

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Approximation d'ordre de systèmes Hamiltonien à ports

Référence : **TIS-DTIS-2026-09**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 10/2026

Date limite de candidature : 07/2026

Mots clés

Approximation rationnelle, systèmes port Hamiltonien, PDE, Maxwell

Profil et compétences recherchées

Formation Master, école d'ingénieur.

Spécialité en mathématiques appliquées (PDE, algèbre linéaire); systèmes dynamique (équations d'état et fonctions complexes); informatique

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Éléments d'introduction

La modélisation de systèmes physiques basée sur l'échange d'énergie entre domaines communicants autorise une description modulaire de systèmes dynamiques complexes. Dans ce contexte, le formalisme des systèmes Hamiltoniens à ports d'interaction (pHS pour port-Hamiltonian systems) est un outil puissant de modélisation et de contrôle de systèmes physiques de dimension finie ou infinie. En outre, du fait de la complexité mathématique et/ou numérique liée à la simulation de tels phénomènes physiques, sera adjoint à l'étude l'utilisation et le développement de méthodes d'approximation de modèles.

Objectifs et contexte.

L'objectif est d'étudier le couplage des équations de Maxwell et de la thermodynamique dans le formalisme des systèmes Hamiltoniens à ports d'interaction, depuis la modélisation jusqu'à l'utilisation numérique pratique: d'une part avec un modèle dit "Haute Fidélité (Haute Complexité)" (HF) obtenu par éléments finis, et d'autre part, avec un modèle dit "Basse Fidélité (Faible Complexité)" (BF) obtenu par réduction (ou approximation) de modèle.

Le modèle choisi pour l'équation de la chaleur considérera des lois constitutives plus pertinentes que la loi de Fourier, telle que la loi de Cattaneo-Vernotte(-Maxwell). Ce type de loi permet d'éviter l'écueil de la propagation du front de température à vitesse infinie (et donc en particulier plus rapidement que la propagation des ondes électro-magnétiques). Plus spécifiquement, elles permettent de mettre en exergue le phénomène de "second sound", c'est-à-dire de modéliser plus finement la vitesse de propagation (finie) du front thermique.

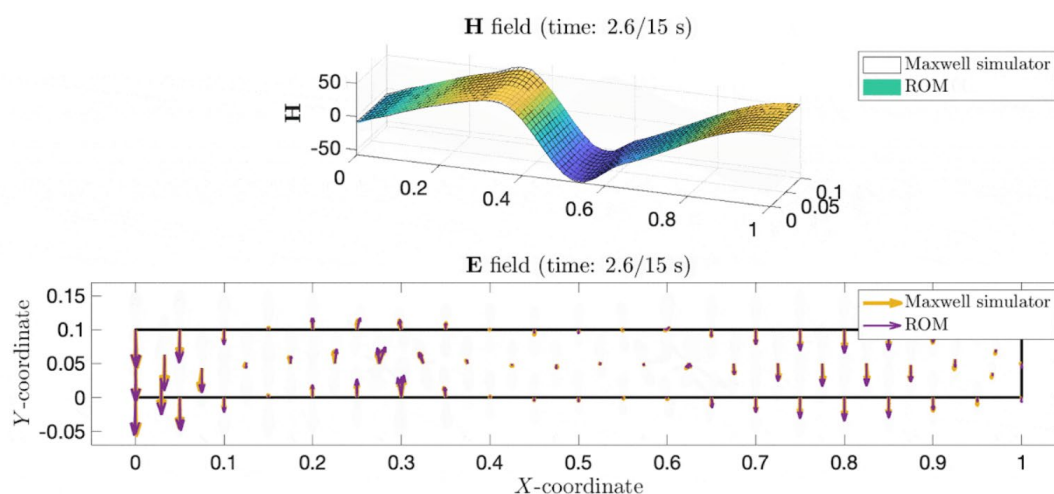
Approche privilégiée et continuité avec le savoir-faire des équipes.

La discrétisation spatiale structurée (c'est-à-dire préservant le caractère Hamiltonien à ports d'interaction) des modèles HF sera obtenue à l'aide de la méthode des éléments finis qui a longuement été étudiée durant cette décennie. Celle-ci sera faite à l'aide d'éléments finis conformes, afin de garantir un comportement correct des différents champs mis en jeu. Ce dernier aspect nécessitera peut-être l'ajout de différentes familles d'éléments finis, au sein de la librairie GetFEM qui est utilisée dans le logiciel SCRIMP (<https://g-haine.github.io/scrimp/>), qui sera utilisé.

La discrétisation temporelle structurée, c'est-à-dire menant à un système Hamiltonien à ports d'interaction en temps discret, reste une question ouverte. En effet, l'interaction entre les équations de Maxwell et la thermodynamique fait apparaître une problématique multi-échelle (essentiellement temporel) qu'il convient d'analyser afin de garantir l'efficacité de la simulation. En particulier, une fois la propagation du front thermique ramenée à vitesse finie, la physique des équations de Maxwell est beaucoup plus rapide que la physique de la thermodynamique, impliquant un sur-échantillonnage du pas de temps pour l'équation de la chaleur si rien n'est fait. De récents travaux permettant de garantir le comportement asymptotique multi-échelle constitueront le point de départ de cette problématique.

Dans tous les cas, la discrétisation HF obtenue par éléments finis conduit à des systèmes de grandes dimensions. Et bien que les matrices impliquées soient très creuses, une étape de réduction de modèle structurée s'avère nécessaire pour parfaire l'approche et autoriser des simulations et de l'optimisation basée modèle rapides de systèmes réalistes, voire en temps réel. Cette étape sera réalisée par les méthodes de Loewner, et pourrons s'appuyer sur les implémentations disponibles dans la librairie MDSPACK (<https://mordigitalsystems.fr/en/>). Par ailleurs, la réduction de modèle possède, elle aussi, deux aspects qu'il conviendra d'étudier: d'une part, la réduction du nombre de degrés de liberté pour les états (distribués dans tout le domaine), d'autre part, la réduction du nombre de degrés de liberté pour les entrées et sorties du système (distribués à la frontière du domaine). En effet, conserver un trop grand nombre d'entrées-sorties pourrait nuire à la synthèse de lois de contrôle.

L'approche retenue, issue du précédent Projet École FAMAS (Fast and Accurate Maxwell Solver), est la méthode de Loewner, que nous avons d'ores et déjà adaptée et appliquée avec succès à l'équation des ondes scalaires et à l'équation de Maxwell en formulation transverse électrique (TE). Ci-dessous, la figure illustre la capacité d'un modèle réduit pH (ROM) à reproduire les champs magnétiques (H) et électrique (E) ; le ROM étant de complexité 100x plus petite que le simulateur Maxwell.



Collaborations envisagées

- Modélisation Hamiltonienne à ports: LAGEPP Lyon.
- Approximation de modèles: MPI Magdebourg (Allemagne).

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Charles Poussot-Vassal

Tél. : 0562252655

Email :

charles.poussot-

vassal@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Charles Poussot-Vassal

Laboratoire : ONERA

Tél. : 0562252655

Email : charles.poussot-vassal@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>