

### **Combustion Optimisée pour le Captage du Carbone (projet COCC)**

Dans le cadre de la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, les technologies de captage et de séquestration du dioxyde de carbone combinées à l'utilisation des énergies renouvelables apparaissent comme un des leviers majeurs permettant d'atteindre le « facteur 4 » de réduction des émissions à l'horizon 2050.

Le projet COCC porte sur le développement d'un procédé hybride de captage de CO<sub>2</sub> par membrane sur turbine à gaz combinant l'utilisation de la pré-concentration du CO<sub>2</sub> obtenue par recyclage des gaz de combustion et l'utilisation d'air enrichi en oxygène. L'intérêt économique de ce procédé de captage, sous pression et avec une combustion adaptée pour une utilisation optimale des membranes, a été clairement démontré puisque ses applications sont prometteuses à la fois pour les grosses unités industrielles (telles que les unités de liquéfaction de gaz) et pour le captage de CO<sub>2</sub> sur des centrales à cycle combiné fonctionnant au gaz naturel. Pour démontrer la faisabilité de ce procédé hybride de captage, il est aujourd'hui nécessaire d'étudier le procédé de combustion non conventionnel ainsi que le procédé de captage par membrane. Le projet COCC portera exclusivement sur la partie combustion et s'appuiera sur la complémentarité des équipes combustion des deux Labex EMC3\* et CAPRYSES\*\*.

L'étude de ce nouveau mode de combustion prémélangée (CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>+εN<sub>2</sub>) sera réalisée expérimentalement et numériquement, des conditions les plus simples jusqu'aux conditions complexes rencontrées dans l'industrie. Ce travail permettra :

- de comprendre et étudier les mécanismes physico chimiques mis en jeu par la forte dilution en CO<sub>2</sub> sur les mécanismes élémentaires de combustion (vitesse et structure de flamme, émissions polluantes, transfert thermique, ...)
- d'enrichir les bases de données sur la combustion
- d'évaluer l'opérabilité d'une telle combustion des points de vue sécurité (extinction, retour de flamme, instabilité de combustion, tenue thermique des matériaux ...) et émissions polluantes (NO<sub>x</sub>, CO, ...)
- de déterminer les conditions optimales, permettant de satisfaire à la fois l'efficacité énergétique, les contraintes liées au captage du CO<sub>2</sub> (notamment en termes de taux de concentration en CO<sub>2</sub>) et la réduction des émissions polluantes (notamment les oxydes d'azote)

**Durée : 3 ans**

**Lieu : Orléans (1ère partie de la thèse) / Rouen (2ème partie de la thèse)**

**Financement : Bourse Inter LABEX**

**LABEX EMC3 : Laboratoire d'Excellence Energy Materials and Clean Combustion Centre, twitter: @LabExEMC3, Website: [labex-emc3.fr](http://labex-emc3.fr)**

**LABEX CAPRYSES : Laboratoire d'Excellence Cinétique chimique et aérothermodynamique pour des propulsions et des systèmes énergétiques propres et sûrs, Website: <http://www.univ-orleans.fr/investissements-avenir/caprysses>**

*\* Laboratoire d'Excellence Energy Materials and Clean Combustion Centre, twitter: @LabExEMC3  
website: [labex-emc3.fr](http://labex-emc3.fr)*

*\*\* Laboratoire d'Excellence Cinétique chimique et aérothermodynamique pour des propulsions et des systèmes énergétiques propres et sûrs, <http://www.univ-orleans.fr/investissements-avenir/caprysses>*

**Le travail de thèse portera sur l'étude en régime laminaire et turbulent des effets de l'enrichissement en oxygène de l'air et de la recirculation des gaz brûlés (via l'étude de la dilution par le CO<sub>2</sub> et l'H<sub>2</sub>O) sur la combustion de flammes prémélangées de gaz naturel dans une configuration turbine à gaz. La thèse se déroulera en trois phases :**

- 1) Caractérisation, mesures de vitesse de flammes laminaires et turbulentes ;
- 2) Etude expérimentale de la combustion prémélangée d'un mélange CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dans le cas d'une configuration de turbine à gaz ;
- 3) Cinétique chimique de combustion basée sur la comparaison expérience/modélisation pour la structure de flamme et les vitesses de flammes laminaires.

### **1) Mesures de vitesses de flammes laminaires et turbulentes. Effets de l'enrichissement en oxygène et de la dilution par le CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O.**

