

## OFFRE D'EMPLOI – STAGE

Simulation numérique de décharges plasma hors équilibre pour la combustion assistée par plasma d'ammoniac

### INFORMATIONS DE L'OFFRE

**Référence :** E&S-2025-NB-1

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

**Equipe :** E&S

**Encadrants :**

- Nicolas Barléon
- Thomas Lesaffre

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

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

**Mots-clés :** Carburant bas carbone – Combustion assistée par plasma – Extinction en mélange pauvre (Lean Blow-Out) – Cinétique chimique – Simulations aux grandes échelles (LES) – Ammoniac

### 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

Aujourd'hui, il est crucial pour notre société de disposer d'une source d'énergie fiable ayant un faible impact sur l'environnement et le climat. Dans ce contexte, plusieurs projets sont actuellement en cours pour développer l'utilisation de carburants décarbonés, tels que l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), en tant que vecteurs énergétiques. Ces

carburants peuvent être produits à partir de sources d'énergie intermittentes (éolien, solaire, etc.), servant ainsi de moyens de stockage et pouvant être utilisés de manière contrôlée selon les besoins. Cependant, l'utilisation de l'ammoniac dans les chambres de combustion actuelles n'est pas immédiatement possible et nécessite une phase d'adaptation afin de respecter les normes strictes de sécurité et de rejets polluants, notamment en ce qui concerne les émissions de  $\text{NO}_x$ . Pour atteindre cet objectif, il est naturel de se tourner vers des régimes de combustion pauvre, plus favorables à la réduction des polluants, mais malheureusement sujets à des instabilités et plus difficiles à allumer. Une solution couramment envisagée consiste à introduire des espèces hautement réactives dans le mélange, comme l'hydrogène, afin d'améliorer la combustion, comme illustré sur la figure 1. Toutefois, la quantité d'hydrogène introduite doit rester limitée pour éviter une augmentation des émissions de  $\text{NO}_x$ . Une solution émergente pour améliorer la combustion de l'ammoniac consiste à utiliser des décharges nanosecondes répétitives pulsées (Nanosecond Repetitively Pulsed Discharges). Ce type de décharge est reconnu pour sa capacité à atténuer les instabilités rencontrées dans les chambres de combustion et à faciliter l'allumage, tout en nécessitant une puissance électrique très faible par rapport à l'énergie libérée par la flamme (généralement inférieure à 1 %).

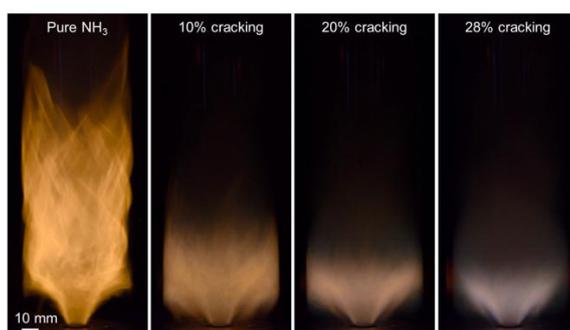


Figure 1 : Images de la flamme pour différents taux de craquage de l'ammoniac, reproduites d'après [Shohdy\_2023].

## MISSION

Récemment, un modèle semi-analytique pour la combustion assistée par plasma (PAC) a été développé lors d'un stage précédent, basé sur l'analyse des mécanismes cinétiques [Gillingham\_2025]. Le modèle a montré d'excellents résultats par rapport à un mécanisme cinétique détaillé, comme illustré sur la Fig. 2.

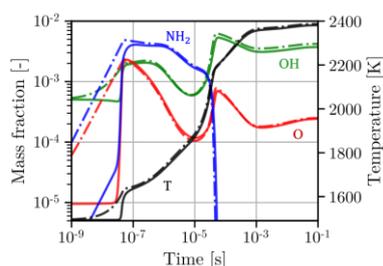


Figure 2 : Évolution temporelle de la température et de la fraction massique des radicaux pour une impulsion dans un mélange  $\text{NH}_3\text{-H}_2$  avec recirculation d'eau : (lignes continues) cinétique détaillée et (lignes en pointillés) modèle phénoménologique PACMIND-SA.

