où dt est l'écart de temps entre deux pas de simulation.

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.

Aide à la création de modules Afin d'assister le programmeur de module dans sa tâche, des utilitaires ont été créés. Ils permettent de spécifier les interfaces des modules (en termes de paramètres d'entrée, de sortie et de contrôle) ainsi que la façon dont ils doivent être exécutés (expression d'éventuelles dépendances entre modules). Ensuite, des squelettes d'objets

de simulation et de leurs objets de calculs associés sont automatiquement générés, ainsi qu'un makefile, il ne reste alors plus au programmeur qu'à écrire le code effectif de ces modules.

Visualisation stéréo Afin de profiter pleinement des performances du dispositif de visualisation immersive (Immersia) acquis cette année, la visualisation de la plate-forme est passée d'un mode mono-pipe monovision à un mode "tri-pipe" stéréovision.

En effet, le mode initial mono-pipe monovision ne permet pas d'exploiter au mieux les caractéristiques de notre dispositif immersif, à savoir un écran cylindrique de neuf mètres de développée, et la possibilité d'utiliser trois "pipes" graphiques afin de calculer les images.

Dans ce contexte, le passage en mode "tri-pipe" permet d'une part de répartir les calculs d'une image sur les trois pipelines graphiques disponibles, et d'autre part d'obtenir une meilleure qualité géométrique d'image, car l'image finale, calculée à partir de trois points de vues différents, est beaucoup moins déformée que lorsqu'elle résulte d'une seule prise de vue "grand angle".

Le passage à la stéréovision apporte quant à lui la notion de profondeur dans l'image, ce qui permet obtenir une réelle impression de relief et renforce encore le sentiment d'immersion au sein d'un univers 3D.

5.5 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. 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 ensemble d'opérateurs de type *Motion Warping* permettant de modifier les trajectoires articulaires et d'en visualiser les conséquences sur le geste.

La suite de ces travaux concernent la mise en place d'informations liées à la dynamique du mouvement telles que les énergies, les forces et les moments aux articulations.

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.

5.6 Dream : un langage de modélisation de systèmes physiques

Participant : Rémi Cozot [correspondant].

Mots clés : Système mécanique, Modèles lagrangiens.

Résumé : *Dream (modèles Déformables et Rigides Efficaces pour l'Animation et la simulation) est un environnement de simulation de systèmes mécaniques complexes composés de parties rigides et déformables en interaction. Le système Dream se compose d'un langage de modélisation pour décrire les mécanismes, d'une bibliothèque de calcul formel qui évalue de manière exacte les équations du mouvement et d'un générateur de codes numériques de simulation. Les codes de simulation ainsi produits sont intégrés dans les applications nécessitant des modules de simulation.*

L'objectif de Dream est la simulation des mécanismes complexes composés de parties rigides et déformables en interaction.

DREAM offre un langage de définition du modèle de matière Lagrangien utilisé : différences finies, éléments finis, réseaux de masses et ressorts, synthèse modale et ensembles de particules. Dream calcule les équations du mouvement de manière exacte en utilisant une bibliothèque de calcul formel spécialisée pour la mécanique. La prise en compte dans la bibliothèque des modes de différentiations directes et inverses, associée à l'utilisation du principe des travaux virtuels et des équations de Lagranges garantissent d'obtenir des équations du mouvement compactes avec un coût spatial linéaire en fonction du nombre de degrés de liberté. De plus, par génération de code, Dream produit des simulateurs numériques efficaces pour les mécanismes modélisés.

L'architecture de Dream se divise en trois parties : le langage de modélisation, la bibliothèque de calcul formel et le générateur de code numérique. Le langage de modélisation offre

les outils de description des modèles de matière et des mécanismes. La sortie du langage, c'est-à-dire la compilation d'un fichier de description, est constituée des termes énergétiques et des contraintes (holonome et non holonome) intervenant dans le mécanisme. La bibliothèque de calcul formel est utilisée pour évaluer les équations du mouvement en appliquant un formalisme lagrangien (principe des travaux virtuels et équations de Lagrange). Le générateur de code exploite les équations du mouvement et construit le simulateur numérique.

6 Résultats nouveaux

6.1 Prise en compte de niveaux de détail pour le calcul d'illumination par la méthode de radiosité

Participants : Kadi Bouatouch, Éric Maisel, Reynald Dumont.

Mots clés : simulation d'éclairage, niveaux de détail.

Résumé : *Un objet de géométrie complexe est modélisé par un nombre important de facettes planes. Lorsqu'une scène contient un nombre élevé d'objets de ce type, le nombre de facettes la décrivant devient tout de suite très important. Par conséquent, dans le cas d'un calcul d'illumination par la méthode de radiosité hiérarchique le nombre de mailles (résultant d'un maillage), le temps de calcul et l'espace mémoire requis croissent considérablement. Un moyen pour pallier cet inconvénient est d'exploiter la représentation par niveaux de détail des objets de la scène dans le calcul d'illumination par la méthode de radiosité.*

Notre méthode de radiosité hiérarchique considère que les surfaces des objets sont représentées à différents niveaux de détail. Deux surfaces peuvent être en interaction (elles peuvent s'échanger de l'énergie) en s'appuyant sur ces niveaux de détail. Le nombre de liens (au sens de la radiosité hiérarchique) est donc réduit considérablement ainsi que l'espace mémoire et le temps de calcul. L'idée est de se concentrer sur les échanges énergétiques significatifs en évitant de s'attarder sur ceux ayant un impact négligeable sur la solution finale du calcul d'illumination. En outre, l'espace mémoire requis est réduit considérablement en détruisant les liens d'interaction entre surfaces à la fin de chaque itération du processus de calcul. Les résultats obtenus ont montré l'efficacité de notre méthode (cf figure 2).

6.2 Structuration de scènes extérieures

Participants : Kadi Bouatouch, Éric Maisel, Reynald Dumont.

Mots clés : simulation d'éclairage, environnements complexes, décomposition de domaine.

Résumé : *Nous nous intéressons au calcul d'illumination (visible et infra-rouge) dans des environnements extérieurs représentés par un modèle numérique*



FIG. 2 – Méthode 3 points : prise en compte de BRDF quelconque

de terrains. Ces environnements peuvent être composés de plusieurs milliers de polygones. Le calcul d'illumination dans ce type de scène peut nécessiter d'importantes ressources mémoire et de calcul non offertes par la plupart des stations de travail courantes. Pour pallier cet inconvénient, nous avons conçu une méthode de structuration de scène extérieure en plusieurs régions afin que seules les régions concernées par le calcul soient chargées en mémoire, le reste étant sauvegardé sur disque.

En plus de la prise en compte des niveaux de détail, notre logiciel de radiosité hiérarchique découpe la scène en plusieurs régions et détermine les relations de visibilité entre ces dernières. Le résultat est un ensemble de régions ainsi qu'un graphe de visibilité exprimant les relations de visibilité entre ces régions. Les régions doivent comprendre un ensemble raisonnable de polygones. Le découpage se base sur le relief de la scène. En effet, les régions sont déterminées de telle sorte que deux polygones appartenant à deux régions différentes aient peu ou pas de chance de se voir, c'est à dire d'échanger de l'énergie. La méthode de découpage détermine en premier les sommets se trouvant sur des lignes de crête, ces sommets sont appelés pics. Ces derniers définissent des vallées qui sont en fait les régions que nous recherchons. Une fois le découpage fini, l'algorithme de radiosité applique une technique d'ordonnancement de calcul pour évaluer l'illumination dans la scène. Cette technique d'ordonnancement ne charge en mémoire que les régions concernées par le calcul, le reste étant stocké en mémoire. De cette manière, des scènes complexes peuvent être traitées par notre algorithme de radiosité (cf figure 3).

