

## **Action spécifique du CNRS**

**Humain virtuel : vers un humain synthétique temps-réel aussi vrai que nature**

**Co-animée par**

**Stéphane Donikian (IRISA/CNRS)**

**Jean-Pierre Jessel (IRIT)**

**Catherine Pelachaud (Université Paris 8)**

### **Conclusion**

Tout d'abord, nous voulons remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué à la rédaction des différents documents produits au sein de cette Action Spécifique du CNRS. Nous pensons que ces documents seront très bénéfiques pour l'ensemble des chercheurs, apprentis ou confirmés, de notre communauté et même au delà pour toute personne désireuse d'avoir accès à des synthèses thématiques sur les différents aspects traités autour de l'humain virtuel. Bien sûr il s'agit d'un état instantané et il faudra voir comment nous pouvons faire vivre ces documents, afin qu'ils puissent suivre l'évolution rapide des recherches menées dans le domaine.

Chacun des cinq chapitres thématique a cherché à faire un état instantané des travaux réalisés dans ce domaine.

#### **Thème 1 : modélisation**

Dans ce document, nous avons présenté un vaste état de l'art des travaux en modélisation d'humanoïdes. La particularité des humanoïdes provient du fait qu'ils constituent le modèle auquel chacun de nous est le plus habitué, et donc le plus sensible aux détails significatifs. Pour qu'un humain virtuel soit plausible, il est bien sûr indispensable qu'il ait une bonne apparence globale, mais au-delà il faut que son modèle fournisse tous les éléments qui permettront une animation convaincante.

Selon que l'on privilégie le temps réel pour les jeux vidéo par exemple ou la qualité finale que l'on trouve dans les films d'animation, les personnages créés doivent passer du statut de plausibles à celui de réalistes. Une étape importante a été franchie avec l'apparition des modèles multicouches qui ont rapidement proposé une gestion réaliste du squelette ainsi que de la chair et plus récemment de la peau. La cohérence des couches est généralement pilotée par les muscles dont des représentations très abouties ont été proposées dernièrement.

L'étape ultime du réalisme est la reproduction des expressions et des sentiments apparents de l'humain virtuel. Dans ce cadre, les mains jouent un rôle important mais c'est sans conteste le visage qui est le plus important. Finalement, du fait des capacités des machines récentes (CPU et GPU), il apparaît que quel que soit l'application prévue pour un modèle d'humain virtuel, la tendance actuelle va vers toujours plus de simulation de la réalité. Malheureusement, réalité rime ici avec complexité.

En premier lieu, la modélisation d'un humanoïde se révèle être une charge lourde nécessitant de nombreux pôles de compétence et donc un investissement important. Cela se traduit directement au niveau des standards tels que H-Anim ou MPEG4 dont l'évolution est très lente et dont on se rend vite compte qu'ils limitent les recherches si on s'impose un respect trop strict. En second lieu, il est indéniable que dans le cas de l'humain virtuel, modélisation et animation sont intimement liés (muscles, visage, ...) et il est donc important d'effectuer un audit approfondi du domaine d'application souhaité avant d'entreprendre la modélisation.

La solution naturelle à cette situation réside en la mutualisation des compétences pour une définition modulaire et évolutive d'un modèle d'humain virtuel. Il est nécessaire d'appréhender la modélisation d'une partie d'un humanoïde comme la création d'une brique bien définie s'appuyant sur des fondations reconnues et proposant des services limités mais efficaces. Mettre en place une telle démarche nécessite cependant un travail non négligeable de documentation des briques ainsi que la définition d'interfaces pour les rendre utilisables par d'autres.

Si les perspectives de bas niveau ont été définies au fil des sept chapitres précédents et peuvent être résumées par un objectif de toujours plus de réalisme dans une architecture modulaire, à moyen terme il apparaît indispensable de définir une plate-forme commune dans laquelle pourront s'articuler des modules très ciblés. Ceci requiert non seulement des moyens importants pour la définition et la maintenance de cette plate-forme, mais également une implication de tous les acteurs de la modélisation d'humanoïdes afin de faire vivre le projet.

