

**OFFRE D'EMPLOI – STAGE**  
**Simulation numérique par DNS de l'inhibition de flamme par particule**

**INFORMATIONS DE L'OFFRE**

**Référence :** E&S-25-OD-02

**Lieu :** 42 Avenue Gaspard Coriolis – 31057 Toulouse

**Equipe :** E&S

**Encadrants :**

- O. Dounia (CERFACS)
- Guodong Gai (IMFT/INPT)

**Gratification :** 800€ net par mois - niveau M2 ou dernière année école d'ingénieur

**Période :** 6 mois - à partir du : 02/03/2026

**Mots-clés :** inhibition de flamme, écoulement réactifs diphasiques, interaction flamme/particule

**LE CERFACS**

Le Cerfacs est un centre privé de recherche, de développement, de transfert et de formation en modélisation, simulation et calcul haute performance. Le Cerfacs conçoit, développe et propose des méthodes et solutions logicielles innovantes répondant aux besoins de ses associés dans les domaines de l'aéronautique, du spatial, du climat, de l'environnement et de l'énergie. Le Cerfacs forme des étudiants, des chercheurs et des ingénieurs dans le domaine de la simulation et du calcul haute performance.

Le Cerfacs travaille en forte interaction avec ses sept associés : [Airbus](#), [Cnes](#), [EDF](#), [Météo France](#), [Onera](#), [Safran](#) et [TotalEnergies](#).



**L'EQUIPE D'ACCUEIL - E&S**

L'équipe Energie & Safety, anciennement équipe CFD-Combustion, se concentre sur des activités transversales visant à développer, optimiser et déployer des codes scientifiques dédiés aux calculs avancés de la combustion en géométries industrielles. L'équipe se focalise sur la simulation des écoulements en les appliquant aux avions, fusées, hélicoptères, moteurs de voitures, turbines, etc. Il en résulte des outils essentiels à de nombreux domaines applicatifs avec comme leitmotiv : calculons les systèmes avant de les construire. Plus spécifiquement, les membres de l'équipe développent des modèles et outils couvrant aussi bien la réduction de la chimie, la turbulence, la combustion, le diphasique, les instabilités de combustion... pour répondre aux challenges aussi bien académiques qu'industriels. De par son positionnement, l'équipe collabore avec de nombreux groupes scientifiques, des bureaux d'études des associés du Cerfacs, et les autres équipes du Cerfacs.

**CONTEXTE**

Pour relever le défi de la crise énergétique mondiale, l'hydrogène apparaît comme une solution potentielle pour remplacer les combustibles fossiles. À l'échelle nationale, le secteur de l'hydrogène bénéficie d'un soutien particulièrement fort, avec une ambition marquée pour 2030 : développer un hydrogène vert, totalement décarboné (52 % d'ici 2030, contre 5 % en 2020, pour divers secteurs : industrie, mobilité, énergie) [Fra-25]. Néanmoins, ces initiatives se heurtent à des défis de sécurité complexes, inhérents à l'hydrogène, lors de sa production, conversion, transport et utilisation.

En raison de ses larges limites d'inflammabilité, de sa très faible énergie minimale d'inflammation et de sa grande réactivité chimique, des accidents d'incendie et d'explosion liés à l'hydrogène peuvent survenir fréquemment. Par exemple, entre 2000 et 2020, plus de 90 incidents ont été recensés dans l'industrie de l'hydrogène [Che-22]. L'essor attendu de l'usage de l'hydrogène d'ici 2030 augmentera automatiquement ces risques.

Des mesures de prévention existent et visent à limiter le risque d'inflammation ou d'explosion (typiquement, détection de fuites combinée avec ventilation dans les environnements ouverts et recombinaison dans les milieux confinés). Cependant, ces solutions se sont révélées défaillantes dans certains cas, conduisant à une inflammation aux conséquences catastrophiques. Cette prise de conscience conduit à la conclusion que de nouvelles techniques d'atténuation sont urgemment nécessaires.

L'inhibition de la déflagration est une technique prometteuse, reposant sur l'injection de substances capables de réduire la réactivité chimique des mélanges inflammables et de limiter la phase d'accélération de la flamme, responsable de la sévérité des scénarios d'explosion. Malgré son intérêt scientifique et son importance pratique, l'inhibition des déflagrations contenant de l'hydrogène reste un territoire largement inexploré, en raison du manque de connaissances fondamentales sur les mécanismes gouvernant l'interaction complexe entre les particules inhibitrices (liquides ou solides) et les déflagrations à propagation rapide. Une illustration de l'interaction à grande échelle entre flammes accélérées et particules inhibitrices est donnée à la Fig. 1.

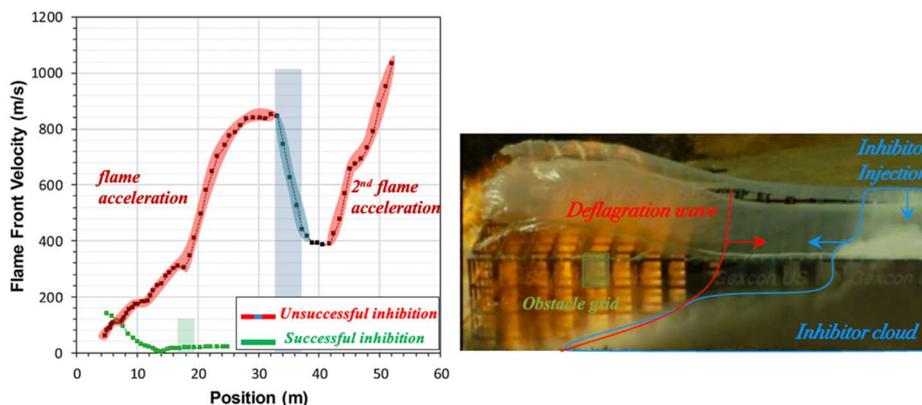


Figure 1 : (droite) Illustration de l'interaction à grande échelle entre une flamme en accélération et des particules inhibitrices. (gauche) Évolution de la vitesse de flamme en fonction de la position de la flamme dans deux essais différents. La courbe verte montre une inhibition réussie (réduction drastique de la vitesse de flamme), la courbe rouge correspond à un cas d'essai où les particules induisent un effet d'inhibition local (zone bleue) mais ne parviennent pas à empêcher l'accélération de la flamme. Les mécanismes contrôlant l'efficacité de la technique d'inhibition restent aujourd'hui inconnus et sont au cœur du projet ANR **CHAIN-H2**.

