



# Laboratoire TIMC - IMAG

UMR 5525

Université Joseph Fourier – CNRS – VetAgro Sup

*Techniques de l'Ingénierie Médicale et de la Complexité -  
Informatique, Mathématiques et Applications, Grenoble*

Yohan Payan

Tél : +33(0)4 56 52 00 01

Fax : +33 (0)4 56 52 00 55

Secr.: +33 (0)4 56 52 00 07

[Yohan.Payan@imag.fr](mailto:Yohan.Payan@imag.fr)

La Tronche, le 7 janvier 2012

## **Rapport sur le manuscrit d'HDR de Monsieur Christian Duriez**

**« Real-time haptic simulation of medical procedures involving  
deformations and device-tissue interactions »**

**Université Lille 1**

Le manuscrit HDR de Christian Duriez s'intitule « *Real-time haptic simulation of medical procedures involving deformations and device-tissue interactions* ». Il est constitué de 165 pages réparties en quatre chapitres et une liste de publications. L'introduction du manuscrit présente les objectifs de recherche que poursuit Christian Duriez depuis une dizaine d'années et qui portent sur la proposition de méthodologies et la définition d'outils pour la simulation temps réel de procédure médicales impliquant la modélisation des déformations des tissus et leurs interactions avec le geste chirurgical. L'auteur propose de retenir l'application phare de modélisation du foie pour une assistance à la chirurgie hépatique comme trame d'illustration aux différents chapitres du manuscrit.

Le premier chapitre revient sur la problématique de modélisation biomécanique temps-réel des structures déformables avec un résumé de l'état de l'art et la présentation des techniques proposées par Christian Duriez et ses étudiants. Le second chapitre concerne la gestion des conditions aux limites et interactions des modèles biomécaniques avec l'environnement chirurgical. Le chapitre 3 décrit la prise en compte du rendu haptique et les propositions pour fournir un rendu temps réel compatible avec une utilisation clinique. Enfin, le dernier chapitre du manuscrit illustre les différentes techniques élaborées par Christian Duriez sur plusieurs applications médicales, en complément à la simulation du geste de chirurgie hépatique.

## I) Carrière et vie scientifique du candidat

Après avoir soutenu une thèse de science en 2004 à l'université d'Evry, Christian Duriez a effectué un stage post-doctoral au CIMIT de Boston (USA) puis a été recruté comme Chargé de Recherche INRIA en 2006 dans l'équipe ALCOVE du Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille (LIFL, UMR Lille1/CNRS 8022). Depuis l'an dernier, Christian Duriez co-dirige avec Stéphane Cotin l'équipe SHAMAN (Simulation in Healthcare for Advanced Medical ApplicationNs) du LIFL.

Au sein de ce laboratoire, Christian Duriez a participé à l'encadrement de quatre doctorants qui ont déjà soutenu et est actuellement impliqué dans la co-direction de huit thèses. Il assume depuis 2009 la responsabilité du Colloquium POLARIS qui vise à fédérer la communauté STIC Lilloise autour du Centre de Recherche INRIA, du LIFL et du Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal (LAGIS).

Christian Duriez participe par ailleurs à plusieurs contrats de recherche nationaux et européen et dispense une soixantaine d'heure de cours par an au sein de l'Institut Catholique d'Arts et Métiers de Lille. Il est co-auteurs d'une dizaine d'articles de revues internationales et/ou de chapitres d'ouvrages, et d'une trentaine d'articles de conférences avec comités de sélections. Enfin, Christian Duriez est co-inventeur de deux brevets.

## II) Synthèse des activités de recherche

Il me semble tout d'abord important de souligner l'effort qu'a réalisé Christian Duriez dans la rédaction d'un manuscrit qui présente et résume parfaitement bien l'ensemble de ses contributions pour le domaine de la simulation temps réel de procédures médicales. Il aurait pu se contenter de regrouper et commenter certains de ses articles ; il a au contraire fourni un manuscrit HDR dense qui représente une excellente description des apports des équipes du LIFL dans le domaine.

