



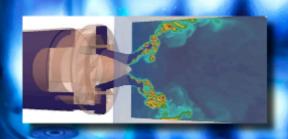


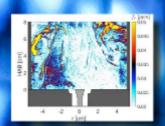


Journée François Lacas

22 JANVIER 2019 CENTRALESUPÉLEC

Théâtre Joël Rousseau, Bâtiment Bouygues Plateau du Moulon, 5 rue Joliot-Curie, Gif-sur-Yvette





Journée organisée par le Groupement Français de Combustion et le laboratoire EM20



Programme de la Journée François Lacas

CentraleSupélec, Gif Sur Yvette Théâtre Rousseau, Bâtiment Bouygues

22 janvier 2019

Les présentateurs sont priés de respecter scrupuleusement le temps de parole : 12 minutes de présentation suivies de 3 minutes pour les discussions. Le système vidéo est au format 16/9 avec un connecteur HDMI.

8h30 – 9h15 Accueil

9h15 – 10h30 Session 1. Chair: Degenève Arthur

Torres Kevin, Transferts Radiatifs dans les flammes turbulentes suitées. EM2C

Bechane Yacine, Large Eddy simulation of turbulent flame stabilization by pulsed plasma discharges. EM2C

Suillaud Edouard, Simulation nuérique directe et modélisation de la combustion dans les moteurs à allumage commandé en milieu fortement dilués. IFPEN

Mergulhao Carolina, Auto-inflammation de l'anisole au sein d'un carburant-modèle. PC2A

Jourdain Cyprien. Simulation d'une onde de détonation. ENSMA

10h30 - 11h00 Pause et photo

11h00 – 12h15 Session 2. Chair: Mergulhao Carolina

Radisson Basile, Propagation de flamme en cellule de Hele-Shaw : interaction vibroacoustiques. IRPHE

Cazères Quentin, Development of a reduction tool for complex fuels chemical kinetics, CERFACS

Utria Salas Khriscia, Chimiluminescence and structure characteristics of H2/O2 downward inverse diffusion, CETHIL

Chouraqui Hugo, Étude expérimentale de l'effet du diluant (N₂, He, Ar) sur une flamme prémélangée de méthane dans un microréacteur en quartz, ICARE

12h15 – 13h30 Déjeuner

13h30 – 14h00 Assemblée Générale

14h00 – 15h15 Session 3. Chair : Colson Sophie

Tarot Maxime, Etude de la propagation d'un front de reaction pré-mélangé initié par autoinflammation. IFPEN

Vignat Guillaume, Tomographie à très haute cadence de flamme turbulents swirlées au moyen du dioxyde d'étain. EM2C

Riaud Nicolas, Effet des proprieties du combustible sur la combustion d'ergols stockable: alcanes ethanol et peroxide d'hydrogène. ENSMA

Valdez Nelson, Turbulent Bluff-Body flames close to stability limits revealed by coupling of high speed optical diagnostics. CORIA

15h15 – 15h35 Pause

15h35 – 16h35 Session 4. Chair: Suillaud Edouard

Colson Sophie, Experimental analysis and 1D modeling of a counterflaow methane-ammonia flame. CETHIL

Lo Schiavo Ermano, Large eddy simulation of thermoacoustic instabilities in swirling spray flames. CERFACS

Degenéve Arthur. Lois d'échelles pour la longueur de flamme en oxy-combustion avec et sans mise en rotation du jet. EM2C

16h45 Clôture de la journée

Large Eddy Simulations of turbulent flame stabilization by pulsed plasma discharges

Yacine Bechane¹, Nasser Darabiha¹, Christophe Laux¹, Vincent Moureau², Benoît Fiorina¹

¹Laboratoire EM2C, CNRS - CentraleSupélec, Université Paris-Saclay.

³ Rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette cedex, France.

²Normandie University, INSA Rouen, UNIROUEN, CNRS, CORIA, 76000 Rouen, France.

The more and more severe environmental norms on pollutant emission impose a technological breakthrough to combustion-related industries. An efficient solution to reduce pollutant formation is to maintain a relatively low flame temperature. However low-temperature flames are subject to instabilities and extinction, causing safety issues. A promising technology is to stabilize the flame by Nanosecond Repetitively Pulsed (NRP) discharges. A plasma, generated at the flame basis, produces active species and local heating sufficient to sustain the combustion. Despite this proven efficiency demonstrated experimentally, the mechanisms of plasma assisted-combustion are not understood, highlighting the need of numerical simulations. The numerical simulations of interactions between electrical discharges and turbulent flames has yet never been performed and are the objective of this work. This simulation will be possible by using a novel, recently published, semi-empirical plasma model, designed to capture the influence of NRP discharges on the flame properties. This strategy will be used to include for the first time plasma kinetics in LES of flames. The simulations will give a formidable new insight in the understanding of plasma-assisted combustion.

Edouard SUILLAUD, Karin TRUFFIN, Olivier COLIN, Denis VEYNANTE

IFP Energies nouvelles, Institut Carnot IFPEN Transports Energie, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France

Le durcissement des normes anti-pollution imposées aux constructeurs automobiles les poussent à développer des technologies pour réduire les émissions en CO₂ des moteurs à allumage commandé. L'une de ces technologies largement employée se base sur le downsizing, qui consiste en une diminution de la cylindrée des moteurs sans réduire la puissance. Néanmoins la mise en place du downsizing s'accompagne d'une augmentation du risque de combustions anormales. Pour diminuer ces risques, les constructeurs automobiles ont choisi de diluer la combustion au sein du moteur avec des gaz d'échappement recyclés (EGR). En revanche cette dilution entraine une augmentation des instabilités de combustion.

Aujourd'hui les modèles de combustion en trois dimensions utilisés en simulation numérique de la dynamique des fluides perdent en efficacité de prédiction dans les conditions d'un moteur fortement suralimenté et dilué. Il a été démontré que les points de fonctionnement des moteurs à allumage commandé issus du downsizing correspondent à des régimes de combustion pour lesquels la turbulence est telle que les échelles des structures de turbulence sont plus petites que l'épaisseur de flamme. Ces structures peuvent ainsi pénétrer dans la structure de la flamme entrainant un changement de régime de combustion, du régime des flammelettes vers le régime Thin Reaction Zone (TRZ). Or les modèles utilisées sont construits sur les hypothèses de flammelettes.

