EVASION
Environnements Virtuels pour l'Animation et la Synthèse d'Images d'Objets Naturels

Proposition de projet au sein du thème 3 B

16 juillet 2002

1 Présentation synthétique

Le projet EVASION s'attaque au problème de la synthèse de **scènes naturelles**, animées ou statiques. Cet objectif nous conduit à travailler conjointement sur les aspects spécification, représentation, animation, visualisation et rendu de ces scènes. Il répond à une forte demande applicative, émanant notamment du secteur de l'audiovisuel (films de synthèse, effets spéciaux, jeux vidéo), mais aussi de celui de la simulation graphique, dans le domaine de l'environnement en particulier (études d'impact, prévention des risques naturels). Ces demandes multiples nous conduisent à l'étude conjointe d'objets du monde minéral, végétal et animal, ces objets étant éventuellement combinés sous forme de scènes naturelles complexes. Selon les cas, l'objectif d'interactivité peut ou non primer sur celui de réalisme visuel, les applications visées allant de la réalité virtuelle (simulateurs immersifs) à la production d'images de qualité pour l'industrie de l'audiovisuel.

La synthèse de scènes naturelles animées a été relativement peu abordée jusqu'à présent en informatique graphique, davantage d'efforts ayant été consacrés à la création d'environnements virtuels manufacturés. Le principal verrou scientifique à lever est la gestion de la complexité de ces scènes, qui peut se traduire en nombre d'éléments, mais aussi en complexité des formes, des mouvements, ou de l'apparence locale des objets. Pour lever ces difficultés, nous adoptons les principes méthodologiques suivants :

- exploiter au maximum la connaissance a priori disponible, en s'appuyant autant que possible sur les modèles mathématiques proposés par d'autres sciences, ou sur des données réelles extraites à partir d'images ou de vidéos ;
- adopter une approche transversale aux clivages traditionnels de la synthèse d'images, en étudiant simultanément un même phénomène sous les angles de la modélisation, de l'animation et du rendu ;
- réduire les temps de calcul en développant des représentations alternatives aux modèles géométriques et aux techniques de simulation par éléments finis traditionnels : hiérarchies de modèles simples couplés plutôt qu'un unique modèle complexe, modèles et algorithmes multi-résolution, au niveau de détail adaptatif.
- veiller à créer des modèles facilement contrôlables par l'utilisateur.
- valider nos modèles à travers une démarche de comparaison au réel, basée par exemple sur des critères perceptifs.

Les actions menées portent sur deux volets : la **définition d'outils fondamentaux** répondant aux principes énoncés ci-dessus, et la validation de ces principes et outils dans le cadre **d'applications à des scènes naturelles particulières**. Ces études ciblées rendent possible une valorisation industrielle des résultats ainsi que des collaborations avec des scientifiques d'autres disciplines (comme la mécanique, la physique ou la biologie). Dans ce cadre, notre projet se rattache à la thématique prioritaire "combiner simulation et réalité virtuelle" et aux thèmes d'application "environnement" et "biologie/santé".

2 Membres

2.1 Permanents

- Marie-Paule Cani, professeur INP Grenoble (responsable scientifique)
- Georges-Pierre Bonneau, professeur UJF
- François Faure, maître de conférences UJF
- Fabrice Neyret, CR1 CNRS, HDR
- Lionel Revéret, CR2 INRIA

2.2 Doctorants

- David Bourguignon (en troisième année de thèse, encadré par Marie-Paule Cani)
- Jean Combaz (en seconde année de thèse, encadré par Fabrice Neyret)
- Frank Perbet (en seconde année de thèse, encadré par Marie-Paule Cani)
- Sylvain Lefebvre (en première année de thèse, encadré par Fabrice Neyret)

2.3 Doctorants co-encadrés par les membres du projet

- Alexis Angelidis (université d'Otago, New-Zealand, co-encadré par Marie-Paule Cani)
- Guillaume Dewaele (projet MOVI, co-encadré par Marie-Paule Cani)
- Caroline Larboulette (projet SIAMES, co-encadrée par Marie-Paule Cani)
- Loïc Le Feuvre (CIFRE Dassault-LMC, co-encadré par Georges-Pierre Bonneau)
- Alex Yvart (laboratoire LMC, co-encadré par Georges-Pierre Bonneau)
- Florence Zara (projet APACHE, co-encadrée par François Faure)

La plupart de ces doctorants bi-appartenants seront amenés à passer une partie de leur thèse dans nos locaux.

3 Objectif du projet

Le projet EVASION se propose de mettre au point un environnement méthodologique et algorithmique permettant d'aborder la synthèse de scènes et d'objets naturels animés. Selon les applications, ces objets seront étudiés soit dans un cadre temps-réel (réalité virtuelle) offrant des possibilités d'interaction avec les modèles, soit en temps différé, pour la synthèse d'images réalistes. Le succès de ces travaux reposera à la fois sur :

- la mise au point de méthodes et d'outils fondamentaux pour permettre (ou, selon les cas, faciliter, améliorer, accélérer) la spécification, la représentation, l'animation, la visualisation et le rendu de phénomènes naturels complexes ;
- la validation de ces outils et méthodes par un ensemble d'études de cas, exploitées dans le cadre d'applications industrielles et de collaborations avec des chercheurs d'autres disciplines scientifiques.

Notons que dans tout ce document, le mot "simulation" sera généralement employé au sens de "simulation graphique" : la plupart des applications que nous visons sont destinées à reproduire l'aspect visuel (et parfois tactile) d'objets naturels, généralement animés, et non à les "simuler" dans le but de permettre une quelconque mesure quantitative. Par contre notre travail de visualisation, d'animation à petite échelle ou de rendu vient parfois en complément de telles simulations dans le cadre de nos collaborations avec des scientifiques d'autres disciplines, qui nous apportent alors leurs modèles numériques validés.

