

## AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

**Madame Christelle SAADE** est autorisé(e) à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE MARSEILLE

***Le 3 décembre 2020, à 14H00***

à : Amphithéâtre François Canac, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, 4 impasse Nikola Tesla, 13013 Marseille

**Titre: Méthodes isogéométriques espace-temps pour des équations multi-champs en mécanique**

**Ecole doctorale :** ED 353 Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

**Spécialité :** Mécanique des Solides

**Rapporteurs :**

Monsieur Thomas ELGUEDJ, Professeur, Université de Lyon, France.

Monsieur Piotr BREITKOPF, Ingénieur de recherche, Université de technologie de Compiègne, France.

**Membres du Jury :**

Monsieur Thomas ELGUEDJ, Professeur, Université de Lyon, France.

Monsieur Piotr BREITKOPF, Ingénieur de recherche, Université de technologie de Compiègne, France.

Monsieur Dominique EYHERAMENDY, Professeur, Ecole Centrale de Marseille, France.

Monsieur Stéphane LEJEUNES, Ingénieur de recherche CNRS, LMA, Marseille, France.

Madame Raphaèle HERBIN, Professeur, AMU I2M, Marseille, France.

Monsieur Pierre-Alain BOUCARD, Professeur, LMT ENS Paris-Saclay, France.

Monsieur Robin Bouclier, Maître de conférences, IMT, Toulouse, France.

**Résumé :**

Dans ce travail, nous introduisons différentes formulations faibles basées sur des méthodes de Galerkin continues en temps pour plusieurs types de problèmes, pilotés par des équations aux dérivées partielles dans l'espace et le temps. Notre approche repose sur une discrétisation simultanée et arbitraire de l'espace et du temps.

L'analyse isogéométrique (IGA) est utilisée comme outil de discrétisation à la place de la méthode classique des éléments finis (FEM) afin de bénéficier des propriétés de continuité des fonctions B-splines et NURBS. Un état de l'art détaillé est présenté pour introduire le concept de ces deux méthodes et pour montrer les travaux déjà réalisés dans la littérature concernant les méthodes espace-temps d'une part, et l'IGA d'une autre part.

Les méthodes seront combinées et appliquées à différents types de problèmes mécaniques. Ces problèmes sont principalement des problèmes d'ingénierie tels que l'élastodynamique, la thermomécanique et les problèmes viscoélastiques. On compare différents types de formulations variationnelles et différentes configurations de discrétisation. On montre que dans le cas de problèmes ayant des solutions discontinues en temps comme les problèmes d'impact, l'utilisation conjointe d'une formulation avec des fonctions test dérivées en temps et des termes de stabilisation de type moindres carrés permettent de contrôler les oscillations numériques souvent observées pour ce type de problèmes. De plus, nous introduisons une nouvelle technique de stabilisation qui peut être utilisée facilement pour des problèmes non linéaires. Celle-ci est basée sur la condition de consistance de l'accélération, nous l'appelons donc Galerkin avec consistance sur l'accélération. Les problèmes étudiés prennent donc à la fois des formes linéaires et non linéaires. Nous résolvons des problèmes en petites et en grandes déformations : que ce soit pour l'élastodynamique, la thermomécanique ou pour les problèmes de type viscoélastique. Des matériaux compressibles et incompressibles sont considérés. La convergence de la méthode est étudiée numériquement et comparée aux méthodes existantes. Nous vérifions autant que possible les propriétés de conservation de la formulation et les comparons aux propriétés de conservation des méthodes classiques telles que la FEM équipée d'un schéma HHT en temps. Les résultats numériques montrent que les méthodes espace-temps sont plus conservatives en énergie que les méthodes classiques pour les problèmes d'élastodynamique. Différents tests de convergence sont menés et des taux de convergence optimaux sont obtenus à chaque fois, montrant l'efficacité de la méthode. Nous montrons en outre que des schémas hétérogènes et asynchrones peuvent être construits d'une manière très simple, ouvrant à de nombreuses possibilités avec les méthodes espace-temps. Enfin, les performances observées sur différents problèmes et la polyvalence de l'approche suggèrent que les méthodes IGA espace-temps ont un fort potentiel dans le domaine de la simulation numérique en ingénierie.

Mots clés: Méthodes espace-temps, analyse isogéométrique, problèmes multiphysiques, problèmes viscoélastiques, thermomécanique, méthode de Galerkin continue, taux optimaux de convergence