

## Modélisation des moteurs à combustion interne : développement de modèles pour la simulation système

*Stéphane RICHARD*

Depuis une vingtaine d'années, le cahier des charges de conception des moteurs automobiles a profondément évolué en Europe. En effet, les principaux défis lancés aux industriels concernent aujourd'hui le respect de normes antipollution de plus en plus sévères (normes Euro 5 à partir de 2010) et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment de CO<sub>2</sub> avec comme objectif moins de 130g CO<sub>2</sub>/km à l'horizon 2012. Pour répondre à ces attentes, le Groupe Moto-Propulseur (GMP) a été considérablement complexifié : les moteurs intègrent de plus en plus de technologies (injection haute pression, suralimentation, boucle EGR...) et sont désormais munis d'un ou plusieurs organes de post-traitement des gaz d'échappement.

Dans ce contexte, le nombre de degrés de liberté du système moteur a largement augmenté, rendant son optimisation difficile à réaliser par les seuls essais. Aujourd'hui, une alternative prometteuse à l'utilisation exclusive du banc moteur est la simulation 0D/1D du système GMP. Elle s'est rapidement répandue au cours des dix dernières années dans l'industrie automobile et est utilisée couramment comme un outil d'aide à la conception d'algorithmes de contrôle, voire de prédimensionnement de composants de la boucle d'air comme les turbocompresseurs. Néanmoins, son champ d'utilisation est actuellement limité par le niveau de prédictivité de ses modèles qui sont généralement empiriques. La solution proposée par l'institut Carnot IFP-Moteurs pour étendre le champ d'application de la simulation système au dimensionnement du système de combustion (architecture moteur, niveaux d'EGR, choix des carburants, système d'injection...) consiste à développer des approches plus physiques, soit par analyse phénoménologique fine de simulations détaillées (calculs de chimie complexe, simulations 3D), soit par réduction directe de modèles 3D.

Cette démarche originale, appelée cascade de modèles, permet de conserver une cohérence dans les simulations tout au long du cycle de développement du moteur, de la conception fine de la chambre de combustion par calcul CFD (3D) jusqu'à la définition des algorithmes de contrôle ou la pré-calibration. Parallèlement à ce travail de modélisation, un effort est également mené pour rendre ces approches compatibles avec une utilisation en temps réel de la simulation, contrainte imposée par le contrôle moteur. Pour cela, différentes voies sont explorées à l'IFP-Moteurs. La première consiste à simplifier les modèles et est déjà opérationnelle. Elle est basée sur l'utilisation de réseaux de neurones pour remplacer une partie de la physique résolue par une physique « apprise » et stockée dans le réseau. Une autre approche plus récente correspond à la distribution du calcul sur plusieurs processeur, approche utilisée couramment en CFD.

L'ensemble des travaux menés depuis une dizaine d'années est capitalisé au sein de diverses bibliothèques développées par les chercheurs du Carnot IFP-Moteurs (IFP-Engine pour la simulation moteur, IFP-Drive pour le véhicule et IFP-Exhaust pour les organes de post-traitement). Celles-ci sont intégrées dans la plate-forme de simulation système AMESim® et permettent de traiter des applications de plus en plus variées, du moteur conventionnel au véhicule électrique en passant par les véhicules hybrides.