4 Contexte et verrous scientifiques

Malgré la forte demande en scènes naturelles animées provenant de l'industrie de l'audiovisuel (effets spéciaux, films d'animation, jeux vidéo), de l'environnement et du biomédical (simulations, études d'impact), les objets et phénomènes naturels n'ont été abordés que de manière assez marginale par la communauté académique jusqu'à ces dernières années. L'une des raisons de ce retard relatif réside dans l'extrême complexité de ces scènes, que cette dernière se traduise :

- en nombre d'éléments à simuler ou à afficher (exemples : une prairie, une forêt, une chevelure, des éboulis rocheux),
- dans leur nature hétérogène, voire changeante (une coulée de lave ou de boue),
- dans la complexité des formes (nuages, certains végétaux et organes animaux),
- de leurs mouvements et déformations (fumée, ruisseaux, tissus déformables - muscles, chair, peau - d'un animal en mouvement),
- de l'apparence locale des objets ou de leur rendu en lumière naturelle (écorce, nuages, feuillage, terrain).

La plupart de ces phénomènes sont, certes, étudiés de longue date par d'autres sciences. Cependant, les connaissances et modèles disponibles, conçus dans d'autres buts, sont rarement directement exploitables pour la synthèse d'images animées. Par exemple, la synthèse de nuages en mouvement en vue d'une intégration à un paysage virtuel trouvera peu d'éléments exploitables dans le domaine de la météorologie, laquelle étudie le phénomène à une échelle bien plus grossière, ni dans le domaine de la mécanique des fluides, qui l'étudie à une échelle bien plus fine. De plus, la grande précision des modèles des autres sciences, généralement excessive pour notre usage, se paie par un coût de calcul très, voire trop élevé. Par exemple, simuler en des temps raisonnables le mouvement d'une longue chevelure ne pourra pas être résolu par la simple juxtaposition de solutions existantes en science des matériaux, mécanique et analyse numérique (en effet, simuler par éléments finis la dynamique et les interactions entre les 100.000 cheveux qui la composent serait en pratique prohibitif). De fait, la visualisation seule des résultats de simulation peut poser des problèmes complexes. Par exemple, visualiser en temps réel des résultats de simulation en météorologie ou en océanographie, pour des grilles de l'ordre du million de maille, avec des pas de temps très fins, est impossible avec les techniques actuelles.

D'autre part, même lorsque des techniques de simulation exploitables existent, le simple problème de la spécification d'une scène naturelle plausible est délicat en raison de la multitude de détails – similaires mais non semblables – à synthétiser. Cet aspect rend la création de ces scènes, aussi bien par un graphiste que par un programme informatique, particulièrement ardue.

Enfin, une dernière difficulté provient de l'expertise même des utilisateurs terminaux en tant qu'observateur de scènes naturelles : nous côtoyons ces scènes et objets dans notre vie de tous les jours, ce qui nous rend particulièrement sensibles à leur manque éventuel de réalisme. Les mondes virtuels à créer étant généralement destinés à tromper les sens de l'observateur plutôt qu'à simuler un phénomène donné de manière quantitative, leur validation devra passer par le souci de la comparaison au réel, voire par une incursion dans le domaine de la perception humaine, qu'il s'agisse d'évaluer la qualité de scènes statiques ou celle des mouvements calculés.

La difficulté du problème justifie l'adoption d'une approche spécifique, que nous développons dans les paragraphes qui suivent. Notons que dans certains cas, les autres sciences peuvent être amenées à bénéficier de notre démarche : la mise au point d'algorithmes visualisation ou de rendu réaliste efficaces permettent en effet de faciliter la compréhension et l'interprétation des résultats de simulation ainsi que leur communication auprès du grand public ou en vue d'une prise de décision. Nous reviendrons sur ces aspects lors de la description de nos collaborations scientifiques avec des équipes d'autres disciplines.

5 Approche choisie

Le projet EVASION s'attaque à la *simulation graphique* d'objets naturels, que ceux-ci appartiennent au monde végétal, animal, ou minéral. Nous estimons en effet que les similitudes entre ces objets sont suffisantes pour permettre de factoriser les efforts, aussi bien au niveau méthodologique qu'en ce qui concerne les modèles et algorithmes utilisés.

En particulier, quelle que soit leur nature, les objets naturels sont régis par les lois de la physique, qui conditionnent leurs mouvements et leurs déformations et ont souvent une incidence sur leur forme. Cette dernière est parfois difficile à modéliser sans simuler les étapes de sa formation (un plissement montagneux, un organe interne du corps humain, une plante). On retrouve de fait d'importantes similitudes entre certaines formes organiques des mondes végétal et animal, soumises aux même type de lois de croissance. De plus, les scènes et objets naturels foisonnent de détails, souvent auto-similaires à différentes échelles (une plante, un rocher). Cette complexité nous conduit à mettre au point des algorithmes de simulation graphique spécifiques, adaptatifs ou multi-échelles.

Cette partie décrit la méthodologie générale que nous nous proposons d'appliquer chaque fois que nous abordons un nouveau phénomène naturel. Élaborée pour répondre aux verrous scientifiques que nous avons identifiés, cette méthodologie a déjà été en partie mise en oeuvre dans le cadre des quelques scènes naturelles animées, réalistes ou interactives, abordées au sein d'iMAGIS (animation de coulées de lave [26] et de prairies sous le vent [20]). La mise au point de modèles et algorithmes génériques, pouvant s'appliquer à plusieurs familles d'objets des mondes minéral, végétal ou animal, sera détaillée lors de la description des actions menées (partie 6).

Pour reproduire un phénomène naturel complexe

- Exploiter au maximum la connaissance a priori disponible, au travers, selon les cas, d'une collaboration avec des scientifiques d'autres disciplines, d'une modélisation phénoménologique ou analytique du phénomène observé, et/ou de l'instantiation de modèles à partir de données réelles (images, vidéos, données statistiques).
- Adopter une approche transversale aux clivages traditionnels de la synthèse d'images, en étudiant simultanément le phénomène sous les angles de la modélisation, de l'animation et du rendu. Cela permettra de choisir le type et le niveau de représentation les mieux adaptés (la réflectance peut par exemple représenter la micro-géométrie), et d'assurer la cohérence de l'ensemble (en mettant par exemple au point des représentations géométriques animables).

