

Campagne de recrutement sur contrats doctoraux 2018
Institut P'

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA TRANSITION DEFLAGRATION - FRONT D'AUTO-INFLAMMATION. INFLUENCE DES PROPRIETES DE COMBUSTION DU MELANGE ET DES DIFFERENTES ECHELLES DE L'ECOULEMENT.

Institut/Département : FTC

Equipe : Combustion Turbulente

Directeur(s) de thèse : Julien Sotton

Co-encadrant(s) : Strozzi Camille

Contact pour information : camille.strozzi@ensma.fr

Salaire net mensuel : 1758€ brut / mois, CDD 3 ans (à modifier si co-financement)

Mot-clés: Auto-inflammation, combustion avancée pour la propulsion, métrologie optique.

Contexte.

L'auto-inflammation de mélanges homogènes en composition chimique intervient dans certains modes de combustion avancés, à la fois pour des applications de propulsion terrestre (HCCI, SACI, ...) ou aéronautique (CVC). Ces modes ont été étudiés ces deux dernières décennies pour la réduction de la consommation et/ou des émissions polluantes des systèmes propulsifs. Une des difficultés pour leur application pratique réside dans le fait que l'instant d'auto-inflammation ainsi que le taux de dégagement de chaleur associé ne sont contrôlés qu'indirectement : d'une part, l'instant où l'emballement thermique se produit dépend fortement de la cinétique chimique, qui elle-même dépend de la répartition de température, et donc de l'aérodynamique interne de la chambre de combustion. L'historique de compression est également un facteur déterminant. D'autre part, ces facteurs influencent aussi le taux de dégagement de chaleur qui doit rester maîtrisé : une combustion trop brutale peut générer des ondes de pression et donc du bruit, voire même endommager le moteur lorsque l'amplitude de ces ondes est trop importante.

Dans les systèmes propulsifs, l'homogénéité thermique voire de composition chimique n'est jamais totalement atteinte, ce qui impacte fortement la manière dont l'auto-inflammation va se produire localement. Zel'Dovich [1] a mis en évidence l'existence de plusieurs régimes de combustion en fonction des gradients de réactivité présents localement juste avant l'auto-inflammation, en particulier la déflagration, le front d'auto-inflammation et la détonation.

Cette thèse a pour but l'étude expérimentale de la sensibilité de la limite de la transition déflagration - front d'autoinflammation aux propriétés de combustion du mélange et à l'aérodynamique. Une machine à compression rapide (MCR), dont l'écoulement interne a été qualifié au préalable des points de vue aérodynamique et thermique [2], sera utilisée à cet effet.

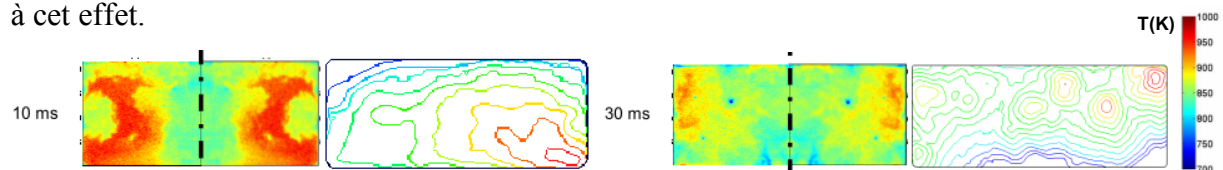


Figure 1: Champ de température (cas inerte) et évolution temporelle des contours du front réactif obtenus par chimiluminescence. Le front réactif se propage soit par auto-inflammation (gauche) ou déflagration (droite) [2].



Programme de l'étude, moyens mis en oeuvre

Dans un premier temps, l'influence des propriétés de combustion sera étudiée. Cela concerne par exemple la vitesse de flamme, le taux d'expansion, la sensibilité thermique à l'auto-inflammation, etc... Une étude paramétrique sera menée en faisant varier ces paramètres à travers la composition du mélange combustible et des conditions thermodynamiques. Les résultats seront analysés pour des valeurs identiques du délai d'allumage, ce qui revient à imposer une topologie du champ de température comparable avant le début du dégagement de chaleur principal. Le début du dégagement de chaleur pourra être déclenché soit par auto-inflammation via la compression, soit à partir d'une décharge électrique donc par déflagration. L'objectif principal consiste en l'analyse des comportements locaux des fronts réactifs à l'approche des conditions de transition.

