

PROPOSITION DE THESE 2011/2014

(financement validé par la région Ile de France, voir page 6)

Intitulé de la thèse

**Optimisation robuste
et application à la reconstruction du réseau artériel humain.**

Laboratoire d'accueil pour la thèse

Intitulé du laboratoire d'accueil :

Laboratoire de Mathématiques de Versailles (LMV)

Adresse : Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, LMV
45 avenue des Etats Unis, 78035 VERSAILLES

Equipe d'accueil doctorale:

Ecole doctorale « Sciences et Technologies de Versailles » (STV)

Responsable scientifique

Directeur / Directrice de thèse

Nom : Laurent DUMAS

Qualité : Professeur des Universités

Adresse : Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, LMV,
45 avenue des Etats Unis, 78035 VERSAILLES

Téléphone : 01 39 25 30 66

Télécopie : 01 39 25 46 45

E-mail : laurent.dumas@uvsq.fr

Page web : <http://www.math.uvsq.fr/~dumas>

Contexte du projet :

Il s'agit d'un projet multidisciplinaire faisant intervenir des mathématiciens, des physiciens et des équipes médicales. Il s'effectuera principalement au sein du Laboratoire de Mathématiques de Versailles.

Ce projet comprend une partie de modélisation, de simulation numérique des équations aux dérivées partielles (EDP), d'optimisation et de validation des modèles en milieu médical.

Objectifs du projet :

Dans le domaine médical, la simulation numérique est appelée à devenir un nouvel outil important pour l'aide au diagnostic. Cependant, elle ne sera adoptée par le corps médical que si les résultats sont robustes vis à vis des mesures expérimentales et tiennent compte de la spécificité de chaque patient. A partir de mesures expérimentales réalisées par l'Hôpital Européen Georges Pompidou avec le principe d'echotracking (voir Figure 1), l'objectif principal du projet vise à reconstruire un réseau artériel numérique complet pour un patient donné. L'approche choisie consiste à utiliser des modèles fluides-structures simplifiés et à déterminer les paramètres du réseau (viscosité du sang, rigidité des artères, etc...) à l'aide d'un algorithme d'optimisation robuste.

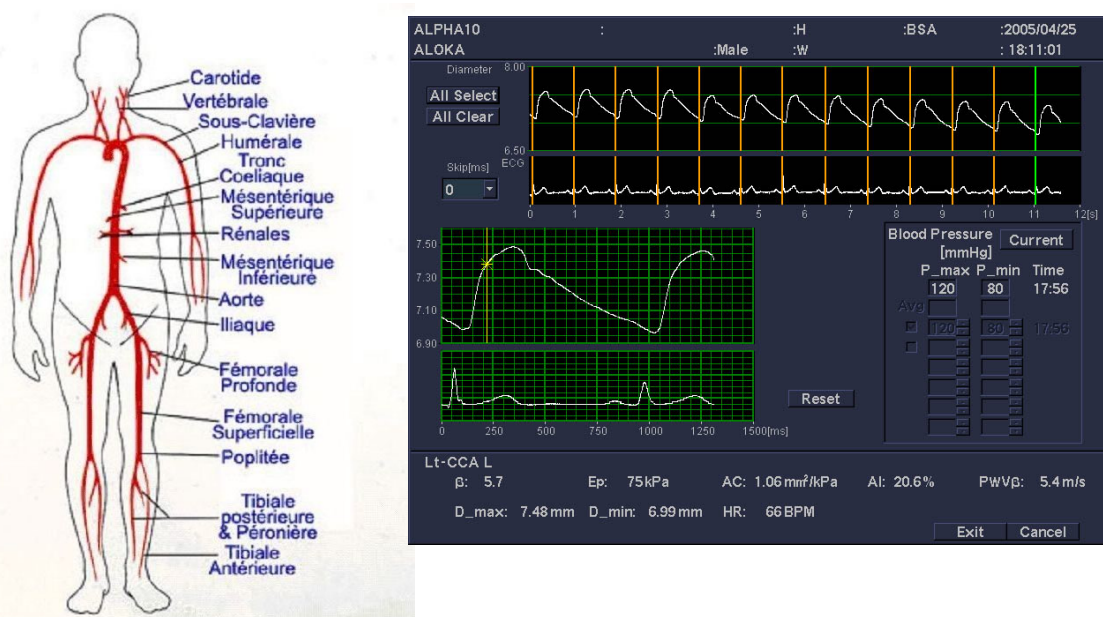


Figure 1 : réseau artériel (gauche) et mesures expérimentales par echotracking (droite)

Les premiers résultats obtenus par L. Dumas ([5], [6]) ont permis de reconstruire numériquement le réseau des membres inférieurs de plusieurs patients. Cependant, l'extension à un réseau complet ainsi que l'identification robuste des paramètres, indispensables avant toute utilisation clinique, restent encore un challenge non résolu.