Pour réduire la complexité de l'animation et de la visualisation

- Observer le phénomène en identifiant les sous-phénomènes à reproduire. Ces derniers pourront être simulés par des modèles de nature totalement différente, à des échelles temporelles et spatiales diverses. Ces sous-modèles seront couplés entre eux pour produire une simulation graphique cohérente.
- Développer des représentations alternatives aux modèles polygonaux et aux simulations par éléments finis traditionnels : par exemple, définir des textures volumiques ou des modèles de réflexion dédiés, appliqués à des modèles géométriques simplifiés ; coupler un habillage géométrique contraint à des modèles physiques simplifiés, de manière à décharger l'animation d'une partie de sa complexité.
- Adapter ces représentations ou ces techniques dynamiquement en fonction de la précision nécessaire pour l'image calculée, en développant des techniques de simulation adaptatives, des modèles multi-résolution, ou en offrant plusieurs modèles interchangeables selon le niveau de détail auquel on désire simuler ou visualiser un certain aspect du phénomène à un instant donné.

Pour la spécification de scènes ou de formes complexes

– Offrir des algorithmes automatiques s'appuyant sur des images et vidéos, sur des données statistiques, ou sur des modèles physiques comme les modèles de croissance. Leur associer un contrôle interactif facilitant la conception par un graphiste.

Pour la validation

– Privilégier la perception pour les modèles destinés à tromper les sens de l'utilisateur, qui seront évalués selon des critères de réalisme visuel.
– Nous appuyer au moins partiellement, lorsque c'est possible, sur des modèles numériques validés au préalable par des scientifiques d'autres disciplines (par exemple, dans le cadre de nos travaux sur les coulées avec les géo-physiciens du CEMAGREF).

6 Actions menées

Les actions menées se déclinent en deux catégories :
– la mise au point d'outils fondamentaux, c'est à dire de modèles ou algorithmes au caractère générique, destinés à factoriser nos efforts en s'appliquant à différentes familles de phénomènes naturels ;
– l'application de ces outils dans le cadre d'études de cas qui nous permettant de les valider, de mener des collaborations avec des scientifiques d'autres disciplines et bien souvent de valoriser nos résultats.

6.1 Développement d'outils fondamentaux

Chacun des outils listés ci-dessous est élaboré pour répondre à une famille de problèmes. Ces outils sont dissociés ici de leurs applications pour les différencier des études de cas spécifiques qui constituent le second volet des actions menées. Une présentation différente, regroupant chaque outil avec ses applications, sera adoptée dans la partie 9, qui décrit notre programme de travail à quatre ans. Cette présentation orthogonale permettra de montrer sur des exemples précis en quoi nous factorisons nos efforts.

Spécification de scènes et objets naturels (G-P. Bonneau, M-P. Cani, F. Faure, F. Neyret, Lionel Revéret)
– Exploitation de données réelles : reconstruction de modèles géométriques à partir de données numériques ; synthèse de textures d'objets naturels à partir d'images échantillons ; spécification du mouvement à partir de vidéos ; spécification de scènes complètes à partir de l'analyse statistique de données réelles.
– Synthèse de formes ou de l'apparence locale à partir de spécification indirecte (modèles générateurs) : morphogénèse, croissance, déchirures, plissement, formes issues du mouvement, modélisation procédurale ou par simulation physique.
– Systèmes interactifs utilisables par un graphiste. Modèles géométriques déformables et interfaces utilisant une capture du geste.

Modèles alternatifs pour la forme, le mouvement et l'apparence (G-P. Bonneau, M-P. Cani, F. Neyret, L. Revéret)
– Modèles de surfaces complexes modifiables interactivement : surfaces implicites contrôlées par squelettes ou définies comme isosurface d'un potentiel discret ("level-set") ; surfaces de subdivision, surfaces multi-résolution.
– Représentation du mouvement ou des déformations par analyse statistique.
– Textures, textures volumiques, surfels.
– Représentations phénoménologiques ou analytiques (modèles de réflectance dédiés).

Algorithmes adaptatifs et niveaux de détail (G-P. Bonneau, M-P. Cani, F. Faure)

- Algorithmes multi-résolution, adaptatifs, hiérarchiques aussi bien en modélisation qu'en animation et en visualisation.
- Adaptation du niveau de détail en animation, avec en particulier la mise au point de méthodes de simulation adaptatives en temps et en espace, ou de techniques de transition entre techniques d'animation différentes.

6.2 Étude de scènes naturelles spécifiques et applications

Nous rappelons que les scènes naturelles recouvrent pour nous toutes les scènes composées d'objets non manufacturés. L'application à des cas spécifiques nous permet de valider "en vraie grandeur" les principes et outils listés ci-dessus, d'exploiter des connaissances a priori particulières, et de mener des collaborations scientifiques et industrielles.

Scènes minérales (M-P. Cani, F. Faure, F. Neyret, L. Revéret)

- Nuages, fumées, ruisseaux, océan.
- Coulées de laves, avalanches, coulées de boue. Applications à la communication (grand public, aide à la prise de décision) dans le domaine de la prévention des risques naturels. Application dans le cade de l'ARC locale "Coulées de boue et avalanches virtuelles" avec le IDOPT/LMC, le LEGI et le CEMAGREF.
- Modelage d'une argile virtuelle (collaboration avec MOVI).
- Simulation de tas et d'éboulis (contacts avec Mazars, L3S).
- Éclairage naturel de paysages, constitution du paysage (plissement, fractures, érosion).

Scènes végétales (M-P. Cani, F. Faure, F. Neyret)

- Spécification indirecte de la forme : morphogénèse, croissance, fracturation, plissement appliqués au monde végétal (écorce, etc).
- Prairies, arbres animés et interactifs. Application au jeu vidéo dans le cadre d'un projet RIAM avec Infogrames.
- Rendu de végétation. Application avec Bionatics (études d'impact et jeux vidéo) et collaboration avec l'Université de Calgary.

Monde animal (G-P. Bonneau, M-P. Cani, F. Faure, L. Revéret)

- Muscles, chair, peau de personnages ou d'animaux, vêtements. Collaboration avec SIAMES et avec ID/APACHE. Application avec la société Galiléa.
- Visages parlants exprimant des émotions. Collaboration avec l'ICP pour la constitution de base de données phonétiques de visages parlants. Collaboration avec le laboratoire LEIBNIZ pour définir des modèles d'organisation temporelle des indices émotionnels dans la conversation face-à-face. Application avec la société Virtual Actors.
- Chevelures animées. Application avec Nadéo, filiale de Duran-Dubois.
- Modélisation et animation d'organes du corps humain. Application aux simulateurs chirurgicaux dans le cadre de l'ARC SCI (LIFL, IRCAD, société SIMEDGE), et de collaborations avec le projet EPIDAURE.