6.3 Rendu à base d'images et de modèles

Participants : Kadi Bouatouch, Éric Maisel, Erwan Guillou.

Mots clés : reconstruction 3D, calibration, texture.

Résumé :

Nous avons développé une méthode interactive qui permet rapidement de calibrer une image à partir d'une seule image (et d'une information sur l'image) contenant

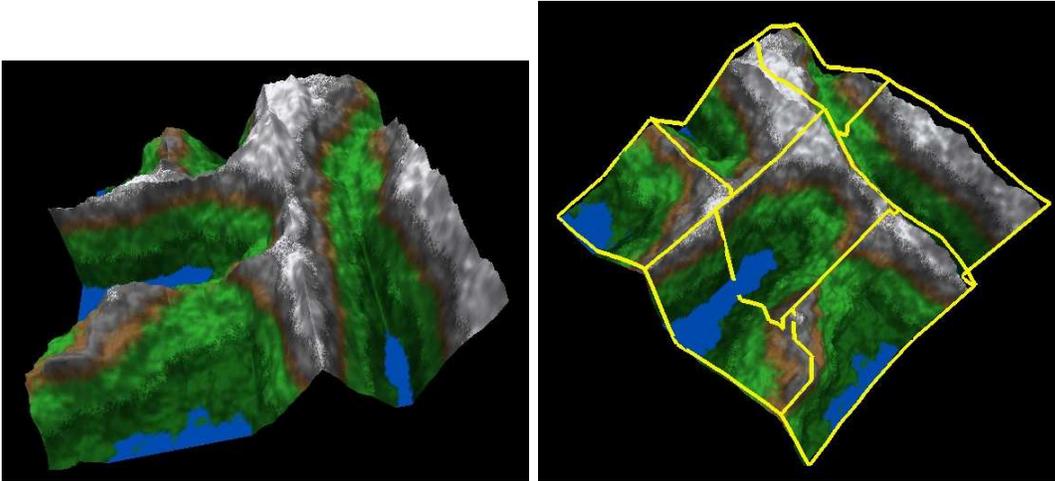


FIG. 3 – *Structuration d'un modèle numérique de terrain*

deux points de fuite. Ce calibrage permet de reconstruire grossièrement les objets de la scène en les approchant par des polyèdres texturés.

Le méthode que nous avons développée permet, de manière interactive, de calibrer une caméra à partir d'une seule image à l'aide de points de fuite. L'utilisateur sélectionne un ensemble de droites (parallèles dans l'espace 3D) déterminant deux points de fuite. Ceux-ci déterminent un repère 3D par rapport auquel est placée et orientée la caméra. En outre, l'utilisateur déplace, oriente et transforme des polyèdres simples (boîtes, prismes,...) devant englober les objets réels dans la scène. Des textures (représentant des objets dans l'image) sont extraites, redressées et plaquées sur les faces des parallélépipèdes. Afin d'améliorer la représentation de ces objets, on déforme de manière interactive ces polyèdres. Ces déformations sont contrôlées et réalisées à partir de plusieurs images. Le résultat obtenu est un ensemble d'objets polyédriques texturés permettant à la fois un déplacement temps réel dans la scène et l'insertion d'objets virtuels. Récemment, nous avons ajouté la possibilité de reconstruire une scène à partir de plusieurs images. Le calibrage des caméras s'effectue par rapport à une caméra de référence. La reconstruction est facilitée par le fait qu'une plus grande partie de la scène est couverte par l'emploi de plusieurs caméras. D'autre part, le fait de pouvoir interpoler les textures en fonction de la position et de l'orientation du point de vue permet d'avoir une représentation plus correcte des détails des surfaces présentes dans la scène (cf figures 4, 5 et 6).

6.4 Scénario pour l'animation comportementale

Participants : Stéphane Donikian, Frédéric Devillers.

Mots clés : scénario pour l'animation.

Résumé :

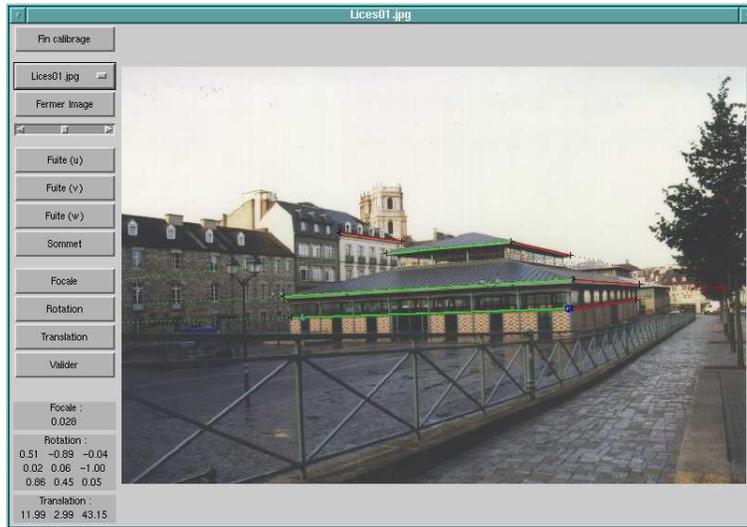


FIG. 4 – Etape de calibration sur l'image

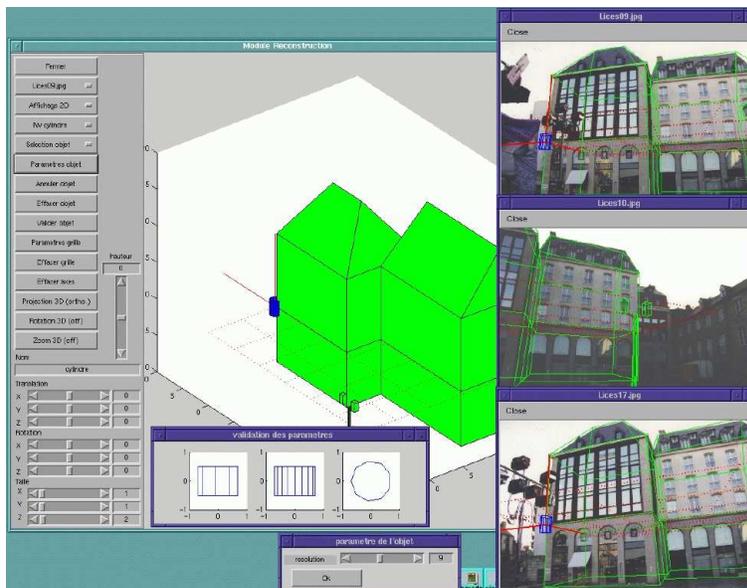


FIG. 5 – Etape de reconstruction interactive



FIG. 6 – *Exploitation du modèle 3D*

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. Nous avons caractérisé les scénarios en quatre types :

- scénario ambiant : créer un ensemble de situations et d'interactions autour d'une personne en situation d'immersion dans l'environnement ;
- scénario orienté buts : définir des buts à atteindre au cours de la simulation. La complexité principale de ce type de scénario consiste en la planification des actions des différents acteurs ;
- scénario réactif : observer l'évolution de la simulation et lors de situations spécifiques, démarrer tel ou tel scénario ;
- séquence d'actions : spécifier un ensemble d'actions à effectuer et la manière dont elles sont ordonnancées.