#### **Thème 2 : Mouvement et contrôle de mouvement**

Le chapitre sur le mouvement a dressé un état des lieux des différentes méthodes utilisant la cinématique (et la capture de mouvement) ou la dynamique. A chaque fois, la principale difficulté consiste à gérer le compromis entre temps de calcul et réalisme.

Pour la partie cinématique, il s'agit essentiellement de pouvoir modifier les mouvements capturés de façon plus automatisée tout en conservant un réalisme visuel (un mouvement crédible). Il est nécessaire de continuer à étudier comment pouvoir mélanger, modifier les mouvements ou assurer des transitions en injectant des contraintes pour conserver la crédibilité du mouvement résultant. Pour se faire, il faut aussi pouvoir disposer d'une grande quantité de gestes enregistrés et de pouvoir les exploiter, la limite étant de ne pouvoir pré-enregistrer l'immensité des gestes réalisables.

D'un autre côté, la dynamique pose un cadre plus général qui permet de générer des mouvements capables de s'adapter à un grand nombre d'environnement. Néanmoins, le problème ici est de produire un geste ressemblant à celui qu'aurait effectué un humain dans la même situation. Le problème est alors de pouvoir fournir les bonnes données à des lois de simulation respectant au mieux les phénomènes réels. La progression dans cette voie nécessite la collaboration avec d'autres disciplines comme la biomécanique pour disposer d'observations et de données et en ajoutant la robotique, pour proposer des modélisations plus fines du squelette et concevoir de nouveaux types de contrôleurs.

Les deux approches soulèvent encore de nombreux problèmes à résoudre. Il nous semble qu'à l'avenir, en plus de recherches spécialisées dans chaque voie, il soit intéressant de mener des travaux couplant les deux approches. Il faudrait trouver un cadre dans lequel la dynamique viendrait en renfort de la cinématique lorsque les contraintes externes deviennent trop importantes. A l'inverse, on pourrait envisager l'apport de la cinématique pour produire des trajectoires « humaines » en sortie d'un simulateur en guidant les contrôleurs. Ceci démontre la nécessité d'un travail pluri-disciplinaire impliquant une mise en commun des outils logiciels. Ce type de travail devra donc certainement s'appuyer sur une mutualisation des moyens provenant de divers laboratoires afin de lever ces verrous technologiques.

### **Thème 3 : Rendu photo réaliste**

Le rendu et l'animation d'un humain virtuel est loin d'être triviale. Au vu de l'ampleur des travaux, il est difficile d'embrasser un sujet aussi vaste. Ce document a tenté de présenter les différents modèles de peau, cheveux et vêtements. Certains de ces thèmes ont été travaillés depuis près d'une vingtaine d'années par un nombre restreint de spécialistes. Toutefois, l'animation et le rendu de la peau, des cheveux ou des vêtements n'a été que partiellement résolue.

A l'exception des cheveux, le maillage masse-ressort reste le dénominateur commun de l'animation. Toute la difficulté est alors de proposer des modèles de forces de cohérence afin d'imprimer un mouvement réaliste et cohérent. Les recherches actuelles tentent toujours d'améliorer ces modèles discontinus. D'autres prennent des voies différentes proposant des modèles continus, même si ces derniers sont plus probants pour les cheveux que pour les vêtements.

Quant au rendu, si le modèle de Kajiya et Kay reste la référence pour les cheveux, la tendance est aux fonctions de textures bidirectionnelles pour la peau et les vêtements. Les méthodes d'illumination locale sont remplacées progressivement par des méthodes d'illumination globale à l'aide de la programmabilité des cartes graphiques. Par ailleurs, les descriptions explicites des matériaux permettent en effet de conjuguer les notions de texture et d'éclairage réaliste. Les recherches s'orientent donc logiquement vers la microstructure avec toute la complexité que cela implique.

La puissance de la carte graphique permet désormais d'implanter des techniques d'illumination globale et d'accélérer la résolution des systèmes d'animation physique. Certaines descriptions explicites de matériaux sont rendus en temps interactif.

