



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 road¹), 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 CO₂ 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 maîtrisant 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 CFD² réactive a permis de formuler une première approche numérique 3D multi-physique pour prédire le comportement d’un moteur H₂.

La simulation repose sur une formalisation RANS³, 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 brûlés) pour la prédiction des émissions de NO_x.

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’H₂ pour le projet LONGRUN.

Dans un premier temps, la validation du modèle numérique a été effectuée sur une configuration homogène PFI⁴ pour éviter les incertitudes liées à la modélisation du mélange Air/H₂ 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 NO_x.

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

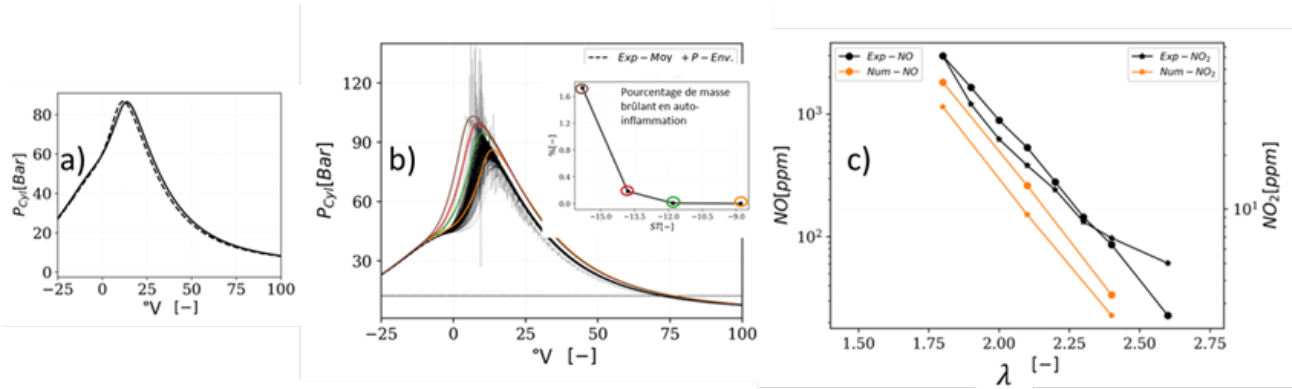


Figure 1. Configuration PFI : a) pression du cylindre numérique (ligne continue) comparée au signal expérimental (ligne pointillée), en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin ; b) enveloppe de pression expérimentale sur un point cliquetant comparé à l'enveloppe numérique obtenue pour différentes valeurs d'avance à l'allumage (ST) en monitorant le pourcentage de la masse d' H_2 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 NO₂ 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

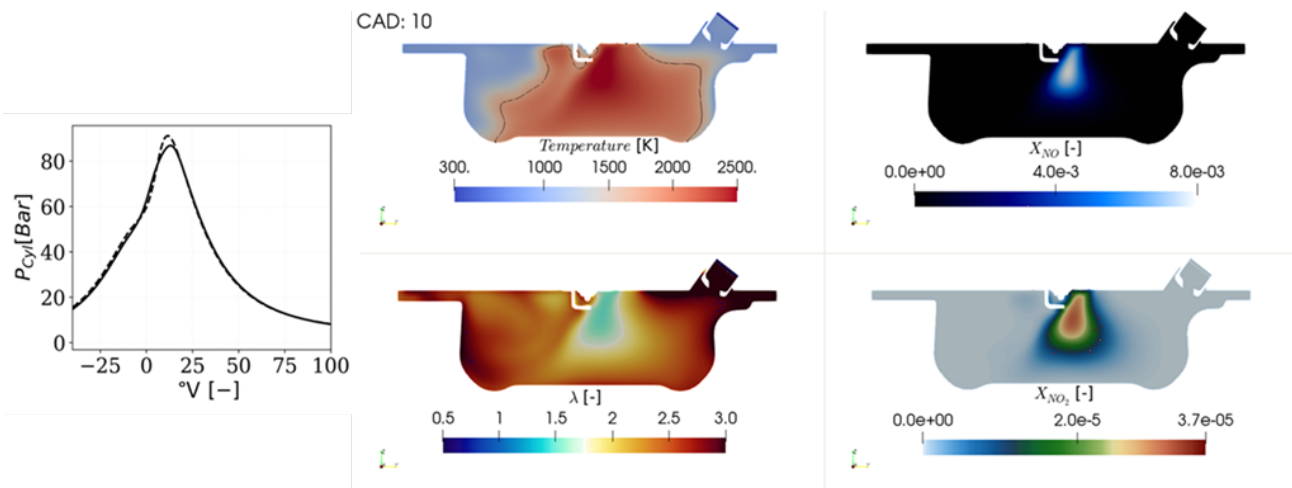


Figure 2. Gauche : évolution de la pression cylindre sur un point à injection directe pour le calcul numérique (ligne continue) et pour les expériences (ligne pointillée). Droite : distribution 2D, sur le plan médian du cylindre, de la température, (?) et NO_x (NO et NO₂) sur un point de fonctionnement 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 H₂/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 :