**Étude numérique de l’orientation de constituants d’un hydrogel lors du procédé d’impression 3D par extrusion**

**Résumé**

L'objectif principal de ce travail de thèse est de développer une stratégie numérique permettant de calculer et de prédire l'orientation des constituants induite par l'écoulement de l'hydrogel lors du processus d'impression 3D par extrusion. L'équation de Fokker-Planck dans l'approche cinétique a été utilisée pour décrire l'évolution de la fonction de distribution de probabilité (PDF) par rapport au temps, ce qui permet ainsi de représenter l'état réel d'une population des constituants, tels que des chaînes polymères ou des fibres renforcées, dans un volume élémentaire représentatif (VER). Cette approche a été couplée à une méthode de calcul de dynamique des fluides (CFD) pour calculer l'écoulement du fluide qui transporte les constituants. Des calculs numériques ont été effectués pour un canal plan comme un cas test de benchmark afin d'étudier les performances de simulation et l'effet qualitatif des paramètres dans le modèle. L’étude de l’orientation des constituants dans un canal plan est un bon exemple pour valider numériquement le modèle. Ensuite, le modèle développé a été étendu pour calculer l'orientation des constituants dans une géométrie plus complexe, à savoir un modèle 2D d'une seringue équipée d'une buse tubulaire. Cette configuration représente une application pratique du modèle, permettant ainsi d'étudier l'orientation des constituants dans un contexte réel de bioimpression 3D. Le modèle développé est utilisé pour la première fois dans le domaine de l'ingénierie tissulaire afin de modéliser le processus de bioimpression 3D par extrusion d'hydrogels. Ce modèle permet de résoudre un problème couplé entre les comportements rhéologiques réalistes et l'orientation des constituants induite par l'écoulement. La capacité de prédire l'orientation des constituants au sein de l'hydrogel pendant le processus d'extrusion pourrait fournir de nouvelles informations sur l'anisotropie structurelle des échafaudages, ce qui permettrait aux ingénieurs tissulaires d'obtenir un comportement cellulaire adéquat ainsi que des propriétés mécaniques spécifiques.

Mots-clés : Ingénierie tissulaire, impression 3D par extrusion, équation de Fokker-Planck, fonction de distribution de probabilité, comportement rhéologique.

**Numerical study of the orientation of hydrogel constituents during the 3D extrusion printing process**

**Abstract**

The main objective of this thesis work is to develop a numerical strategy for calculating and predicting the orientation of constituents induced by hydrogel flow during the 3D extrusion printing process. The Fokker-Planck equation in the kinetic approach has been used to describe the evolution of the probability distribution function (PDF) with respect to time, thus enabling representation of the real state of a population of constituents, such as polymer chains or reinforced fibers, in a representative elementary volume (REV). This approach was coupled to a computational fluid dynamics (CFD) method to compute the fluid flow which transports the constituents. Numerical calculations were carried out for a planar channel as a benchmark test case to study simulation performance and the qualitative effect of parameters in the model. The investigation of the orientation of constituents in a planar channel is a good example for numerically validating. Then, the developed model was extended to compute constituent orientation in a more complex geometry, namely a 2D model of a syringe fitted with a tubular nozzle. This configuration represents a practical application of the model, enabling constituent orientation to be studied in a real 3D bioprinting context. The model developed is being used for the first time in tissue engineering to model the process of 3D bioprinting by hydrogel extrusion. The model solves a couple of problems between realistic rheological behaviors and flow-induced constituent orientation. The ability to predict the orientation of constituents within the hydrogel during the extrusion process could provide new insights into the structural anisotropy of scaffolds, enabling tissue engineers to achieve appropriate cellular behavior and specific mechanical properties.

Keywords: Tissue engineering, 3D printing, Fokker-Planck equation, probability distribution function, rheological behavior.