

Proposition d'un sujet de thèse en cotutelle 2026/2027

A. Porteur du sujet à l'Université Libanaise

1. Nom : Abboud
2. Prénom : Hyam
3. Titre : Professeur
4. Laboratoire : Sciences 2, Fanar et EDST
5. Adresse Web :
6. Etablissement : Faculté des Sciences
7. Adresse Web :
8. Domaines d'expertise : Mathématiques Appliqués
9. Publications importantes en relation avec le sujet proposé :
 - a) N-H. Ali, H. Fakih, and A. Wehbe. *On a singular mathematical model for brain lactate kinetics* Mathematical Methods in the Applied Sciences, 13 March 2024. <https://doi.org/10.1002/mma.9898>.
 - b) H. Hmede, S. Nicaise, L. Paquet and A. Wehbe, *Optimal control of the temperature by the laser path and the thermal treatment time in selective laser melting process*, MCRF, 2024. Doi : 10.3934/mcrf.2024025.
 - c) M. Bzeih, T.E. Arwadi, A. Wehbe, M. A. Rincon, R. L.R. Madureira, *A finite element scheme for a 2D-Wave equation with dynamical boundary control*, Mathematics and Computers in Simulation, Volume 205, March 2023, Pages 315-339.
- d) Adresse Web de votre page personnelle :
- e) Adresse e-mail : habboud@ul.edu.lb

B. Partenaire à l'ULCO :

1. Nom : Zielinski
2. Prénom : Lech
3. Titre : Professeur
4. Laboratoire : Laboratoire de Mathématiques Pure et Appliquées (LMPA)
5. Etablissement : Université Littoral Cote d'Opale (ULCO)
6. Adresse Web : https://lmpa.univ-littoral.fr/index.php?page_id=13&personne=23

7. Domaines d'expertise : Mathématiques Pure Appliqués

8. Publications importantes en relation avec le sujet proposé :

- **Anne Boutet de Monvel, Lech Zielinski**
Asymptotic formula for large eigenvalues of the two-photon quantum Rabi model,
Comptes Rendus Mathématique, 361 (2023), pp. 1761–1766.
- **Anne Boutet de Monvel, Lech Zielinski**
Oscillatory behavior of large eigenvalues in quantum Rabi models,
International Mathematics Research Notices (IMRN), 2021, no. 7, pp. 5155–5213.
- **Anne Boutet de Monvel, Lech Zielinski**
Asymptotic behavior of large eigenvalues of the two-photon Rabi model,
dans *Schrödinger Operators, Spectral Analysis and Number Theory*, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol. 348, Springer, 2021, pp. 89–115.

9. Adresse Web de votre page personnelle : https://impa.univ-littoral.fr/index.php?page_id=13&personne=23

10. Adresse e-mail : lech.zielinski@univ-littoral.fr

C. Description du sujet de thèse proposé : (3 à 5 pages)

1. Discipline : Mathématiques Appliqués
2. Titre et Résumé :

Titre de la thèse

Analyse théorique, contrôle et simulation numérique d'une classe de modèles mathématiques avec applications

Le Sujet

1. Introduction et Problématique

La modélisation mathématique constitue aujourd'hui le langage universel pour décrire les phénomènes complexes, qu'ils soient issus de la physique, de la biologie ou de l'ingénierie. Cependant, passer de la formulation d'une équation à la compréhension de son comportement réel nécessite un triptyque méthodologique indissociable : l'analyse, le contrôle et la simulation.

L'enjeu de ce travail est de ne pas se limiter à l'étude théorique, mais de fournir des outils robustes permettant d'agir sur ces systèmes. L'objectif est double : comprendre comment un système évolue (analyse) et déterminer comment influencer cette évolution pour atteindre un état souhaité (contrôle). Une attention particulière sera portée à l'étude asymptotique des modèles considérés, notamment à travers l'analyse du spectre d'opérateurs associés à des modèles quantiques de type Rabi généralisé. Cette problématique, encore peu explorée du point de vue asymptotique, pourra donner lieu à la rédaction d'un article scientifique consacré à l'étude asymptotique du spectre d'un modèle de Rabi généralisé.