L'objectif que nous nous sommes fixés est de pouvoir tous les spécifier à terme à l'aide d'un langage unique de scénarisation. Ce langage devra pouvoir s'adapter au fur et à mesure de l'enrichissement des simulations en terme de nouveaux types d'acteurs et de nouvelles capacités d'action.

Dès lors que l'on parle de spécification, par l'utilisateur, des 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. Ce langage de scénario peut aussi être vu aussi comme un bon outil de spécification de bibliothèques de comportements paramétrables.

Nous avons jusqu'à présent formalisé le cœur d'un système de spécification et d'exécution de scénarios. 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.

Nous spécifions également actuellement des enrichissements du modèle d'acteurs comportementaux, afin qu'ils puissent dialoguer avec des scénarios. Lors d'un tel échange, les acteurs doivent pouvoir, grâce à une gestion interne de ressources, accepter ou refuser les requêtes des scénarios. Un système de priorités et d'interruptions sur les actions en cours d'un acteur permet de gérer la concurrence de multiples scénarios parallèles.

Ces fonctionnalités vont de pair avec une gestion d'acteurs au niveau des scénarios, qui doit permettre de sélectionner, parmi un ensemble d'acteurs disponibles, ceux qui sont le plus à même (en fonction de leur état actuel) de répondre aux requêtes d'activités faisant ainsi intervenir des contraintes spatio-temporelles.

6.5 Modélisation de l'environnement urbain pour la simulation du comportement de piétons

Participants : Stéphane Donikian, Gwenola Thomas.

Mots clés : animation et simulation comportementales.

Résumé : *La modélisation de l'environnement urbain dans un contexte de déplacement autonome de piétons nécessite, d'une part, d'étudier la structuration de cet environnement et d'autre part de développer dans le modèleur d'environnement urbain les outils permettant la gestion de ces structures.*

Modèle de l'environnement virtuel urbain Insérer des piétons dans l'environnement virtuel urbain implique de disposer d'une modélisation de l'environnement urbain adaptée au comportement piétonnier. Nous étendons le modèleur d'environnements virtuels urbains (VUEMS) qui nous permet de générer la géométrie, la topologie et la sémantique d'environnements urbains. Le modèle urbain que nous proposons est fondé sur des réseaux de circulation routier et piétonnier. C'est au niveau de ces réseaux que se passe l'essentiel des actions et des interactions entre piétons et entre piétons et conducteurs. De plus, ce sont ces réseaux qui structurent la ville ; ils fournissent les chemins pour aller d'un point à l'autre ; c'est à partir de ces réseaux que l'on accède aux habitations, aux places et aux parcs. Le modèle contient donc des réseaux de circulation, le bâti, les places et les parcs.

Un environnement urbain ne serait pas réaliste sans mobilier urbain. Selon son comportement, le piéton considérera un élément du mobilier urbain comme un obstacle, une source d'information ou d'interaction. Par exemple, un feu piéton est un obstacle pour un piéton suivant un trottoir, et une source d'information pour un piéton désirant traverser. Comme une

carte, le modèle urbain est représenté par un ensemble de primitives graphiques en deux dimensions auxquelles sont associés des attributs. La hauteur d'un objet fait partie de ces attributs ; le modèle est donc $2D\frac{1}{2}$. Définir l'environnement urbain consiste à déterminer et à exprimer les relations existant entre les différents espaces, puis à classer et à décrire ces espaces urbains ainsi que les objets qu'ils contiennent. Cette structuration est guidée par la connaissance urbaine et adaptée au comportement du piéton ; l'environnement contient des informations directement utilisables pour les activités de navigation, de circulation, de respect du code de la route et d'interaction.

Ce travail réalisé dans le cadre de la navigation de piétons en environnements urbains a permis de dégager les éléments fondamentaux de la structure de tout type d'environnement virtuel où un acteur synthétique peut se déplacer.

Modèle de piéton synthétique Nous avons instancié un piéton synthétique dont la composante comportementale exploite la base d'informations que nous venons de décrire. Grâce à cette base d'informations, le piéton peut naviguer dans l'environnement, respecter le code de la route, interagir socialement ; son comportement est influencé par la nature et le type des espaces dans lesquels il se trouve. Cette base d'informations permet essentiellement au piéton de chercher des «affordances» dans l'environnement et d'anticiper les situations. Selon le comportement des piétons (prudence, paresse, curiosité), les analyses de l'environnement et les choix varient ; nous obtenons donc au final des piétons respectant les deux critères que nous nous sommes fixés ; variété et autonomie (cf figures 7 et 8).

6.6 Outils de modélisation et de Contrôle du Mouvement pour l'Animateur

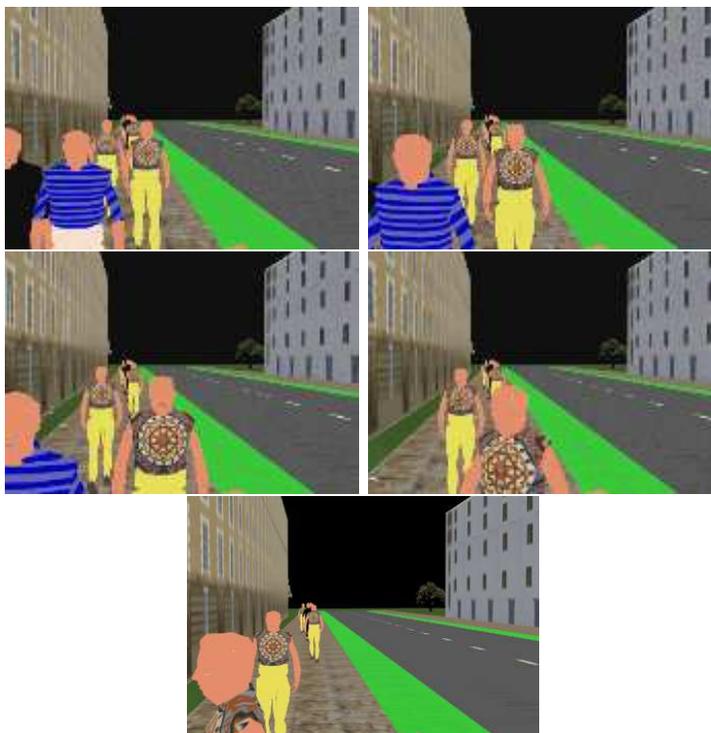
Participants : Bruno Arnaldi, Jean-Luc Nougaret, Rémi Cozot, Franck Multon, Bernard Valton, Nicolas Pazat, Stéphane Ménardais.

Mots clés : langages pour l'animation, modèles dynamiques, identification.