Ainsi une étude numérique est ici proposée pour expliquer les différences entre une flamme dans le régime de flammelette et une flamme dans le régime TRZ, dans l'optique de proposer un modèle de combustion. Des Simulations Numériques Directes (DNS) 3D d'une flamme d'iso-octane en interaction avec une turbulence ont été menées. La turbulence est engendrée et entretenue dans l'ensemble du domaine de simulation à l'aide d'une méthode de forçage spectrale. Des analyses de la vitesse de déplacement de la flamme, de la vitesse de consommation du carburant et de l'étirement ont été réalisées à partir de ces DNS dans l'objectif d'adapter le modèle CFM – un modèle à équation de transport de la densité de surface de flamme (FSD) – au régime TRZ. Il semble que ce modèle peut être appliqué dans le cas du régime TRZ moyennant de ne s'intéresser qu'à une iso surface de la variable de progrès du côté des gaz brûlés. De plus un effort doit être fait sur la modélisation de la courbure de la flamme dans l'équation de transport de FSD, dont l'importance semble croître lorsque l'intensité de la turbulence augmente. Enfin pour compléter ces analyses des DNS en deux dimensions d'interactions entre une flamme et une paire de tourbillons ont été menées pour enquêter sur la modélisation de la courbure et de l'étirement tangentiel.

Auto-inflammation de l'anisole au sein d'un carburant-modèle

Carolina MERGULHÃO, Guillaume VANHOVE¹

Univ. Lille, CNRS, UMR 8522 - PC2A - Physicochimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère,59000 Lille, France

carolina.sampaio-mergulhao@univ-lille.fr

L'objectif de réduire la consommation de carburant et les émissions polluantes (NOx, suies) a motivé la recherche dans le domaine complexe de la combustion aux basses températures (en dessous de 1000 K) et sur les biocarburants. La lignocellulose est la forme de biomasse la plus abondante, avec une production annuelle d'environ 170 milliards de tonnes métriques. Elle est constituée de 40–50% de cellulose, 20–30% d'hémicellulose et 10–25% de lignine [1]. Des travaux récents ont suggéré que la lignine pourrait être une source de composés résistants à l'auto-inflammation, et donc de grand intérêt en tant que constituants des essences commerciales. Parmi ceux-ci, on peut compter l'anisole (méthoxybenzène), avec un indice d'octane recherche de 103 et un pouvoir calorifique inférieur de 33,19 MJ / L [2]. Ce composé est le plus simple des aromatiques issus de la lignine disposant d'un groupe méthoxy, et est souvent utilisé comme espèce représentatif de la pyrolyse de la biomasse lignocellulosique. Cependant il est bien connu qu'en conditions moteur, la réactivité des aromatiques est souvent initiée par les composés plus réactifs présents dans le carburant. Cette étude vise donc à éclaircir la réactivité de ce composé au sein d'une matrice carburant.

La Machine à Compression Rapide (MCR) de Lille a été utilisée pour étudier l'auto-inflammation des mélanges isooctane/anisole/ O_2 /inerte, et de la comparer avec les mélanges isooctane/ O_2 /inerte. Les délais d'auto-inflammation de mélanges allant de 0 à 40 mol.% en anisole ont été mesurés pour des températures de cœur allant de $T_C = 670$ K à 860 K, et des pressions au point mort haut allant de $P_C = 14$ bar à 20 bar. Les résultats expérimentaux de délais d'auto-inflammation de l'isooctane ont été comparés avec la littérature [4] afin de valider la méthodologie expérimentale. Un comportement non-Arrhenius avec coefficient de température négatif (NTC) a été observé pour des mélanges à 40% d'anisole, à $P_C = 20$ bar, dans la région allant de $T_C = 690$ K à 750 K. De plus, ces mélanges d'anisole se sont révélés moins réactifs que l'isooctane pur, en accord avec les valeurs RON des carburants purs. L'effet de la fraction molaire d'anisole dans le mélange a également été étudié à deux températures distinctes. Enfin, l'effet de pression au point mort haut a été analysé pour toutes les compositions d'anisole considérées afin de délimiter la région en dessous de laquelle on n'observe plus l'auto-inflammation et l'hypothèse du cœur adiabatique est encore valide.

- [1] I. Dimitriou, H. Goldingay, and A. V. Bridgwater, "Techno-economic and uncertainty analysis of Biomass to Liquid (BTL) systems for transport fuel production," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 88, no. November 2016, pp. 160–175, 2018.
- [2] M. Nowakowska, O. Herbinet, A. Dufour, and P. A. Glaude, "Detailed kinetic study of anisole pyrolysis and oxidation to understand tar formation during biomass combustion and gasification," *Combust. Flame*, vol. 161, no. 6, pp. 1474–1488, 2014.
- [3] S. W. Wagnon *et al.*, "Experimental and modeling studies of a biofuel surrogate compound: laminar burning velocities and jet-stirred reactor measurements of

- anisole," Combust. Flame, vol. 189, pp. 325–336, 2018.
- [4] N. Atef *et al.*, "A comprehensive iso-octane combustion model with improved thermochemistry and chemical kinetics," *Combust. Flame*, vol. 178, pp. 111–134, 2017.

C. Jourdain, ENSMA

La combustion par détonation est étudiée depuis plusieurs décennies, notamment en lien avec les études d'explosifs, la sécurité industrielle et plus récemment la propulsion. Ainsi, le cycle thermodynamique de Fickett-Jacobs applicable dans les moteurs à détonation pulsée (PDE) et les moteurs à détonation rotative (RDE), amène à un rendement accru au regard des cycles de combustion subsonique. Les sujets fondamentaux liés au fonctionnement des RDE sont nombreux et parmi eux, les modes de transmission et de stabilisation des fronts de détonation en rotation sont encore incompris. Diverses études fondamentales ont été menées dans des canaux de sections constantes représentant des chambres annulaires mais aucune dans le cas d'une chambre creuse. L'utilisation de ce dernier type de chambre semble proposer de nombreux avantages [1,2]. Ce travail fondamental porte sur la dynamique des détonations dans les chambres de RDE en utilisant différentes approches, i.e., expérimentale, par modélisation et numérique.

Une chambre courbée, avec accès optique, est utilisée afin d'observer les modes de transmission des détonations provenant d'une portion droite vers une portion courbée. Une détonation en régime Chapman-Jouguet est d'abord initiée dans un tube puis est transmise à la chambre. Les techniques d'observation et de mesure sont la strioscopie, l'ombroscopie, la visualisation directe filtrée, les plaques à dépôt de carbone et les signaux de pression dynamique. Le résultat principal est la mise en évidence de deux modes de transmission de la détonation existant pour chaque mélange considéré et pour chaque degré de diffraction étudié (géométrie interne). Le mode irrégulier est défini par l'existence d'un front de détonation surcomprimé (onde de Mach) se propageant le long de la paroi extérieure et ce, avec une célérité et une hauteur de front constantes. Dans ce cas, la structure cellulaire de ce front est parallèle à la paroi et la taille des cellules est très inférieure à celle du régime Chapman-Jouguet. Le mode régulier comprend le rallumage dans toute la chambre avec un front cellulaire accéléré et des cellules orientées dans la direction de la paroi extérieure. A partir d'une pression initiale minimale, en dessous de laquelle un échec de la transmission est obtenu, le mode irrégulier est observé. Une diminution de la hauteur du front de Mach est observée en augmentant la pression initiale jusqu'à une pression seuil. Cette dernière marque la transition entre les deux modes, régulier et irrégulier, et se situe entre 12 kPa et 15 kPa dans le cas du mélange stœchiométrique propane-oxygène.

