

Invitation à la soutenance de thèse

VERS DES SOLUTIONS NUMÉRIQUES BIEN POSÉES ET POLYVALENTES
POUR LES THÉORIES TENSEUR-SCALAIRES DE LA GRAVITÉ AVEC
ÉCRANTAGE : APPLICATIONS AUX ÉCHELLES SUB-SYSTÈME SOLAIRE

*Towards well-posed and versatile numerical solutions of scalar-tensor theories
of gravity with screening mechanisms: applications at sub-Solar system scales*

Hugo Lévy

Mardi 29 octobre 2024 à 14h00

Institut d'Astrophysique de Paris – 98 bis boulevard Arago – 75014 Paris
Amphithéâtre Henri Mineur

Devant le jury composé de :

Clare Burrage Meike List	Université de Nottingham German Aerospace Center	Rapporteuse Rapporteuse
Philippe Brax Patrick Joly Gilles Métris	IPhT, CEA UMA, ENSTA Paris Observatoire de la côte d'Azur	Examineur Examineur Examineur
Joël Bergé Jean-Philippe Uzan	DPHY, ONERA Institut d'Astrophysique de Paris	Directeur de thèse Co-directeur de thèse

Résumé

Les théories tenseur-scalaires de la gravité font partie des alternatives à la Relativité Générale les plus convaincantes, résilientes, et riches en termes de phénoménologie. Les modèles encore viables aujourd'hui reposent sur des mécanismes d'écrantage afin d'être compatibles avec les tests locaux de la gravité, tout en conservant une certaine pertinence physique. La recherche de ces champs scalaires hypothétiques dépend alors de notre capacité à concevoir des expériences adaptées à leur phénoménologie. Hélas, cette tâche est grandement entravée par la difficulté de modéliser suffisamment précisément les effets de cinquième force dans des configurations réalistes. En effet, cela nécessite de résoudre des équations aux dérivées partielles semi-linéaires en présence de distributions de masse non-triviales, ce pour quoi les méthodes purement analytiques ne sont que d'un usage limité. Dans cette perspective, le présent travail de thèse traite ce problème via le développement d'un outil numérique polyvalent visant à obtenir des solutions bien posées aux équations de Klein–Gordon non-linéaires qui apparaissent dans de tels modèles de gravité modifiée. L'outil en question, nommé *femtoscope*, s'appuie sur la méthode des éléments finis. Celle-ci permet de représenter des géométries

arbitrairement complexes et des problèmes multi-échelles par le biais de raffinement locaux du maillage. Les non-linéarités sont quant à elles traitées par la méthode de Newton.

La nouveauté majeure apportée par *femtoscope* est sa gestion des conditions aux limites asymptotiques — i.e. lorsque le comportement du champ n'est connu qu'infiniment loin des sources — dont la prise en compte de manière appropriée est souvent essentielle en vue d'obtenir des solutions numériques pourvues de sens physique. Pour ce faire, nous utilisons la méthode des éléments finis inversés.

Nous nous appuyons ensuite sur *femtoscope* pour étudier la gravité tenseur-scalaire aux échelles sub-système Solaire. En utilisant un modèle réaliste de la Terre, nous traitons la question relative à la détectabilité d'une cinquième force de type caméléon, au moyen de missions de géodésie spatiale telles que GRACE-FO. L'influence de l'atmosphère terrestre ainsi que la rétroaction d'un satellite sur le champ scalaire sont toutes deux prises en compte. Nous constatons que la cinquième force a un effet supposément mesurable sur la dynamique orbitale d'un point matériel, mais que la connaissance imparfaite de la distribution de masse à l'intérieur de la Terre donne lieu à des dégénérescences qui réduisent considérablement le pouvoir contraignant de ce type de mission. Ces dégénérescences peuvent en principe être levées en réalisant l'expérience à deux altitudes différentes.

Enfin, nous ouvrons de nouvelles perspectives en explorant la possibilité de tester les théories tenseur-scalaires avec écrantage en se servant d'horloges atomiques. L'idée des expériences que nous décrivons est d'exploiter la contribution du champ scalaire sur le décalage vers le rouge gravitationnel, cette dernière étant absente en Relativité Générale. On souligne le fait que de telles expériences sont de nature profondément différente des recherches de cinquième force.

Mots clés

gravitation, gravité tenseur-scalaire, méthode des éléments finis, mécanismes d'écrantage, géodésie spatiale, relativité générale

Lien pour suivre la soutenance en visio-conférence

<https://iap-fr.zoom.us/j/92381639599?pwd=amtSvWGqVFtAhD2CbJctIXCSZM2Ku.1>