Résumé : *La modélisation mathématique du mouvement fait appel aux concepts de la cinématique, de la mécanique et de manière plus générale, se réfère à la théorie des systèmes dynamiques. La construction de modèles générateurs du mouvement ne peut ignorer ces fondements théoriques, lesquels sont pourtant difficilement accessibles par un animateur. La mise au point d'outils d'animation performants nécessite donc d'élever le degré d'abstraction auquel ces modèles de mouvement peuvent être spécifiés et assemblés.*

Les résultats nouveaux s'inscrivent dans trois directions :

- la définition d'un langage d'animation,
- la création d'une chaîne de traitements pour l'étude et la restitution visuelle de mouvements acquis,
- l'identification des paramètres physiques d'un humanoïde à partir de données réelles.

FIG. 7 – *Piétons autonomes sur un trottoir.*

L'animation est avant tout un problème de modélisation et de contrôle du mouvement. Au niveau théorique, nous cherchons à définir les outils et les modèles mathématiques les mieux adaptés pour étudier et pour représenter le mouvement de manière structurée. L'objectif de cette structuration consiste à définir un langage de spécification du mouvement, fondé sur la notion de composition de composants élémentaires et de schémas d'application types. Les composants correspondent à des mouvements élémentaires (tâches cinématiques ou dynamiques), dont l'assemblage (niveau coordination) permet de synthétiser des mouvements complexes. La notion de niveaux de détails, essentielle en synthèse, d'images est intégrée à cette description systémique. En élevant le degré d'abstraction à partir duquel les modèles dynamiques du mouvement peuvent être construits, on cherche à définir un langage à objets dont la sémantique soit accessible à un animateur.

Les résultats de ces travaux débouchent sur la définition d'un langage d'animation sous forme d'une arborescence de briques élémentaires de mouvement connectées entre elles à l'aide d'opérateurs de haut niveau. Le compilateur associé au langage de modélisation produit les données nécessaires à l'exécution de la machine virtuelle (modèle d'exécution) proposée.

L'utilisation de systèmes d'acquisition de mouvements pour l'animation cinématique implique de gérer une grande quantité d'informations. Si on considère un mouvement acquis à 60Hz et comprenant 30 degrés de liberté, on obtient un volume de données pour une seconde d'animation de l'ordre de 1800 valeurs réelles. Les applications utilisant l'animation à partir de mouvements acquis sont généralement interactives et, dans le cas des jeux vidéos, sont sou-



FIG. 8 – *Plannification et évitement d'obstacles*

mises à des contraintes de place mémoire. Les applications graphiques en réseau affichent aussi ce type de contraintes et nécessitent donc d'appréhender le compromis entre le temps de calcul et la place mémoire nécessaire. Nous avons mis en œuvre des algorithmes de compression de données appliqués à des mouvements acquis. Plusieurs algorithmes ont été testés afin de sélectionner celui qui garantit une reconstruction rapide du signal et un taux de compression élevé. Cet algorithme utilise une détection automatique des positions ou postures clés du mouvement acquis en minimisant l'erreur commise (cf figure 9).

L'utilisation de la mécanique et plus généralement des systèmes dynamiques pour l'animation et la simulation est de plus en plus répandue. Cependant ces techniques souffrent d'un coût de calcul élevé et restent difficiles à contrôler lorsque les systèmes comportent un grand nombre de degrés de liberté. Au delà de cette contrôlabilité se pose le problème du réalisme et de l'initialisation des paramètres dynamiques cachés. En effet, si on considère un personnage composé d'une quinzaine de segments rigides articulés, il est nécessaire de connaître :

- les masses des segments qui peuvent être obtenues dans des tables anthropométriques ne tenant pas précisément compte de la morphologie du sujet,
- les moment d'inertie des segments en trois dimensions qui restent difficiles à évaluer encore à l'heure actuelle,
- la position du centre de masse des segments qui apparaît lui aussi dans des tables qui ne tiennent pas compte de la morphologie du sujet,
- les propriétés mécaniques des articulations qui sont liées à la dynamique musculaire.

Nous avons mis en place un système d'identification de ces paramètres à partir de la mesure d'un mouvement réel. Ce système a été appliqué à l'analyse des figures réalisées en trampoline. La modélisation mécanique utilisée dans ce cas de figure correspond à la description des transferts de moments cinétiques entre les différents segments corporels. Ces transferts permettent

d'expliquer comment les figures de trampoline sont créées à partir de l'impulsion sur la toile. Les équations mettent en jeu les masses, les centres de gravité et les moments d'inertie de chacun des segments. Notre méthode a été utilisée en deux étapes :

- identification des masses des différents segments. Cette étape consiste à retrouver que l'accélération du centre de masse lors d'une série de sauts verticaux est égale à -9.81 sachant que les masses sont initialisées aux valeurs indiquées dans les tables anthropométriques. Un algorithme de type *Multi-Directional Search* a été utilisé pour minimiser la fonction liant la trajectoire du centre de masse (fonction des masses des segments) à l'accélération de la gravité. Cette technique permet d'affiner les valeurs issues des tables afin d'identifier la dynamique propre du sujet.
- identification des moments d'inertie. La même technique a été utilisée pour affiner les valeurs de moment d'inertie issues des tables en fonction de mouvement réels effectués par le sujet.

Une fois les paramètres dynamiques du sujet identifiés, il est possible de modifier un mouvement de référence tout en préservant sa dynamique originale. Les perspectives de ce travail concernent la mise en place de contraintes assurant que les solutions trouvées lors de la minimisation sont physiquement réalisables.

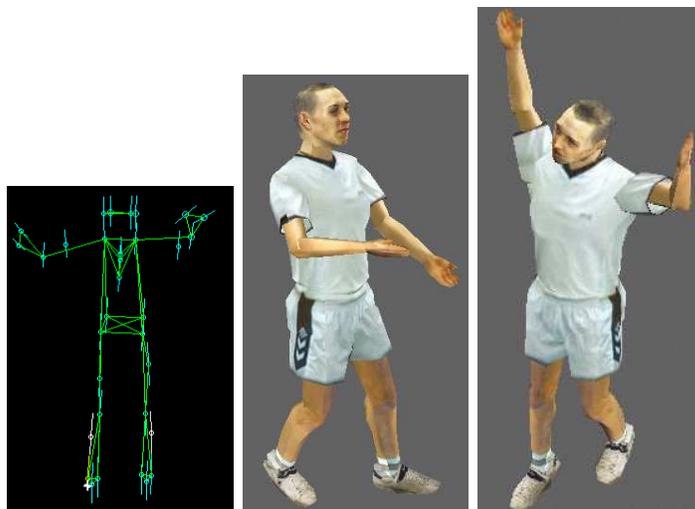


FIG. 9 – Données acquises et application sur un humanoïde virtuel

6.7 Système de visualisation immersive

Participants : Bruno Arnaldi, Alain Chauffaut.

Mots clés : visualisation immersive, réalité virtuelle.

Résumé : *Nous avons récemment acquis et installé un système de visualisation immersive permettant de réaliser des expérimentation en réalité virtuelle.*

L'Irisa s'est doté d'un équipement de réalité virtuelle unique en France dans le secteur de la recherche. La navigation à l'intérieur d'environnements architecturaux, la dynamique moléculaire, la visualisation de données météorologiques et l'imagerie médicale sont des exemples de domaines où la restitution visuelle immersive des données calculées revêt une importance capitale.