Dans un second temps, l'influence de l'écoulement sera étudiée, et en particulier un générateur d'écoulement sera mis en place dans la MCR afin de faire varier les différentes échelles de l'écoulement. On s'attend donc à modifier la répartition de température juste avant le début de l'emballement thermique. Si les conditions sont réunies, l'écoulement peut modifier suffisamment les gradients au cours de la phase d'emballement (allumage chaud), ce qui est susceptible de générer localement différentes transitions de régime. Plusieurs régimes sont donc susceptibles de coexister à ces instants. Ce type d'interactions a été relativement peu observé dans ce type de dispositif à ces instants à notre connaissance.

L'étude de ces phénomènes lors de la transition de régime requiert une connaissance locale des écoulements réactifs instationnaires. L'étudiant s'appuiera sur l'expertise développée au laboratoire en métrologie optique et non optique. Cela concerne par exemple les diagnostics laser pour la caractérisation de l'aérothermique interne de la chambre (ex : PIV, PLIF sur traceur), mais aussi de la répartition de certaines espèces chimiques clés formées au cours de la combustion (chimiluminescence, PLIF OH, PLIF CHOH).

L'analyse des résultats requiert également la connaissance de l'influence de la cinétique chimique sur la transition, ce qui passera par l'utilisation d'outils numériques simples 0D ou 1D pour la modélisation de combustion à base de cinétique chimique détaillée.

Profil du candidat, prérequis

Profil : Master 2 recherche ou Ecole d'ingénieur.

Compétences souhaitées : Mécanique des fluides, combustion. Techniques expérimentales souhaitées, notamment en métrologie.

Divers : Le montant de la rémunération serait majoré dans le cas où le candidat se verrait confier des activités d'enseignement. La thèse débiterait le 1er septembre 2018.

Date limite de candidature : 26 mars 2018 (recommandé : ***avant le 23 mars 2018***)

Bibliographie

[1] Y.B. Zel'dovich, Combust. Flame 39 (1980) 211–214.

[2] Strozzi C., Mura A., Sotton J., Bellenoue M. (2012), Combust. Flame 159: 3323.

2018 Doctoral research projects for PhD recruitment
Institut P'

*EXPERIMENTAL STUDY OF AUTO-IGNITION FRONT / DEFLAGRATION TRANSITION.
INFLUENCE OF COMBUSTION PROPERTIES OF THE MIXTURE AND OF THE FLUID
FLOW CHARACTERISTIC SCALES.*

Institute/Department: FTC
 Research team: Turbulent Combustion (CT)
 Supervisor(s): Pr. Sotton Julien
 Co-supervisor(s): Dr. Strozzi Camille
 Contact for information: camille.strozzi@ensma.fr
 3-year contract: 1768 € raw monthly salary

Keywords: Auto-ignition, advanced combustion modes for propulsion applications, optical diagnostics

Framework and objectives.

Auto-ignition of homogeneous mixtures in terms of chemical composition is a phenomenon involved in advanced combustion modes for both ground propulsion (HCCI, SACI...) and aeronautic propulsion (CVC). Most of these modes were under study over the last two decades in order to reduce fuel consumption and/or pollutant emissions of propulsive systems. One of the main difficulty for their practical application is due to the fact the auto-ignition phasing and the heat release rate are not directly controlled: on the one hand, the instant corresponding to the occurrence of the thermal runaway is highly dependent on chemical kinetics, which is strongly affected by internal aerodynamics and the related temperature distribution within the combustion chamber. Compression history is an important parameter as well. On the other hand, these parameters also affect the heat release rate which has to remain under control: pressure waves, e.g. excessive noise, may be generated by brutal combustion events. This may also damage the engine in the most severe conditions.