Une interprétation de l'existence du mode irrégulier réside dans le principe auto-semblable qui peut être perçu comme un enchaînement de réflexions irrégulières sur une suite de dièdres concaves représentant la paroi concave et conduisant à la formation d'un point triple à l'intersection du pied de Mach, de l'onde incidente et de l'onde réfléchie. Il résulte ainsi la propagation d'un front stationnaire surcomprimé et d'épaisseur constante. Par ailleurs, le fort degré de diffraction dans la région interne de la chambre conduit à découplage du front de détonation et à la création d'un choc détaché en amont. Dans la région externe, le front surcomprimé peut être considéré infiniment mince, et ce du fait de la taille de cellules rendant l'épaisseur totale fine comparé aux autres longueurs caractéristiques du phénomène, e.g., le rayon extérieur ou la hauteur du front. Un modèle inerte adapté au vu de ces hypothèses est le Geometrical Shock Dynamics (GSD) originalement exprimé via la théorie Chester-Chisnell-Whitham [3,4]. L'implémentation numérique est faite via un schéma Lagrangien en deux dimensions et l'intégration en temps est gérée par une approche leap-frog [5]. Après validation du modèle sur des cas élémentaires, dans des conditions proches de nos expériences, la géométrie de la chambre

courbée est intégrée. Les principaux phénomènes sont retrouvés tels que la propagation des points triples, leurs interactions, les éventails de détente etc.

Une approche complémentaire par simulations numériques en deux dimensions est aussi faite. Les équations d'Euler compressibles, non visqueuses et inertes sont utilisées. Les premiers résultats montrent aussi une correspondance phénoménologique avec les approches précédentes.

Les perspectives expérimentales portent sur des campagnes à caractère quantitatif. De plus, nous attacherons une importance particulière sur l'étude de l'activité chimique à l'arrière du front de Mach et au niveau du front issu de la détonation diffractée via des techniques de chimiluminescence et de fluorescence induite par laser. Une extension réactive du GSD va être implémentée afin de se rapprocher des résultats expérimentaux. Finalement, des simulations numériques sur des cas réactifs seront effectuées afin notamment de mieux comprendre le phénomène de transition entre les modes de transmission ainsi que d'affiner les données de calibration des modèles utilisés lors des expériences, e.g., fluorescence.

Références

- [1] Hansmetzger S., Zitoun R., Vidal P., A study of continuous rotation modes of detonation in an annular chamber with constant or increasing section, Shock Waves 28, 1065-1078 (2018).
- [2] Anand V., St. George A. and Gutmark, E., Hollow Rotating Detonation Combustor, 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, San Diego, USA (2016)
- [3] Whitham G.B., Linear and nonlinear waves, Wiley Interscience (1974).
- [4] Milton, B.E., Mach reflection using ray-shock theory, AIAA Journal, 13(11), 1531-1533 (1975).
- [5] Henshaw W.D., Smyth N.F., and Schwendeman D.W., Numerical shock propagation using geometrical shock dynamics, Journal of Fluid Mechanics, 171, 519-545 (1986).

DETAILED ANALYSIS OF SINGLE BIOMASS PARTICLE COMBUSTION BY SHADOWGRAPHY

Hassan MOHANNA^{a-c*}, Benoit TAUPIN^a, Jean-Michel COMMANDRE^b, Bruno PIRIOU^b, Gilles VAITILINGOM^b, David HONORE^c

In the view of the environmental impact of current fossil fuels, the need to alternative resources is an issue for industrial combustion furnaces. Despite the increasing awareness of the polluting role of coal combustion in power plants, it is still the second source of primary energy. Incorporating a fraction of biomass into coal in pulverized burners can be an effective solution. However, this significantly modifies the behavior of the installations considering the different combustion behaviors of biomass at particle and flame levels. This work aims to investigate the physicochemical phenomena involved in pulverized biomass combustion, and to highlight the influences of biomass composition, especially volatile matter (VM), and the preparation techniques.

An experimental study of single particle combustion is performed on a high temperature particle reactor. Once introduced to the hot zone on the tip of a thermocouple, the particle (<1mm) is continuously monitored by high magnification direct and shadowgraph imaging techniques. The latter eliminates the flame barrier which usually obstructs the visual imaging techniques to view the particle when enveloped by a flame. This allows tracing the time-resolved evolution of the particle volume in the course of its degradation as a function of its burnout. Superposing the data of both imaging techniques with the particle temperature for a series of experiments helps to identify the events corresponding to each involved phenomenon including the ignition delay, the volatile flame duration and the char oxidation duration. Moreover, this method provides the onset of the heterogeneous oxidation associated with the increase of the particle brightness even during the flame phase. The heterogeneous ignition occurs earlier for larger particles containing lower volatile content. This means higher overlap in addition to higher burnout duration.

The timeline of events is determined by the volatile content of the particle, so is the volume evolution as well. The particle swell upon heating and the volume reduction during the flame phase are directly related to the volatile content. VM occupy around 40% of the initial particle shadow which decreases with devolatilisation progress following a power trend. The flame duration appears to be more influenced by the particle size than the particle composition. This leads to more intense combustion for higher VM particles given comparable duration and continuously more exposed char. The char appears to burn at the surface and then switch to internal combustion leaving an ash matrix behind. The particle shrinks to this moment where oxygen penetrates the surface and the shadow remains almost constant hereafter.

The results are validated in comparison to conclusions of other experimental methods and the volume evolution obtained by shadowgraphy will be integrated in a 1-D solid

^a Veolia Recherche et Innovation (VeRI), 78520 Limay, France

^{*} Corresponding author: hassan.mohanna@veolia.com mailto:david.honore@coria.fr

^b CIRAD UPR BioWooEB, 34398 Montpellier, France

^c Normandie Univ, INSA Rouen, UNIROUEN, CNRS, CORIA, 76000 Rouen, France

combustion model developed and validated for different compositions and preparations of biomass.