A terme, l'objectif est d'offrir au praticien un outil permettant un diagnostic précoce et fiable des risques cardiovasculaires pour tout patient simplement à partir d'un examen non invasif, en ambulatoire et peu coûteux comme l'échotracking. En effet, l'évaluation des caractéristiques mécaniques des parois et de la viscosité du sang, rendus possibles par cette approche numérique, sont des paramètres essentiels à la détection précoce de maladies mais très difficile d'accès expérimentalement pour les médecins.

Résultats attendus :

Afin de disposer d'un modèle simple et peu coûteux, on suppose ici que chaque artère est à symétrie cylindrique. Pour chaque artère, le modèle fluide-structure considéré a alors pour inconnues la section d'une artère $A(t,z)$, et le débit moyen du fluide $Q(t,z)$.

En écrivant les relations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement, A et Q sont solutions du système d'EDP suivant [2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{A}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + K_r \frac{Q}{A} = 0 \end{cases}$$

où la pression est déduite d'une loi de fermeture, en l'occurrence :

$$P(t, z) - P_{ext} = \beta(A^{\frac{1}{2}} - A_0^{\frac{1}{2}})$$

Le réseau est ensuite reconstitué en ajoutant des conditions de bifurcations entre chaque artère, des conditions aux limites ainsi que des conditions initiales.

Dans l'expression de la loi de pression, β représente le paramètre principal du modèle et est lié à la rigidité de l'artère à la position z (β peut donc être dépendant de z dans le cas d'une artère pathologique).

Plusieurs travaux préliminaires sur de tels modèles ont déjà été réalisés [1] [3] [4] [5]. Cependant, aucun n'aborde le problème de la pertinence des résultats par rapport à d'éventuels résultats expérimentaux.

Le premier travail dans ce sens effectué par L. Dumas [6] a permis de réaliser les premières reconstructions numériques de réseaux simples, par exemple un membre inférieur, basées sur des mesures expérimentales par échotracking. Cependant, aucune information de robustesse sur les paramètres optimaux n'est fournie, ce qui rend le résultat encore non applicable pour une utilisation clinique. De plus, il reste à étendre de telles simulations à des réseaux d'artères plus complets, à améliorer la modélisation pour certaines artères spécifiques et à gérer les contraintes associées au temps de calcul et au nombre de degrés de liberté supplémentaires.

Le travail consistera ainsi à :

- (i) construire un modèle du réseau artériel humain complet (le corps humain comporte 55 artères) prenant en compte les spécificités des certaines artères, par exemple, la courbure de l'artère aorte.
- (ii) simuler numériquement ce réseau en construisant des méthodes par éléments finis suffisamment précises afin de prendre en compte en particulier d'éventuelles discontinuités de rigidité et de limiter les phénomènes de réflexion partielle de l'onde de pression aux bifurcations.

(iii) construire une méthode de résolution du problème inverse associé, à savoir être capable d'adapter le modèle avec les mesures expérimentales de section et de débit en certains points du réseau. Cette partie nécessitera le développement de nouvelles méthodes d'optimisation robuste, performantes et peu coûteuses.

(iv) valider le modèle précédent à partir de mesures, d'ores et déjà disponibles, effectuées sur différents patients avec le procédé d'echotracking. Cette phase s'effectuera en collaboration étroite avec le centre de recherches cardiovasculaires PARCC de l'Hôpital Georges Pompidou où ont été effectuées les mesures et pourra déboucher sur la réalisation d'un logiciel d'aide au diagnostic thérapeutique des maladies cardiovasculaires.

