

Avis de Soutenance

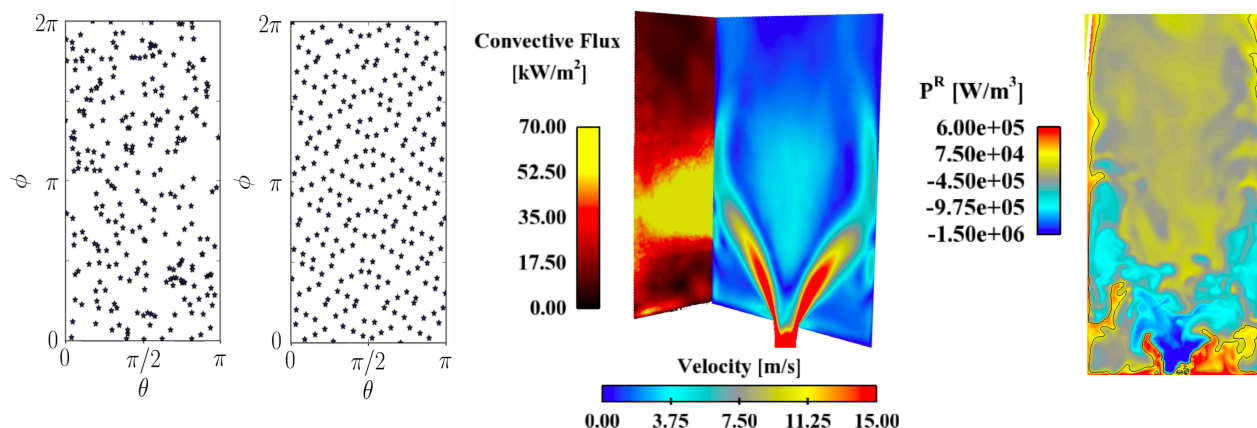
Madame Lorella PALLUOTTO

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Prédiction du transfert radiatif au sein d'une flamme prémélangée swirlée à l'aide d'une méthode Quasi-Monte Carlo couplée à la simulation aux grandes échelles

dirigés par Monsieur Olivier Gicquel et Monsieur Alessandro Parente
Co-tutelle entre l'Université Paris-Saclay et l'Université Libre de Bruxelles

Soutenance prévue le **jeudi 04 juillet 2019** à 14h00
Lieu : CentraleSupélec, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex
Théâtre Rousseau (Bâtiment Bouygues)



A gauche : échantillonnage des variables θ et ϕ à l'aide d'une séquence aléatoire à gauche et quasi-aléatoire à droite. Au milieu : Champs moyens du flux convectif et de la vitesse des gaz au sein d'une chambre de combustion. A droite : champ de puissance radiative instantanée.

Composition du jury proposée :

Dr. Florent Duchaine
Pr. Mouna El Hafi
Pr. Antonio Andreini
Pr. Axel Coussement
Dr. Bernard Labegorre
Pr. Thierry Schuller
Pr. Olivier Gicquel
Pr. Alessandro Parente
Dr. Ronan Vicquelin

CERFACS
Ecole des Mines, Albi
Università degli studi di Firenze
Université Libre de Bruxelles
Air Liquide
CentraleSupélec - CNRS (EM2C)
CentraleSupélec - CNRS (EM2C)
Université Libre de Bruxelles
CentraleSupélec - CNRS (EM2C)

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur
Directeur de thèse
Directeur de thèse
Co-encadrant

Titre : *Prédiction du transfert radiatif au sein d'une flamme prémélangée swirlée à l'aide d'une méthode Quasi-Monte Carlo couplée à la simulation aux grandes échelles*

Mots clés : Rayonnement, combustion, Simulation aux Grandes Échelles, Quasi-Monte Carlo, oxy-combustion

Résumé : La prédiction des flux aux parois joue un rôle déterminant dans le cycle de vie des chambres de combustion, car elle permet de prédire la fatigue thermique des parois et d'augmenter ainsi la durée de vie des équipements. Le transfert de chaleur de la flamme aux parois est entraîné, outre la convection, également par le rayonnement des gaz chauds au sein de la chambre. Pour évaluer les transferts thermiques aux parois il faut donc tenir compte des flux radiatifs. Les pertes thermiques aux parois dépendent de la répartition de la température à l'intérieur de la chambre de combustion, et le champ de température est, à son tour, fortement modifié par le rayonnement des gaz brûlés. Afin d'intégrer les contributions convectives et radiatives au flux pariétal dans des simulations numériques, il est nécessaire de résoudre simultanément l'équation de transfert radiatif et les équations régissant l'écoulement réactif. De nos jours, les simulations couplées impliquant combustion et transfert de chaleur radiatif sont de plus en plus utilisées et ciblées. Grâce à l'augmentation de la puissance de calcul et aux progrès des algorithmes numériques et de la scalabilité des codes, l'utilisation des méthodes de Monte Carlo (MC) dans des simulations 3D instationnaires, telles que les simulations numériques directes (DNS) et les simulations aux grandes échelles (LES), est devenue abordable et permet une résolution haute-fidélité des transferts radiatifs. Cependant, de telles simulations couplées et multi-physiques restent très coûteuses, et des efforts supplémentaires sont nécessaires afin d'améliorer l'efficacité des méthodes de MC. L'objectif de cette thèse est donc d'investiguer une technique pour améliorer

