

Proposition d'étude Post Doctorale à l'Institut PPrime - UPR 3346 CNRS

Compétition entre production chimique et pertes par expansion lors de la propagation d'une détonation

1 Contexte

Ce projet entre dans le cadre de la Chaire industrielle sur la Combustion Alternative pour la Propulsion Aérobie CAPA qui a débuté en 2014 à l'Institut PPRIME - UPR 3346 CNRS. Les turbomachines actuellement utilisées en aéronautique fonctionnent selon un cycle thermodynamique de combustion à pression constante dit de Joule-Brayton. Ces turbomachines ont fait et font encore l'objet de nombreux efforts de recherche et développement. Le degré de maturité de ces systèmes est aujourd'hui très élevé. Face aux exigences de respect de l'environnement et de réduction de la consommation, l'industrie aéronautique envisage de mettre en place des systèmes utilisant des modes de combustion en rupture permettant de bénéficier des avantages qu'offrent les cycles thermodynamiques de Humphrey (Combustion à Volume Constant) ou de Fickett-Jacobs (Détonation). Pour atteindre de tels objectifs, il est avant tout impératif de maîtriser les phénomènes physiques impliqués (et leurs interactions) dans de tels modes de combustion.

La structure cellulaire de détonation est le reflet du taux de dégagement de chaleur en aval du front de détonation. Les comportements dynamiques lors de l'initiation, de la propagation, de la transmission ou de l'extinction des détonations observées sur les enregistrements expérimentaux de la structure cellulaire montrent que ces régimes sont fortement dépendants de la loi de libération d'énergie chimique dans l'écoulement. De plus, les effets de surpression recherchés dans ce mode de détonation sont dépendants de la vitesse de détonation. Ainsi, la célérité de détonation et la structure cellulaire sont des paramètres-clé du dimensionnement. Cette étude se propose d'étudier leur évolution et leur sensibilité à une faible variation de la section.

2 Programme de recherche

Les calculs de la zone de réaction en utilisant le modèle ZND et les schémas détaillés de cinétiques chimiques indiquent qu'une classification peut être effectuée selon que la loi de libération d'énergie chimique soit globalement à une étape ou à deux étapes. Une réaction globale à une étape serait représentative d'un prémélange gazeux avec l'oxygène comme oxydant à la stœchiométrie. Un mécanisme à deux réactions globales serait ainsi plutôt représentatif d'un mélange réactif dilué ou hors des proportions stœchiométriques – par exemple avec l'air comme oxydant. Ce dégagement de chaleur en deux étapes n'exhibe pas nécessairement une double structure cellulaire (Desbordes and Presles (2012)).

L'étude numérique proposée consiste à analyser l'écoulement produit lors du passage d'une détonation stationnaire autonome dans un canal de section légèrement croissante (faible divergence inférieure à 5°). Les simulations bidimensionnelles résoudront les équations d'Euler réactives. Les réactions chimiques seront modélisées, d'une part, par une étape $A \rightarrow C$ libérant une énergie Q ou, d'autre part, par deux étapes successives $A \rightarrow B$ et $B \rightarrow C$ libérant respectivement les énergies Q_1 et Q_2 telles que $Q_1 + Q_2 = Q$. La deuxième étape, lorsqu'elle existe, est environ un ordre de grandeur plus lente que la première étape. Chaque espèce sera considérée comme un gaz parfait à capacité calorifique constante.

Selon la part d'énergie associée à la deuxième étape et contribuant à la propagation de la détonation Q_2/Q , le régime de détonation peut être affecté par les pertes générées par la divergence du canal. Une étude paramétrique pour Q_2/Q variant de 0 correspondant à un mélange

stœchiométrique non dilué à 0.5 correspondant à un mélange dilué sera effectuée. On peut assister alors localement à un déficit de la célérité de la détonation, qui serait liée au fait que l'énergie Q_2 ne participe plus à la propagation de la détonation, avec toutes les conséquences sur les paramètres thermodynamiques de l'écoulement. Et la structure cellulaire peut s'en trouver spatialement modifiée.

L'étude numérique s'appuiera sur un code développé en interne. Il est construit sur un schéma numérique à capture de choc. Le solveur de Riemann est HLLC (Toro 1999). La discrétisation spatiale est d'ordre élevé 5 à 9 (Suresh and Huynh (1997)). La discrétisation temporelle est d'ordre 3. Et le couplage entre la partie hyperbolique et les termes sources est effectué via un splitting de Strang. Une stratégie de raffinement/déaffinement fixe dans un environnement parallèle MPI a été mise en place afin de pouvoir traiter du caractère multi-échelles de la détonation.

Le candidat devra mettre en place la configuration de la simulation. Il s'attachera également à analyser la sensibilité de la cinétique chimique, notamment celle de la deuxième étape vis-à-vis de la divergence de l'écoulement, qui est induite par la variation de la section. Plus spécifiquement, il devra analyser dans un premier temps comment les détentes générées affectent la structure cellulaire, l'augmentation de leur taille, voire leur dégénérescence mais également dans un deuxième temps le mécanisme de régénérescence de ces cellules.

Références

- Guilly, V. (2007) Etude de la diffraction de la détonation des mélanges C_2H_2/O_2 stœchiométriques dilués par l'argon. Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers
- Desbordes, D. and Presles, H.N. (2012) Multi-scaled cellular detonation, In Shock Wave Science and Technology Reference Library, vol 6. ISBN 978-3-642-22966-4
- Suresh, A., & Huynh, H.T. (1997). Accurate monotonicity-preserving schemes with Runge–Kutta time stepping. Journal of Computational Physics, 136(1), 83-99.
- Toro, E.F. (1999). Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics: a practical introduction. Springer.

3 – Informations pratiques

Profil recherché : Docteur en combustion / mécanique des fluides numéricien ; des qualités d'expérimentateur seraient un plus.

Compétences : Dynamique rapide, écoulements hors équilibre chimique, cinétique chimique, modélisation numérique.

Porteur de la Chaire : Marc BELLENOUE

Responsables scientifiques du Post-Doc: Florent VIROT, Ashwin CHINNAYYA.

Contacts : florent.virot@ensma.fr, ashwin.chinnayya@ensma.fr, marc.bellenoue@ensma.fr

(merci de mettre toutes les adresses email en copie de vos messages)

Tel : (F. VIROT : 05.49.49.83.21, A. CHINNAYYA : 05.49.49.81.69)

Informations diverses :

L'étude post doctorale, d'une année, fait partie intégrante du programme de recherche de la Chaire industrielle CAPA, financée par SAFRAN, MBDA France et l'ANR, se déroulera au sein du département Fluides Thermique Combustion de l'Institut PPRIME, sur le site de l'ENSMA. Le montant de la rémunération est d'environ 2300 € brut/mois soit 1850 € net/mois. Le Post-Doc pourra débuter dès Février 2016.