Propagation de flamme en cellule de Hele-Shaw: intéractions vibroacoustiques

B. RADISSON¹, B. DENET¹, et C. ALMARCHA¹ ¹ Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, IRPHÉ, UMR 7342, 13384 Marseille, France

En cas de couplage du taux de dégagement de chaleur produit par une flamme avec un mode résonant du brûleur, de violentes instabilités thermoacoustiques sont observées [1]. Les fluctuations de pression ainsi produites sollicitent mécaniquement la structure des brûleurs et peuvent causer des dégâts sérieux dans les dispositifs de propulsion [2]. La compréhension des mécanismes de couplage susceptibles de produire une boucle de rétroaction qui amplifie le phénomène oscillatoire est donc primordiale pour permettre le contrôle de ces instabilités [3]. La plupart des études considèrent la structure du brûleur comme élément dommageable in fine, mais n'intervenant pas dans le mécanisme responsable de l'instabilité [4]. Dans cette présentation, au travers d'une expérience de laboratoire, on montrera comment un couplage vibroacoustique peut mener à de tels phénomènes. Dans notre expérience, une flamme de prémélange se propage dans une chambre confinée entre deux vitres espacées de 5mm. Du fait du confinement, les fluctuations de pression produites par la flamme, induisent des ondes de flexion dans les parois du brûleur. En retour, les vibrations des parois génèrent des oscillations de l'écoulement qui agissent sur la flamme au travers d'un mécanisme dynamique, similaire à celui connu pour les flammes se propageant dans des

Dans un second temps, l'identification de ce nouveau type d'interaction, nous permet de proposer une méthode de forçage simple à mettre en œuvre, qui permet de générer un écoulement oscillant dans la cavité du brûleur. Cette technique nous permet d'analyser certaines propriétés de la réponse de flamme à un forçage périodique.

Références

- [1] Candel SM. 1992. Combustion instabilities coupled by pressure waves and their active control. Symposium (International) on Combustion. 24(1):1277–96
 Yu KH, Trouvé A, Daily JW. 1991. Low-frequency pressure oscillations in a model ramjet combustor. Journal of Fluid Mechanics. 232(1):47
- Mcmanus KR, Poinsot T, Candel SM, A review of active control of combustion instabilities
- [4] Ducruix S, Schuller T, Durox D, Candel S. 2003. Combustion Dynamics and Instabilities: Elementary Coupling and Driving Mechanisms. Journal of Propulsion and Power. 19(5):722-34
- [5] Searby G, Rochwerger D. 1991. A parametric acoustic instability in premixed flames. Journal of Fluid Mechanics. 231(1):529

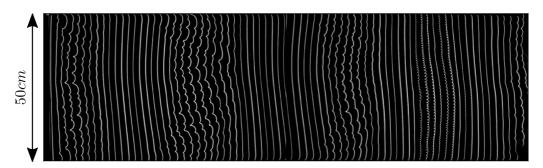


FIGURE 1 – Flamme propane-air $\varphi = 0.8$, soumise à un forçage vibroacoustique.

Development of a reduction tool for complex fuels chemical kinetics

Quentin Cazères¹, Perrine Pepiot², Éléonore Riber¹, Bénédicte Cuenot¹

- 1. CERFACS, 42 Avenue Gaspard Coriolis, Toulouse Cedex 01 31057, France
- 2. Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering, Cornell University, NY 14853, United States

Abstract:

The numerical prediction of pollutant emissions or bio-fuel flame structure in industrial combustors such as aeronautical engines, ground-based gas turbines or furnaces, requires an accurate description of combustion chemistry. Such precision may be achieved with detailed chemical kinetics mechanisms which have been developed in order to accurately capture all the details of the combustion process over a wide range of thermodynamic conditions. However, these mechanisms involve many species and reactions, making them too expensive for numerical simulation of 3D industrial cases. One solution to this problem is to reduce the complexity by targeting a specific operating range of temperature, pressure, and equivalence ratio, representative of the real case, as well as specific species that are of importance if one wants to account for NO_x or soot production for example.

Such reduced mechanisms have been successfully derived using the multi-stage reduction code YARC [1] with the following procedure. First, Direct Relation Graph with Error Propagation (DRGEP) [2] is applied on species and reactions with specified species as targets (typically fuel, oxidizer, and pollutants of interest), followed by chemical lumping, resulting in a skeletal mechanism accounting for the relevant species and reactions only. Finally, a timescale analysis along with DRGEP is used to identify species that can be set in Quasi-Steady State (QSS) in order to further speed up the calculation.

In collaboration with Pr. P. Pepiot, a new automatic reduction tool called ARCANE has been developed to make it more efficient, more flexible and easier to use. ARCANE relies on the Cantera chemistry solver [3] and is written in Python language. ARCANE tool has been benchmarked against YARC on canonical cases validating it.

This talk will first present the main features of ARCANE. Then, an example of reduction for methane-air combustion will be presented. Analytically Reduced Chemistries (ARC) are first compared to detailed mechanisms on 0D reactor and 1D flame configurations in the target operating range, and confirm that the error induced by the reduction is small enough to correctly capture important features such as intermediate species profiles, ignition delay time and laminar flame speed. Finally, several strategies to model complex fuels such as kerosene in the scope of Large Eddy Simulation (LES) will be presented: n-decane ($C_{10}H_{22}$) as a mono-component surrogate of kerosene, the HyChem mono-component model [4,5] but accounting for the full composition of kerosene, and finally the multi-component approach. This latter is necessary to study the impact of alternative fuel addition to Jet A1 on the operability of an aeronautical combustor, which is one main objective of the H2020 JETSCREEN European project.

^[1] Pepiot-Desjardins, P. (2008). Automatic strategies to model transportation fuel surrogates. Stanford University, (June).

^[2] Pepiot-Desjardins, P., & Pitsch, H. (2008). An efficient error-propagation-based reduction method for large chemical kinetic mechanisms. Combustion and Flame. 154(1-2), 67-81.