In practical propulsion systems, thermal homogeneity is never perfect and some stratification in terms of chemical composition may also persist in practice. This drastically affects the behavior of auto-ignition from a local point of view: Zel'Dovich [1] reported the existence of different combustion regimes depending on the reactivity gradients observed before the onset of auto-ignition. These regimes are deflagration, spontaneous ignition fronts, and detonation. The objective of the present PhD thesis is the experimental investigation of the transition limit between deflagration and auto-ignition front, and in particular its sensitivity to mixture properties and aerodynamics. A Rapid Compression Machine (RCM) will be used to this purpose. It is worth noting the internal flow and temperature distributions in the combustion chamber of the device were already characterized in some conditions [2].

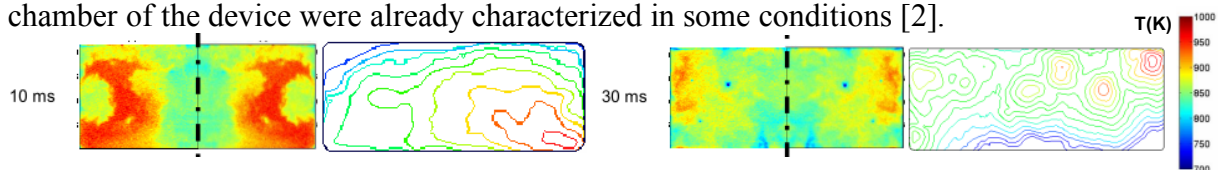


Figure 1: Temperature field (inert case) and temporal evolution of reactive front contours obtained from chemiluminescence emissions. The combustion regime is either auto-ignition (left) or deflagration (right) [2].



Work program and means.

In a first step, the influence of combustion properties like for instance flame burning velocity, expansion ratio, and thermal sensitivity to auto-ignition will be under investigation. A parametric study will be performed, these quantities being changed via the mixture composition and thermodynamical conditions. Results will be analyzed for a constant ignition delay value, e.g. for a similar temperature distribution in the chamber before the onset of the main heat release. Besides, the onset of heat release could correspond to the occurrence of auto-ignition, or may be triggered by a spark plug. In that case, it would rather correspond to a deflagrative process. The main objective here is the analysis of the local behaviors of reactive fronts close to the transition limit.

In a second step, the influence of the flow field will be investigated. In particular, a flow generator will be installed in the RCM in order to modify the length scales of the flow. We expect to drastically change the temperature distribution at the onset of heat release: in some cases, the flow could sufficiently affect the thermal gradients during thermal runaway (hot ignition) to induce local regime transitions. In that case, several regimes may exist at the same time in the combustion chamber. To our knowledge, this kind of interaction was very rarely observed in RCM devices.

Studying these regime transitions requires the local characterization of unsteady reactive flows. The student will take advantage of the expertise developed at Pprime institute in optical and non-optical metrology. For instance, laser diagnostics can be used to characterize the internal aerodynamics of the chamber (Tr-PIV, tracer PLIF). The distribution of some key intermediate species can be investigated as well to characterize the combustion process (chemiluminescence, OH PLIF, CHOH PLIF).

The analysis of experimental results has to account for the chemistry effects on the regime transitions. Simple 0D or 1D models based on a detailed description of chemical kinetics will be employed to this purpose.

Applicant profile, prerequisites.

Applicant profile: Master 2 or engineering school.

Prerequisites: Fluid mechanics, combustion. Knowledge of experimental techniques and especially of metrology would be an advantage.

Miscellaneous: Would the candidate have to perform teaching activities, the salary level could be increased. The PhD thesis would start on September, the first 2018.

Application deadline : march, the 26th 2018. (appreciated **before march, the 23th 2018**)

References

- [1] Y.B. Zel'dovich, Combust. Flame 39 (1980) 211–214.
- [2] Strozzì C., Mura A., Sotton J., Bellenoue M. (2012), Combust. Flame 159: 3323.