

# Éditorial

## R&D POUR DES VEHICULES ET MOTEURS PLUS PROPRES ET ÉCONOMES

Le moteur à combustion interne alimenté par des produits pétroliers est depuis plus d'un siècle une composante majeure de notre vie quotidienne, et a largement contribué à l'essor du transport comme facteur clé de notre développement économique. Durant cette période, les évolutions du contexte énergétique, économique et environnemental ont régulièrement amené à explorer des voies nouvelles et à réaliser des transformations technologiques fortes.

Le contexte actuel est dominé par la nécessité largement reconnue de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et en particulier du CO<sub>2</sub> dont le transport est une des sources majeures, tout en maintenant les émissions polluantes au plus bas. Cette double contrainte de réduction drastique de la consommation énergétique et des impacts nocifs telle que traduite par des réglementations de plus en plus sévères ouvre la voie à une grande diversité de solutions techniques innovantes permettant d'y répondre.

La réglementation européenne EC 443/2009 contraint pécutiairement les constructeurs à réduire les émissions moyennes des véhicules qu'ils vendent, en fixant des objectifs individuels à chaque constructeur basés sur la masse moyenne du parc de leurs voitures particulières dans l'UE. Les constructeurs qui dépasseront cet objectif devront payer une pénalité calculée comme suit : nombre de g de CO<sub>2</sub>/km émis au-dessus de l'objectif constructeur, multiplié par le nombre de voitures particulières vendues par ce même constructeur dans l'année. À partir de 2019, cette pénalité sera de 95 € par g/km de dépassement et par voiture vendue, ce qui peut correspondre à des milliards d'Euros pour un grand constructeur qui ne serait pas en mesure de respecter ces contraintes. Le calcul inclut des bonifications pour les véhicules émettant moins de 50 g/km, ce qui est une incitation à l'introduction de technologies innovantes.

Dans ce contexte, l'électrification des véhicules est une des voies majeures explorées, comme l'indique le rapport de la mission présidée par J. Syrota "*La voiture de demain : carburants et électricité*" établi en juin 2011, thématique aussi analysée dans les travaux de la *European Green Car Initiative*. Toutefois, cette dernière ne permet pas de répondre à toutes les contraintes techniques, ni à toutes les exigences du consommateur. De ce fait, améliorer le moteur à combustion interne reste un objectif primordial, tout comme l'est sa combinaison avec des carburants alternatifs à empreintes CO<sub>2</sub> réduites ou son intégration dans des véhicules hybrides avec des moteurs et composants électriques permettant d'assurer une amélioration des performances environnementales du système motopulseur et du véhicule.

Ce numéro thématique de la revue OGST présente quelques aspects de la recherche et développement en cours dans le domaine des véhicules propres et économes, à la fois dans des laboratoires du *Groupement Français de Thermodynamique des Moteurs à Combustion (GFTMC)* et dans les équipes d'*IFP Energies nouvelles*.

L'amélioration du rendement énergétique du moteur à combustion interne passe par un choix optimisé du cycle thermodynamique qui en est à la base. Ainsi, le papier de Pierre Rochelle et Lavinia Grosu "*Solutions analytiques et optimisation du cycle de Schmidt irréversible à régénération imparfaite appliquées aux 3 types classiques de moteur Stirling*" propose des modèles simples pour l'optimisation préliminaire de concepts de moteur Stirling, et en particulier des exo-irréversibilités dues aux transferts thermiques. L'article "*Modèle de moteur à allumage commandé en vue de l'optimisation de la production chaleur-force*" de Damien Descieux et Michel Feidt

présente un autre aspect de l'utilisation de moteur à combustion interne à travers une analyse thermodynamique des moteurs utilisés en cogénération énergie thermique/énergie mécanique.

L'optimisation constante du moteur à combustion interne nécessite une compréhension accrue des phénomènes complexes se déroulant dans le cylindre, à l'aide en particulier de diagnostics optiques avancés appliqués à des moteurs à accès optique. Le papier de Julian Kashdan et Benoist Thirouard "*Moteurs transparents comme outils représentatifs dans le développement de nouveaux concepts des moteurs à combustion interne*" discute des approches pour limiter les écarts entre le fonctionnement de moteurs réels et de moteurs transparents résultant de différence en termes de conditions thermiques, de déformations, du carburant utilisé et de la recirculation d'azote au lieu des gaz d'échappement.