Chemiluminescence and Structure Characteristics of H_2/O_2 Downward Inverse Diffusion Flames

K. Utria^a b, C. Galizzi^a, M. Kühni^a, D. Escudié^a S. Labor^b

^aUniv. Lyon, CNRS, INSA-Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1,

CETHIL UMR5008, F-69621, Villeurbanne, France

^bRSA Le Rubis SA, BP 16 38560 Jarrie/Grenoble, France

Many industrial applications have combustion as their main process, where the safety aspects are essential. Diffusion flames (DFs) operate more robust, dependable and safer than premixed flames under a wide range of operating conditions, because the fuel and oxidant are conducted separately to the reaction zone, hence the explosion or flashback risks decrease. Consequentially, DFs or non-premixed flames are usually found in the field of burners. Their combustion characteristics will always depend on a mixture between the fuel and the oxidant under conditions of equivalence ratio, temperature and velocity. H_2/O_2 inverse diffusion flame temperatures are particularly high. Industrial applications, such as Verneuil crystal growth method, uses this kind of flames. A crystal fabricated with this technique is the Sapphire, through the crystallization process of the aluminum oxide (Al_2O_3) . This process demands temperatures higher than Al_2O_3 melting temperature (2345 K). Verneuil technique with an H_2/O_2 inverse diffusion flames reaches temperatures around 3000 K, which is above the melting point. Furthermore, the technical constraints require the use of a downward burner, for the injection of Al_2O_3 particles, which modifies the reactive zone due to buoyancy effects. Thermal flame characteristics such as heat release, flame length and thickness have important effects on the geometrical quality of the crystals.

OH* Chemiluminescence and structure characteristics of this H_2/O_2 downward inverse diffusion flames are studied; the main objective is to characterize the thermal effects of the blowtorch burner geometry at different operating points in a Verneuil burner. This research has tested two types of blowtorch geometry configuration. One configuration has two coflow jets, a central jet of O_2 and a peripherical jet of H_2 , and the other one has three coflow jets, a central and a peripherical jet of O_2 and a more external jet of O_2 and a more external jet of O_3 and jet of the flame and to obtain specific flame characteristics, a post-processing of the data with the Abel deconvolution is also carried out through Matlab®. OH* Chemiluminescence has shown that OH* emission intensities with three coflow jets are overall higher. In addition, flame thicknesses are greater for this configuration, qualitatively it means a more significant field of OH* radical emissions, thus a greater heat release. On the other hand, results obtained with two coflow jets configuration show that the flame is longer, which shifts the optimal melting zone of Al_2O_3 .

Keywords:

Inverse diffusion flame, hydrogen-oxygen diffusion flame, thermal effects on stabilization

Étude expérimentale de l'effet du diluant (N₂, He, Ar) sur une flamme prémélangée de méthane dans un microréacteur en quartz

H. CHOURAQUI^{a, b}, C. CHAUVEAU^{a, b}, P. DAGAUT^{a, b}, F. HALTER^{a, b}, G. DAYMA^{a, b}

a Universitée d'Orleans, 1 rue de Chartres, 45067 Orléans cedex 2, France b CNRS – ICARE, 1C avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans cedex 2,

France

L'intérêt pour les dispositifs portables de génération d'électricité exploitant la densité d'énergie élevée des hydrocarbures a conduit à développer la recherche dans le domaine de la combustion à micro-échelle [1]. Les réacteurs utilisés dans ce domaine ont un diamètre intérieur inférieur au diamètre de coincement. À cette échelle, des comportements caractéristiques de la flamme ont été expérimentalement [2] et numériquement [3] observés comme des flammes avec extinction et allumage répétitifs (FREI), des flammes dites faibles et des flammes stables.

Le dispositif expérimental présenté ici consiste en un microréacteur cylindrique en quartz (1,85 mm de diamètre intérieur) chauffé par trois chalumeaux H_2/O_2 . Une caméra infrarouge enregistre la température extérieure du réacteur. La position du front de flamme est déterminée à partir de l'émission de CH* en utilisant une caméra intensifiée rapide.

Dans les précédentes études, les données expérimentales utilisées pour caractériser la dynamique d'une FREI dans de tels microréacteurs sont le point d'extinction et d'allumage du front de flamme [4]. On repère le point d'extinction lorsque le ratio signal sur bruit du CH* est trop bas pour en déduire une localisation du front de flamme. Par définition, la localisation de ce point dépend énormément de la sensibilité des méthodes de mesures et rend difficile la comparaison avec les études numériques. Un meilleur choix est d'extraire la position de la flamme lorsqu'elle est dans la position la plus aval de l'écoulement. Une des raisons de ce choix est le grand ratio signal sur bruit du CH* à cette position. Dans cette étude, l'impact de la vitesse d'injection dans le microréacteur sur sa position est étudié pour une flamme de prémélange CH₄/air et est comparée avec des précédentes études expérimentales et numériques. Dans le but de mettre en évidence les propriétés physicochimiques jouant un rôle important la combustion à micro-échelle, des flammes stœchiométriques CH₄/(21% O₂-79% He) et CH₄/(21% O₂-79% Ar) sont également étudiées expérimentalement. Il est ainsi possible de mettre en évidence l'impact de la vitesse laminaire de flamme, de la température adiabatique, de la conductivité thermique, ou encore de la viscosité du mélange sur le comportement de la flamme dans le microréacteur.

[1] X. Kang and A. Veeraragavan, "Experimental demonstration of a novel approach to increase power conversion potential of a hydrocarbon fuelled, portable, thermophotovoltaic system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 133, pp. 127–137, (2017).

- [2] K. Maruta, T. Kataoka, N. I. Kim, S. Minaev, and R. Fursenko, "Characteristics of combustion in a narrow channel with a temperature gradient," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 30, no. 2, pp. 2429–2436, (2005).
- [3] E. Miyata, N. Fukushima, Y. Naka, M. Shimura, M. Tanahashi, and T. Miyauchi, "Direct numerical simulation of micro combustion in a narrow circular channel with a detailed kinetic mechanism," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 35, no. 3, pp. 3421–3427, (2015).
- [4] A. Di Stazio, C. Chauveau, G. Dayma, and P. Dagaut, "Combustion in micro-channels with a controlled temperature gradient," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 73, pp. 79–86, (2016).

Maxime TAROT, Stéphane JAY, Jean-Baptiste MICHEL

IFP Energies nouvelles, Institut Carnot IFPEN Transports Energie, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France

L'invention de solutions alternatives aux moteurs à combustion interne traditionnels est devenue un défi d'importance capitale, de par le durcissement des normes anti-pollution imposées aujourd'hui aux constructeurs. En effet, l'optimisation des moteurs Diesel et essence utilisés jusqu'alors ne permet plus une amélioration significative de leur efficience et de leurs émissions polluantes. Pour cela, l'accent est mis sur le développement de technologies alternatives, comme les moteurs Dual-Fuel. Reposant sur l'allumage d'une charge pré-mélangée pauvre, et à fort indice d'octane, par l'injection d'un spray fortement auto-inflammable (indice de cétane élevé), ce dispositif vise à allier les hauts rendements des cycles Diesel, aux faibles émissions de suies et de NOx associées aux moteurs à allumage commandé.

