

Éditorial

Christian Angelberger, Sébastien Candel

▶ **To cite this version:**

Christian Angelberger, Sébastien Candel. Éditorial : La simulation aux grandes échelles pour les écoulements dans les moteurs à combustion interne. Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, 2014, 69 (1), pp.3-9. 10.2516/ogst/2013179 . hal-01933370

HAL Id: hal-01933370
https://ifp.hal.science/hal-01933370

Submitted on 23 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

© Photos: DOI: 10.2516/ogst/2013139, IFPEN, X



Dossier

This paper is a part of the hereunder thematic dossier published in OGST Journal, Vol. 69, No. 1, pp. 3-188 and available online here

Cet article fait partie du dossier thématique ci-dessous publié dans la revue OGST, Vol. 69, n°1, pp. 3-188 et téléchargeable ici

DOSSIER Edited by/Sous la direction de : **C. Angelberger**

IFP Energies nouvelles International Conference / Les Rencontres Scientifiques d'IFP Energies nouvelles

LES4ICE 2012 - Large Eddy Simulation for Internal Combustion Engine Flows

LES4ICE 2012 - La simulation aux grandes échelles pour les écoulements dans les moteurs à combustion interne

Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, Vol. 69 (2014), No. 1, pp. 3-188
Copyright © 2014, IFP Energies nouvelles

3> Editorial

11> *Boundary Conditions and SGS Models for LES of Wall-Bounded Separated Flows: An Application to Engine-Like Geometries*
Conditions aux limites et modèles SGS pour les simulations LES d'écoulements séparés délimités par des parois : une application aux géométries de type moteur
F. Piscaglia, A. Montorfano, A. Onorati and F. Brusiani

29> *LES of Gas Exchange in IC Engines*
LES échanges gazeux pour moteurs à combustion interne
V. Mittal, S. Kang, E. Doran, D. Cook and H. Pitsch

41> *Evaluating Large-Eddy Simulation (LES) and High-Speed Particle Image Velocimetry (PIV) with Phase-Invariant Proper Orthogonal Decomposition (POD)*
Évaluation de données de simulation aux grandes échelles (LES) et de vélocimétrie par imagerie de particules (PIV) via une décomposition orthogonale aux valeurs propres invariante en phase (POD)
P. Abraham, K. Liu, D. Haworth, D. Reuss and V. Sick

61> *Large Eddy Simulation (LES) for IC Engine Flows*
Simulations des grandes échelles et écoulements dans les moteurs à combustion interne
T.-W. Kuo, X. Yang, V. Gopalakrishnan and Z. Chen

83> *Numerical Methods and Turbulence Modeling for LES of Piston Engines: Impact on Flow Motion and Combustion*
Méthodes numériques et modèles de turbulence pour la LES de moteurs à pistons : impact sur l'aérodynamique et la combustion
A. Misdariis, A. Robert, O. Vermorel, S. Richard and T. Poinsot

107> *Investigation of Boundary Condition and Field Distribution Effects on the Cycle-to-Cycle Variability of a Turbocharged GDI Engine Using LES*
Études des effets des conditions aux limites et de la distribution des champs sur la variabilité cycle-à-cycle dans un moteur GDI turbocompressé en utilisant la LES
S. Fontanesi, S. Paltrinieri, A. D'Adamo and S. Duranti

129> *Application of LES for Analysis of Unsteady Effects on Combustion Processes and Misfi res in DISI Engine*
Application de simulation aux grandes échelles pour l'analyse des effets instationnaires de combustion et d'allumage raté dans les moteurs DISI
D. Goryntsev, K. Nishad, A. Sadiki and J. Janicka

141> *Eulerian – Eulerian Large Eddy Simulations Applied to Non-Reactive Transient Diesel Sprays*
Évaluation de la méthode Euler – Euler pour la simulation aux grandes échelles de sprays Diesel instationnaires non-réactifs
A. Robert, L. Martinez, J. Tillou and S. Richard

155> *Large-Eddy Simulation of Diesel Spray Combustion with Exhaust Gas Recirculation*
Simulation aux grandes échelles de la combustion d'un spray Diesel pour différents taux d'EGR
J. Tillou, J.-B. Michel, C. Angelberger, C. Bekdemir and D. Veynante

167> *Modeling of EGR Mixing in an Engine Intake Manifold Using LES*
Modélisation du mélange de EGR dans la tubulure d'admission à l'aide de la technique de LES
A. Sakowitz, S. Reifarth, M. Mihaescu and L. Fuchs

177> *LES of the Exhaust Flow in a Heavy-Duty Engine*
LES de l'écoulement d'échappement dans un moteur de camion
O. Bodin, Y. Wang, M. Mihaescu and L. Fuchs

Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, Vol. 69 (2014), No. 1, pp. 3-9
Copyright © 2013, IFP Energies nouvelles
DOI: 10.2516/ogst/2013179