Installé en juin 1999, cet équipement comprend un ordinateur Silicon Graphics Onyx2 IR2, 6 processeurs R12000, 3 pipes graphiques avec 2 raster manager par pipe, 2 Go de mémoire vive, 72 Go de disque dur ; un écran cylindrique de 9m de développement ; trois projecteurs Barco haute fréquence et haute définition ; un système de restitution stéréoscopique par lunettes actives ; un système de restitution sonore spatialisée. S'y ajoutent des périphériques d'interaction : joystick à retour d'effort, poste de pilotage de véhicule (Thomson), casque RV (HMD) et autres dispositifs en cours d'acquisition. A Rennes, le projet Siames poursuit des travaux qui vont directement bénéficier de cet outil. Ainsi, les techniques de simulation d'éclairage d'environnements 3D complexes, exploitées sur un tel système, permettent d'immerger l'utilisateur dans son environnement 3D et, grâce à l'aspect stéréoscopique (cf figure 11), d'obtenir une meilleure perception de la relation espace-lumière. De même, il permet de "plonger" un utilisateur dans un environnement urbain virtuel en le laissant directement piloter un véhicule (cf figure 10), un vélo ou un humanoïde en interaction avec des entités autonomes. Dans un autre domaine, il permet des expérimentations plus poussées dans la simulation de mouvements humains. Enfin, il permettra à court terme de travailler sur des domaines scientifiques connexes : réalité augmentée, virtualité augmentée, visualisation scientifique, imagerie médicale, etc. A travers la création du centre d'expérimentation en réalité virtuelle, cette acquisition va aussi permettre à des partenaires extérieurs (industriels ou laboratoires) d'utiliser ce système. Ils trouveront dans ce centre un environnement matériel de très haut de gamme mais aussi un environnement logiciel et auront accès à l'expertise des chercheurs de l'Irisa.



FIG. 10 – *Conduite interactive dans un environnement urbain virtuel*

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 CSTB : simulation d'éclairage

Participants : Kadi Bouatouch, Éric Maisel.

FIG. 11 – *Présentation de résultats de simulation*

Mots clés : simulation d'éclairage, éclairage naturel, éclairage artificiel, approche spectrale.

Résumé :

Réalisation d'un logiciel de simulation d'éclairage appelé Gin dans le cadre de bourses de thèse financées par le CSTB de Nantes.

En collaboration avec le CSTB de Nantes et dans le cadre de deux bourses financées par cet organisme, nous avons développé un logiciel de simulation d'éclairage appelé *Gin* basé sur une approche physique et spectrale, simulant de vrais luminaires, prenant en compte l'éclairage naturel, permettant de modifier les caractéristiques physiques des matériaux et de recalculer de manière instantanée l'éclairage en effectuant un maillage hiérarchique. Contrairement aux autres logiciels (à part Lise développé par le LCPC) l'approche adoptée est spectrale et le nombre et les valeurs des longueurs d'ondes des échantillons sont déterminés automatiquement par le logiciel en fonction de la forme des spectres des sources et des réflectances des matériaux. Le logiciel intègre un certain nombre de critères de confort visuel.

7.2 CSTB Grenoble : simulation de propagation d'ondes radioélectriques

Participant : Kadi Bouatouch.

Résumé : *Le CSTB de Grenoble s'intéresse à la communication entre stations de travail au moyen d'un réseau local Hertzien. L'avantage de ce choix réside dans sa souplesse de reconfiguration. Par contre il nécessite l'utilisation d'outils de simulation de la propagation du rayonnement radioélectrique. L'objectif de notre collaboration avec le CSTB est d'apporter les connaissances que nous avons acquises lors de l'étude des algorithmes d'éclairage globaux dans le domaine du rayonnement électromagnétique visible et de les transposer au domaine radioélectrique.*

Le projet Siames participe avec le CSTB de Grenoble à la conception d'outils de simulation de la propagation d'ondes radioélectriques. Le problème posé consiste à pouvoir déterminer comment placer dans plusieurs pièces des stations de travail dotées d'émetteurs-récepteurs

Hertziens ainsi que des relais (dans la bande de fréquence de 60GHz) de façon à échanger des informations en évitant des artefacts tels que les affaiblissements de signaux ou les interférences provoquées par les cloisons ou l'ameublement des pièces. L'intérêt du média Hertzien réside dans la possibilité de reconfigurer le réseau sans avoir à recabler les pièces.

Mais les outils de conception sont en nombre assez réduit et ne conviennent que peu à ce problème : les campagnes de mesure sont coûteuses tandis que l'utilisation de logiciels reposant sur l'emploi de statistiques conduit à des résultats trop imprécis. Contrairement à ce qui se passe pour d'autres applications, les ondes radioélectriques peuvent ici se réfléchir aussi bien de façon spéculaire que diffuse. La simulation du rayonnement radioélectrique doit donc s'effectuer au moyen d'un algorithme de radiosité suivi d'une deuxième passe spéculaire. Les transferts d'énergie ne se faisant pas de façon instantanée, ils sont représentés par le biais de facteurs de forme temporels calculés à l'aide d'une variante de l'algorithme de l'hémicube. La méthode de résolution est une adaptation de la radiosité progressive. Une validation de la méthode a été effectuée par comparaison avec des mesures effectuées sur un réseau déployé sur deux pièces.

7.3 Siradel : simulation de propagation d'ondes radioélectriques

Participants : Eric Maisel, Kadi Bouatouch, Bruno Arnaldi.

Résumé : *La société Siradel a développé un logiciel simulant la propagation d'ondes radioélectriques, aussi bien dans des environnements intérieurs qu'extérieurs. L'objectif de notre collaboration avec Siradel est d'enrichir ce logiciel avec des méthodes de calcul et avec des structures de données empruntées au domaine de la synthèse d'image. Cela permet de prendre en compte des environnements de taille plus importante en vue d'obtenir des résultats plus précis et de couvrir des zones plus étendues.*

Le domaine de la téléphonie cellulaire connaît depuis quelques années un développement important. Il est de plus en plus nécessaire de recourir à des stratégies efficaces permettant d'éviter les problèmes d'interférences et de non couverture de zones, et d'optimiser l'investissement du matériel mis en service. Dans ce but une simulation de la propagation d'ondes radioélectriques, aussi bien dans des environnements intérieurs qu'extérieurs, est nécessaire. C'est pourquoi la société Siradel a développé un logiciel de simulation basé sur des modèles physiques précis. Contrairement aux modèles empiriques usuellement utilisés, les résultats de simulation obtenus sont fiables et permettent ainsi de minimiser les coûts d'installation d'un réseau en réduisant le temps passé à valider ces résultats au moyen de mesures faites sur site. Cette approche physique place l'outil de Siradel parmi les plus performants du marché. Pour anticiper l'évolution du marché, Siradel a décidé d'améliorer l'algorithmie de son logiciel. Le but recherché est de prendre en compte des environnements de taille plus importante en vue d'obtenir des résultats plus précis et de couvrir des zones plus étendues.

