



## Sujet de thèse 2022-2025

### Modélisation 3D, déformation et simulation

**Localisation :** Le poste est à pourvoir dans l'Équipe **IGG** (Informatique Géométrique et Graphique) du Laboratoire **ICube** (Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie), à Strasbourg

**Candidature :** intention à envoyer à D. Bechmann, professeure en informatique, à confirmer par CV et lettre de motivation (bechmann@unistra.fr)

**Contexte :** projet doctoral Déf-RV (Déformations pour la simulation et la Réalité Virtuelle) dont le financement par la Région GrandEst est acquis pour 3 ans.

**Compétences requises :** Le ou la candidat.e est diplômé.e d'un master informatique (mention assez bien) avec des compétences dans le domaine informatique graphique et plus précisément de la modélisation géométrique. Il ou elle possède les compétences lui permettant de traiter une problématique scientifique et de développer une application 3D (codage en C++ et graphique).

**Sujet :** La construction d'un maillage volumique pour un domaine géométrique donné est un problème complexe et abordé depuis de nombreuses années. La génération de maillages purement hexaédriques pour des domaines de forme quelconque est encore un problème ouvert. Dans le cadre de la thèse de Paul VIVILLE (soutenance en 2022), nous avons développé une chaîne de traitement pour la génération de maillages hexaédriques pour des domaines dont la forme peut être représentée par leur squelette. Dans le cadre du travail proposé dans cette thèse, une première tâche à réaliser sera d'obtenir le squelette à partir de la surface d'un objet 3D. Le squelette visé sera un graphe composé de segments (1D) et dans un second temps, composé de segments (1D) et de surfaces (2D).

Dans le cadre de ce projet de thèse c'est aux opérations de déformation d'objets 3D que nous voulons ensuite nous consacrer principalement. La déformation interactive de l'espace est une approche très populaire pour les tâches de modélisation de formes. Sous réserve d'une relation bien définie entre un outil contrôlé par l'utilisateur et l'espace ambiant, les transformations appliquées à l'outil affectent tout objet intégré dans cet espace, indépendamment de son modèle de représentation. Afin de fournir à l'utilisateur un outil qui offre un contrôle intuitif de la déformation, de nombreuses techniques existantes proposent de contrôler la localité de la déformation induite par chaque point de contrôle. Dans le flux de travail typique, l'utilisateur conçoit d'abord l'outil, qui est ensuite lié à l'objet dans un processus global. Dans ce contexte, la localité offerte par chaque point de contrôle est une propriété qui doit être satisfaite globalement par le processus de liaison. Cette contradiction peut conduire à un processus de liaison complexe qui peut avoir un impact négatif sur l'interaction avec l'utilisateur. De plus, si les degrés de liberté offerts par l'outil ne correspondent pas aux besoins des utilisateurs, tout le processus doit être recommencé. Dans ce projet, nous proposons d'utiliser des outils locaux qui contrôlent la déformation de sous-espaces locaux et qui peuvent être ajoutés, utilisés et supprimés pendant la session de déformation. Pour leur expressivité, leur versatilité et leur efficacité, nous

proposerons une formulation basée sur des outils de déformation indépendants du système de coordonnées choisi, et construits pour éviter les discontinuités entre la zone déformée et le reste de l'espace ambiant. En fonction de leur forme et de leur topologie, les outils de déformation multidimensionnels peuvent être contrôlés différemment. Les coordonnées de l'objet étant calculées à l'intérieur des outils, aucun temps de calcul ni aucune mémoire ne seront gaspillés.

En collaboration avec une postdoc de l'équipe, Pauline OLIVIER, cette seconde tâche sera d'établir une bibliothèque d'opérations de déformation. Les opérations de déformation de l'espace s'appuient typiquement sur des outils de déformation pouvant être des cages englobant tout l'objet ou une partie, ou des squelettes comme discuté précédemment. L'automatisation de la construction de cages globales (englobant tout l'objet) ou locales (sur une partie de l'objet) sera à réaliser afin de faciliter ensuite les opérations de déformation. Un travail sur les opérations de déformation sera également à concevoir au travers soit d'un nouveau modèle intégrant les propriétés requises soit en combinant différents modèles existant de manière appropriée.

In fine, étant donné un objet défini par sa surface obtenue par exemple par numérisation, l'ensemble des fonctionnalités citées devront permettre d'obtenir son squelette (1D ou 2D), de lui appliquer la chaîne de traitements existante pour décomposer son volume intérieur en hexaèdres, de le déformer pour l'adapter interactivement ou automatiquement. Le tout devra être intégré dans CGoGN la plateforme de modélisation géométrique de l'équipe IGG d'ICube.

**Application :** Les différents outils de déformation qui seront mis en place dans le cadre du logiciel CGoGN de la plateforme GAIA, permettront, à partir d'un maillage volumique initial, par exemple du cœur, d'obtenir ce maillage sur un cycle complet de battement du cœur grâce à une séquence adéquate de déformation.

En effet, nos outils de déformation seront conçus pour être interactifs ce qui permet en quelques instants de tester si le choix de déformation 3D est pertinent ou de le modifier le cas échéant, d'en tester d'autres, et de choisir en une heure d'essais-erreurs la meilleure séquence de déformation 3D pour obtenir la séquence de maillages volumiques du cœur.

Ce travail sera fait en collaboration avec des spécialistes de la chirurgie cardiaque et de la simulation mécanique dans le cadre de la thèse de science de Darmesh RAMLUGUN Dharmesh qui est chirurgien cardiaque aux HUS sous la direction du professeur de mécanique Yannick HOARAU, et celle du Pr Laurent Bonnemains, PU-PH. Dans ce travail, un protocole numérique allant de la segmentation de géométries issues d'imagerie de patients, la préparation de la géométrie en vue de son maillage et la simulation numérique de l'écoulement sanguin dans cette géométrie sera développé et nos futurs travaux sur les déformations 3D seront cruciaux pour obtenir la séquence de maillages volumiques en vue de la simulation pour analyser ces écoulements réalistes afin de comprendre l'impact de la modification anatomique sur l'évolution des cardiopathies congénitales. Selon la forme anatomique initiale de la pathologie, cette numérisation nous permettra *in fine* d'évoluer vers une simulation physique qui nous apportera une nouvelle vision géométrique de prise en charge chirurgicale ; cet élément dynamique sera un atout pour une prise en charge moderne et patient-adapté.

Ces avancées seront significatives car malgré les avancées scientifiques, la chirurgie des cardiopathies congénitales représente des défis quotidiens car la restauration d'une anatomie parfaite dépend souvent du degré d'atteinte embryologique. Même si cette thérapeutique restaure initialement une anatomie fonctionnelle dans une grande majorité de cas, des altérations secondaires peuvent progressivement apparaître et compromettre une vie normale adulte.

Cette collaboration est un exemple d'une retombée possible déjà prévue mais d'autres pourront survenir car nous sommes ouverts à toute application de simulation et de réalité virtuelle autour de nos modèles et outils de déformations 3D.