l'efficacité de la méthode MC, basée sur un mécanisme alternatif d'échantillonnage et généralement appelé intégration Quasi-Monte Carlo (QMC). Au cours de cette thèse, la méthode QMC a pu être appliquée à une configuration où le rayonnement joue un rôle important : la chambre Oxytec, étudiée expérimentalement au laboratoire EM2C. Des simulations couplées LES-QMC sont effectuées en imposant la température mesurée aux parties solides de la chambre de combustion. La comparaison entre les simulations couplées et non couplées avec les données expérimentales montre que le rayonnement thermique a un impact sur la topologie de l'écoulement et de la flamme. De plus, les résultats montrent que les pertes radiatives représentent le 20 % de la puissance thermique de la flamme et qu'environ 35 % de la puissance radiative émise et absorbée au sein de la chambre de combustion est transmise à l'extérieur à travers les fenêtres en quartz. Enfin, un bon accord est trouvé entre le flux de chaleur pariétal prédit par la simulation et les données expérimentales. Dans la dernière partie de cette thèse, l'étude se concentre sur la flamme B, où l'on s'attend que la concentration élevée de CO₂ dans les gaz brûlés augmente le transfert de chaleur radiatif. Il est d'abord montré que la présence d'une espèce absorbante telle que le CO₂ dans les gaz frais augmente la vitesse laminaire de flamme d'un facteur qui dépend de la taille de la configuration étudiée. Ensuite, les premiers résultats issus des calculs LES de la Flamme B sont présentés : les résultats préliminaires sur le transfert radiatif sont discutés et comparés à ceux obtenus à partir des simulations couplées de Flamme A.

Title: Quasi-Monte Carlo computation of radiative heat transfer in coupled Large Eddy Simulation of a swirled premixed flame

Keywords: Radiation, combustion, Large Eddy Simulation, Quasi-Monte Carlo, oxy-combustion

Abstract: The prediction of wall fluxes is a significant aspect in the life cycle of combustors, since it allows to prevent eventual wall damages. For a correct quantification of wall thermal loads, radiative fluxes have to be taken into account, since the heat transfer from flame to the walls is driven, apart from convection, also by radiation of burnt gases inside the chamber. Wall heat losses depend on the temperature distribution inside the combustor, and the flow temperature field is, in turn, strongly modified by radiation from hot gases. In order to correctly account for both convective and radiative contributions to wall fluxes, the simultaneous solution of the radiative transfer equation (RTE) and the governing equations for reactive flows is required. Nowadays, coupled simulations involving combustion and radiative heat transfer are more and more used and targeted. Thanks to the increase in computing power and advances in numerical algorithms and solver scalability, the use of accurate Monte Carlo (MC) methods in 3D unsteady simulations, such as Direct Numerical Simulations (DNS) and Large Eddy Simulations (LES), has become affordable and enables high-fidelity of the described radiative heat transfer. However, such coupled and multi-physics simulations remain very costly, and additional efforts are necessary to make MC methods more efficient. The purpose of this study is then to investigate improvements of MC methods, by using an alternative sampling mechanism for numerical integration usually referred to as Quasi-Monte Carlo (QMC) integration. In the present work, an interesting 3D application has been retained for

the assessment of QMC methods in coupled simulations: the Oxytec chamber, experimentally investigated at the EM2C laboratory. The first numerical simulations of the Oxytec chamber are carried out in this thesis work: a QMC approach enabling to solve the RTE with detailed radiative properties of gases and confining viewing windows is coupled to the LES solver, for the simulation of the Flame A. LES and LES-QMC simulations are carried out, by imposing measured wall temperature on the solid parts of the combustor. The comparison between coupled and non-coupled simulations with experimental data shows that thermal radiation has an impact on both flow and flame topology. Moreover, heat transfer results highlight that radiative heat losses account for the 20 % of the flame thermal power and that around 35% of radiative power inside the combustor is transmitted to the exterior, through the quartz windows. Finally, a good agreement is found in the numerical wall heat flux compared to experimental data. In the last part of this thesis, attention is focused on the Flame B, where the high CO₂ concentration of burnt gases is expected to enhance the radiative heat transfer. It is first shown that the presence of a strong absorber, such as CO₂, in the fresh mixture increases the laminar flame speed by a factor which depends on the size of the investigated configuration. Then, first results issued from LES of Flame B are shown and preliminary results on radiative heat transfer are discussed and compared to the ones obtained from coupled simulations of Flame A.