L'éco-suralimentation ou "downsizing" vise à augmenter l'efficacité énergétique du moteur thermique et consiste à diminuer la cylindrée unitaire tout en compensant la perte de puissance par la suralimentation. L'élément clé en est le turbocompresseur, dont l'utilisation dans le contexte fortement transitoire caractéristique d'une utilisation automobile nécessite des recherches spécifiques. L'article de Hani Mohtar, Pascal Chessé, David Chalet, Jean-François Hetet et Anthony Yammine "*Effet du diffuseur et de la volute sur la performance et la stabilité d'un compresseur centrifuge de suralimentation : étude expérimentale*" présente les résultats d'une étude expérimentale visant à améliorer la conception géométrique pour optimiser le compromis stabilité/performances d'un compresseur centrifuge. Le papier "*Influence des transferts thermiques sur le calcul des performances des compresseurs de suralimentation*" de Pascal Chesse, David Chalet et Xavier Tauzia montre que l'hypothèse d'adiabaticité n'est pas toujours vérifiée et qu'il s'en suit des écarts quant à l'évaluation du rendement, de la puissance et de la température de sortie du compresseur, notables à basses charges moteurs.

La préparation du mélange combustible et sa combustion sont les aspects primordiaux à maîtriser pour assurer à la source les rendements et niveaux d'émission escomptés. Dans ce cadre, la modélisation et la simulation numérique ont un rôle essentiel pour permettre une compréhension détaillée et contribuer à optimiser de nouveaux concepts. L'article de Fabien Dos Santos et Luis Le Moyne "*Modèles de spray dans les applications moteur, des corrélations aux simulations numériques directes*" propose une revue critique de différentes approches pour décrire l'injection d'un carburant liquide dans un moteur thermique, allant de corrélations non-dimensionnelles à des approches tridimensionnelles.

Le papier "*Un modèle de combustion à allumage par compression basé sur la physique et la chimie tabulée : des modes de combustion contrôlés par la chimie jusqu'aux modes contrôlés par le mélange*" de Nicolas Bordet, Christian Caillol, Pascal Higelin et Vincent Talon décrit des améliorations apportées à un modèle adapté à la modélisation système ou monodimensionnelle de la combustion Diesel, avec une nouvelle description de la phase de prémélange et la prise en compte d'injections multiples.

Même une combustion optimisée produit inévitablement des émissions polluantes nocives, qu'il s'agit de minimiser par l'adjonction de techniques efficaces et les moins coûteuses possibles de post-traitement. Concernant les oxydes d'azote, l'article de Sheïma Benramdhane, Claire-Noëlle Millet, Éric Jeudy, Jacques Lavy, Vanessa Blasin-Aubé et Marco Daturi "*Caractérisation de l'impact du vieillissement sur l'évolution des performances d'un piège à NO<sub>x</sub> Diesel*" décrit les propriétés et le vieillissement thermique des pièges à NO<sub>x</sub> sur un banc à gaz synthétique. Des analyses structurale et chimique du catalyseur montrent la réduction de la surface spécifique, le frittage du Pt, la formation de BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et la transition de phase de l'alumine conduisant à une perte de capacité de stockage de NO<sub>x</sub>.

Concernant les particules de suies, le papier "*Utilisation d'un carburant Diesel éthanolé à l'aide de méthodes de calibration avancées afin de satisfaire les normes Euro 5 sans filtre à particules*" de Sébastien Magand, Ludivine Pidol, Fabien Chaudoye, Delphine Sinoquet, François Wahl, Michel Castagné et Bertrand Lecoïnte présente l'optimisation de la formulation d'un mélange biogazole (première et deuxième génération) et éthanol en considérant plusieurs aspects : la sécurité, la miscibilité, la lubrification et l'indice de cétane. Il est illustré comment l'adéquation du couple moteur/carburant avec des méthodes et outils de calibration rapides conduit à fortement

réduire les émissions de particules d'une base moteur Euro 4 au niveau Euro 5, sans recourir au filtre à particules.

