

## Estimation d'écoulement à partir de données IRM-4d

Armando BARRERA, CASIS - Dijon

Jean-Joseph CHRISTOPHE, CASIS - Dijon

Miguel A. FERNANDEZ, Sorbonne Université, CNRS, Inria - Paris

Romain LEMORE, Sorbonne Université, CNRS, Inria / CASIS - Paris / Dijon

Damiano LOMBARDI, Sorbonne Université, CNRS, Inria - Paris

You ZHOU, ICMUB - Dijon

Plusieurs paramètres hémodynamiques sont corrélés à des pathologies cardiovasculaires. Par exemple les valves aortiques bicuspidées (BAV en anglais) sont une malformation congénitale qui touche environ 2% de la population, caractérisée par la présence de deux feuillets au lieu de trois. Cette pathologie impacte fortement l'écoulement dans l'aorte et est fortement corrélée à une augmentation du diamètre de celle-ci ainsi qu'à une augmentation de la contrainte de cisaillement sur la paroi (Wall Shear Stress - WSS en anglais). Une bonne estimation des quantités d'intérêt, comme le WSS pourrait aider au diagnostic de pathologies en contribuant à définir des critères fiables.

Une technique d'IRM en contraste de phase, l'IRM de flux 4D, permet d'extraire la vitesse des tissus (et en particulier du sang). Estimer directement les quantités d'intérêt à partir des données comporte des limitations importantes car les données sont bruitées et les quantités d'intérêt dépendent potentiellement des dérivées du champ de vitesse. Afin d'obtenir une meilleure estimation, il est naturel d'utiliser un modèle mathématique décrivant l'écoulement sanguin. Il faut alors le calibrer : déterminer les conditions initiales, les conditions aux bords et les paramètres afin que les solutions du modèle soient proches des champs de vitesse observés. Nous allons ici nous concentrer sur les conditions aux bords en supposant les parois fixes. Souvent, les conditions d'entrée sont imposées sur la base des mesures et les conditions de sortie sont décrites par des modèles 0-d paramétriques (Windkessel). Nous allons essayer d'estimer les conditions aux bords de manière non-paramétrique, en utilisant une approche de type continuation unique[1]. Dans cette approche l'idée est de résoudre le problème d'optimisation suivant :

$$\min_{NS(u,p)=0} \frac{1}{2} \| u - u_{meas} \|_{\gamma}^2 \quad (1)$$

Où  $NS$  correspond à notre modèle : Navier-Stokes incompressible et  $\| \cdot \|_{\gamma}$  une norme à poids qui définit la confiance que l'on a sur les données. En se basant sur la nature du bruit de l'IRM de phase, nous proposons une norme à poids qui permet de mieux prendre en compte l'incertitude que nous avons sur les mesures à différents endroits du vaisseau sanguin. Le problème est discrétisé en utilisant la méthode des éléments finis. Nous allons discuter des différentes formulations possibles du problème d'estimation en temps ainsi que des propriétés de stabilité de la méthode.

Plusieurs cas test numériques seront montrés, basés sur des données d'IRM 4D.

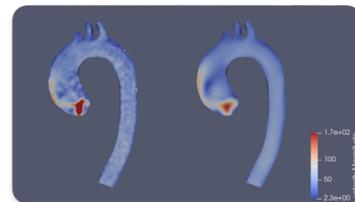


FIGURE 1 – Estimation de la vitesse dans l'aorte, avec à gauche l'image IRM interpolée sur le maillage et à droite la simulation correspondante avec  $\| \cdot \|_{\gamma} = \gamma \| \cdot \|$

[1] M. Boulakia, E. Burman, M. A. Fernández, C. Voisembert. *Data assimilation finite element method for the linearized Navier–Stokes equations in the low Reynolds regime*. Inverse Problems, **36(8)**, 085003, 2020. doi :10.1088/1361-6420/ab9161.