Le projet ANR **CHAIN-H2** est une collaboration entre le CERFACS, ICARE et l'ASNR, et vise à utiliser des techniques expérimentales et numériques avancées pour approfondir les connaissances actuelles sur ces mécanismes. **Ce stage est centré sur l'aspect numérique et développera des techniques numériques avancées afin d'étudier les processus gouvernant l'interaction entre flamme et particules inhibitrices.**

**Une thèse est également associée à ce stage, à condition que le candidat démontre de solides compétences en recherche ainsi qu'un réel intérêt pour le sujet.**

## MISSION

Dans ce contexte, l'objectif du stage est d'étendre les capacités d'un code DNS résolvant les particules afin de reproduire avec précision l'interaction complexe des fronts de flamme avec un ensemble de particules inhibitrices. Le problème est illustré à la Fig. 2 et consistera en l'étude d'une flamme plane interagissant avec des gouttelettes d'eau.

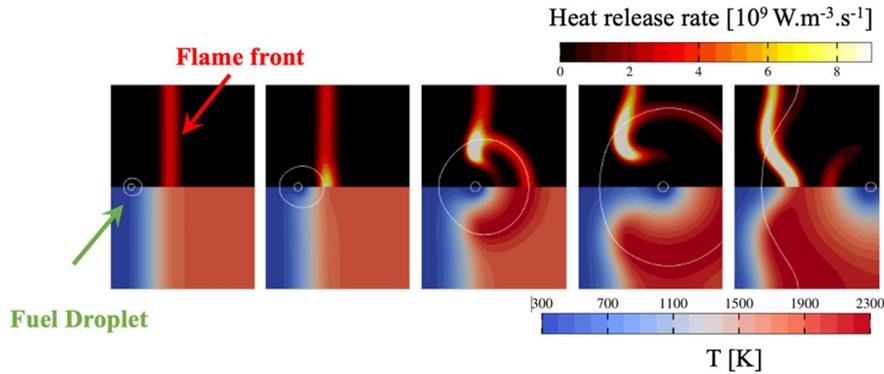


Figure 2 : Illustration de l'interaction transitoire entre une gouttelette de carburant et une flamme. Ce stage remplacera la gouttelette de carburant par une gouttelette d'eau et étudiera son effet atténuateur sur le front de flamme.

Le stage portera sur des flammes  $H_2$ /air atténuées par des gouttelettes d'eau, en tant qu'exemple simple de particules inhibitrices agissant sur les flammes via un mécanisme purement thermique (évaporation et transfert de chaleur convectif). Le stage se concentrera ainsi sur les flammes  $H_2$ /air. Le programme scientifique suivant est envisagé :

#### Programme scientifique :

1. Le solveur diphasique est déjà disponible mais ne dispose pas du couplage thermo-chimique nécessaire entre l'écoulement et les particules. La première tâche de ce stage consistera donc à coupler le solveur diphasique avec un solveur thermo-chimique appelé CANTERA. CANTERA sera utilisé ici pour mettre à jour les propriétés thermo-dynamiques flamme/particules ainsi que les termes sources chimiques nécessaires à la chimie de la flamme.
2. Ces développements seront validés à l'aide d'un cas test simple : une flamme  $H_2$ /air interagissant avec une gouttelette d'eau isolée, comme illustré à la Fig. 2 (où la gouttelette de carburant est remplacée par une gouttelette d'eau). La capacité de la gouttelette d'eau à atténuer localement le front de flamme sera étudiée.
3. L'impact de paramètres clés, liés à la flamme et à la gouttelette, sur cet effet d'atténuation sera également analysé.

#### PROFIL SOUHAITE

- Master 2 ou école d'ingénieur
- Connaissances en mécanique des fluides et en énergétique
- Formation en CFD (Computational Fluid Dynamics / mécanique des fluides numérique)
- Des connaissances en combustion et/ou en plasma constituent un atout
- Compétences en programmation (Fortran, C ou C++ et Python)

#### CE QUE NOUS PROPOSONS AU CERFACS

- Un large accès aux technologies, un environnement relationnel riche, des compétences internes reconnues au niveau national et international.
- Un environnement de travail inclusif et équitable.
- Une structure accessible aux personnes en situation de handicap.
- Possibilité de bénéficier de 1,83 jours de réduction du temps de travail par mois liée à votre choix d'une semaine de travail de 39 heures au lieu de 35 heures.
- Remboursement à hauteur de 50% des frais de transport en commun.

COMMENT POSTULER ?
--------------------

Pour postuler, veuillez envoyer votre CV et lettre de motivation à [dounia@cerfacs.fr](mailto:dounia@cerfacs.fr) et [guodong.gai@toulouse-inp.fr](mailto:guodong.gai@toulouse-inp.fr) , les candidatures sont ouvertes jusqu'au 15/12/2025.

À bientôt au CERFACS !