Enfin, le recours à l'électrification nécessite des approches de modélisation et de simulation permettant d'intégrer de nouveaux composants à des simulations véhicules visant à rechercher un optimum global. L'article de Abdenour Abdelli et Fabrice Le Berr "*Méthodologie générale d'intégration de modèles innovants de moteurs électriques dans des simulateurs véhicules complets*" présente une méthodologie générale de développement de modèles de machines électriques, basée sur différents types de modélisations et exhibant un compromis entre temps de calcul et précision adaptée pour un simulateur véhicule complet.

Nous vous souhaitons une bonne et passionnante lecture.

Christian Angelberger  
*Coordinateur du dossier*

Claude Delarue  
*Membre du Comité éditorial - Vice-Président du GFC/CLFT*



# Editorial

## R&D FOR CLEANER AND FUEL EFFICIENT ENGINES AND VEHICLES

The internal combustion engine burning oil products has been for more than a century a major constituent of our everyday life, and has widely contributed to the development of the transport as key factor of our economic welfare. During this period, the evolutions of the energetic, economic and environmental context regularly led to investigate new ways and to realize strong technological transformations.

The present context is dominated by the necessity, widely recognized, to contribute to the reduction of greenhouse gas emissions, and in particular CO<sub>2</sub> for which the transportation is one of major sources, while maintaining the pollutants emissions at the lowest. This double constraint of reducing drastically the energy consumption and the harmful impacts, as translated by more and more severe regulations, opens the way to a large variety of innovative technical solutions allowing to answer it.

The European regulation EC 443/2009 forces financially the manufacturers to reduce the average emissions of the passenger cars which they sell, by assigning individual objectives to each manufacturer based on the average mass of the population of their cars in the EU. The manufacturers who will exceed this objective will have to pay a penalty calculated as follows: number of g/km of CO<sub>2</sub> emitted over the manufacturer objective, multiplied by the number of cars sold by the same manufacturer in the year. From 2019, this penalty will be 95 € by g/km of excess and by sold car; this can correspond to billions of Euros for a large manufacturer who would not be able to comply with these constraints. The calculation includes bonuses for vehicles emitting less than 50 g/km, which is an incentive to the introduction of innovative technologies.

As indicated in the report published in June 2011 by the mission chaired by Jean SYROTA “*The car of tomorrow: fuel and electricity*” and as analyzed in the works of the European Green Car Initiative, the electrification of vehicles is one of the major ways investigated in this context. However, this last one does not allow to answer all the technical constraints, nor all the requirements of the consumer. Therefore, the improvement of the internal combustion engine stays an essential objective, as well as the combination with alternative fuels efficient in term of CO<sub>2</sub>, or its integration in hybrid vehicles with electrical engines and components allowing an improvement of the environmental performances of the powertrain system and of the vehicle.

In this context, this thematic issue of the OGST magazine presents some aspects of the current research and development in the field of the clean and fuel efficient vehicles, performed at the same time in laboratories of the *French Group of Combustion Engines Thermodynamics (GFTMC)* and in teams of *IFP Energies nouvelles*.

The improvement of the energetic efficiency of the internal combustion engine depends on an optimized choice of the thermodynamic cycle on which it is based. So, the paper of Pierre La Rochelle and Lavinia Grosu “*Analytical solutions and optimization of the exo-irreversible Schmidt cycle with imperfect regeneration for the 3 classical types of Stirling engine*” proposes simple models for the preliminary optimization of Stirling engine concepts, and in particular for the exo-irreversibilities due to the thermal transfers. The article “*Modelling of a spark ignition engine for power-heat production optimization*” of Damien Descieux and Michel Feidt presents another aspect of the use of internal combustion engine through a thermodynamic analysis of the engine used in mechanical/thermal energy cogeneration.

