



**Laboratoire de Mathématiques et Informatique pour la Complexité et les Systèmes  
MICS**

**Présente**

## **L'AVIS DE SOUTENANCE**

**De Monsieur Mengchen WANG**

Laboratoire MICS, CentraleSupélec et LISN-CNRS, Université Paris Saclay, soutiendra publiquement ses travaux de thèse de doctorat intitulés :

**"Modèle distribué et asynchrone pour la simulation interactive en mécanique des fluides : vers une plateforme de jeu sérieux pour l'aide à la prise de décision"**

**Le lundi 20 décembre 2021 à 15h**

En salle de conférences du Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique (LISN) - Campus Universitaire bâtiment 507, Rue du Belvédère, 91400 Orsay

En distanciel en suivant le

lien : <https://eu.bbcollab.com/guest/18680c3ce78b4e80b6bec30664a8e9ad>

### **Membres du jury :**

Prenom NOM	Statut	Rôle
Pierre Boulanger	Professor, University of Alberta	Rapporteur
Florian de Vuyst	Professeur, UTC	Rapporteur
Samir Otmane	Professeur, Université d'Évry Paris-Saclay	Examineur
Bob-Antoine J. Menelas	Associate professor, Université du Québec à Chicoutimi	Examineur
Mathieu Muratet	Maitre de conférences, Sorbonne Université	Examineur
Frédéric Magoulès	Professeur, MICS, CentraleSupélec	Co-Directeur de thèse

Patrick Bourdot	Directeur de Recherche, LISN, CNRS, Université Paris-Saclay	Co-Directeur de thèse
Nicolas Férey	Maitre de conférences, LISN, CNRS, Université Paris-Saclay	Co-Encadrant

## Résumé :

C'est en grande partie grâce au **jeu** sérieux Fold'It, que les approches par simulation interactive et par **jeu** sérieux ont pu convaincre de leur pertinence dans le domaine de la biologie moléculaire. Ce **jeu** sérieux a été conçu pour adresser de manière ludique et collaborative la problématique du repliement de protéine. Au-delà de l'énorme potentiel pédagogique, un groupe de joueurs de Fold'It a réussi le challenge de trouver la structure d'une protéine du virus du VIH, démontrant l'utilité et l'efficacité d'une telle méthodologie centrée utilisateur.

Inspiré par cette avancée méthodologique en biologie moléculaire en matière de simulation interactive, et convaincu de son potentiel pour de nombreuses applications en mécanique des fluides, ce travail de thèse fut consacré à étudier dans quelles mesures et dans quelles conditions une approche par simulation interactive par **jeu** sérieux pouvait être appliquée au domaine de la mécanique des fluides. La progression des méthodes numériques en mécanique des fluides alliée à la puissance de calcul toujours plus importante permettent en effet d'envisager un transfert méthodologique par la construction d'une plateforme de la simulation des fluides interactives incluant des fonctionnalités de conception de modèles avec conditions initiales, de visualisation et de contrôle interactif du fluide et de son environnement pendant une simulation en cours.

Ce travail de thèse a donc eu pour objectif de concevoir et d'évaluer une approche par simulation interactive et par jeux sérieux consacrés à la mécanique des fluides. La première étape de ce travail fut donc d'implémenter une plateforme dédiée, conjointement à une étude bibliographique continue sur l'usage des simulations interactives et des jeux sérieux en général et en mécanique des fluides. Au-delà de l'aspect technologique et du challenge sous-jacent, différentes pistes ont été explorées pour aboutir à une architecture matérielle et logicielle très contraintes.

Il s'agit en effet d'offrir les performances requises par l'interactivité, de s'assurer de la conservation de la pertinence physique d'un phénomène simulé lors de son édition interactive, de respecter les usages pour que cette approche puisse susciter l'adhésion de la communauté. Ce travail a abouti à la proposition d'une architecture modulaire basée sur l'outil de conception de **jeu** vidéo Unity 3D, offrant une grande flexibilité pour la conception de fonctionnalités de visualisation et d'interaction, associé à une infrastructure permettant de coupler cet outil avec n'importe quel code de simulation de fluide opensource. Cette approche a été appliquée à une méthode de calcul de type Lattice-Boltzmann, fortement parallélisable et peu sensible aux perturbations interactives durant une simulation en cours avec l'adaptation de Palabos. Enfin, l'usage de nouvelles méthodologies par calcul asynchrone a été exploré, étant susceptibles de compléter le besoin de performances déjà fournies par les approches fortement parallèles.

Sur cette base ont été menées trois expérimentations pour mesurer l'intérêt de méthodologie interactives et par jeux sérieux. La première expérimentation fut de comparer la performance entre la simulation

conventionnelle et la simulation interactive. Une seconde expérimentation a été menée afin de mesurer la plus-value de l'immersion en termes d'expérience utilisateur et de performance. Enfin, la troisième expérimentation a cherché à mesurer l'impact du niveau de dégradation des résultats induit par les calculs asynchrones, sur la prise de décision, pour anticiper l'usage de ce type de méthodologies pour adresser les problématiques de performance relative au contexte interactif.

### **Abstract :**

It is largely contributed by the serious game Fold'It, that the interactive simulation and serious game approaches have been able to convince the researchers in the field of molecular biology. This serious game was designed to present and solve the problem of protein folding in a fun and collaborative way. Beyond the enormous educational potential, a group of Fold'It players has succeeded in finding the structure of an HIV protein, demonstrating the usefulness and the efficiency of such a methodology.

Inspired by this methodological advance in molecular biology in terms of interactive simulation and convinced of its potential for many applications in fluid mechanics, this thesis work was devoted to studying in which level and under which conditions an approach of interactive simulation or serious game can be applied to the field of fluid mechanics. The progress of numerical methods in fluid mechanics allied to the great computing power makes it possible to propose a potential transfer by the conception of an interactive fluid simulation platform including features for the design of models with initial conditions, visualization and interactive control of the fluid and its condition limits during a simulation in progress.

The objective of this thesis was therefore to design and evaluate an approach with interactive simulation and serious games devoted to fluid mechanics. The first step of this work was therefore to implement a dedicated platform, together with a continuous bibliographic study on the applications of interactive simulations and serious games in general and in fluid mechanics. Beyond the technological aspect and the underlying challenge, various ways have been explored to lead to a very constrained hardware and software architecture.

It is in fact a question how to offer the performances required by interactivity, at the same time ensuring the physical relevance of a phenomenon simulated during its interactive edition. This work resulted in a proposal of a modular architecture based on the video game design tool Unity 3D, offering great flexibility for the design of visualization and interaction functionalities, associated with an infrastructure allowing to couple with any opensource fluid simulation code. This approach was applied on the Lattice-Boltzmann method, which is highly parallelizable and less sensitive to interactive disturbances during a simulation in progress with the library Palabos. Finally, the use of new methodologies by asynchronous computation has been explored, as they are likely to furthermore optimize the performance already provided by strongly parallel approaches.

Based on the works above, three experiments were carried out to measure the benefits of interactive methodology and serious games. The first experiment was to compare the performance between conventional simulation and interactive simulation. A second experiment was carried out to measure the added value of immersion in terms of user experience and performance. Finally, the third experiment sought to measure the impact of the degradation level of decision-making results induced by asynchronous calculations, to anticipate the use of this type of methodologies to avoid performance issues relating to the interactive context.