6.3 Aspects stratégiques pour l'INRIA

Les actions menées se rattachent à la thématique "Environnement" du plan stratégique de l'INRIA, à la thématique prioritaire "Combiner simulation et Réalité Virtuelle" et au thème d'application "Biologie-Santé" du contrat quadriennal.

7 Positionnement national et international

7.1 Au sein du laboratoire GRAVIR

- La proposition de projet ARTIS, issue elle aussi d'iMAGIS, est centrée sur la conception d'algorithmes généraux pour la modélisation et le rendu de scènes complexes. ARTIS ne se pose pas le problème de la modélisation directe d'un phénomène à partir de connaissances a priori, ne se préoccupe pas d'animation et ne se concentre pas sur des applications aux scènes et objets naturels. Notons que nous seront amenés à collaborer sur quelques niches thématiques pour lesquelles les compétences des deux équipes sont très complémentaires, comme le rendu non-photoréaliste de phénomènes naturels, les représentations alternatives pour le rendu, l'instantiation hiérarchique, ou le rendu des arbres (*cf* leur collaboration avec le CIRAD et le LIAMA).
- L'évolution du projet SHARP l'ouvre actuellement à l'utilisation des méthodes bayésiennes pour le contrôle du mouvement. Même s'il comporte, comme EVASION, une composante de simulation du mouvement, le niveau de contrôle du phénomène sera principalement de l'ordre de la cognition et de la planification des actions, non étudiés au sein d'EVASION. Cette complémentarité rend possible des collaborations. Ainsi, un projet commun sur l'animation bayésienne de personnages évoluant en milieu naturel vient d'être accepté par le CNRS, dans le cadre du programme ROBEA.
- Le projet MOVI s'intéresse à la modélisation et la reconstruction d'objets géométriques, rigides ou articulés, à partir d'images. Le cadre des scènes naturelles conduira le projet EVASION à aborder le suivi vidéo d'objets déformables (par exemple, animaux filmés pour lesquels ni les techniques classiques à base de marqueur ni les hypothèses de régularité géométrique ne sont exploitables) et à étudier la manière de l'exploiter en animation. Une collaboration portant sur une interface de type vision pour la sculpture virtuelle (avec suivi d'une main) est en cours (thèse co-encadrée de Guillaume Dewaele).
- L´équipe PRIMA vise la détection audiovisuelle d'évènements liés essentiellement à l'activité humaine (présence dans une pièce, localisation de personnes), thèmes non étudiés au sein d'EVASION.
- L´équipe VIS travaille essentiellement sur la génération de clones animables en temps-réel à partir de vidéos pour des applications aux télécommunications.

7.2 Au sein de l'INRIA (hors GRAVIR)

- Le projet REVES (Sophia-Antipolis) ne recouvre des préoccupations communes qu'en ce qui concerne l'élaboration de représentations alternatives pour accélérer le rendu de scènes complexes. Une collaboration est prévue sur le rendu à base de surfels de scènes naturelles animées.
- Le projet SIAMES (IRISA), peut être considéré comme le plus proche d'EVASION, de par ses travaux sur l'animation. Cependant, ces derniers se concentrent principalement sur le thème de la ville (comportement des voitures, cycles, piétons ; modèles cognitifs du comportement social d'humanoïdes), les application aux scènes naturelles restant spécifiques à EVASION. Les points à la frontière entre les deux projets (modélisation de personnages) sont traités en collaboration (thèse co-encadrée de Caroline Larboulette).
- Le projet ISA (LORIA) couvre quelque thèmes communs avec EVASION, comme la modélisation par surfaces implicites et les textures. Cependant, les techniques développées sont principalement dédiées aux scènes architecturales et aux objets manufacturés, conduisant à des approches très différentes (par exemple, ISA se

concentre sur les surfaces implicites analytiques, rendues par radiosité, par oppositions à nos surfaces implicites à squelettes, animables et interactives ; leur travaux sur les textures portent sur l'optimisation des fonctions de plaquage tandis que nous travaillons sur la synthèse de textures répétitives pour les objets naturels).

- Le projet EPIDAURE (Sophia) traite des applications médicales de l'imagerie et de la réalité virtuelle. Nous avons déjà été amenés à collaborer avec eux sur la réalisation d'un simulateur chirurgical, pour laquelle nous avions apporté notre expertise sur l'animation efficace d'objets déformables.
- L'action MIRAGES (Roquencourt) s'intéresse à la modélisation de vêtements, traités en tant qu'objets manufacturés, dont la coupe et le tombé statique sont simulés, la précision étant recherchée au détriment de l'interactivité. A l'opposé, nous n'abordons l'animation de tissus que comme illustration de nos algorithmes efficace pour la simulation d'objets déformables régis par les lois de la dynamique.
- L'action I3D (Roquencourt) porte sur la mise au point de modes d'interaction naturels avec des objets virtuels. Nos problématiques ne se rejoignent que pour des applications ponctuelles, comme les interfaces pour la sculpture virtuelle.
- Le projet ALCOVE (FUTURS) proposé par Christophe Chaillou se concentre sur les objets virtuels interagissant avec l'utilisateur. Deux collaborations sont en cours, dans le cadre de deux de nos applications temps-réel : simulateur de chirurgie intestinale (ARC SCI) et sculpture virtuelle. Pour ces deux applications, nous fournissons des modèles de déformation géométriques ou dynamiques. Ces derniers sont mis en situation dans le cadre des plates-formes temps-réel développées au sein d'ALCOVE (il s'agit d'une plate-forme multi-utilisateurs permettant les interactions à distance en ce qui concerne la sculpture).
- Le projet IPARLA (FUTURS) proposé par Pascal Guitton, se concentre sur la visualisation et la manipulation de données complexes sur des terminaux mobiles communiquants.
- Le projet APACHE développe des outils pour le calcul intensif sur des architectures multi-processeurs de type grappe de PC. En particulier, APACHE encadre la proposition auprès de la région Rhône-Alpes d'un projet de plate-forme expérimentale à base de grappe de PC (projet PC-RV) pour la réalité virtuelle et le traitement vidéo synchronisée de plusieurs caméras en vision. EVASION participera à cette plate-forme en mettant au point des applications à la simulation temps-réel de vêtements (thèse co-encadrée de Florence Zara), la visualisation de données complexes et la capture de mouvements à partir de plusieurs points de vue vidéo.
- Le projet MACS, spécialisé dans le calcul scientifique, et qui aborde par ce biais les applications à la santé, a déjà collaboré avec nous par le passé.
- Le projet IDOPT s'intéresse aux applications du calcul scientifique à la simulation environnementale. Nos objectifs et outils sont clairement différents, même si certains de nos thèmes comportent des similarités (par exemple : simulation océanographique chez IDOPT par opposition à l'animation des vagues dans un but de réalisme visuel à faible coût chez EVASION). Nous collaborons avec IDOPT dans le cadre de l'ARC locale "coulées de boue et avalanches virtuelles", destinée à associer une représentation graphique réaliste aux simulations de coulées effectuées et validées par les mécaniciens et les numériciens.