Néanmoins, l'apparition de points d'auto-inflammation (AI) au sein d'une chambre prémélangée peut être la source de divers phénomènes, ceux-ci dépendant fortement des gradients de réactivité entourant ces points chauds. L'étude et la compréhension des phénomènes physiques suivant leur apparition doit fournir un ensemble de critères permettant la prévention d'effets indésirables, tels que le cliquetis, ou la détonation.

L'étude numérique proposée ici vise à expliquer l'ensemble des phénomènes liés à la propagation d'un front de réaction initié par AI en milieu stratifié en réactivité. Un maillage 1D cartésien est utilisé pour lancer un ensemble simulations couvrant un large panel de gradients de réactivité. Une taille de maille de 10µm permettant une résolution suffisante du front de réaction quelles que soient les conditions dans le domaine a été choisie, tandis que des conditions de symétrie bordent les frontières inférieures et supérieures du domaine, pour s'affranchir de tout effet de bord. Aux frontières gauche et droite du domaine sont respectivement appliquées des conditions de mur adiabatique, et de sortie à pression imposée, permettant au front de réaction d'évoluer au sein d'un milieu adiabatique isobar. Les gradients de réactivité sont eux, modélisés par des rampes de température imposées aux gaz frais, ce en conditions initiales. La vitesse de déplacement du front de réaction coté gaz frais S_d(GF) est comparée à celle d'un front d'AI prédite par la théorie de Zeldovich (SAI), et à celle d'une flamme de pré-mélange 1D canonique (SL), à même niveau d'enthalpie-pression-température. Plusieurs gradients de température ont été étudiés, permettant l'identification d'une tendance récurrente : Aux premiers instants, S_d(GF) atteint des valeurs proches de S_{AI}, tandis qu'elle rejoint des valeurs proches de S_L au-delà d'un temps de transition. Cette transition est également marquée par un amincissement brusque du front de réaction, se raidissant suffisamment pour permettre l'établissement d'un équilibre réaction-diffusion caractéristique de la propagation d'un front de flamme de pré-mélange. La transition d'un régime de propagation à l'autre est donc étroitement liée à l'évolution de l'épaisseur du front de réaction, et non uniquement à sa vitesse de déplacement.

Tomographie à très haute cadence de flammes turbulentes swirlées au moyen du dioxyde d'étain

Guillaume Vignat, Daniel Durox, Kevin Prieur et Sébastien Candel

Laboratoire EM2C, CNRS, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, 3, rue Joliot Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex, France

Correspondant: guillaume.vignat@centralesupelec.fr

Différentes techniques peuvent être utilisées pour obtenir la position d'un front de flamme de manière résolue à la fois temporellement et spatialement : la fluorescence induite par laser sur les radicaux formés dans le front de flamme, mais cette technique requiert des lasers puissants et spécialisés, en particulier à haute cadence. La chimiluminescence directe devient rapidement délicate à très haute cadence du fait des limites de sensibilités des caméras. De plus, l'intégration sur la ligne de vue opérée dans les prises d'images d'émission lumineuse limite souvent ces diagnostics à des observations qualitatives. Les techniques de strioscopie (schlieren) souffrent des mêmes limitations d'intégration spatiale, mais permettent des gains importants en sensibilité. La tomographie de flamme, basée sur un écoulement ensemencé par des traceurs, permet d'identifier avec un matériel relativement limité le front d'une flamme prémélangée sur une coupe bidimensionnelle plane avec une bonne résolution spatiale et temporelle.

Les limites de la tomographie de flamme sont souvent celles des traceurs utilisés : les gouttelettes d'huiles, traceur le plus courant, sont limitées par leur faible température de vaporisation, rendant leur utilisation malaisée dans les flammes avec préchauffage ou avec recirculations de gaz brulés. De nombreux autres traceurs ont été employés dans le passé [1, 2]. Dans la présente étude, on s'intéresse à l'utilisation de dioxyde d'étain SnO_2 comme traceur pour la tomographie de flamme à haute cadence de prises de vue. Ce traceur ne modifie pas l'aspect de la flamme, dans laquelle il se sublime. Néanmoins, sa température de sublimation n'est pas connue avec précision ($1800 \, ^{\circ}C < T_{30.5} < 1900 \, ^{\circ}C$) et ses propriétés thermophysiques à haute température, notamment celles correspondant à des températures supérieures à son point de fusion ($T_{70.5} \approx 1630 \, ^{\circ}C$) n'ont pas été caractérisées de façon systématique.

Une première expérience est conduite afin de déterminer plus finement l'isotherme marquée par la disparition des particules d'oxyde d'étain dans une flamme. Des flammes coniques laminaires prémélangées méthane-air à différentes richesse sont ensemencées avec ce traceur. La position de la flamme est obtenue par chimiluminescence, et cette position est comparée avec les images de diffusion d'une nappe laser sur les particules.

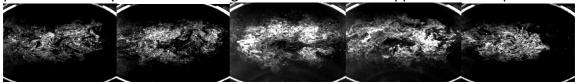


Figure 1 : Tomographie transverse au dioxyde d'étain d'une flamme swirlée en oscillation thermo-acoustique sur le brûleur SICCA-Spray. Les cinq images correspondent de gauche à droite aux instants de phase $\psi = 0^{\circ}, \psi = 90^{\circ}, \psi = 180^{\circ}, \psi = 270^{\circ}$ et $\psi = 360^{\circ}$. La zone de recirculation centrale et son battement sont visibles au centre de l'image.

Cette méthode de tomographie est par la suite appliquée à très haute cadence (100 kHz) à la chambre de combustion swirlée SICCA-Spray en présence d'oscillations thermo-acoustiques (Fig. 1). Le comportement de la flamme aux cours des oscillations peut être analysé finement, en particulier les oscillations des zones de recirculation, inaccessibles en chimiluminescence directe. Ces images montrent l'intérêt de cette méthode pour l'analyse

de la structure du front de flamme dans des flammes turbulentes, notamment dans le cas où la zone de combustion est soumise à des phénomènes dynamiques puissants comme ceux qui sont produits par des instabilités thermo-acoustiques.

