

Rédigé le 21 mars 2023

3 minutes de lecture

Actualités

Recherche fondamentale

Motorisations thermiques

Mécanique des fluides

Technologie de la combustion et des moteurs

Modélisation et simulation des systèmes

Pour les segments de transport difficiles à électrifier, tels que les véhicules terrestres lourds (poids lourds longs routiers, off road[1]), la mobilité hydrogène apparaît comme une alternative

prometteuse pour répondre aux enjeux de diminution de l'empreinte carbone du transport.
Si la pile à combustible est une solution très étudiée dans le cadre de la mobilité décarbonée, le moteur à combustion interne utilisant de l'hydrogène comme carburant se présente comme une alternative tout aussi envisageable pour réduire nettement les émissions de CO_2 et polluants.
C'est ce que tendent à démontrer des travaux menés par IFPEN, FEV et l'université d'Aachen dans le cadre du projet européen LONGRUN.

Pour l'emploi d'hydrogène comme carburant, le principal défi est d'assurer **un haut niveau de rendement** tout en maitrisant **les émissions de NO_x** et **les combustions anormales**. Afin d'identifier les leviers d'optimisation de ce système de conversion énergétique et de mieux comprendre les phénomènes en jeu, IFPEN a collaboré avec FEV et l'université d'Aachen, pour mener une étude [1] à la fois expérimentale et numérique dans le cadre du projet européen LONGRUN.

Validation d'une approche 3D dédiée au moteur à hydrogène

Le savoir-faire d'IFPEN en termes de modélisation et de simulation CFD[2] réactive a permis de formuler **une première approche numérique 3D multi-physique** pour prédire **le comportement d'un moteur H_2**.
La simulation repose sur une formalisation RANS[3], implémentée dans le code de calcul CONVERGE™, et est basée sur l'utilisation couplée de **plusieurs sous-modèles physiques** :
- l'**Extended Coherent Flame Model** (ECFM) [2] qui décrit la propagation d'une flamme H2 partiellement pré-mélangée ;
- le **modèle Tabulated Kinetics of Ignition** (TKI) [3] pour la prédiction des phénomènes en lien avec l'auto-inflammation (préallumage et cliquetis) ;
- et le **modèle chimique détaillé de post-flamme** (activé seulement dans la région des gaz brulés) pour la prédiction des émissions de NOx.

La démarche de modélisation a été validée sur des mesures expérimentales fournies par FEV et l'université de Aachen sur un moteur monocylindre Diesel spécifiquement converti à l'H_2 pour le projet LONGRUN.
Dans un premier temps, **la validation du modèle numérique** a été effectuée **sur une configuration homogène PFI[4]** pour éviter les incertitudes liées à la modélisation du mélange Air/H_2 dans la chambre de combustion.
La Figure 1 donne le détail de cette validation qui a notamment porté sur **la prédiction de la propagation de flamme**, **des phénomènes de combustions anormales (cliquetis) et des émissions de NOx**.

[1] Off-road : Tout type de véhicule capable de rouler sur et hors d'une surface pavée ou de gravier
[2] CFD : Computational Fluid Dynamics
[3] RANS : Reynolds-Averaged Navier-Stokes
[4] PFI : Port Fuel Injection

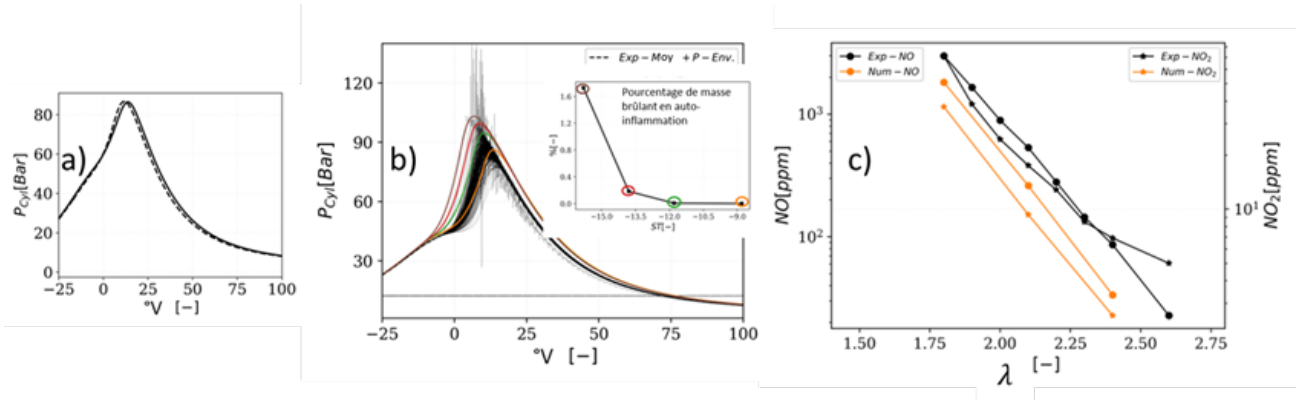


Figure 1. Configuration PFI : a) pression du cylindre numérique (ligne continue) comparée au signal expérimental (ligne pointillée), en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin ; b) enveloppe de pression expérimentale sur un point cliquetant comparé à l'enveloppe numérique obtenue pour différentes valeurs d'avance à l'allumage (ST) en monitorant le pourcentage de la masse d'H2 consommé en auto-allumage ; c) comparaison entre les émissions de NO et NO2 expérimentales et numériques à l'échappement du moteur pour plusieurs valeurs de ?.