7.3 Au sein des fédérations de laboratoires grenoblois IMAG et ELESA

- ICP : Les activités en animation faciale de l'ICP visent le clonage photo-réaliste de visages parlants. EVASION aborde ponctuellement les visages dans le cadre de l'animation des parties déformables d'un personnage complets, en intégrant des expressions faciales et des mouvements du corps.

- LMC : Ce laboratoire est complémentaire à notre projet sur certains aspects, puisqu'il s'intéresse à la modélisation mathématique et géométrique, ainsi qu'aux méthodes de calcul. Outre la collaboration avec le projet IDOPT/LMC citée plus haut, nous collaborons avec le LMC pour la mise au point et l'utilisation de représentations multi-résolution de surfaces lisses. Les aspects théoriques sont principalement pris en charge par le LMC, et les aspects applicatifs par EVASION.
- LEIBNIZ : L'équipe MAGMA du Leibniz développe actuellement des modèles d'organisation temporelle des indices émotionnels dans la conversation pour un système d'agents interactifs. En s'appuyant sur ces modèles, EVASION fournit une animation des visages de personnages simulant des interactions verbales vraisemblables (co-encadrement d'un étudiant en DEA).

7.4 Au sein de la communauté d'informatique graphique française

Le thème des scènes naturelles est assez peu représenté en France, même si plusieurs équipes l'ont abordé de manière ponctuelle. Citons les modèles physiques développés au laboratoire ACROE/ICA (sans l'étude transversale modélisation/animation/rendu menée à EVASION), les travaux – dont certains assez anciens, menés à Marne la Vallée (érosion, milieux participants en radiosité, surfels appliqués aux vagues), les simulations de feu et de fumées réalisées dans le cadre d'une thèse à l'IRIT, et ceux sur le rendu de l'océan au LABRI, les travaux de Jean-Michel Dischler à Limoges puis à Strasbourg sur les scènes du monde minéral (textures de rochers, rivières et vagues animées).

La plupart des équipes citées se sont regroupées au sein de l'AS du département STIC du CNRS "Modèles et algorithmes pour la simulation de phénomènes physiques et naturels", à laquelle nous participons.

7.5 Au sein de la communauté internationale

Très peu d'équipes d'infographie dans le monde se sont positionnées sur le domaine des scènes et phénomènes naturels. Les plus actives sont des équipes japonaises, souvent peu intégrées à la communauté internationale, et travaillant notamment sur les nuages et effets atmosphériques. Les autres équipes concernées se situent essentiellement en Amérique du Nord, et sont représentées par une poignée de personnes travaillant sur quelques niches thématiques : simulation des fluides (notamment Stam, Foster, Metaxas, Fedkiw), rendu des nuages (Stam, Max, Musgrave), représentation des plantes (Prusinkiewicz, Max).

Le domaine de l'animation de personnages est par contre plus développé, les équipes phares en Europe étant à l'EPFL (Thalmann) et à Genève (Magnénat-Thalmann). Notons que notre thématique ne nous conduit à aborder que des parties bien spécifiques de ce thème : nous ne traitons pas du contrôle du mouvement ou du comportement de personnages, mais sommes amenés à aborder ces derniers par le biais de la simulation de phénomènes physiques : mouvement de chevelures, des vêtements, déformations des muscles, de la chair ou des organes internes.

Collaborations entamées avec des équipes étrangères

- Nous collaborons avec P. Prusinkiewicz (Calgary, Canada), dans le cadre des bourses de thèse EURODOC obtenue pour Frank Perbet et Sylvain Lefebvre, sur le rendu multi-résolution de paysages naturels d'une part, et sur la synthèse d´écorces d'autre part.
- Nous travaillons Goeff Wyvill (Université d'Otago, Nouvelle Zélande) sur la modélisation par déformations réversibles de l'espace dans le cadre du co-encadrement de la thèse d'Alexis Angélidis (débutée en février 2002).

- Nous participons au réseau européen de formation par la recherche (Research Training Network) MINGLE (Modélisation Géometrique Multirésolution), regroupant 9 partenaires de 5 pays. Son l'objectif est la mise au point de représentations multi-résolution de données géométriques, avec des aspects fondamentaux (modèles mathématiques) et applicatifs (industrialisation, validation).
- Nous collaborons avec Eric Vatikiotis-Bateson des laboratoires ATR/NTT au Japon pour un chapitre de livre sur les visages parlants (MIT Press, 2002), et avec le Pr. Irfan Essa du Georgia Institute of Technology dans le cadre du suivi vidéo de visages humains.

7.6 Collaborations avec des équipes d'autres disciplines

Outre les collaborations avec les équipes de nos domaines listées ci-dessus, notre projet nous amène à collaborer avec des scientifiques d'autres disciplines, en liaison avec la thématique prioritaire de l'INRIA “Combiner simulation et réalité virtuelle”. Citons par exemple :

- nos collaborations avec des laboratoires de mécanique du solide et des fluides comme le L3S, le LEGI et le CEMAGREF sur la simulation des catastrophes naturelles (coulées, éboulements). Une thèse co-encadrée avec le L3S devrait débuter en septembre 2002.
- nos contacts avec le laboratoire AMAP du CIRAD concernant la modélisation du caractère multi-échelles des végétaux.
- notre travail avec les chirurgiens de l'IRCAD pour tout ce qui concerne nos applications aux simulateurs chirurgicaux.
- nos collaborations avec des équipes de sciences cognitives (Laboratoire de Psychologie Sociale (LPS-UPMF), Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC-Lyon 2)) portant sur la mesure des émotions par l'analyse des expressions faciales.