Références

- [1] Dumont, JP, Borghi, R, (1985) A Qualitative Study by Laser Tomography of the Structure of Turbulent Flames, *Combustion Science and Technology*, Vol. 48, pp. 107-128.
- [2] Dumont, JP, (1987) Etude de la Structure Spatiale des Flammes Turbulentes par Laser, *Thèse de doctorat, Rouen.*

Titre: « Effet des propriétés du combustible sur la combustion d'ergols stockables: alcanes, éthanol et peroxyde d'hydrogène »

Ces dernières décennies ont montré un intérêt accru du secteur spatial pour l'utilisation d'ergols stockables dans les moteurs-fusées, principalement du fait de la course à la réduction des coûts de lancement, en œuvre depuis des années. Plus sûrs, plus faciles à manipuler, ils permettent aussi un gain potentiel en terme de structure et donc de masse. Ainsi, ces ergols « verts » comme par exemple le peroxyde d'hydrogène en association avec des combustibles (kérosène ou éthanol) sont considérés pour la propulsion. Dans cette optique, des bancs d'essais à l'échelle laboratoire ont été développés à l'institut PPrime (Poitiers, France) : celui utilisé dans la présente étude est dédié à la combustion d'ergols non-hypergoliques à des débits modérés (banc ACSEL). Le spray est généré par impact de jets liquides dans deux configurations : soit en doublets like, soit en triplet unlike. Ces deux configurations ont été étudiées et implémentées en essais réactifs avec pour oxydant HTP875 (High Test Peroxide concentré à 87.5% en masse) et pour combustible respectivement l'éthanol, l'iso-octane ou le n-décane (en tant qu'alcane pur substitut d'un kérosène).

La tête d'injection est intégrée dans une chambre de combustion de longueur 105 mm et de diamètre interne 60 mm pour différents diamètres de col. Les tests réalisés couvrent un domaine de richesse allant de 0.5 à 2.0 avec un débit imposé de 15 à 20 g/s. Une comparaison de stabilité et des performances en combustion est proposée en termes de pression chambre, débit total, richesse et vitesse caractéristique. Une visualisation rapide de l'émission spontanée large bande est aussi réaliséë sur toute la longueur de chambre. Une attention particulière est portée à l'effet des propriétés du combustible sur la combustion, en considérant en premier lieu l'effet de la miscibilité du fuel et de l'oxydant, puis celui de sa volatilité.

Remerciements: Région Nouvelle-Aquitaine, CNES.

Mots-clés: ergols verts, peroxyde d'hydrogène, alcanes, injection par impact de jets, miscibilité, volatilité

TURBULENT BLUFF-BODY FLAMES CLOSE TO STABILITY LIMITS REVEALED BY COUPLING OF HIGH SPEED OPTICAL DIAGNOSTICS

Nelson VALDEZ, David HONORE, Corine LACOUR, Bertrand LECORDIER, Armelle CESSOU

Normandie Univ, INSA Rouen, UNIROUEN, CNRS, CORIA, 76000 Rouen, France

The improvement of combustion is still an important issue for the scientific community today. The requirement of the increase of efficiency and the pollutants reduction become an essential task, which imposes constraints and new physical problems for industrial burner manufacturers and furnaces users. Recent innovative combustion regimes with low pollutants emissions and high energy efficiency usually operate close to limits of stability of turbulent flames. It is then essential to have a deeper understanding of physical phenomena leading flame stabilization to be able to master, control and enhance it. Bluff-body burner is often used for stabilization of turbulent non-premixed flames. The internal recirculation zone generated by the wake effect of the flows downstream of the bluff-body induces then the partially mixing of the fuel with oxidant, but also the trapping of high-temperature combustion products which brings the necessary heat for the stabilization of the flame. In this configuration, the modes of stabilization of turbulent flames often take the shape of intermittent unsteady phenomena in the internal recirculation zone which are complex and still poorly understood. Their study requires the ability to make time-resolved measurements by use of high-speed optical and laser diagnostics. For this purpose, an experimental study is set up based on a bluff-body burner consisting of two coaxial jets. Methane is injected in the central jet (D_i=7.5 mm) while air is injected in the annular one. The 50 mm bluff-body between reactants flows induces a large blocking factor of 0.83. For a constant central methane jet velocity (i.e. thermal power), the variation of annular air velocity allows us to cover different flames modes from a fully stabilized turbulent flame to the limit of flame blow-out. The characterization of these flames is made by coupling highspeed Particle Image Velocimetry (PIV) at 5 kHz and flame imaging at 1 kHz. Time-resolved flame imaging allows to highlight the phenomenon of ejection of reactive packets from the internal recirculation zone to the base of the main jet-like flame. Image processing of temporal series is performed to determine the characteristic frequency of this periodic ejection and its variation with the flames modes. Simultaneous PIV measurements allow to characterize the original structure of the flow downstream the Bluff-body burner, established mainly by a highly turbulent internal recirculation zone pierced by the methane central jet. Correlations determined between the periodic burning packets ejection and the instantaneous velocity fields in this region permit to fully describe this physical phenomenon controlling the stabilization of the turbulent flame.

Machine Learning for Sub-Grid Scale Turbulent Combustion Modeling

A. Seltz*°1, P. Domingo*, L. Vervisch*

* CORIA – CNRS, Normandie Université, INSA de Rouen, France

° SAFRAN Aircraft Engines, France

The reconstruction of unresolved scalar sources and transport terms from Convolutional Neural Network (CNN) is discussed in the context of sub-grid scale (SGS) modeling of premixed turbulent flames.

A Direct Numerical Simulation (DNS) imbedded in a Large Eddy Simulation (LES) of a premixed turbulent jet flame [1] is coupled with machine learning, to propose a self-consistent modeling with tabulated detailed chemistry.

First, the statistical properties of the progress variable filtered chemical source and of the unresolved SGS scalar transport by momentum and molecular diffusion are examined in the light of deep learning specific requirements.

Mining the DNS database, specific features are observed connecting filtered non-linear chemical sources and the divergence of the unresolved fluxes, respectively, to the burning rates and the divergence of the diffusive fluxes computed from the resolved LES fields. These features suggest that image-type machine learning can be readily applied to dynamically determine two mapping functions from Convolutional Neural Network, so that all unknown terms in the progress variable equation, driving the coupling with the chemical lookup table, are dynamically reconstructed from a neural network.

A priori tests are then conducted varying the LES filter size between 0.3 mm and 1.2 mm. The capability of CNN to provide a reliable approximation of the two mapping functions (chemical source and divergence of fluxes) is confirmed for all filter sizes.

It is also observed that blurring the data in the training phase, improves reliability with cases not initially learned by the CNN.

To extend the prediction to some pollutants, the proposed approach can be complemented by the progress variable SGS variance estimation from CNN recently discussed in [2], then both flame dynamics and emissions are predicted through deep learning.

References

[1] P. Domingo, L. Vervisch (2017) DNS and approximate deconvolution as a tool to analyse one-dimensional filtered flame sub-grid scale modeling, Combust. Flame, 177: 109-122.

[2] Z. Nikolaou, C. Chrysostomou, L. Vervisch, S. Cant, Turbulent premixed flame modelling using convolutional neural networks: application to sub-grid scale scalar variance and filtered reaction rate, submitted.