Cet objectif ne peut être atteint qu'en réduisant autant que possible les coûts de calcul géométrique. Ceux-ci sont utilisés afin de déterminer les relations de visibilité entre objets de l'environnement et pouvoir ainsi simuler des phénomènes physiques tels que la réflexion, la transmission ainsi que la diffraction. Or ce sont ces calculs géométriques qui sont les plus

coûteux. Afin de les optimiser, un certain nombre de techniques initialement développées dans le domaine de la synthèse d'image peuvent être employées.

Ces nouvelles techniques ont été mises en oeuvre dans le cadre d'une collaboration, financée par la région Bretagne (projet ITR), entre Siradel et le projet Siames de l'Irisa.

Dans le cadre de cette collaboration l'Irisa a transféré une longue expérience dans le domaine de la géométrie algorithmique appliquée à la simulation d'éclairage. Les résultats obtenus au cours d'expérimentations menées par Siradel ont fait apparaître au terme de ce contrat des gains significatifs en terme de temps de calcul (facteur 6).

7.4 Délinéateurs intelligents

Participants : Annick Leroy, Stéphane Donikian, Bruno Arnaldi.

Mots clés : prototypage virtuel, simulation comportementale, simulateur.

Résumé : *Notre environnement de simulation comportementale est utilisé comme plate-forme de prototypage virtuel d'un délinéateur intelligent.*

Ce projet, financé par le Predit (programme de recherche national sur les transports), est mené en collaboration avec les sociétés Lacroix Technologie et Edixia. Il s'agit de proposer l'architecture d'un délinéateur intelligent capable de percevoir une portion de route et de détecter des obstacles sur la chaussée (véhicule à l'arrêt, obstacle inattendu). La communication des informations d'un ensemble de délinéateurs vers un superviseur local permet d'effectuer de la fusion multi-capteur et ensuite d'informer les véhicules en amont des dangers existant sur la chaussée, quelles que soient les conditions atmosphériques. Plusieurs types de techniques ont été étudiées et certaines d'entre elles sont en cours de prototypage virtuel sur notre plate-forme de simulation.

7.5 Alias/Wavefront : contrôle du mouvement pour l'animation

Participants : Bruno Arnaldi, Jean-Luc Nougaret.

Mots clés : animation, contrôle du mouvement, système dynamique.

Résumé : *Disposant du logiciel PowerAnimator de Alias / Wavefront, nous développons des modules logiciels prototypes permettant de tester des nouvelles fonctionnalités d'animation.*

Pour rester compétitifs et favoriser l'ajout de nouvelles fonctionnalités dans leurs produits, les fournisseurs de logiciels d'animation ouvrent en partie leurs systèmes, à leurs utilisateurs ou à des développeurs tiers. Dans le cas du logiciel Alias / Wavefront, l'accès à la base de données du système est fourni sous la forme de classes C++, permettant de manipuler les structures internes à l'aide de différentes méthodes de contrôle. Ce type d'architecture nous a permis de mettre au point de nouvelles fonctionnalités d'animation, et de les tester dans le cadre d'une intégration complète au sein du logiciel Alias/Wavefront. Cette étude de l'intégration

porte sur les aspects système, sur les interfaces-utilisateur et couvre jusqu'aux modes opératoires, ce qui permet d'envisager l'intérêt d'un prototype du point de vue de l'animateur. Nous avons également mis au point une chaîne complète d'outils logiciels, permettant de spécifier le comportement dynamique d'un modèle de mouvement, jusqu'à l'encapsulation automatique du code de simulation numérique, sous la forme d'un module logiciel pour Alias / Wavefront. Le module peut être lié dynamiquement et à la demande de l'utilisateur, lors de l'exécution du logiciel. Pour le projet Siames, ce type de partenariat permet de suivre les évolutions de l'existant en terme d'outils d'animation professionnelle et d'identifier à court, moyen et long terme, les tendances et les applications potentielles de nos recherches.

7.6 CCETT : application interactive 3D multimédia

Participants : Bruno Arnaldi, Rémi Cozot, Bernard Valton.

Mots clés : multimédia, VRML, Java.

Résumé : *Les applications interactives font de plus en plus appel à des modèles sophistiqués d'objets 3D et à des modèles d'animation évolués. De plus, les applications distribuées mettent en évidence la complexité de gérer la cohérence spatiale et temporelle des objets d'une scène en interaction avec plusieurs utilisateurs distants.*

Ce travail a pour objectif d'étudier, d'une part, les apports potentiels des récentes avancées dans le domaine de l'informatique graphique appliquée au domaine du multimédia interactif et, d'autre part, l'apport des nouveaux standards tels que VRML 2.0 et Java.

Cette collaboration, matérialisée par l'encadrement d'un doctorant (Bernard Valton) financé par le CCETT, concerne les applications interactives 3D multimédia et plus particulièrement la notion de forums interactifs (lieux de rencontre virtuels). On trouve dans ce genre d'application un certain nombre de composants liés au domaine de l'informatique graphique : la modélisation 3D d'un environnement virtuel, la visualisation 3D temps réel, l'animation réaliste de personnages (avatars), la simulation distribuée, etc...

A travers l'utilisation de nouveaux standards de développement tels que VRML2.0 (pour l'environnement 3D et les personnages) et Java (pour le développement de l'applicatif), nous étudions l'apport des récentes avancées du domaine de l'informatique graphique dans le contexte du forum interactif : les modèles haut niveau de génération de mouvement (modèle générateur, modèle comportemental), les modèles de contrôle du mouvement (locomotion) et les niveaux de détail géométrique pour les grandes bases de données.

Après avoir effectué une bibliographie étendue sur le sujet (modèles d'animation et outils), une première expérimentation sur la locomotion d'un humanoïde a été effectuée sur la base d'une modélisation géométrique en VRML2.0 et du développement du moteur de marche en Java.

7.7 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.

7.8 Renault : Montage virtuel

Participants : Guy André, Sabine Coquillart, Abderrahamane Kheddar.

Mots clés : montage virtuel, réalité virtuelle, interaction haptique.

Le projet Siames de l'unité de recherche de Rennes et l'action I3D ont réalisé une mission de conseil-expertise auprès de la société Renault sur le thème montage virtuel et systèmes à retours d'effort.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 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 é 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 mouvement : Le laboratoire "Physiologie et Biomécanique de l'Exercice Musculaire" de l'Université de Rennes 2, l'École de kinésithérapie, la rééducation fonctionnelle de Pontchaillou ainsi que le projet Siames de l'Irisa se sont associés pour acquérir un système d'acquisition de mouvements Vicon370 sur le site de Rennes. Cette action a été soutenue par le ministère de la Jeunesse et des Sports qui a décerné à ce groupe rennais, associé pour l'occasion à l'Institut National du Sport et de l'Éducation Physique, le titre de "Pôle de compétences mouvement" pour trois ans à partir de juillet 1998. Ce titre implique une participation à des projets d'analyse et de synthèse du geste posés par diverses fédérations sportives françaises. Le site rennais permet de proposer des solutions allant de la mesure

à la restitution et la simulation du mouvement sportif aussi bien selon des critères visuels, cinématiques, mécaniques, physiologiques ou neuro-moteurs. Ces solutions passent par la définition d'outils croisés d'analyse et de synthèse du mouvement sportif et de produits finis directement utilisables par les entraîneurs.