8 Collaborations industrielles et sources de financement

8.1 Partenaires industriels

Outre le transfert de certains outils fondamentaux auprès de grands groupes comme Dassault Systems, les recherches menées au sein de l'équipe EVASION devraient trouver leurs principales sources d'applications industrielles dans les domaines de l'audiovisuel (effets spéciaux, films d'animation, jeux vidéo) ainsi que de la simulation environnementale (études d'impact, prévention des risques naturels) ou bio-médicale (simulations dans le domaine de la santé, en particulier pour les simulateurs chirurgicaux). Particularité d'un domaine jeune, qui s'exprime principalement au travers d'une conférence incontournable (SIGGRAPH), les industriels ont une culture très proche de la notre qui leur permet de suivre l'état des recherches et d'exploiter les innovations à partir des publications, sans toujours passer par une collaboration explicite. Néanmoins :

- Infogrames collabore déjà avec nous depuis plus d'un an, en ce qui concerne la simulation temps-réel de végétation animée ;
- Galiléa, entreprise de jeux vidéo Grenobloise, a posé avec nous un projet RNTL labélisé, PARI, pour tout ce qui concerne la synthèse d'images de personnages réalistes et communiquants (déformations du corps, des vêtements) ; une bourse de thèse CIFRE devrait démarrer en complément à ce projet.

- Nous participons à l'incubation au GRAIN de la start-up "Virtual actors" (développement d'une brique technologique permettant la modélisation de visages animés, avec couplage de la parole et de l'expression d'émotions).
- Nous avons obtenu une bourse BDI co-financée CNRS-industrie sur la simulation de chevelures virtuelles avec Nadéo, filiale jeux vidéo de Duran-Dubois.
- Des contacts étroits sont établis avec Bionatics, entreprise avec laquelle nous lançons un projet RIAM sur la représentation de massifs forestiers.
- Nous travaillons également avec l'entreprise SIMEDGE, qui commercialise des simulateurs chirurgicaux, dans le cadre de l'ARC SCI.
- Nous participons à l'encadrement d'un thésard CIFRE chez Dassault, entreprise qui souhaite poursuivre les contacts par un travail en commun sur la sculpture virtuelle.
- Nous développons, dans le cadre d'un programme de recherche avec Alias—Wavefront, des plug-ins Maya pour les interfaces gestuelles de modélisation et pour l'animation faciale (licences offertes et possibilité de transfert technologique à terme).

8.2 Sources de financement actuelles

- Projet RIAM avec Infogrames, "végétation animée et interactive pour le jeu vidéo".
- ARC INRIA "Simulateur de Chirurgie Intestinale" avec ALCOVE/LIFL, l'entreprise SIMEDGE, et l'IRCAD.
- ARC-locale INRIA et BQR INPG "Coulées de boue et avalanches virtuelles" avec IDOPT/LMC, le LEGI et le CEMAGREF.
- AS CNRS "Modèles et algorithmes pour la simulation de phénomènes physiques et naturels" (avec IRIT-Université Paul Sabatier, Toulouse, IGM-Université de Marne la vallée, LSIIT Strasbourg, Université du littoral, Calais, IRISA Rennes, LIGIM Lyon).
- MINGLE : Modélisation Géométrique Multirésolution. Réseau européen RTN (Research Training Network), responsable Georges-Pierre Bonneau pour l'UJF.
- Projet dans le cadre des thématiques prioritaires de la région Rhône-Alpes "Simulation de textiles sur grappes de processeurs", avec le laboratoire ID et l'industriel YXENDIS.
- Financement IUF de Marie-Paule Cani.

8.3 Nouveaux financement prévus

- Projet accepté avec SHARP/GRAVIR et SIAMES/IRISA sur les personnages évoluant en environnement naturel dans le cadre de l'appel d'offre Robea du CNRS.
- Bourse de thèse fléchée par l'INPG pour septembre 2002 pour une co-direction avec le laboratoire L3S sur la simulation d'éboulements.
- Projet RNTL labélisé (et en attente) PARI (Personnages Animés Réalistes Interagissants), avec le laboratoires LEIBNIZ et les entreprises Galiléa et 4X Technologies.
- Projet RIAM déposé avec la société Bionatics sur le rendu efficace de végétation.
- Demande de soutien au laboratoire auprès de la région Rhône-Alpes dans le cadre de l'incubation au GRAIN de Virtual actors.
- Demandes de deux bourses de thèse à co-financement industriel, avec Galilea d'une part sur l'animation de visages expressifs, et avec Nadéo d'autre part sur l'animation de chevelures.
- Participation au projet PC-RV de grappe de PC soutenu par la région.

9 Programme de travail pour les quatre prochaines années

Visualisation interactive pour la simulation (G-P. Bonneau)

- Algorithmes fondamentaux pour la visualisation de très grands ensembles de données : structures hiérarchiques et description multi-résolution pour des grilles de l'ordre de la dizaine de millions de cellules, algorithmes de visualisation en parallèle sur grappes de PC, techniques spécifiques de visualisation pour champs de vecteurs ou de tenseurs, et pour données volumiques.

Modèles déformables interactifs et applications (G-P. Bonneau, M-P. Cani, F. Faure, L. Revéret)

- Simulation adaptative des modèles déformables structurés : dans le but d'une animation temps-réel, travail sur l'adaptation automatique de la résolution de modèles physiques structurés. Ces derniers pourront être 1D (prairie, chevelures, intestin), 2D (tissus), et 3D (muscles, chair). Mise au point d'algorithmes efficaces pour gérer les interactions (contacts, collisions) entre ces objets ou avec des objets rigides.
- Modelage virtuel : mise au point de modèles déformables, géométriques (modèle surfacique polynômial) ou inspirés de la physique (argile virtuelle), capables de subir en temps-réel des déformations locales et globales. Application dans le cadre d'un système de sculpture interactive à interface gestuelle (suivi vidéo du mouvement de la main).
- Modèles surfaciques contraints pour l'habillage de modèles physiques : développement de modèles d'habillage surfaciques, reposant par exemple sur les surfaces de subdivision, capables de se déformer de manière à maintenir des contraintes géométriques de type surface ou volume constant. Ces modèles permettront de décharger les modèles physiques qui les contrôlent d'une partie de leur complexité dans le cadre d'applications à l'animation de formes organiques (en particulier, génération des plis de la peau de personnages ou d'animaux).

