

Propagation et atténuation des ondes de choc dans les milieux granulaires

Sujet de thèse – Octobre 2025 - Octobre 2028

ENSTA – Institut Polytechnique de Paris, Institut de Recherche Dupuy de Lôme, IRDL CNRS UMR 6027
2 rue François Verny, 29200 Brest, France

Contact : martin.monloubou@ensta.fr ; steven.kerampran@ensta.fr

Contexte :

Les milieux diphasiques ont été reconnus depuis plusieurs décennies comme d'excellents matériaux dissipatifs et sont en particulier régulièrement utilisés pour atténuer les effets des explosions (revêtements sacrificiels, blindages légers). Cependant, leur structure généralement multi-échelles leur confère un caractère complexe qui rend ardue la compréhension des mécanismes de dissipation d'énergie en leur sein.

Les milieux granulaires connaissent de nombreuses applications, de la physique des sols aux process industriels (industrie pharmaceutique, agroalimentaire, industrie minière, génie civil...). À ce titre, la littérature regorge de travaux les concernant. Néanmoins, les applications susmentionnées font intervenir des niveaux de sollicitation mécanique peu intenses, à savoir des petites déformations et de faibles vitesses d'écoulement. L'originalité des travaux que nous proposons est de fait intervenir des sollicitations violentes de type onde de choc ou impact balistique, dont les temps, vitesses et pressions caractéristiques sont bien différents de ceux rencontrés dans les applications usuelles. Sur cet aspect, la littérature sur les milieux granulaires est significativement moins fournie.

L'étude proposée s'inscrit dans le cadre du projet GRANEX¹, financé par le CIEDS² et l'AID³. Ce projet a pour objectif d'étudier les propriétés atténuantes des milieux granulaires (secs ou immergés) sous sollicitations brèves et intenses. Les travaux de thèse porteront sur la propagation des ondes de choc dans ces milieux.

Objectifs de la thèse :

La thèse repose sur deux objectifs principaux :

- 1 – Comblent les lacunes de la littérature sur le sujet en menant une **étude expérimentale** paramétrique exhaustive sur la propagation et l'atténuation des ondes de choc dans les milieux granulaires. Il s'agira d'une part de faire varier les propriétés du milieu (taille et forme des grains, fraction de compaction, nature et comportement mécanique de la phase granulaire, nature de la phase fluide) et celles de l'onde de choc (amplitude et forme de l'onde) d'autre part. Le doctorant aura la liberté de développer les montages expérimentaux nécessaires à partir des moyens déjà disponibles (tube à choc, lanceur pneumatique). Ce travail constituera la première étape de l'établissement d'une base de données expérimentales de référence.
- 2 – Proposer une modélisation de l'interaction choc/milieu granulaire. Une approche de type loi de similitude sera menée et confrontée à celles disponibles dans la littérature. Par ailleurs, une tentative de modélisation innovante des effets du milieu granulaire par la définition d'une fonction de transfert sera entreprise. L'objectif sera d'obtenir un modèle prédictif de la forme de l'onde transmise en fonction des paramètres d'entrée de l'onde et des principaux paramètres du milieu. Par ailleurs, des simulations numériques seront conduites à l'aide d'un code de dynamique explicite. L'objectif sera d'évaluer la capacité des modèles déjà développés pour les milieux poreux à représenter le comportement atténuant d'un

1. Étude des propriétés atténuantes des milieux GRANulaires face aux effets des EXplosions.

2. Centre Interdisciplinaire d'Études pour la Défense et la Sécurité

3. Agence de l'Innovation de Défense

filtre granulaire. Dans cette optique de modélisation, une collaboration avec l'Université de Swansea est prévue pour caractériser l'interaction choc/grain à l'échelle mésoscopique. Elle fera l'objet d'une mobilité internationale de plusieurs semaines pour le doctorant.

Informations pratiques :

La thèse se déroulera à l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRDL), sur le site de l'ENSTA à Brest, d'octobre 2025 à octobre 2028. Elle sera dirigée par Steven Kerampran et co-encadrée par Martin Monloubou, enseignants-chercheurs à l'ENSTA. Le doctorant intégrera l'équipe Fluides, Structures et Interactions et bénéficiera d'un accès à des moyens d'essais rares en France ainsi qu'aux licences des codes de calcul disponibles à l'École.

Profil recherché :

Le candidat recruté devra être titulaire d'un diplôme de Master 2 et devra posséder des bases solides en mécanique des fluides et des structures. Des connaissances approfondies en dynamique des gaz, sur les milieux granulaires ou en méthodes numériques (CFD, dynamique explicite) seront un plus. Le doctorant devra posséder un goût pour le travail expérimental et idéalement avoir déjà effectué un stage en laboratoire de recherche. Il devra faire preuve d'autonomie et de prise d'initiatives.