

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

Monsieur John Ronald AZNAVOURIAN est autorisé à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE de MARSEILLE

Le lundi 04 décembre 2023 à 10h00

Lieu : Faculté des Sciences - Avenue Escadrille Normandie-Niémen
13397 MARSEILLE CEDEX Salle : Amphi Rouard

Titre : **Algorithmes numériques et métaheuristiques : application aux problèmes inverses dans les phénomènes de propagation des ondes**

École doctorale : ED 352 Ecole Doctorale Physique et Sciences de la Matière

Spécialité : Optique, Photonique et Traitement d'Image.

Rapporteurs

M. Muamer KADIC, Maître de conférences, Université de Bourgogne Franche Comté - FEMTO-ST - Besançon.

Mme Nadège THIRION-MOREAU, Professeure, Université de Toulon et du Var - LIS.

Membres du Jury

M. Muamer KADIC, Maître de conférences, Université de Bourgogne Franche Comté - FEMTO-ST - Besançon.

Mme Nadège THIRION-MOREAU, Professeure, Université de Toulon et du Var - LIS.

Mme Régine LE BOUQUIN JEANNES, Professeure, Université de Rennes - ESIR.

M. Sébastien GUENNEAU, Reader, The Blackett Laboratory - Department of Physics - Imperial College - Londres.

M. Julien MAROT, Maître de conférences, Institut Fresnel.

M. Salah BOURENNANE, Professeur, Institut Fresnel.

Résumé (FR)

Sir John Pendry a théorisé les capes d'invisibilité dans le domaine de l'optique, avec les deux propriétés d'invisibilité et de protection. On entend par invisibilité la capacité d'une telle cape à reconstruire les fronts d'ondes tels qu'ils auraient été dans un milieu homogène, c'est-à-dire s'il n'y avait pas eu de cape ni d'obstacle au milieu pour perturber le déplacement des fronts d'ondes. La protection, elle, consiste à avoir une amplitude des fronts d'onde qui tende le plus possible vers zéro à l'intérieur de cette cape. L'idée est donc de transposer ce type de cape d'invisibilité de l'optique (donc des ondes électromagnétiques) vers la sismique (donc des ondes mécaniques). Ainsi, le but serait de créer des capes d'invisibilité sismique qui protégerait des bâtiments déjà construits (ou même des villes entières) des ondes sismiques. Malheureusement, pour y parvenir, on se heurte à

deux principales difficultés : d'une part, la protection et l'invisibilité sont des objectifs « antagonistes », dans le sens où quand on améliore la performance de l'un, on détériore la performance de l'autre, ainsi il est très difficile de trouver le « meilleur » design possible d'une cape d'invisibilité, de façon à ce que cette cape soit très performante aussi bien en invisibilité qu'en protection, et, d'autre part, pour tester l'efficacité d'une cape d'invisibilité, on est obligé de la tester via des simulations numériques de propagation d'ondes, qui sont extrêmement chronophages, et particulièrement gourmandes en ressources informatiques. Cette thèse cherche donc à répondre à ces deux problématiques. A l'ère de l'Intelligence Artificielle (IA), on a testé une application des réseaux de neurones : le Neural Style Transfer (NST), et on l'a comparé avec l'utilisation du morphing, pour obtenir des approximations de résultats de simulations numériques intermédiaires entre deux résultats calculés sans avoir à faire de calcul, donc dans des délais extrêmement courts. Cette étude comparative entre le NST et le morphing a donné lieu à une publication, et se trouve en troisième partie de cette thèse. Enfin, pour répondre à l'autre problématique, le « design » de capes d'invisibilité performantes, tant en protection qu'en invisibilité, on a utilisé des méthodes d'optimisation qui nous ont donné des résultats intéressants. Ce travail a fait l'objet d'un article en cours de publication, et se trouve en quatrième partie de cette thèse.

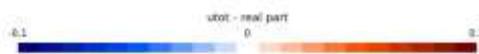
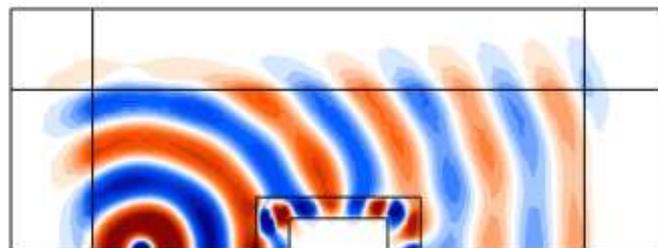
Mots clés: cape d'invisibilité, design de cape, méthodes d'optimisation, Intelligence Artificielle, morphing

Abstract (EN)

Sir John Pendry theorized invisibility cloaks in the field of optics, with the dual properties of invisibility and protection. By invisibility we mean the ability of such a cloak to reconstruct wavefronts as they would have been in a homogeneous medium, i.e. if there had been no cloak or obstacle in the medium to disrupt the movement of wavefronts. Protection, on the other hand, consists in keeping the amplitude of the wavefronts as close as possible to zero inside the cloak. The idea is to transpose this type of invisibility cloak from optics (i.e. electromagnetic waves) to seismics (i.e. mechanical waves). In this way, the aim would be to create seismic invisibility cloaks that would protect already-constructed buildings (or even entire cities) from seismic waves. Unfortunately, there are two main difficulties in achieving this: on the one hand, protection and invisibility are "antagonistic" objectives, in the sense that when you improve the performance of one, you deteriorate the performance of the other, so it is very difficult to find the "best" possible design for an invisibility cloak, on the one hand, so that this cloak performs very well in terms of both invisibility and protection, and, on the other hand, to test the effectiveness of an invisibility cloak, we have to test it via numerical simulations of wave propagation, which are extremely time-consuming, and particularly greedy in terms of computing resources. This thesis seeks to address both these issues. In the age of Artificial Intelligence (AI), we tested an application of neural networks: Neural Style Transfer (NST), and compared it with the use of morphing, to obtain approximations of intermediate numerical simulation results between two calculated results without having to do any calcula-

tion, and therefore in extremely short timescales. This comparative study between NST and morphing resulted in a publication, and can be found in the third part of this thesis. Finally, to fix the other problem, the "design" of high-performance invisibility cloaks, in terms of both protection and invisibility, we used optimization methods that gave us interesting results. This work is the subject of an article currently being published, and can be found in the fourth part of this thesis.

Keywords: invisibility cloak, cloak design, optimization methods, Artificial Intelligence, morphing



\hat{z}_x