De manière générale, il faut noter que les objectifs que se sont fixés Christian Duriez et ses étudiants représentent sans doute ce qu'il y a de plus complexe dans le champ de la simulation pour les procédures médicales. En effet, viser une utilisation per-opératoire de modèles biomécaniques non-linéaires en interaction avec les outils du chirurgien implique des contraintes de modélisation visco-hyper-élastique et d'implémentations temps-réels qui font qu'au jour d'aujourd'hui, très peu d'équipes dans le monde sont capables de proposer des solutions fiables et validées. La force de Christian Duriez et de ses collègues du LIFL est d'avoir su conserver tout l'historique et la méthodologie de calculs rapides et d'optimisations des implémentations dont a fait preuve la communauté de l'Informatique Graphique, tout en s'appuyant sur les bases théoriques fortes de la Mécanique des Milieux Continus.

Je me contenterai de commenter les parties « modélisation biomécanique et applications médicales » qui relèvent plus de mon champ de compétences (les deux autres rapporteurs couvrant les autres domaines du travail). En l'occurrence, j'ai particulièrement apprécié les solutions de parallélisation des solveurs linéaires nécessaires à la modélisation des objets déformables, couplées à des techniques de préconditionnement asynchrone permettant de simuler de manière équivalente des objets homogènes et non-homogènes (comme c'est le cas pour le foie, avec la présence des réseaux de vaisseaux sanguins). Christian Duriez et ses étudiants ont également apporté des contributions significatives pour la génération et la simplification des contacts, avec la proposition d'une méthode de détection des collisions reposant sur le processeur graphique et basée sur la détermination en temps réel des volumes

d'intersection entre les objets déformables. Il est également à noter l'intérêt du calcul des forces de réponse aux contacts compatible avec les contraintes temps réel ainsi que les solutions pour prendre en compte les changements topologiques de type « découpe des organes ». Enfin, j'ai beaucoup apprécié les techniques originales proposées pour coupler un modèle volumique avec des modèles de type poutres, avec par exemple des applications sur la modélisation de l'arbre vasculaire hépatique et son couplage avec le parenchyme.

### III) Perspectives de recherche

Malgré tous les résultats extrêmement encourageants présentés dans son manuscrit, Christian Duriez reste conscient des limites actuelles des méthodes, algorithmes et dispositifs développés, et propose un ensemble de pistes prometteuses qu'il souhaite suivre dans les années qui viennent. Il évoque par exemple l'étude plus poussée de la combinaison des approches multi-grilles avec ses techniques de préconditionnement et/ou ses algorithmes de réponse aux contacts. Il cite également des efforts qui seront faits pour intégrer des modèles basés sur des lois de comportement plus complexes et pour travailler sur des méthodes inverses afin de paramétrer la mécanique patient-spécifique des tissus mous. Pour cela, une collaboration prometteuse s'est mise en place avec le Laboratoire de Mécanique de Lille. L'objectif à terme étant d'intégrer les retours haptiques à des modèles hyper-élastiques patients-spécifiques des tissus mous.

Christian Duriez revient dans le dernier chapitre du manuscrit sur la liste impressionnante des applications cliniques sur lesquelles il travaille : neuro-radiologie interventionnelle, arythmie cardiaque, stimulation cérébrale profonde, chirurgie de l'oreille moyenne, pose d'implant sur le système pelvien, ablation percutanée de tumeurs hépatiques. Il relève alors les pistes de recherches à suivre pour avancer sur ces applications cliniques en mettant en avant le travail à réaliser pour *valider* les méthodes numériques mises en jeu ainsi que les résultats fournis par les simulations, ce qui prouve qu'il reste parfaitement connecté à la réalité médicale qui impose comme prérequis ces étapes de validation.

Enfin, je souhaiterais noter le travail remarquable effectué par Christian Duriez et ses collègues autour de l'élaboration de la plateforme SOFA, travail qui se transforme aujourd'hui en l'incubation de la jeune pousse InSimo. Ce gros effort d'investissement au service de la collectivité scientifique se traduit par une activité commerciale prometteuse dans laquelle Christian Duriez aura toute sa place à jouer.

En conclusion, comme vous l'aurez compris, j'é mets un avis très favorable à la présentation des travaux de recherche de Christian Duriez pour l'obtention du diplôme d'Habilitation à Diriger les Recherches de l'Université Lille 1.



Yohan Payan  
Directeur de Recherche CNRS  
Laboratoire TIMC-IMAG