En plus du cadre des jeux vidéos et de l'industrie cinématographique, la chirurgie, la biomécanique, le commerce électronique ou la cosmétologie font émerger de nouveaux besoins de réalisme. En vue de produire des prototypes, d'améliorer les processus de fabrication, la précision, favorisée par rapport à l'efficacité, rendent souvent les modèles actuels difficiles à appliquer dans l'animation en temps réel.

Tous ces modèles tant pour l'animation que pour le rendu, doivent donc être redéfinis à une échelle plus fine, au niveau de la microstructure, afin d'envisager des applications en temps interactif voire temps réel. La synthèse d'image peut s'enrichir et enrichir ces domaines à travers l'établissement de modèles de microstructures qui en plus d'être précis, gagnent à être définis de manière efficace. Ces modèles doivent être toutefois construits à différentes échelles, de l'atome à la cellule. Les divergences autant pour l'animation que pour le rendu montrent que le fossé entre ces microstructures et leurs représentations à travers leur mesostructures n'a pas été encore totalement comblé.

### **Thème 4 : les agents conversationnels**

Les agents conversationnels connaissent un vrai essor aussi bien industriel qu'académique. Les techniques proposées ont beaucoup évoluées ces dernières années. Les agents entrent dans notre vie quotidienne. Les agents

ne sont plus vus par le grand public seulement pour leur côté ludique : leur utilité pour certaines applications a été vraiment affirmée.

Cependant, les agents conversationnels doivent encore être développés. Peu d'effort a été fourni pour construire des agents individualisés. Un individu est lié à une culture, une personnalité, un rôle sociale... Peu de modèles en tiennent compte.

D'autres problèmes majeurs que doit aussi affronter la création d'agent sont :

- Temps réel : pour que l'utilisateur puisse dialoguer avec l'agent de façon interactive, celui-ci doit être temps réel en fournissant une réponse de l'agent immédiate. Les systèmes d'agents conversationnels actuels sont interactifs mais requièrent souvent un laps de temps pour reconnaître les intentions et les émotions de l'utilisateur ainsi que pour calculer celles-ci pour l'agent ; certains modules d'un système d'agent pris séparément maintiennent le temps réel (le module d'animation en est un exemple) mais ce n'est pas le cas de tous les modules (comme le module de gestion de dialogue).
- Dialogue naturel : l'agent utilise les modes communicatifs verbal et non-verbal utilisés par l'humain. Il doit pouvoir comprendre ce que l'utilisateur lui dit et répondre automatiquement. Il doit aussi pouvoir commencer un dialogue sur un thème qu'il définit. Les techniques de traitement de langage sont encore loin de développer de telles capacités.
- Engagement : de part sa forme humaine, l'utilisateur induit à l'agent un rôle social. L'utilisateur doit avoir l'impression qu'il s'engage dans une conversation. L'agent doit donc lui prêter attention ; il doit aussi faire en sorte à la maintenir pour créer une relation durable avec l'utilisateur.
- Perception : l'agent doit percevoir l'utilisateur et ses comportements et actions pour en déduire des informations telles que ses intentions, ses émotions. L'agent doit pouvoir aussi percevoir l'environnement réel de l'interaction ; il doit pouvoir nommer les objets réels, les désigner, etc.

Un problème qui n'a pas été du tout abordé dans ce document est le problème de l'évaluation de l'agent. Dernièrement ce problème et les méthodes pour le faire se posent de plus en plus fort. Evaluer un agent est difficile à faire ; elle inclut l'évaluation de l'agent lui-même, de son rôle dans l'application et de son rapport avec l'utilisateur. Cela demande une étude à part entière.

Nous souhaitons soulever une dernière question, celle liée à l'éthique : l'agent conversationnel peut avoir un certain pouvoir sur l'utilisateur. Il peut être non seulement intrusif mais il peut aussi chercher à influencer l'utilisateur, à le convaincre, à essayer d'obtenir sa confiance. Les créateurs d'agents et d'interfaces utilisant ces agents doivent tenir compte du potentiel inhérent aux agents et de la possibilité d'usages détournés qui pourrait en résulter.

