

Résumé

Numerical fluid biomechanics has proven to be an efficient tool for understanding vascular diseases including atherosclerosis. Studying mechanical phenomena taking place in carotid artery remains a scientifically relevant problem and can help clarify the association between blood flow behavior and the formation and rupture of atheromas. The presence of atheromas, usually in regions of high curvatures, led to a widely accepted hypothesis that local loads of hemodynamics play an important role in atherogenesis. It also causes alterations to the systemic behavior such as perturbations to the flow, stress distributions at the wall and particularly the Wall Shear Stress (WSS). In other words, hemodynamics influences the progression of atherosclerosis. In order to study the behavior of carotid artery, both CFD simulations and FSI simulations were performed on multiple geometrical models. The viscosity model and boundary conditions for the fluid domain were chosen by a preliminary analysis. Five structure models are taken into account: rigid walls with and without plaque, hyperelastic arterial structure without plaque and with a plaque simulated by a geometry restriction, hyperelastic structure with elastic plaque. The effects of the presence and absence of the plaque and of different geometry configurations was analyzed. WSS and blood flow parameters (pressure-velocity) were investigated at different locations of the vasculature with a special focus at the plaque and after plaque areas. Finally, a full FSI analysis was performed on a patient specific geometry and compared with the rigid wall results. The comparison between healthy and stenosed arteries showed different flow disruptions near the stenosis area resulting in a higher shear stress at the plaque zone and lower shear stress after-plaque zone. This result was observed both in the generic simplified geometry and in the patient specific geometry. The analysis of the structural response of the arterial tissue showed different displacement amplitudes between healthy and diseased arteries. It also showed a high frequency Fourier component of the displacement signal of the models stenosed artery: this signal slightly changes when the plaque mechanical properties are modified. The plaque rupture depends among others on the local WSS and the local strength of the tissue. On one hand LWSS zones are areas of vivid proliferation of atherosclerosis plaques, on the other hand the LWSS can promote inflammations and cause plaque instability too. The assessment of the vibrational behavior of the artery shows the emergence of low frequency modes when the plaque is present. The method proposed in this project is aimed to provide useful information for the future assessments of the dynamic response of carotid artery when more patient specific data is available and in-vivo experimental investigations are carried out.

- **Titre traduit**

Comportement biomécanique de l'athérosclérose carotide : Une approche numérique

-

Résumé

L'athérosclérose est une maladie qui atteint le système vasculaire. Elle se manifeste par la formation d'une plaque d'athérome au niveau de la couche intima de tissu artériel causant la rigidification et la paroi. La majorité des décès cardiovasculaire en Europe sont une conséquence de cette pathologie. En effet, une plaque d'athérome non stable, qu'on appelle aussi vulnérable, peut évoluer vers un stade avancé appelé sténose ou la lumière artérielle est réduite à un tel niveau que le sang ne peut plus irriguer les organes en aval. Dans le cas où la formation de la plaque a lieu au niveau des artères coronaires, il s'agit d'un risque d'arrêt cardiaque. Une autre conséquence de la présence d'une plaque dans le système vasculaire est sa possibilité de rupture et donc le relâchement de débris qui, transporté par le flux sanguin, sont capables d'obstruer les plus petits vaisseaux au niveau du cerveau causant des accidents cérébraux et par conséquent paralysie ou mort cérébrale. Le processus de formation de la plaque est très long et renforcé par la présence de substances telles que la nicotine ou Cholestérol LDL dans le sang. Quand ces substances s'introduisent dans le tissu artériel, elles peuvent causer une réaction inflammatoire en chaîne provoquant la génération et l'évolution de l'athérome. En général, l'athérosclérose est une maladie asymptomatique, ceci rend son diagnostic difficile aux premiers stades. En effet, le diagnostic s'effectue à la suite d'un malaise ou urgence médicale à l'aide d'outils d'imagerie médicale tels que IRM ou Echo-doppler. Pour toutes les raisons invoquées précédemment, cette pathologie ne cesse de susciter la curiosité de la communauté scientifique dans le but de la comprendre tout d'abord les phénomènes qui conduisent à l'occurrence et au développement de cette maladie ainsi que d'améliorer le diagnostic et le traitement. Dans ce sens, notre projet consiste à étudier les phénomènes mécaniques qui accompagnent la présence de la plaque au niveau de la bifurcation carotidienne, un site fréquent de formation d'athéromes. Afin d'effectuer cela, nous évaluons le comportement du fluide et de la structure artérielle par les méthodes volumes finis et éléments finis. Dans un premier temps, nous étudions la dynamique du sang pour des modèles simplifiés et réels avec et sans plaque. Ensuite, nous nous intéressons à l'effet de la déformation de la paroi sur l'hémodynamique. Finalement, nous étudions la réponse vibratoire de la structure artérielle afin de vérifier l'effet la présence de la plaque sur la déformation de la carotide.