– Pôle Mesi :

Le projet Mesi repose sur un groupement de laboratoires qui mettent 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'Institut des Sciences pour l'Ingénieur (Ispi de l'École Normale Supérieure de Caen) 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'Ispi 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.

Un endoscope est défini par une structure mécanique basée sur un assemblage de segments articulés, des actionneurs, des lois de commande associées à ces actionneurs. Nous développons une boucle de simulation et d'optimisation qui permettra de définir automatiquement l'endoscope le mieux adapté à une intervention donnée.

Les simulations sont menées sur une plate-forme de simulation modulaire Gasp dont la conception est parfaitement adaptée à la cohabitation de modules de différents mondes de la physique (mécanique, asservissement et commande, optimisation).

Le modèle mécanique a été développé tout d'abord avec le langage de description Dream qui, à partir d'une interface de description, engendre un module directement utilisable sur la plate-forme. Ce langage utilise le principe des travaux virtuels pour engendrer sous forme symbolique (calcul formel) le simulateur de l'objet considéré. Pour être intégré dans la plate-forme, ce module doit être compilé : il n'est donc pas réellement compatible avec le module d'optimisation décrit plus loin.

Un module de contrôle et de commande spécifique a également été développé qui permet le contrôle en position du modèle d'endoscope. Il est basé sur un actionneur qui devrait être réalisé à l'aide d'alliages à mémoire de forme.

Nous travaillons actuellement sur le couplage de cette simulation avec l'optimisation de la structure. Cette optimisation devrait pouvoir ajuster les paramètres géométriques des segments constituant l'endoscope en fonction du but à atteindre.

Parallèlement, nous développons un nouveau module de la plate-forme basé sur un algorithme de simulation de type Newton-Euler. Il permet de mieux répondre aux contraintes

de modification de la structure de l'endoscope par le module d'optimisation. Un premier module de description d'endoscopes qui permet de jouer sur le nombre de segments, leur longueur, leurs propriétés inertielles, les liaisons qui les relient, a été réalisé.

Nous avons également mis la première main au développement d'un module de génération de canalisations ainsi qu'au traitement des interactions entre l'endoscope et cette canalisation.

Les principaux résultats concernent la collaboration, au sein de la plate-forme, des différents modèles :

- modèle mécanique paramétrable d'endoscope basé sur une succession de segments articulés ;
- modèle d'un actionneur piloté par des AMF ;
- modèle de description des réseaux de tuyauterie.

Il reste à connecter le processus d'optimisation de structure d'endoscope aux modules de simulation existants.

L'essentiel des travaux qui restent à réaliser sont les suivants :

- améliorer et enrichir les outils de description des mécanismes d'endoscopes ;
- intégrer les lois de commandes des actionneurs répartis ;
- enrichir le modèle de description de réseaux de tuyaux ;
- enrichir le modèle d'interaction entre l'endoscope et ce même réseau ;
- définir un modèle de réseau de canalisations souples. Ceci permettra d'approcher l'endoscopie médicale de manière plus réaliste.
- établir les connexions entre la simulation et un moyen de commande extérieur à retour d'effort qui permettra de "sentir" la pénétration dans les tuyaux.

- distribution de notre plate-forme de simulation Gasp

Gasp est distribué, depuis le mois de novembre 1999, à d'autres laboratoires français qui travaillent dans le domaine de la réalité virtuelle. Certains de ces laboratoires participent à l'Action de Recherche Coopérative Greve de l'Inria :

- I3D de l'Inria-Rocquencourt,
- équipe informatique graphique du Labri,
- Lisse de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne,
- projet Imagis de l'Inria Rhone-Alpes,
- Limsi de la faculté d'Orsay ;

d'autres font partie du pôle Mesi :

- ENS Cachan,
- Laboratoire de Robotique de Paris.

Cette diffusion a été accompagnée d'une formation offerte aux futurs utilisateurs de Gasp. De plus, un post-doc Inria ira assurer le support utilisateur sur trois des sites partenaires, tout en participant à leurs développements réalisés autour de Gasp. Il commencera par apprendre les principes de fonctionnement et de développement de Gasp en développant des modules à l'Irisa.

8.2 Actions financées par la Commission Européenne

Projet Diats (DG VII)

Le projet Diats (Transportation Program DG VII) est un projet d'étude sur la simulation d'autoroutes sur lesquelles les véhicules disposeraient de possibilités de fonctionnement automatique. L'idée consiste à tester un certain nombre de scénari de simulation (différentes configurations d'automatisme). Nos partenaires sont l'université de Southampton (UK), Transportation Laboratory (UK), Technisch Universitat Hambourg (D), Heush Boesefeldt GmbH (D), l'Inrets (F), Sratec Consultant (B), Sintef (N).

L'objectif de ce projet est définir et d'étudier un certain nombre de scénarios de tests de mesures ATT (Advanced Transport Telematics) sur les autoroutes péri et inter-urbaines. De fait, les problèmes croissants de congestion sur les autoroutes ont conduit les gouvernements européens à réfléchir à une meilleure gestion des réseaux autoroutiers existants. Les systèmes ATT comprennent l'Aid (détection automatique d'accident), les limitations de vitesse variables en fonction du trafic (VSL), le contrôle des rampes d'accès ("Ramp Metering") et l'AICC ("Automatic Intelligent Cruise Control"). Le système AICC est un régulateur de vitesse qui ne prend pas seulement en compte la vitesse désirée, mais aussi la distance entre la voiture et le véhicule précédent grâce à des capteurs embarqués. La vitesse de réaction du système devrait conduire non seulement à une meilleure sécurité du trafic, mais aussi contribuer à améliorer la fluidité du trafic en évitant la propagation des réactions tardives et donc exagérées des conducteurs humains.

Nous avons donc utilisé nos différents outils de simulation pour définir des voies autoroutières. Un modèle comportemental de conducteur de véhicule sur autoroute a été développé. Différents systèmes (VSL, Ramp Metering et AICC) ont été développé au sein de notre plateforme Gasp. Des simulations sur plusieurs sites de test ont été réalisé avec différents taux de pénétrations et flux de véhicules. Différents paramètres de mesures ont été définis afin de comparer nos résultats avec ceux obtenus par les différents partenaires du projet Diats.

TMR : PAVR

Projet PAVR (Training and Mobility Research): *Platform for Animation and Virtual Reality*. L'objectif de ce projet est de créer un environnement européen expérimental d'animation et de réalité virtuelle. Nos partenaires sont l'Université de Las Baleares, l'University of Bath, Technical University of Vienna, l'EPFL, University of Geneva, le projet Imagis de l'Inria Rhône-Alpes, l'École des Mines de Nantes, University of Glasgow, University of Limburg. Jordi Reginos effectue, dans le cadre de ce projet TMR, une post-doc dans le projet.

8.3 Relations bilatérales internationales

8.3.1 Amérique (du nord et du sud)

Participants : Stéphane Donikian, Gwenola Thomas, Frédéric Devillers.

Dans le cadre d'une collaboration soutenue par le programme NSF¹/ Inria, des échanges

1. National Science Foundation

ont été mis en place entre notre équipe et un laboratoire américain de l'Université de l'Iowa² 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). L'activité de cette année a principalement porté sur la spécification de plusieurs niveaux de langages de scénarisation allant d'une version interprétée très légère à une version compilée très complète. Ces travaux ont donné lieu à une première publication commune [24].