2. Analyse Mathématique et Numérique

L'analyse mathématique et numérique constitue une étape essentielle dans la compréhension des phénomènes modélisés. Elle vise à établir des résultats théoriques garantissant la pertinence des modèles étudiés et à développer des méthodes numériques fiables pour leur approximation.

Analyse qualitative : Il s'agit de démontrer l'existence, l'unicité et la régularité des solutions des modèles étudiés, d'analyser leur stabilité ainsi que leurs propriétés asymptotiques à long terme. Une attention particulière sera également accordée à l'étude asymptotique des valeurs propres et du spectre des opérateurs associés, notamment dans le cadre des modèles quantiques inspirés du modèle de Rabi généralisé.

3. Théorie du Contrôle

Le contrôle de modèles mathématiques vise à piloter un système vers une cible donnée en agissant sur une commande externe. Nous explorons ici plusieurs concepts :

- **Contrôlabilité :** Est-il possible d'amener le système d'un point A à un point B en un temps fini ?
- **Optimalité :** Comment atteindre cet objectif en minimisant un coût (énergie, temps, ressources) ?
- **Stabilisation :** Comment concevoir une loi de commande permettant de maintenir le système dans un état d'équilibre malgré les perturbations.

4. Simulation Numérique et Expérimentations

La simulation numérique est la mise en œuvre concrète des algorithmes issus de l'analyse. Elle permet de visualiser le comportement du système sous différentes contraintes sans recourir à des expériences physiques coûteuses ou dangereuses.

Dans ce cadre, nous développons des codes de calcul permettant de tester la validité des modèles et l'efficacité des stratégies de contrôle proposées. C'est cette étape qui permet de valider les prédictions théoriques par des résultats graphiques et quantitatifs.

5. Applications

Les développements théoriques et numériques envisagés dans cette thèse trouvent des applications dans plusieurs domaines scientifiques et technologiques.

Ingénierie : optimisation de formes, contrôle de structures vibrantes et analyse dynamique de systèmes complexes.

Physique quantique et nanotechnologies : étude des interactions lumière-matière à travers des modèles de type Rabi, avec des applications aux propriétés des nanocristaux de matériaux semi-conducteurs, aux dispositifs de l'électronique quantique et aux circuits supraconducteurs utilisés dans les technologies quantiques émergentes.

Ces applications illustrent l'importance des outils d'analyse, de contrôle et de simulation pour répondre à des problématiques actuelles situées à l'interface entre mathématiques appliquées, physique et ingénierie.

Conclusion

3. Ce projet s'inscrit à l'interface de l'analyse mathématique, de la théorie spectrale, du contrôle et du calcul scientifique. L'étude des propriétés qualitatives et asymptotiques des modèles considérés, notamment des modèles quantiques de type Rabi généralisé, associée au développement de méthodes numériques adaptées, permettra d'approfondir la compréhension de phénomènes complexes tout en ouvrant la voie à des applications concrètes. L'articulation entre résultats théoriques, analyse asymptotique et simulation numérique constitue ainsi un cadre cohérent pour répondre à des problématiques actuelles en mathématiques appliquées, en physique quantique et en ingénierie.

- a. Description du sujet (contexte scientifique, description du problème, Objectifs,) :
- b. Approche méthodologique : Étude théorique et analyse numériques
- c. Résultats attendus : Nous souhaitons répondre à des questions ouvertes, il s'agit de. traiter des problèmes liés à l'évolution technologique.
- d. Calendrier : 01 Novembre 2026 au 31 Octobre 2029
- e. Mots clés : Contrôle, Stabilisation, Modèle mathématiques en biologie, Analyse numérique, Simulation ?
- f. Possibilité de financement (Justificatif éventuel) : ULCO-UL