_

¹ Andrea.seltz@coria.fr

Experimental analysis and 1D modelling of a counterflow methane-ammonia flame

- S. Colson^{1,2}, Y. Hirano¹, A. Hayakawa¹, T. Kudo¹, H. Kobayashi¹, C. Galizzi², D. Escudié²
- ¹ Institute of Fluid Science, Tohoku University, 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan
- ² Univ Lyon, CNRS, INSA-Lyon, Université Claude Bernard Lyon1, CETHIL UMR5008, F-69621, Villeurbanne, France

To reduce the effect of the human activities on the environment, it became crucial to reduce our greenhouse gases emissions. Specifically, the reduction of emissions of carbon dioxide is a crucial issue. In this context, ammonia has been selected as a promising alternative fuel. Indeed, it is a carbon-free fuel, and its complete combustion produces only nitrogen and water. Ammonia can be produced from renewable resources using water electrolysis for hydrogen production, combined with the Haber-Bosh process. It has the advantage to be transported and stored easily, in condition close to propane. This makes of ammonia a suitable candidate as alternative fuel for use in near future.

However, ammonia presents low reactivity compared with other fuels. This makes the development of industrial application challenging. In this study, mixture of methane and ammonia have been considered, allowing a reduction of carbon emission compared with a pure hydrocarbon flame, while doping the reactivity compared with pure ammonia flame.

Even if studied in the past, the characteristics of ammonia as a fuel remains partially unknown. It is specially the case for the flame chemistry, validated for some characteristics and on specific range of conditions, leading to large discrepancies from one mechanism to another. Mixture of methane and ammonia have been essentially investigated for small amount of ammonia introduced. This is not representative of the case of applications considered in this study, where ammonia is used as a mean to reduce carbon emissions, and thus introduced in larger quantity. Hence, it is necessary to validate the mechanisms toward wide range of conditions, to understand the interactions between both fuel oxidation mechanisms, the formation/reduction of pollutant species such as carbon oxides as well as nitrogen oxides. In this study, flames were observed in a well-studied counterflow configuration, which can be easily modelled numerically and is thus suitable for chemistry validation. Both diffusion flames and premixed flames have been investigated, for fuel mixture going from pure methane to pure ammonia, and various stoichiometry. Mechanisms were validated based on the extinction stretch rate, as a global parameter of this type of flame, and the OH and NO radicals' distribution in the flame, as a local parameter essential in the understanding of NOx formation. Extinction stretch rate was determined from the measurement of flow rate at extinction and corrected based on velocity flow field measurement using PIV method. OH and NO radicals' qualitative distribution was observed using LIF imaging and then post-treated for mechanism validation. Numerical simulations were performed on the opposed-flow commercial code from Chemkin-Pro software (ANSYS software). Experimental results were observed against several mechanisms available in the literature and an analysis on the formation/reduction of NO in the flame has been performed.

Large Eddy Simulations of thermoacoustic instabilities in swirling spray flames

E. Lo Schiavo, D. Laera, L. Giquel, T. Poinsot

Abstract

Computational prediction of thermoacoustic instabilities arising in gas turbine and aero-engine combustors still remains a challenge especially if fuel is injected in a liquid spray form. To study such system spray flames and their dynamics via Large Eddy Simulations (LES) a coupled Eulerian Lagrangian representation is adopted and applied to the prediction of the injector SICCA-spray from EM2C. First the configuration is simulated in its non reacting form to validate the approach and understand the physical phenomena governing the swirled spray. After validation of the cold flow, the validation of the spray, as well as its sensitivity to the modeling input parameters, is detailed and investigated in terms of flow angle for example. Equivalently, it is observed that the injector wall treatment of the liquid phase proves to be of importance: i.e. elastic rebound or film modeling treatment in this region of the flow is seen to have a major impact on the reacting flame and anchoring pattern. Finally the experimentally observed self-sustained thermo-acoustic limit-cycle is addressed numerically extending the domain in order to match the experimentally resonating conditions without changing the mass flow rate. In that case and with adequate modeling the simulation do reproduce the correct oscillating frequency as well as the right pressure amplitude confirming the adequacy of the approach for such a problem.

L'objectif de cette thèse est d'étudier de manière quantitative l'influence de différents modes de combustion sur les mécanismes de pertes thermiques. La première étape consistera à évaluer comment certaines grandeurs caractéristiques du mode de combustion (mode de combustion par propagation/diffusion/stratifié/homogène, température de flamme, temps de résidence flamme paroi) influencent la quantité et l'évolution des transferts thermiques au cours du cycle moteur. L'angle d'attaque pour aborder cette question scientifique consistera à instrumenter de manière complète un moteur optique (mesures de température paroi et de flux pariétal) et d'y comparer directement différents régimes qui présenteront donc des échanges pariétaux fondamentalement différents. Afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu lors des transferts thermiques dans la chambre de combustion le doctorant pourra déployer d'autres diagnostics afin de relier les mesures de flux thermiques aux phénomènes physiques en proche paroi.

Lois d'échelles pour la longueur de flamme en oxy-combustion avec et sans mise en rotation du jet Arthur Degenéve

Une analyse des lois d'échelle permettant de prédire la longueur de flammes enrichies en O2 et stabilisées audessus d'un injecteur coaxial est menée dans cette étude. Le jet central est composé de méthane, éventuellement dilué avec du N2, du CO2 ou du He. Le jet annulaire d'oxydant est constitué d'un mélange O2/N2, et peut être mis en rotation. De récentes études ont montré que la longueur nécessaire pour mélanger les réactifs dans des proportions stoichiométriques pour des flammes courtes est contrôlée par des mécanismes d'entrainement dans la région proche injecteur. Cela a permis d'établir des lois d'échelles valides pour des hautes valeurs de la fraction de mélange stoichiométrique. L'étude montre que cette relation peut être étendue à des oxyflammes pour lesquelles la valeur de la fraction de mélange est plus faible.

La longueur de flammes est déterminée à partir de chemiluminescence OH* à travers plus de 1000 flammes combinant différentes valeurs pour le rapport d'impulsion, le degré de mise en rotation du jet annulaire, et la composition chimique des jets centraux et annulaire. Pour les flammes sans mise en rotation, les longueurs de flammes s'alignent selon une seule droite, dont le coefficient directeur correspond à 15% près à celui obtenu dans la littérature. Cette relation est ensuite étendue au cas de flammes avec mise en rotation du jet annulaire pour inclure la contribution du jet tangentiel dans le taux d'entrainement et permet de prédire la bonne longueur de flamme tant qu'une zone de recirculation interne n'est pas présente."