**Laboratoire principal : PRISME**

**Moyens utilisés et disponibles : Bombe sphérique laminaire, Bombe sphérique turbulente**

La combustion turbulente de prémélange rencontrée dans les turbines à gaz étant une combustion turbulente de type flammelette, ses caractéristiques intrinsèques dépendent principalement de deux paramètres : la vitesse de flamme laminaire et le taux de plissement de la flamme turbulente. Si les vitesses de flamme laminaire et turbulente sont des données connues pour des conditions standards (sans dilution et sans ajout d'oxygène), elle l'est moins quand les concentrations en oxygène et en diluants à fortes capacités massiques thermiques augmentent. L'objectif de cette première tâche est de mesurer, pour des conditions de pression, de température et de richesse rencontrées dans les turbines à gaz, la vitesse de flamme laminaire dans l'enceinte à volume constant de PRISME en fonction du taux d'O<sub>2</sub>, de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O. Puis des mesures de vitesses de flammes turbulentes seront réalisées dans l'enceinte turbulente à volume constant de PRISME en fonction des paramètres initialement étudiés dans le cas laminaire et du taux de l'intensité turbulente (l'échelle intégrale égale à 3 mm, sera conservée constante). Dans les cas laminaire et turbulent, la détermination de la vitesse de flamme sera réalisée par ombroscopie rapide. Pour explorer plus finement les structures turbulentes et l'impact de l'intensité turbulente et de la nature du diluant, la PLIF OH basse cadence (une image de fluorescence par propagation) sera mise en œuvre.

### **2) Caractérisation de la cinétique chimique de la combustion à l'air enrichi en oxygène, diluée au CO<sub>2</sub> et à H<sub>2</sub>O : structure et vitesse de flamme et application à une configuration turbine à gaz.**

**Laboratoire principal : ICARE**

**Moyens utilisés et disponibles : CHEMKIN, CANTERA**

L'objectif de cette partie, fondée sur l'étude de la cinétique de la combustion du gaz naturel à l'air enrichi en oxygène avec dilution des réactifs dans du CO<sub>2</sub> et de la vapeur d'eau, est double.

D'une part, il s'agira de calculer les vitesses de flammes laminaires et de confronter les résultats numériques aux mesures réalisées à PRISME et disponibles dans la littérature. Le but de cette étape est la validation du mécanisme réactionnel utilisé. Les calculs seront effectués à l'aide du code PREMIX (package Chemkin) et de différents mécanismes

## Sujet de thèse – Projet INTER LABEX COCC

---

réactionnels (GRI30, GDFkin, Konnov06, Dagaut) afin d'étudier l'effet de l'enrichissement progressif de l'air en oxygène (de 21 à 100 %), de la recirculation des gaz brûlés (via la dilution par le CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau) sur la vitesse de flamme, la température et la composition des fumées.

D'autre part, il s'agira de modéliser les résultats expérimentaux obtenus au CORIA soit via des modèles de flammes, en s'appuyant sur les études récemment publiée, soit via des modèles de réacteurs en séries (à développer dans le cadre de cette thèse), et ce, afin de comparer les émissions mesurées et calculées. Le schéma cinétique validé grâce aux confrontations mesures/calculs de vitesses de flammes sera utilisé et une analyse mécanistique sera réalisée afin de comprendre les mécanismes réactionnels mis en jeu en fonction des conditions.

### **3) Etude expérimentale de la combustion prémélangée d'un mélange CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Application à une configuration de turbine à gaz.**

**Laboratoire principal : CORIA**

**Moyens utilisés et disponibles : Banc d'essai de chambre de combustion Turbine à Gaz, Emissions spontannées CH ou OH, PLIF/OH, PIV, Mesure de polluants en sortie**

Dans cette partie, l'approche scientifique sera de montrer et d'interpréter les liens entre les paramètres fondamentaux mesurés et calculés au cours des phases 1) et 2) sur des flammes académiques et les mesures réalisées sur une flamme se rapprochant des conditions de fonctionnement industriel. Des liens entre vitesse de combustion laminaire et structure de la flamme ainsi que sa stabilité ont déjà été montré par Lafay dans le cas d'une faible dilution au CO<sub>2</sub>. Qu'en sera-t-il dans le cas d'une combustion suroxygénée et fortement diluée en CO<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub>O ? La configuration choisie est une flamme prémélangée swirlée confinée. Le confinement transparent permet d'appliquer l'ensemble des diagnostics optiques dédiés aux écoulements réactifs. Les paramètres d'entrée du problème seront la température et la pression (le nombre de swirl sera maintenu constant) mais surtout les débits et les concentrations en CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> (richesse), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et N<sub>2</sub>.

## Sujet de thèse – Projet INTER LABEX COCC

---

**Envoyez CV + lettre de motivation par courrier électronique à :**

**Co-directeurs de thèse :**

**Stéphanie de PERSIS**  
[depersis@cnrs-orleans.fr](mailto:depersis@cnrs-orleans.fr)

**Gilles CABOT**  
[gilles.cabot@coria.fr](mailto:gilles.cabot@coria.fr)

**ICARE – CNRS, Orléans – UPR3021**  
1C, avenue de la recherche scientifique  
45071 Orléans cedex 2  
France

**CORIA UMR 6614**  
INSA de Rouen  
Campus du Madrillet - BP 8  
76801 Saint Etienne du Rouvray cedex

**Co-encadrant :**

**Fabrice FOUCHER**  
[fabrice.foucher@univ-orleans.fr](mailto:fabrice.foucher@univ-orleans.fr)

**PRISME, Orléans**  
8 rue Léonard de Vinci  
45072 Orléans Cedex 2  
France