IFP Energies nouvelles International Conference
Rencontres Scientifiques d'IFP Energies nouvelles

LES4ICE 2012 - Large Eddy Simulation for Internal Combustion Engine Flows
LES4ICE 2012 - La simulation aux grandes échelles pour les écoulements dans les moteurs à combustion interne

Éditorial

RENCONTRE SCIENTIFIQUE IFP ENERGIES NOUVELLES LES4ICE 2012 LA SIMULATION AUX GRANDES ÉCHELLES POUR LES ÉCOULEMENTS DANS LES MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

La demande croissante de la société en matière de réduction des émissions de polluants et de CO_2 des véhicules routiers est l'un des principaux facteurs de recherche et développement dans le secteur automobile. Si l'électrification croissante actuellement observée dans les transports routiers devrait contribuer à relever ces défis, la conversion du carburant liquide à haute densité énergétique en énergie mécanique dans les moteurs à combustion interne reste le principal mode de motorisation sur nos routes.

La mécanique des fluides numérique (MFN, ou CFD pour *Computational Fluid Dynamics*) est une technologie clé pour poursuivre l'amélioration des moteurs à combustion interne en termes de performances environnementales. La CFD a la capacité unique de permettre la consolidation des connaissances issues de la recherche dans les domaines de la turbulence, de la chimie, de la combustion, de la thermodynamique, du transfert de chaleur, etc., et de les intégrer dans les différentes phases du processus de conception des moteurs, afin de comprendre, prédire et optimiser la combustion moteur.

Afin d'améliorer encore les performances environnementales des moteurs à combustion interne, il est toutefois indispensable d'aller au-delà des modes de conception traditionnels axés sur une approche par cycle moyen (*i.e.* sur les approches RANS, ou *Reynolds Averaged Navier-Stokes*), et de prédire et contrôler de manière fiable chaque cycle du moteur dans des conditions de fonctionnement réalistes.

Ici, l'approche de la simulation aux grandes échelles (SGE, ou LES pour *Large-Eddy Simulation*) offre de nouvelles perspectives d'application de la CFD aux moteurs à combustion interne. La simulation LES prédit des cycles moteur individuels et permet de décrire avec précision l'écoulement de manière locale et instantanée.

Les recherches publiées ont en particulier montré comment la simulation LES peut reproduire l'apparition de variabilités cycliques de la combustion dans les moteurs à allumage commandé, et peut donc contribuer à limiter leur impact négatif sur le rendement global du moteur et sur les émissions de polluants. Cette capacité unique de la simulation LES à prédire les phénomènes de combustion acycliques peut également permettre d'analyser d'autres phénomènes de combustion jusqu'alors mal compris et maîtrisés comme les transitoires rapides, les combustions anormales et leur lien avec la variabilité cyclique, la transition entre modes de combustion (*e.g.* entre la combustion à basse température et le Diesel standard), ou encore les démarrages à froid.

Depuis 2008, la conférence LES4ICE organisée par IFP Energies nouvelles constitue un forum d'échange bisannuel sur la R&D en matière de simulation LES et de techniques expérimentales connexes pour une application dans les moteurs à combustion interne. Chercheurs et ingénieurs travaillant dans le domaine de la combustion des moteurs à pistons y débattent des dernières avancées dans la simulation LES appliquée aux moteurs

à combustion interne, et s'intéressent aux techniques expérimentales de pointe susceptibles de soutenir et valider son développpement.

Ce numéro spécial propose un extrait des contributions de l'édition 2012 de la LES4ICE, résultant d'une sélection réalisée par le Comité Scientifique de la conférence. Les onze articles présentent un aperçu sur des progrès récents réalisés dans le domaine de la simulation LES et des techniques expérimentales connexes, ainsi que sur leur application dans les moteurs à combustion interne.

Les deux premiers articles portent sur les fondements de la simulation LES pour les moteurs à combustion interne. Dans leur article « *Conditions aux limites et modèles SGS pour les simulations LES d'écoulements séparés délimités par des parois : une application aux géométries de type moteur* », **F. Piscaglia**, **A. Montorfano**, **A. Onorati** et **F. Brusiani** comparent les prédictions LES de l'écoulement stationnaire dans des bancs volute obtenues avec deux modèles de turbulence de sous-maille, en évaluant plus particulièrement la résolution nécessaire à proximité des parois afin d'établir une reproduction satisfaisante de résultats expérimentaux. **V. Mittal**, **S. Kang**, **E. Doran**, **D. Cook** et **H. Pitsch** présentent un article intitulé « *Les échanges gazeux pour moteurs à combustion interne* » qui illustre l'application d'un code de différences finies d'ordre élevé à une simulation LES de bancs volute et d'un moteur entrainé, et comparent leurs prédictions à des résultats expérimentaux.

