

Advanced Computational Methods for Metamaterials (MSc - Track 1)

Research internship – MSc 2 (EN):

Hosting institution:

The project is carried out by the I4S (*Inference for Structures*) research team, which is a joint team between **Inria** and **Gustave Eiffel University**.

Inria is the National Research Institute for Digital Science and Technology. This center for scientific excellence is directing the *French Digital Programs Agency* and is on the frontline of digitalization in Europe while conducting world-class research covering a wide range of disciplines. International and industrial collaborations, ground-breaking research, software development, artificial intelligence, quantum- and cyber technologies (AI) and deep tech startups are the DNA of the institute. Inria ranks 16th worldwide at the AI Research ranking while being the number one European institute for frontier research in digital sciences.

Université Gustave Eiffel is a French experimental, multi-campus university specializing in the study of cities and urbanization processes. It is committed to fostering academic excellence, advancing cutting-edge research, and driving innovation while promoting interdisciplinary collaboration and partnerships with industry stakeholders and civil society. As a national leader in sustainable urban development, it contributes to one-quarter of France's research in this field. The university offers unique experimental platforms and leverages new energies to address the challenges of the city of the future, including economic, environmental, energy, and societal transitions.

Context and objectives of the internship:

This internship provides the opportunity to contribute to an Inria Exploratory Action, at the intersection of fundamental science and transformative technological applications, working alongside a young and dynamic team of full-time research scientists, to push the boundaries of metamaterial design.

Metamaterials represent a transformative class of engineered structures exhibiting properties unattainable in natural materials. By leveraging intricate subwavelength designs, these materials have enabled advancements in diverse fields, including wave control and energy efficiency. Acoustic metamaterials, in particular, have attracted significant attention for their potential in sound attenuation, vibration control, and advanced noise-cancellation technologies. Similarly, **seismic metamaterials** hold promise for shielding structures from destructive earthquake waves, paving the way for next-generation civil engineering applications.

A key driver of these advancements is the exploration of **multi-physical coupling phenomena**, where interactions between distinct physical domains (e.g., acoustic, elastic, thermal, and fluidic) result in unprecedented behaviors. Phenomena such as nonlinearities, locally resonant mechanisms, and fluid-structure interactions enable the development of highly tunable metamaterials. These out-of-the-box features open pathways to a wide range of applications, including energy harvesting, medical imaging, and structural health monitoring. By investigating the interplay between bandgaps, nonlinearity, and multi-physical coupling, the project seeks to establish a versatile design framework with broad applicability in

fields such as wave manipulation, noise control and seismic protection. The recruiting group is developing among the **world's most effective wave-based simulation methods** for periodic structures under multi-physical and nonlinear conditions. This internship hence offers an opportunity to engage in cutting-edge research within this domain, under the supervision of Dr. Droz and Dr. Noël.

The applicant will be trained on state-of-the-art periodic modelling methods, assimilate the literature on wave mechanics, scattering phenomena, and explore the interactions between elastic waves and non-linear sub-systems. As part of an Inria Exploratory Action, this internship is designed as a computational wave mechanics track for a PhD thesis.

Application procedure:

Apply at: <https://recrutement.inria.fr/public/classic/fr/offres/2024-08445>

Only applications submitted through this Inria recruitment platform will be considered; email submissions cannot be processed.

Selection process: Applications will be screened on a rolling/weekly basis. Shortlisted candidates will be contacted by email for a meeting, either in person or via video conference. This position will be closed as soon as the best candidate is identified.

Required documents:

- 1) A detailed curriculum vitae.
- 2) A recent/M1 academic transcript.
- 3) A short text indicating:
 - a. This MSc offer ref.: (Track 1: “Computational Wave Mechanics”),
 - b. Your preferred hosting location (Rennes or Nantes),
 - c. To help us get to know you better, in **100 words or less**, *how you would embody the core values of a scientist?*

Duration: 5-6 months (flexible starting date)

Team: *Inference for Structures (I4S)*, Inria - UGE.

Location 1 : Centre Inria Univ. Rennes, Beaulieu Scientific Campus. Av. Général Leclerc, 35042 Rennes

Location 2 : Université Gustave Eiffel Campus. All. des Ponts et Chaussées, 44340 Bouguenais

Supervision:

- Christophe Droz (at Rennes), Researcher, Inria (christophe.droz@inria.fr)
- Romain Noël (at Nantes), Researcher, UGE (romain.noel@univ-eiffel.fr)

Méthodes Numériques Avancées pour la Mécanique des Ondes (MSc - Track 1)

Stage de Recherche – Master 2 (FR) :

Établissement d'accueil :

Ce projet est réalisé au sein de l'équipe de recherche I4S (Inference for Structures), une équipe commune entre Inria et l'Université Gustave Eiffel.

Inria est l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies du Numérique. Ce Centre d'excellence scientifique, responsable de l'Agence Française des Programmes Numériques et en première ligne de la transformation numérique en France. La recherche en informatique, mathématiques, intelligence artificielle (AI), le développement logiciel, l'innovation dans les disciplines à fort impact technologique et le risque entrepreneurial (DeepTech) constituent l'ADN de l'institut. Inria est en 16^{ème} place du classement mondial 'AI Research' et est le 1^{er} institut européen de recherche exploratoire en sciences du numérique.