Bien que le modèle améliore considérablement l'efficacité de calcul, deux défis majeurs subsistent :

- L'identification des principaux processus plasma-chimiques est actuellement réalisée de manière empirique, à partir d'une analyse manuelle des flux des chemins réactionnels dans les simulations cinétiques plasma-combustion détaillées.
- Les processus sélectionnés sont limités au calcul des espèces majeures, tandis que les intermédiaires produits par la décharge sont négligés en tant que réactif.

La première partie de ce stage visera à traiter ces deux problématiques. Ensuite, le modèle sera appliqué à une flamme  $\text{NH}_3\text{-H}_2$  turbulente et swirlée pour étudier sa réponse aux décharges nanosecondes répétitives (Nanosecond Repetively Pulsed – NRP). Les simulations seront réalisées à l'aide du code AVBP sur le brûleur PACCI à l'échelle laboratoire développé à KAUST. En s'appuyant sur des travaux antérieurs portant sur la combustion de  $\text{NH}_3$  pur (voir Fig. 3), cette nouvelle étude explorera des flammes  $\text{NH}_3\text{-H}_2$  pauvres proches de l'extinction. Un taux de mélange de 28 % d' $\text{H}_2$  en volume sera étudié, car des observations expérimentales montrent que, dans ces conditions, l'action du plasma peut entraîner l'extinction de la flamme. Cet effet indésirable doit être pleinement compris afin de l'éviter dans les futurs systèmes PAC. L'étirement induit par le plasma constitue un mécanisme potentiel contribuant à l'extinction des flammes pauvres présentant de faibles limites d'extinction par étirement.



Figure 3 : Visualisation volumique instantanée du taux de dégagement de chaleur pour une flamme d'ammoniac pur.

Programme scientifique :

1. Assimilation des principes physiques des décharges plasma, incluant la chimie hors équilibre (revue bibliographique) et prise en main du modèle de combustion assistée par plasma développé lors d'un précédent stage.
2. Amélioration de la définition des processus chimiques globaux dans le modèle phénoménologique à partir d'une analyse globale des voies réactionnelles.
3. Simulation d'une flamme  $\text{NH}_3\text{-H}_2$  avec et sans plasma pour analyser le comportement d'extinction et la réponse à l'étirement induit par le plasma.

Programme technique :

1. Développement et amélioration de scripts de pré-traitement et post-traitement en Python.
2. Réalisation de développements en Fortran dans le code AVBP.
3. Analyse détaillée des résultats.

[Shohdy 2023] Shohdy et al., Transfer Functions of Ammonia and Partly Cracked Ammonia Swirl Flames, *Energies*, 2023.

[Shohdy 2024] Shohdy et al., Quantitative comparison of the benefits of cracking and nanosecond repetitive pulsed discharges on the lean blow-off, emissions, and topology of ammonia premixed swirl flames, *Combust. Flame*, 2024.

[Gillingham 2025] Gillingham et al., A semi-analytical model for Plasma- Assisted Combustion: Application to  $\text{NH}_3\text{-H}_2$ -air mixtures, Submitted to *Combust. Flame*, 2025.

#### PROFIL SOUHAITE

- Master 2 ou école d'ingénieur
- Formation en mécanique des fluides et énergétique
- Formation en CFD
- Connaissance en combustion et/ou plasma appréciée
- Connaissance en programmation (Fortran ou C ou C++ et Python)
- Dynamisme, curiosité et autonomie

#### 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 [nicolas.barleon@cerfacs.fr](mailto:nicolas.barleon@cerfacs.fr) and [thomas.lesaffre@cerfac.fr](mailto:thomas.lesaffre@cerfac.fr), les candidatures sont ouvertes jusqu'au 30/04/2026.

À bientôt au CERFACS !