

Design et Contrôle Optimal de Dispositifs Médicaux

Responsable du projet :

Dominique Pelletier
CERCA
Professeur titulaire
École Polytechnique
Campus de l'Université de Montréal
Tél. : (514) 340-4711 poste 4102
Courriel : dp@meca.polymtl.ca

Chercheurs principaux :

Dominique Pelletier	Membre associé CERCA - Membre réseau ÉTOILE - École Polytechnique
André Garon	Professeur titulaire - Membre associé CERCA - Membre associé IGBM - Membre réseau ÉTOILE - École Polytechnique
Michel Delfour	Département de mathématiques et de statistiques - Membre CRM Université de Montréal

Le projet proposé se distingue par son interdisciplinarité en génie, en mathématiques, ainsi qu'en sciences de la vie. Il se distingue également par son axe d'analyse mécanique des biofluides et de design d'ingénierie qui lui est associé.

Type de projet

Nouveau projet d'une durée prévue de deux ans impliquant des chercheurs de l'École Polytechnique et du département de mathématiques de l'université de Montréal.

causé aux globules rouges par le dispositif. Le second mode est la formation de caillots sanguins due à la présence du dispositif et les perturbations hémodynamiques qu'il entraîne. L'optimisation d'un tel système d'assistance ventriculaire, ou encore d'un tuteur coronarien ou d'un filtre veineux, repose sur un modèle numérique capable de prédire précisément le taux d'hémolyse et le niveau de thrombose reliés à l'utilisation de dispositifs cardio-vasculaires. Il doit aussi simuler les perturbations hydrodynamiques sanguines locales qu'ils engendrent.

Ce projet vise la simulation du comportement d'une variété de fluides physiologiques à comportement nonlinéaires dans de tels dispositifs. Les écoulements sont caractérisés par un nombre de Reynolds faible et des nombres de Péclet élevés. Dans de tels cas, l'utilité clinique de tels dispositifs dépend de notre habilité à optimiser la forme de ceux-ci.

Méthodologie

La première étape consiste à établir un modèle fiable pour l'écoulement sanguin à travers le dispositif. Nous utiliserons les méthodes adaptatives développées à Polytechnique car elles permettent d'ajuster la discrétisation afin de prédire le cisaillement avec la précision requise pour les études d'hémolyse. L'étape suivante consiste à prendre en compte l'historique et le temps d'exposition des éléments sanguins au cisaillement. Nous proposons un modèle pour déterminer la probabilité d'hémolyse comme une variable de champ à l'intérieur du domaine de calcul et pouvant être utilisée dans un processus d'optimisation de la forme du dispositif

Retombées

Les travaux proposés s'inscrivent dans le cadre de deux projets importants menés en collaboration avec l'Institut de Cardiologie de Montréal : le design optimal d'une assistance ventriculaire (projet CARDIANOVE) et le design optimal de tuteurs coronariens. Le design final de ces dispositifs s'appuiera sur les méthodes de sensibilités et de contrôle optimal pour déterminer les paramètres clé contrôlant leur comportement.

Volet 2 : Calcul des sensibilités appliqué aux biofluides

Problématique

Le but de ce volet est d'étendre nos techniques adaptatives à l'analyse de sensibilités et d'incertitudes d'écoulements biofluides complexes. Cet effort fournira la théorie et les techniques pour produire des solutions précises et indépendantes du maillage ainsi qu'une quantification des erreurs dues à des incertitudes dans les données du problème: calcul de l'incertitude de la prédiction du flux coronarien de réserve suite à une mesure in vivo de la vitesse proximale et la reconstruction numérique de la vitesse et

(condition limite, une constante d'un modèle ou un paramètre de forme). Les sensibilités trouvent un usage en design optimal, mais elles ont aussi une utilité intrinsèque car elles forment les fondements de plusieurs types d'analyses : analyse de sensibilités de systèmes, d'incertitude et d'éléments finis stochastiques ... Nous développerons des estimateurs d'erreurs et des stratégies adaptatives pour traiter l'écoulement et ses sensibilités à l'intérieur de dispositifs médicaux.

La méthode des sensibilités de Borggard présente aussi des avantages marqués pour le design optimal de systèmes régis par des écoulements transitoires et périodiques : écoulement du sang. Contrairement aux méthodes adjointes les équations des sensibilités s'intègrent en temps en parallèle avec l'écoulement. Il en résulte des économies de calcul substantielles. De plus, l'approche proposée élimine le calcul délicat des sensibilités par rapport aux pas de maille et aux pas de temps. Elles évitent entièrement la différentiation des limiteurs et autres schémas de stabilisation qui ne font pas partie du procédé physique étudié. Cette approche enrichira les bases théoriques et techniques en contrôle optimal (spécialité de M. Delfour) qu'on utilisera dans le présent projet pour les cas transitoires.

Nous appliquerons ces méthodes à l'analyse, à l'optimisation et au contrôle des perturbations transitoires engendrées par la présence de dispositifs médicaux. Le couplage avec une analyse d'incertitude permettra d'étudier la faisabilité des mécanismes de contrôle pour des cas réalistes comportant des incertitudes de paramètres.

Retombées

Les résultats prendront la forme d'un savoir-faire qui sera transporté et utilisé pour renforcer l'expertise dans les domaines d'applications du volet 1.

Importance du projet

Aux États-Unis, l'industrie des dispositifs médicaux totalise des ventes d'environ 40 milliards \$ et emploie 270000 personnes. Au Canada, l'industrie de la biotechnologie a aussi connu une forte croissance passant à des ventes de 2,9 milliards \$ en 1994 à 4,1 milliards \$ en 1996, avec une croissance prévue de 20% par an dans le proche avenir.

Au Québec, tout comme dans le reste du Canada, les méthodes traditionnelles de conception ne permettent plus de progresser, ce qui freine d'autant le développement de l'industrie et l'empêche d'atteindre son plein potentiel de compétitivité à l'échelle internationale. Ainsi, notre capacité d'innovation industrielle de nouveaux dispositifs médicaux s'en trouve considérablement diminuée alors que le nombre de compagnies en biotechnologies au Canada est passé de 1110 à 1229 de 1995 à 1997.

En biofluides, soulignons que de nombreux liens de collaboration existent déjà avec l'ICM (R.Mongrain, Dr. M. Carrier, Dr. J.C. Tardif), avec l'Institut de recherche clinique (IRCM) (L.G. Durand, G. Cloutier), ainsi qu'avec plusieurs chercheurs chevronnés des universités McGill (R.Corns, E. Pdgorsak), Toronto (C.R. Ethier), Cornell (K. Kandarpa), Poitiers (R.Perreault), Marseille (R. Rieu), Liège (V. Maquet) et Eindhoven (M. Hirshberg).

Dans le domaine du calcul des sensibilités plusieurs liens existent déjà avec l'IMI (J.F. Hétu), de même qu'avec plusieurs chercheurs de l' Université de Virginia Tech (J. Borggaard, J.A. Burns) et de l'Indiana University (R. Bramley)