

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Étude du foudroiement sur des matériaux aéronautiques : analogie avec des irradiations lasers

Référence : **PHY-DPHY-2026-05** (à rappeler dans toute correspondance)

Début : à partir d'octobre 2026

Date limite de candidature : Juin 2026

Mots clés : plasma confiné, régime transitoire, équation d'état, interaction rayonnement-matière, méthodes optiques avancées, approche couplée simulation/expérimentation.

Profil et compétences recherchées (souhaitable mais non obligatoire) :

- Intérêt pour les approches couplées expérience / simulation ;
- Une formation en physique (physique des plasmas/interaction laser-matière/instrumentation optique) ;
- Une bonne connaissance des langages de programmation informatique (Python / C / Fortran, parallélisme, Matlab...).

A l'issue de la thèse, l'étudiant.e aura développé des compétences en :

- État de la matière en conditions extrêmes, choc hydrodynamique, modélisation numérique ;
- Comparaisons expés/simus, travail en équipe, gestion de projet, communication orale et écrite.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

La foudre est un phénomène naturel représentant un potentiel danger pour les aéronefs. Bien que dimensionnés pour résister aux impacts de foudre, leurs effets sur les structures, les systèmes électroniques et les performances des aéronefs restent mal connus. L'émergence d'aéronefs plus légers, constitués de matériaux composites, représente un défi supplémentaire pour le risque foudre tant les interactions sont modifiées par rapport aux aéronefs à structures métalliques traditionnelles. Dans ce contexte, l'ONERA s'est doté d'outils numériques et expérimentaux afin de pouvoir étudier l'interaction de la foudre sur différentes structures métalliques ou diélectriques, ainsi que les endommagements résultants.

Pour mieux appréhender ces interactions, les sollicitations thermiques et mécaniques induites par impacts de foudre sont généralement découplées. Du fait de ce découplage, il devient alors possible de quantifier leurs contributions respectives sur les endommagements observés. De précédents travaux ont mis en évidence l'existence d'analogies sur les faciès endommagés générés par choc de foudre, impacts mécaniques, choc laser ou encore par des faisceaux d'électrons. Parmi ces diverses approches, les chocs induits par laser se démarquent en raison des nombreux avantages qu'ils présentent : haut taux de répétabilité, profils temporel et spatial modulables, niveau d'énergie ajustable sur de larges gammes, instrumentation multiple, récupération et étude post-mortem des échantillons. Cependant, pour établir une analogie entre le choc foudre et le choc laser, il est nécessaire de pouvoir caractériser finement les propriétés des chocs induits dans la matière et les propriétés des plasmas générés lors de chacune de ces interactions pour, in fine, pouvoir établir des correspondances entre les deux mécanismes de dépôt d'énergie.

Ce sujet de thèse visera donc à étudier l'analogie entre un chargement foudre et un chargement laser équivalent. Pour mener à bien ce projet, des expériences de choc foudre et de choc laser seront réalisées afin de caractériser les chargements respectifs en termes de conditions plasma, durée de chargement, intensité du choc et morphologie des endommagements générés. Par la suite, des simulations hydrodynamiques devront être entreprises de sorte à pouvoir étudier les propriétés des plasmas à l'origine des sollicitations mesurées expérimentalement. Enfin, l'objectif à terme sera de pouvoir identifier le chargement laser permettant de reproduire le chargement foudre de sorte à être en mesure d'établir des règles d'analogie entre choc foudre et choc laser.

Collaborations envisagées : ONERA, PIMM, CEA DAM

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Physique

Lieu : Palaiseau

Contacts : Amélie Jarnac et Fabien Tholin

Email : amelie.jarnac@onera.fr, fabien.tholin@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Laurent Videau (CEA)

Laurent Berthe (PIM)

Ecole Doctorale :

Physique en Île-de-France (ED 564)