Modélisation et animation de paysages naturels (M-P. Cani, F. Faure, F. Neyret)

- Spécification indirecte de la micro-géométrie : mise au point de modèles de croissance et de fracturation pour engendrer de manière indirecte, par le biais de la simulation, une micro-géométrie complexe. Applications aux mondes végétal (écorces) et minéral (croûte de lave).
- Simulation environnementale : travail sur l'aspect et le mouvement en animation des fluides (nuages, avalanches poudreuses, laves torrentielles) et solides (éboulis) pour la simulation environnementale. Application dans le cadre de nos collaborations visant à la simulation graphique visuellement réaliste des risques naturels.

Perception du mouvement (L. Revéret)

- Extraction du mouvement d'objets non coopérants (pas de pose de marqueurs) par le biais de données vidéo. Application à l'animation de scènes virtuelles minérales (coulées, fumées), végétales (arbres sous le vent) et animales (tigre). Le mouvement capturé sur la vidéo pourra être transposé à la sortie (par exemple, capture du vent par observation du mouvement d'un arbre, et application à l'animation de fumées soumises à ce vent).
- Validation des scènes synthétisées par des critères perceptifs : extension des techniques de validation mises au point en animation faciale à des expériences sur la perception de scènes naturelles virtuelles, en prenant en compte en particulier l'aspect perception du mouvement.

Annexe A : Présentation des membres permanents d'EVASION

Notre projet de recherche demande, comme nous l'avons vu, une combinaison de compétences multiples, en algorithmique et informatique graphique d'une part, mais aussi en mécanique, en mathématiques appliquées, et en traitement du signal et des images. La création d'EVASION repose donc sur la forte complémentarité, en terme de formation, de ses membres permanents, que nous mettons en évidence ci-dessous.

Georges-Pierre Bonneau : Georges-Pierre Bonneau est professeur d'informatique à l'Université Joseph Fourier. Il est ancien élève de l'ENS Cachan, agrégé de Mathématiques (option Informatique), et titulaire du DEA d'Analyse Numérique de Paris VI. Il a effectué sa thèse en Allemagne, au sein du laboratoire d'Informatique Graphique de Kaiserslautern. Avant sa nomination comme Professeur, il a été Chargé de Recherche CNRS au LIMSI (Orsay), puis au LMC (Grenoble). Georges-Pierre Bonneau est membre du comité éditorial de la revue IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, il a co-organisé le symposium Visualisation de Dagstuhl en 2000, co-organisera ce même symposium en 2003, et a été membre de nombreux comités de programmes, dont notamment ceux des conférences IEEE Visualisation et des symposiums Eurographics/IEEE sur la Visualisation.

Marie-Paule Cani : Ancienne élève de l'École Normale Supérieure et agrégée de mathématiques, Marie-Paule Cani est professeur d'informatique à l'INP Grenoble depuis 1997 et membre junior de l'Institut Universitaire de France (IUF) depuis 1999. Ses activités de recherche portent sur la simulation par modèles physiques, les surfaces implicites appliquées à la modélisation et l'animation interactives, et la conception de multi-modèles incorporant des représentations alternatives (textures surfaciques et volumiques) et des niveaux de détail. Parmi les applications récentes, citons la simulation graphique de phénomènes naturels (coulées de lave, végétation sous le vent, animation de longues chevelures) ainsi que la mise au point de modèles déformables en réalité virtuelle (simulateur chirurgical, sculpture virtuelle). Marie-Paule Cani a été co-chair des workshops d'Eurographics Implicit Surfaces en 1995 et Computer Animation and Simulation en 2001. Elle a fait partie des comités de programme d'Eurographics'96, Computer Animation'99, Shape Modelling International depuis 1999, ainsi que NPAR, Pacific Graphics, ACM Symposium on Computer Animation et SIGGRAPH en 2002. Elle appartient au comité éditorial de GMOD (Academic Press) depuis 2001.

François Faure : Ancien élève de l'ENS Cachan, François Faure a passé une agrégation de mécanique avant de se tourner vers l'informatique graphique. Il a été nommé Maître de Conférences en informatique à l'Université Joseph Fourier en 1999, après deux années post-doctorales à Vienne (Autriche). Ses compétences en mécanique lui sont particulièrement utiles pour aborder ses sujets de recherche actuels, comme la simulation graphique de solides articulés, d'éboulements, et l'animation de tissus déformables. François Faure a fait partie du comité de programme du workshop d'Eurographics Computer Animation and Simulation en 2001.

Fabrice Neyret : Ingénieur Télécom Paris et titulaire d'un DESS en Mathématiques Appliquées, Fabrice Neyret a soutenu une thèse en infographie sur les textures volumiques en 1996 et une Habilitation à Diriger des Recherches en 2001 sur la gestion de la complexité des scènes naturelles en synthèse d'images. Il a réalisé un post-doctorat sur la simulation des nuages à l'Université de Toronto (Canada) en 1997, et a également exercé comme ingénieur dans les entreprises de synthèse d'images Thomson Digital Image (Paris) et Alias-Wavefront (Toronto), avant d'être recruté au CNRS. Ses intérêts de recherche couvrent les textures, l'illumination locale, les phénomènes naturels (fluides, nuages, écorces...), les scènes très complexes (paysage forestier...). Ses principales motivations sont la connection avec les modèles des autres sciences, la conception d'outils et méthodes commodes et efficaces pour la production d'images, ainsi que l'exploitation des possibilités du matériel graphique pour le réalisme en temps réel.