Bibliographie /état de l'art :

[1] P.Y. Lagrée, An inverse technique to deduce the elasticity of a large artery, European Physical Journal, Applied Physics 9, pp. 153-163 (2000).
 [2] L. Formaggia, F. Nobile and A. Quarteroni, A One Dimensional Model for Blood Flow: Application to Vascular Prosthesis, Lecture Notes in Computational Science and Engineering, 137-153, (2002)
 [3] S.J. Sherwin, L. Formaggia, J. Peiro, V. Franke, Computational modelling of 1D blood flow with variable mechanical properties and its application to the simulation of wave propagation in the human arterial body, Int. Journal for Num. Meth. in Fluids, 43, 673-700, (2003).
 [4] V. Martin, F. Clément, A. Decoene and J.F. Gerbeau, Parameter identification for a one dimensional blood flow model, Esaim Proc., 14, 174-200. (2005)
 [5] L. Dumas, An optimal model of blood flow in arteries, proceedings of ENGOPT (2008).
 [6] L Dumas "Reconstruction de l'arbre artériel humain à partir de mesures non invasives", proceedings des 30èmes journées de l'hypertension artérielle, Paris (décembre 2010).

Plan de la recherche et calendrier

On indique ici l'avancée envisagée au terme des trois années du projet. A noter cependant que chaque étape pourra être démarrée avant la fin de la précédente.

(i) Au terme de la première année :

Réalisation d'un modèle numérique du réseau artériel du corps humain :

- réflexion sur la modélisation à employer,
- résolution numérique précise par éléments finis, validation numérique,
- choix et influence des conditions aux limites à imposer.

(ii) Au terme de la deuxième année :

Développement de nouveaux algorithmes d'optimisation robuste adaptés au problème.
 Résolution du problème d'optimisation robuste pour différents cas simplifiés.
 Réflexion sur la précision des résultats, sur les choix de modélisation effectués.

(iii) Au terme de la troisième année :

Validation du modèle à partir de données expérimentales disponibles pour différents patients.
 Réalisation d'un logiciel complet permettant au médecin de diagnostiquer, au terme d'un examen d'echotracking, les risques de maladies cardiovasculaires chez ce patient.

Collaborations envisagées

Deux partenaires principaux seront impliqués dans ce projet, à travers des discussions régulières voire des travaux communs, sur l'aspect expérimental et la modélisation physique du problème :

- (i) Centre de Recherche Cardiovasculaire PARCC de l'Hôpital Européen Georges Pompidou (dont S. Laurent, P. Boutouyrie) pour l'aspect mesures expérimentales et interprétation des résultats.
- (ii) Institut Jean le Rond d'Alembert, UPMC (dont J. Fullana, D. Lucor, M. Rossi, P.Y. Lagree) pour l'aspect modélisation et quantification des incertitudes.

D'autres collaborations ont déjà été initiées sur ce thème et pourront être mises à profit durant cette thèse, parmi lesquelles :

- MAP5, Université Paris Descartes (dont A. Raoult, N. Meunier)
- Applied Math Department, Brown University, (dont L. Grinberg)

Modalités de candidature

Les étudiants désireux de candidater doivent être titulaires d'un Master ayant une composante forte en mathématiques appliquées et envoyer à laurent.dumas@uvsq.fr un CV accompagné d'une lettre de motivation.

Date limite de candidature : **15 Juin 2011**

Coût de l'allocation de recherche et rémunération du doctorant /de la doctorante :

	Allocataire salarié
Statut salarié	
Coût total chargé de l'allocation (<u>salaire brut chargé mensuel</u>)	2.700€
Financement intégral de la Région Ile-de-France	2.700€
Montant brut mensuel de l'allocation versée à l'allocataire (<u>salaire brut</u>)	1 840,00 €
Montant net mensuel de l'allocation versée à l'allocataire (<u>salaire net</u>)	1 498,86 € <i>il pourra être ajouté à ce montant une participation pour les frais de déplacement en transports en commun et pour le supplément familial selon les cas</i>
Droits ouverts par l'allocation (indemnités de perte d'emploi, chômage, cotisation retraite...)	Oui

Coût environné de l'allocation doctorale régionale : Le financement régional couvre également, dans la limite de 5000 € supplémentaires par allocataire et pour la durée de l'allocation, des actions destinées à améliorer les conditions de réalisation du travail de recherche (frais de formation, participation à des colloques, frais de déplacements, traductions et publications, etc.).

Rappel :

Salaire net + cotisations salariales = **salaire brut**

Salaire brut + cotisations patronales = **salaire brut chargé**