Dans un second temps, le modèle CFD préalablement validé sur la configuration PFI a permis de simuler **une configuration avec injection directe d'H_2**.
Tout en reproduisant la bonne évolution de la pression cylindre (et donc de la propagation de la flamme) par rapport aux mesures, le calcul a permis de démontrer que **l'optimisation de la formation du mélange sur la configuration à injection directe (DI)** est un levier clé pour **l'amélioration du rendement moteur** et **la réduction des émissions de NO_x**.
La Figure 2 montre que la formation de NO et NO_2 est fortement liée la préparation du mélange décrit par la variable ?[5]. Cette première validation a pu en outre confirmer **la pertinence du calcul 3D** comme outil d'aide et d'accompagnement à la conception des futures motorisations Hydrogène.

[5] Rapport Air/Carburant

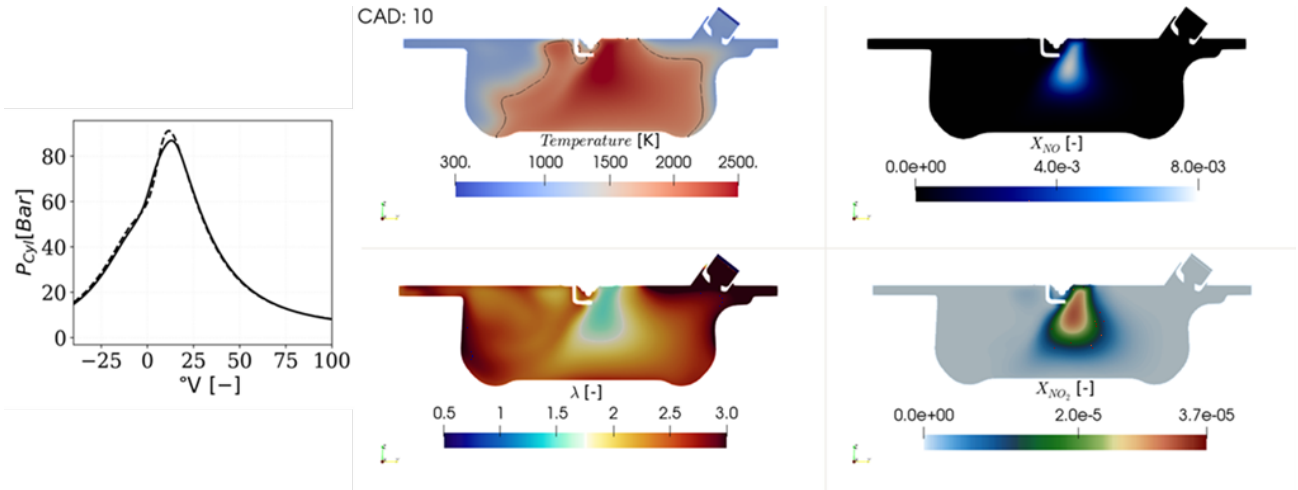


Figure 2. Gauche : évolution de la pression cylindre sur un point à injection directe pour le calcul numérique (ligne continue) et pour les expériences (ligne pointillée). Droite : distribution 2D, sur le plan médian du cylindre, de la température, (?) et NOx (NO et NO2) sur un point de fonctionnement à injection directe (DI) avec un angle de rotation du vilebrequin (CAD = Crank Angle Degree) de 10°.

Des travaux en cours pour améliorer la prédictivité de la simulation 3D

Les résultats prometteurs atteints au cours de cette étude invitent à aller plus loin et à engager de nouvelles approches de simulation pour continuer à **améliorer la robustesse et la prédictivité des calculs** sur une plage de fonctionnement étendue (régime et charge).
Ces travaux consisteront notamment à améliorer la modélisation du mélange H_2/air dans la chambre de combustion lors de l'injection directe ainsi que la description de la propagation de flamme et du phénomène d'auto-inflammation.

Références

[1] Maio, G., Boberic, A., Giarracca, L., Aubagnac-Karkar, D., Colin, O., Duffour, F., ... & Pischinger, S. (2022). Experimental and numerical investigation of a direct injection spark ignition hydrogen engine for heavy-duty applications. International Journal of Hydrogen Energy, 47(67), 29069-29084.
[2] Colin, O., Benkenida, A., & Angelberger, C. (2003). 3D modeling of mixing, ignition and combustion phenomena in highly stratified gasoline engines. Oil & gas science and technology, 58(1), 47-62.
[3] Robert, A., Richard, S., Colin, O., Martinez, L., & De Francqueville, L. (2015). LES prediction and analysis of knocking combustion in a spark ignition engine. Proceedings of the Combustion Institute, 35(3), 2941-2948.

Contact scientifique : olivier.laget@ifpen.fr

VOUS SEREZ AUSSI INTÉRESSÉ PAR

Une meilleure description des écoulements turbulents pour les motorisations hydrogène
Mobilité hydrogène : IFPEN se dote du banc d'essai de piles à combustible le plus puissant de France
IFPEN mise sur la mobilité hydrogène
Des poids lourds qui carburent à l'hydrogène : une solution pour diminuer l'empreinte carbone du transport ?
21 mars 2023

Lien vers la page web :