Lionel Revéret : Ancien élève de l'ENSIMAG, Lionel Revéret a acquis de par sa formation (thèse INPG et DEA de Sciences du Langage) des compétences multiples en vision par ordinateur, animation 3D et sciences humaines, ainsi qu'une bonne expérience de la recherche industrielle et universitaire à l'étranger (séjours de six mois chez ATR/NTT au Japon et de dix-huit mois à Georgia-Tech aux États-Unis). Ses travaux précédents ont porté sur la modélisation des gestes de la parole en animation faciale et le suivi sans marqueurs des mouvements du visage à partir de la vidéo. Le projet EVASION exploitera ses compétences en modélisation statistique du mouvement, suivi vidéo d'objets déformables, et dans la conduite d'expériences de perception. Lionel Revéret est membre du comité de programme de l'ACM Symposium on Computer Animation 2002.

Annexe B : Publications

La bibliographie ci-dessous liste les travaux récents des membres d'EVASION qui contribuent à notre nouvelle thématique, soit par le développement d'outils fondamentaux, soit par l'étude d'un phénomène naturel donné.

Références

[1] G-P. Bonneau. Multiresolution analysis on irregular surface meshes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 4 :365–378, 1998.

[2] G-P. Bonneau. An introduction to wavelets for scientific visualization. In *Scientific Visualization*, pages 16–22. IEEE CS Press, 1999.

[3] G-P. Bonneau and S. Hahmann. Polyhedral modelling. In *IEEE Proceedings Visualization'00*, pages 381–387, Salt-Lake City, 2000.

[4] Jean Combaz and Fabrice Neyret. Painting folds using expansion textures. In *Pacific Graphics*, october 2002.

[5] Gilles Debunne, Mathieu Desbrun, Marie-Paule Cani, and Alan H. Barr. Dynamic real-time deformations using space and time adaptive sampling. In *Computer Graphics*, Aug 2001. SIGGRAPH'01 Conference Proceedings.

[6] François Faure. Fast iterative refinement of articulated solid dynamics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(3) :268–276, jul 1999.

[7] Eric Ferley, Marie-Paule Cani, and Jean-Dominique Gascuel. Practical volumetric sculpting. *the Visual Computer*, 16(8) :469–480, dec 2000. A preliminary version of this paper appeared in Implicit Surfaces'99, Bordeaux, France, sept 1999.

[8] Eric Ferley, Marie-Paule Cani, and Jean-Dominique Gascuel. Resolution adaptive volume sculpting. *Graphical Models (GMOD)*, march 2002. Special Issue on Volume Modelling.

[9] Jean-Dominique Gascuel, Marie-Paule Cani, Mathieu Desbrun, Eric Leroy, and Carola Mirgon. Simulating landslides for natural disaster prevention. In *9th Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation (EGCAS'98)*, Sep 1998.

[10] Thomas Di Giacomo, Stéphane Capo, and François Faure. An interactive forest. In Marie-Paule Cani, Nadia Magnenat-Thalmann, and Daniel Thalmann, editors, *Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation*, pages 65–74. Springer, sept. 2001. Manchester.

[11] S. Hahmann and G-P. Bonneau. Polynomial surfaces interpolating arbitrary triangulations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, to appear, 2002.

[12] Damien Hinsinger, Fabrice Neyret, and Marie-Paule Cani. Interactive animation of ocean waves. In *Symposium on Computer Animation*, july 2002.

[13] Sylvain Lefebvre and Fabrice Neyret. Synthesizing bark. In *13th Eurographics Workshop on Rendering*, 2002.

[14] Jean-Christophe Lombardo, Marie-Paule Cani, and Fabrice Neyret. Real-time collision detection for virtual surgery. In *Computer Animation'99*, May 1999.

[15] Alexandre Meyer and Fabrice Neyret. Multiscale shaders for the efficient realistic rendering of pine-trees. In *Graphics Interface*, pages 137–144. Canadian Information Processing Society, Canadian Human-Computer Communications Society, May 2000.

[16] Alexandre Meyer, Fabrice Neyret, and Pierre Poulin. Interactive rendering of trees with shading and shadows. In *Eurographics Workshop on Rendering*, Jul 2001.

[17] Fabrice Neyret and Marie-Paule Cani. Pattern-based texturing revisited. *Computer Graphics*, pages 235–242, Aug 1999. SIGGRAPH'99 Conference Proceedings.

[18] Fabrice Neyret, Raphael Heiss, and Franck Senegas. Realistic rendering of an organ surface in real-time for laparoscopic surgery simulation. *the Visual Computer*, 18(3) :135–149, may 2002.

[19] Fabrice Neyret and Nathalie Praizelin. Phenomenological simulation of brooks. In *Computer Animation and Simulation*, pages 53–64. Eurographics, Springer, Sep 2001. Eurographics Workshop on Animation and Simulation, Manchester.

[20] Frank Perbet and Marie-Paule Cani. Animating prairies in real-time. In *ACM Interactive 3D Graphics*, USA, Mar 2001.

[21] Eric Plante, Marie-Paule Cani, and Pierre Poulin. A layered wisp model for simulating interactions inside long hair. In *Computer Animation and Simulation 2001*, Computer Science, sep 2001. Proceedings of the EG workshop of Animation and Simulation.

[22] L. Reveret, G. Bailly, and P. Badin. Mother : A new generation of talking heads providing a flexible articulatory control for video-realistic speech animation. In *Proc. of the 6th Int. Conference on Spoken Language Processing, ICSLP'2000*, Beijing, China, Oct. 16-20 2000.

[23] L. Reveret and C. Benoit. A new 3d lip model for analysis and synthesis of lip motion in speech production. In *Proc. of the Second ESCA Workshop on Audio-Visual Speech Processing, AVSP'98*, Terrigal, Australia, Dec. 4-6 1998.

[24] L. Reveret and I. Essa. Visual coding and tracking of speech related facial motion. In *Proc. of Workshop on Cues in Communication, held in Conjunction with IEEE CVPR 2001, also available as Georgia Tech, GVU Center Tech Report No. GIT-GVU-TR-01-16*, Kauai, Hawaii, December 2001.

[25] Cyril Soler, Marie-Paule Cani, and Alexis Angelidis. Hierarchical pattern mapping. In *SIGGRAPH'02 Conference Proceedings*, July 2002. to appear.

[26] Dan Stora, Pierre-Olivier Agliati, Marie-Paule Cani, Fabrice Neyret, and Jean-Dominique Gascuel. Animating lava flows. In *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, pages 203–210, Jun 1999.