L'étude de la variabilité cyclique de la combustion dans les moteurs à allumage commandé est devenue un domaine d'application clé de la simulation LES et fait l'objet de cinq articles couvrant différents aspects de la recherche.

Les deux premiers étudient la variabilité cyclique de l'aérodynamique interne des moteurs, une cause majeure de la variabilité. L'article « *Évaluation de données de simulation aux grande échelles (LES) et de vélocimétrie par imagerie de particules (PIV) via une décomposition orthogonale aux valeurs propres invariante en phase (POD)* » de **P. Abraham**, **K. Liu**, **D. Haworth**, **D. Reuss** et **V. Sick** étudie comment exploiter la grande quantité de données générées par la simulation LES (et également par les expériences PIV) afin de caractériser la variabilité de l'aérodynamique interne. Dans leur article intitulé « *Simulations des grandes échelles et écoulements dans les moteurs à combustion interne* », **T.-W. Kuo**, **X. Yang**, **V. Gopalakrishnan** et **Z. Chen** présentent une étude numérique et expérimentale concertée visant à comprendre et à décrire les variations cycliques de l'écoulement dans un moteur monocylindre, et évaluent l'impact des différents choix numériques et de modélisation sur les prédictions de la LES.

Les trois articles suivants portent sur différents aspects de la prédiction et de la compréhension de la variabilité cyclique de la combustion. L'article « *Méthodes numériques et modèles de turbulence pour la LES de moteurs à pistons : impact sur l'aérodynamique et la combustion* » de **A. Misdariis**, **A. Robert**, **O. Vermorel**, **S. Richard** and **T. Poinsot** propose une évaluation de la faisabilité de la simulation LES sur deux moteurs à injection indirecte à allumage commandé. Les auteurs étudient notamment l'impact d'un schéma de convection d'ordre supérieur et de modèles de sous-maille avancés sur les prédictions de leur LES.

S. Fontanesi, **S. Paltrinieri**, **A. D'Adamo** et **S. Duranti** présentent les résultats préliminaires d'une étude LES visant à caractériser la variabilité cyclique dans un moteur à injection directe dans leur article intitulé « *Études des effets des conditions aux limites et de la distribution des champs sur la variabilité cycle-à-cycle dans un moteur GDI turbocompressé utilisant la LES* » et explorent l'impact du fait d'imposer ou non des variations cycliques des pressions d'admission et d'échappement aux limites du domaine de calcul. Enfin, dans leur article intitulé « *Application de simulation aux grandes échelles pour l'analyse des effets instationnaires de combustion et d'allumage raté dans les moteurs DISI* » **D. Goryntsev**, **K. Nishad**, **A. Sadiki** et **J. Janicka** présentent une étude LES des variations cycliques de l'écoulement dans un moteur essence à injection directe, ainsi que des travaux exploratoires visant à évaluer la fréquence des ratés d'allumage.

Un autre champ d'application de la simulation LES concerne l'étude de sprays liquides haute pression transitoires et auto-inflammants caractéristiques de la combustion dans les moteurs Diesel. Dans leur article, « *Évaluation de la méthode Euler – Euler pour la simulation aux grandes échelles de sprays Diesel instationnaires non réactifs* », **A. Robert**, **L. Martinez**, **J. Tillou** et **S. Richard** étudient l'influence d'une modélisation LES eulérienne d'un spray Diesel. Ils analysent l'impact sur les prédictions des conditions limites en sortie d'injecteur et de la résolution du maillage, et suggèrent quelques bonnes pratiques pour ce type de simulations. En recourant à une approche de modélisation similaire, **J. Tillou**, **J.-B. Michel**, **C. Angelberger**, **C. Bekdemir** et **D. Veynante** présentent un article intitulé « *Simulation aux grandes échelles de la combustion d'un spray Diesel pour différents taux d'EGR*) » dans lequel ils comparent les prédictions LES du spray H de la base de données ECN obtenues à l'aide d'un modèle de combustion de sous-maille basé sur la tabulation de flammes de diffusion auto-inflammantes étirées avec des résultats expérimentaux.

Pour finir, un nouveau champ d'application de la simulation LES présenté à LES4ICE'12 a été l'étude du mélange de gaz brûlés recirculés (EGR) dans différents composants du moteur. Dans leur article intitulé « *Modélisation du mélange d'EGR dans la tubulure d'admission à l'aide de la technique de LES* », **A. Sakowitz**, **S. Reifarth**, **M. Mihaescu** et **L. Fuchs** présentent des études LES du mélange entre les EGR et les gaz frais dans le collecteur d'admission d'un moteur six cylindres pour poids lourds, et soulignent leurs avantages dans la pratique.

