



École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Monsieur Mohamed BOUNOUIB

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

Le Mardi 20 Juin 2023 à 15H au Grand amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

Design, Analysis and Optimization of a New Ventricular Assist Device

Devant le Jury composé de :

Président :

Pr. Samir BELFKIH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Mourad TAHA JANAN, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Co-Directeur de thèse :

Pr Mohamed Zeriab ES-SADEK, PH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Mohamed CHAOUI, PES, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, Meknès

Pr. Najat MOUINE, PES, Centre de cardiologie, Hôpital militaire Mohammed V, Rabat

Pr. Mohamed AGOUZOUL, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Examineur :

Pr. Hamid ABOUCHADI, PH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Invité :

Pr. Wajih MAAZOUZI, Expert en Chirurgie Cardiovasculaire



Résumé : Insuffisance cardiaque (IC), ou insuffisance cardiaque congestive (ICC), est une maladie progressive et chronique qui attaque le cœur et affaiblit ses muscles. En raison des muscles affaiblis, le cœur ne se contracte pas suffisamment pendant la systole, ce qui entraîne une diminution du débit cardiaque. La diminution du débit cardiaque signifie que le volume de sang pompé à chaque contraction a diminué, ce qui signifie que la quantité d'oxygène et de nutriments distribuée dans le corps a diminué, entraînant l'apparition de nombreux symptômes tels que la fatigue excessive, l'essoufflement, la perte d'appétit, les battements cardiaques irréguliers, les palpitations cardiaques et une prise de poids soudaine. Étant donné qu'il n'y a pas de remède pour l'insuffisance cardiaque pour le moment, certains traitements sont prescrits dans le but de ralentir ou de prévenir la progression de la maladie. Pour les patients atteints d'insuffisance cardiaque au stade précoce, certains traitements sont prescrits, tels qu'un mode de vie sain, des médicaments et des stimulateurs cardiaques implantables. En ce qui concerne l'insuffisance cardiaque en phase terminale, bon nombre de ces traitements ont peu d'effet sur le patient, le plus efficace étant la transplantation cardiaque. Cependant, cette option est limitée par le nombre d'organes donnés, qui est extrêmement faible par rapport au nombre de patients, entraînant de nombreux décès.

Les systèmes de soutien circulatoire mécanique se sont révélés être un substitut à la transplantation cardiaque en sauvant la vie de nombreux patients atteints d'insuffisance cardiaque à un stade avancé. Les systèmes de soutien circulatoire mécanique peuvent être classés en deux types, à savoir les cœurs artificiels totaux (CAT) et les dispositifs de support ventriculaire (DSV). De ces deux types, les DSV sont les dispositifs les plus préférables car le processus d'implantation est relativement simple et n'endommage pas irréversiblement le cœur. De plus, en raison de la simplicité de leur mécanisme, ils sont moins sujets aux pannes et leur compatibilité avec le sang est meilleure que celle des CAT.

Ce rapport présente deux nouveaux dispositifs d'assistance ventriculaire à flux axial: le Modèle A et le Modèle B. Les deux modèles ont été simulés dans différentes conditions de fonctionnement à l'aide d'ANSYS CFX. Tout d'abord, les deux modèles ont été évalués et comparés en termes d'augmentation de pression, de vitesse d'écoulement, de turbulence, d'efficacité hydraulique et de couple. Cette comparaison a montré la supériorité du Modèle B sur le Modèle A dans de nombreux domaines tels que l'augmentation de pression, l'efficacité hydraulique et la turbulence. Ensuite, les deux modèles ont été évalués et comparés en termes de compatibilité hématologique, en particulier en ce qui concerne l'hémolyse induite par cisaillement et l'activation des plaquettes induite par cisaillement. Les deux modèles ont également été comparés en termes de contrainte de cisaillement et de temps d'exposition, tous deux liés à l'hémolyse et à

la coagulation. La comparaison a montré la supériorité du Modèle B sur le Modèle A dans la plupart des domaines étudiés. Sur la base des résultats des premier et deuxième points, le Modèle B a été sélectionné comme sujet d'étude d'optimisation. Dans l'étude d'optimisation, 7 paramètres et 7 réponses ont été sélectionnés. Les paramètres de conception sélectionnés étaient tous liés au rotor et étaient l'angle des pales d'entrée, l'angle des pales de sortie, le nombre de pales, la vitesse de rotation, l'écart de dégagement, l'épaisseur des pales et la longueur du rotor. Les réponses à optimiser sont l'augmentation de pression, le couple, l'efficacité hydraulique, la contrainte de cisaillement, le temps d'exposition, l'indice d'hémolyse et l'état d'activation des plaquettes.

Mots-clés : Dynamique des fluides numérique, dispositif d'assistance ventriculaire, insuffisance cardiaque (IC), hémocompatibilité, hémolyse, thrombose, activation plaquettaire.

Abstract: Heart failure (HF), or congestive HF (CHF), is a progressive and chronic disease that attacks the heart and weakens its muscles. Because of the weakened muscles, the heart does not contract sufficiently during systole, resulting in decreased cardiac output. Decreased cardiac output means that the volume of blood pumped with each contraction has decreased, which signifies that the quantity of oxygen and nutrients delivered to the body has decreased, resulting in the appearance of a number of symptoms such as excessive fatigue, shortness of breath, loss of appetite, irregular heartbeat, heart palpitations and sudden weight gain.

Considering that there is cure for heart failure at present, some treatments are prescribed in an attempt to slow or prevent the progression of the disease. For early-stage heart failure patients, certain treatments are prescribed, such as a healthy lifestyle, medications and implantable pacemakers. As for end-stage heart failure, many of these treatments have little effect on the patient at best, so the most effective option is heart transplant. However, this option is restricted by the number of donated organs, which is extremely low compared to the number of patients, resulting in many deaths.

Mechanical circulatory support systems have proven to be a substitute to heart transplantation by saving the lives of many patients with heart failure in its advanced stage. Mechanical circulatory support systems can be categorized into two types which are total artificial hearts (TAHs) and ventricular support devices (VADs). Of these two types, VADs are the most preferable devices because the implantation process is relatively straightforward and does not damage the heart irreversibly. Moreover, because of the simplicity



of their mechanisms, they are less prone to malfunction and their compatibility with blood is better than that of TAHs.

This report introduces two new axial flow ventricular assist devices: Model A and Model B. Both models were simulated under different operating conditions using ANSYS CFX. First, the two models were assessed and compared in terms of pressure rise, flow velocity, turbulence, hydraulic efficiency, and torque. This comparison showed the superiority of Model B over Model A in many areas such as pressure rise, hydraulic efficiency and turbulence. Second, the two models were assessed and compared in terms of hematological compatibility, specifically with respect to shear-induced hemolysis and shear-induced platelet activation. The two models were also compared in terms of shear stress and exposure time, both of which are related to hemolysis and coagulation. The comparison shown the superiority of Model B over Model A in most of the areas studied. Based on the results of the first and second points, Model B was selected as the subject for the optimization study. In the optimization study, 7 parameters and 7 responses were selected. The selected design parameters were all related to the rotor and they are inlet blade angle, outlet blade angle, blade count, rotational speed, clearance gap, blade thickness, and rotor length. The responses to be optimized are pressure rise, torque, hydraulic efficiency, shear stress, exposure time, hemolysis index, and platelet activation state.

Keywords: Computational fluid dynamics, heart failure, hemocompatibility, hemolysis, thrombosis, platelet activation, ventricular assist device.