Université Gustave Eiffel est une université expérimentale française, multi-campus, spécialisée dans l'étude des villes et des processus d'urbanisation. Elle s'engage à promouvoir l'excellence académique, à faire progresser la recherche de pointe et à stimuler l'innovation, tout en encourageant la collaboration interdisciplinaire et les partenariats avec les acteurs industriels et la société civile. Leader national dans le domaine du développement urbain durable, elle représente un quart de la recherche française dans ce domaine. L'université offre des plateformes expérimentales uniques et mobilise de nouvelles énergies pour relever les défis de la ville de demain, notamment en matière de transitions économiques, environnementales, énergétiques et sociétales.

Contexte et objectifs du stage :

Ce stage offre l'opportunité de contribuer à une Action Exploratoire Inria à caractère pionnier, située à l'intersection entre les sciences fondamentales et des applications technologiques. Vous travaillerez avec une équipe jeune et dynamique de chercheurs à plein temps pour repousser les limites de la conception de métamatériaux.

Les métamatériaux représentent une nouvelle classe de structures conçues pour exhiber des propriétés inaccessibles aux matériaux naturels. En exploitant des conceptions sub-longueur d'onde complexes, ces matériaux ont permis des avancées dans divers domaines, notamment le contrôle des ondes et l'efficacité énergétique. Les métamatériaux acoustiques, en particulier, suscitent un fort intérêt pour leur potentiel en atténuation sonore, isolation vibratoire et technologies avancées de réduction de bruit. De même, les métamatériaux sismiques offrent des perspectives prometteuses pour protéger les structures contre les ondes sismiques destructrices, ouvrant la voie à des applications de pointe en génie civil.

Un moteur clé de ces avancées réside dans l'exploration des phénomènes de **couplage multiphysique**, où les interactions entre différents domaines physiques (par exemple, acoustique, élastique, thermique et fluide) donnent lieu à des comportements sans précédent. Des phénomènes tels que les non-linéarités, les mécanismes de résonance locale et les interactions fluide-structure permettent le développement de métamatériaux hautement ajustables. Ces caractéristiques innovantes ouvrent la voie à une large gamme

d'applications, incluant la récupération d'énergie, l'imagerie médicale et la surveillance de la santé structurelle. En explorant les interactions entre les bandes interdites, les non-linéarités et le couplage fluide-structure, le projet vise à établir un cadre de conception polyvalent avec des applications dans des domaines tels que la manipulation des ondes, le contrôle du bruit et la protection sismique. Notre groupe développe certaines des méthodes de **simulation des ondes parmi les plus performantes au monde**, appliquées aux structures périodiques dans des conditions multiphysiques et non linéaires. Ce stage offre ainsi une opportunité unique de participer à des recherches de pointe sous la supervision du Dr Droz et du Dr Noël.

Le candidat sélectionné sera formé aux méthodes de modélisation périodique, assimilera la littérature sur la mécanique des ondes et les phénomènes de diffusion, et explorera les interactions entre les ondes élastiques et les sous-systèmes non-linéaires. Dans le cadre de cette Action Exploratoire Inria, ce stage en mécanique numérique des ondes est conçu comme un tremplin vers une thèse de doctorat.

Procédure de candidature :

Postuler à : <https://recrutement.inria.fr/public/classic/fr/offres/2024-08445>

Seules les candidatures soumises via cette plateforme de recrutement d'Inria seront prises en compte ; les candidatures envoyées par email ne pourront pas être traitées.

Processus de sélection : Les candidatures seront examinées au fil de l'eau. Les candidats présélectionnés seront contactés par email pour un entretien, qui pourra se dérouler en présentiel ou en visioconférence. Cette offre sera supprimée dès qu'un candidat adéquat aura été identifié.

Documents requis :

- 1) Un curriculum vitae détaillé.
- 2) Un relevé de notes récent/M1.
- 3) Un court texte incluant :
 - a. La référence de cette offre de stage : (Parcours 1 : "Computational Wave Mechanics"),
 - b. Votre lieu d'accueil préféré (Rennes ou Nantes),
 - c. Pour mieux vous connaître, en **100 mots ou moins**, expliquez comment aimeriez-vous incarner les valeurs essentielles d'un scientifique ?

Durée : 5-6 mois (date de début flexible).

Équipe : Inference for Structures (I4S), Inria - UGE.

Lieu 1 : Centre Inria Univ. Rennes, Campus Scientifique de Beaulieu. Av. Général Leclerc, 35042 Rennes.

Lieu 2 : Université Gustave Eiffel, Campus de Nantes. All. des Ponts et Chaussées, 44340 Bouguenais.

Encadrement :

- Christophe Droz (à Rennes), Chercheur, Inria (christophe.droz@inria.fr)
- Romain Noël (à Nantes), Chercheur, UGE (romain.noel@univ-eiffel.fr)