The constant optimization of the internal combustion engine requires a better understanding of the complex phenomena taking place in the cylinder, with the help in particular of advanced optical diagnosis applied to engines with optical access. The paper of Julian Kashdan and Benoist Thirouard “*Optical engines as representative tools in the development of new combustion engines concepts*” discusses approaches to reduce the gaps in operation between the real engines and the transparent engines, resulting from differences in the thermal conditions, the deformations, the fuel used and the recirculation of nitrogen instead of exhaust gases.

The eco-charging or “downsizing” aims at increasing the energetic efficiency of the heat engine and consists in decreasing the engine capacity while compensating for the loss of power by turbocharging. The key element is the turbo-compressor, the use of which in the strongly dynamic context of an automobile use requires specific researches. The article of Hani Mohtar, Pascal Chessé, David Chalet, Jean-François Hetet and Anthony Yammine “*Effect of diffuser and volute on turbocharger centrifugal compressor stability and performance: experimental study*” presents the results of an experimental study to improve the geometrical conception to optimize the stability/performances compromise of a centrifugal compressor. The paper “*Impact of the heat transfer on the performance calculations of automotive turbocharger compressor*” of Pascal Chessé, David Chalet, and Xavier Tauzia shows that the hypothesis of adiabaticity is not always verified.

The preparation of the fuel mixture and its combustion are the essential aspects to control to insure the basis for the expected efficiency and emission levels. In this domain, the modelling and the digital simulation have an essential role to allow a detailed understanding and to contribute to optimize new concepts. The article of Fabien Dos Santos and Luis Le Moyne “*Spray atomization models in engine applications, from correlations to direct numerical simulations*” proposes a critical review of various approaches describing the injection of a liquid fuel in a thermal engine, going from non-dimensional correlations to three-dimensional approaches.

The paper “*A physics and tabulated chemistry based compression ignition combustion model: from chemistry limited to mixing limited combustion modes*” of Nicolas Bordet, Christian Caillol, Pascal Higelin and Vincent Talon describes improvements brought to a model adapted to the system modelling or one-dimensional modelling of the Diesel combustion, with a new description of the phase of premixture and the consideration of multiple injections.

Even an optimized combustion produces inevitably harmful pollutants emissions, that must be minimized by the addition of effective and as least expensive as possible techniques of after-treatment. Concerning nitrogen oxides, the article of Sheïma Benramdhane, Claire-Noelle Millet, Eric Jeudy, Jacques Lavy, Vanessa Blasin–Aubé, and Marco Daturi “*Diesel Lean NO<sub>x</sub>-Trap thermal aging and performance evolution characterization*” describes the properties and the thermal ageing of NO<sub>x</sub> traps on a synthetic gas test bench. Structural and chemical analysis of the catalyst show the reduction of the specific surface, the caking of Pt, the formation of BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and the phase transition of the alumina, leading to a loss of NO<sub>x</sub> storage capacity.

Concerning the soot particulates, the paper “*Use of ethanol/Diesel blend and advanced calibration methods to satisfy Euro 5 emission standards without DPF*” of Sébastien Magand, Ludvine Pidol, Fabien Chaudoye, Delphine Sinoquet, François Wahl, Michel Castagné and Bertrand Lecointe presents the optimization of the formulation of a mixture of biodiesel (of the first and second generations) and ethanol, taking in consideration several aspects: the safety, the miscibility, the lubricity and the cetane number. It illustrates how the adaptation of the engine/fuel couple with methods and fast tools of calibration leads to reduce strongly the emissions of particulates of a Euro4 engine down to the Euro5 level, without the need for a particulates filter.

Finally, the powertrain electrification requires new areas of modelling and simulation allowing to integrate new components into vehicle simulations to look for a global optimum. The article of Abdenour Abdelli and Fabrice Le Berr “*Global methodology to integrate innovative models for electric motors in complete vehicle simulators*” presents a general methodology of development of electrical machines models, based on various types of modelling, and showing a compromise between calculation time and precision adapted for a complete vehicle simulator.

We wish you a good and interesting reading.

Christian Angelberger  
Coordinator of this issue

Claude Delarue  
Editorial Committee Member - Vice-President of GFC/CLFT