Pete Willemsen (doctorant au sein de l'équipe Hank de l'université de l'Iowa) a effectué un séjour d'un mois au début de l'année 1999 dans notre projet, tandis que Stéphane Donikian a effectué un séjour de dix jours à l'Université d'Iowa en juin dernier.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la communauté scientifique

- Coordination du groupe de travail français sur l'animation et la simulation (G. Hégron). Ce groupe de travail a pour objectif de réunir la communauté scientifique française étudiant l'animation par ordinateur, d'organiser périodiquement des séminaires thématiques.
- Animation du groupe de travail français sur les techniques de rendu (co-responsable K. Bouatouch). Ce groupe de travail a les mêmes objectifs que celui sur l'animation : réunir et organiser des séminaires.
- Participation aux travaux de l'association française d'informatique graphique Afig – secrétaire de l'association : 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.

9.2 Enseignement universitaire

- Responsabilité de la formation 3ème cycle en informatique de l'université de Rennes 1 (B. Arnaldi), responsabilité de la filière *Image* du DEA d'informatique.
- DEA d'informatique Ifsic : synthèse d'image et animation (K. Bouatouch, G. Hégron).
- DEA Stir et DEA d'informatique Ifsic : synthèse d'image (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, D. 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).

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

- 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)
- DESS de mathématiques, université de Rennes 1 : cours sur la modélisation géométrique et la synthèse d'images (R. Cozot)
- Mastère Réalité Virtuelle de l'Eni de Brest : cours sur la coopération en univers 3D et sur la multimodalité (T. Duval)
- Module Interface de l'Eni de Brest : cours sur la conception, les modèles d'architecture et l'ergonomie des IHM (T. Duval)

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.

Livres et monographies

- [9] B. ARNALDI, G. HÉGRON (éditeurs), *Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation, Eurographics Workshop Serie*, Springer Verlag, Wien Austria, 1999.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [10] R. DUMONT, *Optimisation du calcul d'illumination globale de scènes intérieures/extérieures : niveaux de détail, structuration et réflectance bidirectionnelle quelconque*, Thèse de doctorat, Université. de Rennes I, février 1999.

- [11] G. THOMAS, *Environnements virtuels urbains : modélisation des informations nécessaires à la simulation de piétons*, Thèse de doctorat, Université de Rennes I, décembre 1999.
- [12] B. VALTON, *Niveaux de détails structurés pour l'animation*, Thèse de doctorat, Université de Rennes I, décembre 1999.

Articles et chapitres de livre

- [13] E. M. E. R. D. D. MENEVEAUX, K. BOUATOUCH, « A New Partitioning Method for Architectural Environments », *The journal of Visualization and Computer Animation* 9, 4, avril 1999.
- [14] S. DONIKIAN, G. MOREAU, G. THOMAS, « Multimodal Driving Simulation in Realistic Urban Environments », in: *Progress in System and Robot Analysis and Control Design*, S. Tzafestas et G. Schmidt (éditeurs), Lecture Notes in Control and Information Sciences (LNCIS 243), 1999.
- [15] D. M. ET K. BOUATOUCH, « Synchronisation and Load Balancing for Parallel Hierarchical Radiosity of Complex Scenes on a Heterogenous Computer Network », *Computer Graphics Forum Vol 18*, No 4, décembre 1999.
- [16] R. D. ET K. BOUATOUCH, « A Progressive Algorithm for Three Point Transport », *Computer Graphics Forum Vol 18*, No 1, mars 1999.
- [17] F. MULTON, L. FRANCE, M. CANI-GASCUEL, G. DEBUNNE, « Computer Animation of Human Walking: a Survey », *Journal of Visualization and Computer Animation* 10, 1999, p. 39–54.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [18] R. COZOT, F. MULTON, B. VALTON, B. ARNALDI, « Animation Levels of Detail Design for Real-Time Virtual Human », in: *Computer Animation and Simulation'99*, N. M. Thalmann, D. Thalmann (éditeurs), Eurographics, Springer, p. 35–44, mai 1999.
- [19] S. DONIKIAN, F. DEVILLERS, G. MOREAU, « The Kernel of a Scenario Language for Animation and Simulation », in: *Eurographics Workshop on Animation and Simulation*, Springer Verlag, Milano, Italia, septembre 1999.
- [20] S. DONIKIAN, G. THOMAS, « Modelling Virtual Urban Environments for Multimodal Driving Simulation », in: *Urban 3D/Multimedia Mapping UM3'99*, Institute of Industrial Science (IIS), The University of Tokyo, Japan, septembre 1999.
- [21] S. DONIKIAN, « Modélisation du comportement du conducteur et du piéton en milieu urbain », in: *Ecole thématique du CNRS, Modélisation de la ville 2*, Nantes, septembre 1999.
- [22] S. DONIKIAN, « Towards Scenario Authoring for Semi-Autonomous Entities », in: *International Conference on Visual Computing (ICVC99)*, S. Mudur, J. Encarnacao, J. Rossignac (éditeurs), Goa, India, février 1999.
- [23] T. DUVAL, L. NIGAY, « Structuration d'une application de simulation selon le modèle PAC-Amadeus », in: *Proc. of IHM'99*, Montpellier, novembre 1999.
- [24] J. KEARNEY, P. WILLEMSSEN, S. DONIKIAN, F. DEVILLERS, « Scenario languages for driving simulations », in: *DSC'99*, Paris, France, juillet 1999.
- [25] D. MARGERIE, B. ARNALDI, N. PLOUZEAU, « A General Framework for Cooperative Manipulation in Virtual Environments », in: *Virtual Environments '99*, M. Gervautz, A. Hildebrand, D. Schmaltsieg (éditeurs), Eurographics, Springer, p. 169–178, juin 1999.
- [26] D. MAUREL, M. PARENT, S. DONIKIAN, « Influence of ACC in Stop and Go mode on traffic flow », in: *SAE Future Transportation Technology Conference*, Costa Mesa, California, USA, août 1999.

-
- [27] F. MULTON, B. ARNALDI, « Human Motion Coordination: Example of a Juggler », *in: Proc. of Computer Animation'99*, p. 148–159, Geneva, Switzerland, mai 1999.
- [28] F. MULTON, J. NOUGARET, B. ARNALDI, G. HEGRON, L. MILLET, « A Software System to Carry-out Virtual Experiments on Human Motion », *in: Proc. of Computer Animation'99*, p. 16–23, Geneva, Switzerland, mai 1999.
- [29] F. MULTON, B. VALTON, B. JOUIN, R. COZOT, « Simulation Levels of Detail for Real-time Virtual Worlds », *in: Proc. of ASTC-VR'99*, San Diego, CA, avril 1999.

Rapports de recherche et publications internes

- [30] S. DONIKIAN, « Analyse de l'existant, rapport de contrat PREDIT DELICE », *rapport de recherche*, IRISA, février 1999.
- [31] E. Z. ET K. BOUATOUCH, « Un problème d'illumination inverse appliqué aux tunnels routiers », *rapport de recherche n° No 3642*, INRIA, 1999.
- [32] R. D. ET K. BOUATOUCH, « Using Levels of Details to Speedup Radiosity Computation », *rapport de recherche n° No 3602*, INRIA, 1999.