## **Thème 5 :**

La modélisation du comportement humain est abordée dans et par différentes disciplines comme la psychologie, l'ergonomie, la neurophysiologie, l'intelligence artificielle, l'économie, etc. Il est central en Psychologie, où le comportement humain constitue l'objet, sinon d'étude, du moins au travers duquel l'activité mentale est possiblement atteignable selon les critères de la science. Il est aussi important en ergonomie -en particulier cognitive- pour guider la conception et l'évaluation des technologies et des situations de travail. Il n'en est pas moins également important dans une certaine approche de l'intelligence artificielle, soit pour fournir une spécification ou une analogie exploitable par l'automatique et l'informatique pour résoudre des problèmes complexes, soit pour fournir des techniques permettant la simulation et la confrontation aux données recueillies par la Psychologie.

L'état de l'art présenté recouvre plusieurs communautés : les sciences cognitives, l'intelligence artificielle et plus spécifiquement les systèmes multi-agent et enfin l'animation par ordinateur. Chaque communauté s'intéresse à la modélisation du comportement humain mais pour des problématiques assez différentes, même si le centre d'intérêt est devenu au fur et à mesure des années dans les trois communautés de tenter de proposer une architecture unifiée pour la modélisation du comportement humain. En animation par ordinateur, à l'instar de l'approche des chercheurs en sciences cognitives, il ne s'agit pas d'un cadre permettant d'étudier le comportement en lui-même, mais d'un atelier de modélisation de comportements crédibles et capables d'être exécutés en temps réel. Un certain nombre de modèles développés par ces communautés ont été présentés dans ce document. Deux thématiques ont ensuite été développées séparément : il s'agit de l'approche écologique de la perception et de l'usage des systèmes de classificateurs pour la modélisation d'acteurs virtuels.

L'évolution observée ces toutes dernières années concerne le couplage avec les travaux menés en réalité virtuelle. Ceci doit nous permettre de nous atteler à l'objectif ambitieux consistant à analyser l'activité d'un ou plusieurs humains réels en immersion interactive dans la boucle de simulation et en même temps à modéliser

l'activité des humains virtuels autonomes évoluant dans ce même monde virtuel. L'idéal est de pouvoir offrir une qualité d'interaction entre humains réels et virtuels la plus évoluée et transparente possible pour les utilisateurs.

La forte incscription de l'individu dans l'environnement demande de développer simultanément les modèles de comportement humain avec les modèles de leur environnement. La complexité d'un tel modèle, incluant l'Homme dans la boucle par la triple médiation de la perception, le traitement des informations et l'action, demande de faire certaines hypothèses sur les modèles en interaction. L'hypothèse, selon laquelle les phénomènes sont modélisés en tant qu'entités autonomes interagissant par la médiation d'un milieu qu'elles structurent et façonnent elles-mêmes, offre une base de travail pour l'articulation des travaux sur la modélisation des humains virtuels. Nous possédons ainsi les prémices d'une méthodologie constructive de modélisation des systèmes complexes incluant l'Homme dans la boucle, permettant l'expérimentation des modèles tout au long de la modélisation par leur simulation participative. Cette méthodologie place la réalité virtuelle comme une discipline charnière entre les sciences humaines, les sciences du vivant, les sciences exactes et les sciences de l'ingénieur. Seule un travail pluri-disciplinaire permettra de réussir une modélisation crédible du comportement humain dans ce domaine de la réalité virtuelle avec ces contraintes fortes d'interaction et d'immersion multi-sensorielle.

### **Conclusion**

Il est à noter la diversité des sujets traités par des acteurs ne faisant pas tous partie de la même communauté, même si le cœur se situe au sein de la communauté dite de l'informatique graphique. Aucun laboratoire de recherche dans le monde n'a aujourd'hui la capacité de traiter l'ensemble des thématiques de recherche concernant l'humain virtuel, même si certains en ont fait le thème fédérateur de leur équipe comme Daniel Thalmann et Nadia Magnenat-Thalmann en Suisse et Norman Badler aux Etats-Unis. Il n'existe aujourd'hui en France aucun programme de recherche, qui permette de confronter et de mettre en commun l'ensemble de ces travaux, alors que l'humain virtuel devient un élément central dans un certain nombre de domaines applicatifs et tandis que l'Allemagne a lancé il y a un an un grand programme de recherche national sur l'humain virtuel.