O. Bodin, **Y. Wang**, **M. Mihaescu** et **L. Fuchs** appliquent la même approche LES pour étudier le mélange EGR au cours des impulsions dans le collecteur d'échappement d'un moteur pour poids lourds, comme décrit dans leur article « *LES de l'écoulement d'échappement dans un moteur de camion* ».

Nous espérons que les articles publiés dans ce numéro spécial permettront à nos lecteurs de se familiariser avec les recherches en cours dans le monde en matière de simulation aux grandes échelles, ainsi qu'avec les applications industrielles tirant parti des atouts uniques de cette technique.

Christian Angelberger
Expert IFP Energies nouvelles

Sébastien Candel
École Centrale Paris, EM2C, CNRS
Président du Comité Éditorial d'OGST

Editorial

IFP ENERGIES NOUVELLES INTERNATIONAL CONFERENCE
LES4ICE 2012
LARGE-EDDY SIMULATION FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE FLOWS

A major factor driving R&D in the automotive industry is an increasing societal demand to reduce CO_2 and pollutant emissions from road vehicles. Although the current trend in electrification of road transport is expected to contribute answering to these challenges, the conversion of the high energy density of liquid fuels into mechanical energy in Internal Combustion Engines (ICE) remains the major path for powering road transport.

A key enabling technology for the necessary further improvement of the environmental performances of ICE is the usage of Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD indeed has the unique ability to capitalise the understanding gained from research in turbulence, chemistry, combustion, thermodynamics, heat transfer etc. and making it available in the different phases of the engine design process to analyze, predict and optimise engine combustion.

To further improve the environmental performance of ICE, it is however crucial to move beyond today's standard design methods based on a cycle averaged approach (*i.e.* on RANS, for Reynolds Averaged Navier-Stokes, techniques), and to reliably predict and control individual engine cycles under realistic operating conditions.

Here, the Large-Eddy Simulation (LES) framework opens up new avenues for extending the scope of application of CFD for ICE. LES predicts individual engine cycles and allows accurately describing local, instantaneous flow phenomena.

Published research has in particular demonstrated how LES can reproduce the occurrence of cyclic combustion variability in spark-ignition engines, and could thus contribute limiting their negative impact on the overall engine efficiency and pollutant emissions. This unique ability of LES to address non-cyclic combustion phenomena could also allow to examine other hitherto poorly understood and mastered engine combustion phenomena like fast transients, abnormal combustion and their link to cyclic variability, mode switching (*e.g.* from LTC to standard Diesel) or cold starts.

Since 2008, the LES4ICE conference hosted by IFP Energies nouvelles provides a biannual forum for exchange concerning research and development of LES and related experimental techniques for their application to ICE flows. It brings together researchers and engineers working in the field of piston engine combustion to discuss the state of the art in LES applied to ICE and examine advanced experimental techniques capable of supporting and validating its development.

This special issue proposes an extract from the contributions to the 2012 edition of LES4ICE, following a selection by the conference's Scientific Committee. The selected eleven articles provide a view on some recent advances in the domain of LES and related experimental techniques, and on their application to ICE flows.

The first two articles are concerned with fundamental aspects of LES of ICE flows. In their article, "*Boundary conditions and SGS models for LES of wall-bounded separated flows: An application to engine-like geometries*", **F. Piscaglia**, **A. Montorfano**, **A. Onorati** and **F. Brusiani** compare the LES predictions of the flow in steady engine benches obtained with two sub-grid scale turbulence models, with special emphasis on assessing the necessary near wall resolution to obtain satisfactory comparisons with experimental findings. **V. Mittal**, **S. Kang**, **E. Doran**, **D. Cook**, and **H. Pitsch** present an article entitled "*LES of gas exchange in IC engines*" that illustrates the application of a high-order finite difference code to the LES of steady flow benches and a motored engine, and compares their findings with experiments.

The study of cyclic combustion variability in spark-ignition engines has become a key domain of application for LES and is the subject of five articles covering different aspects of related research.

The first two consider the cyclic variability of the internal engine aerodynamics, that constitutes a major element of CCV. The article "*Evaluating Large-Eddy Simulation and high-speed particle image velocimetry with phase-invariant proper orthogonal decomposition*" by **P. Abraham**, **K. Liu**, **D. Haworth**, **D. Reuss** and **V. Sick** addresses the question of how to exploit the important volume of data generated by LES (and also by PIV experiments) in order to characterise the variability of motored engine aerodynamics. A concerted experimental and numerical study aimed at understanding and describing the cyclic variable flow inside a motored single cylinder engine is presented by **T.-W. Kuo**, **X. Yang**, **V. Gopalakrishnan** and **Z. Chen** in their article entitled "*Large-Eddy Simulation (LES) for IC engine flows*", in which they evaluate the impact of different numerical and modeling choices on the LES predictions.

The following three articles address different aspects of predicting and understanding cyclic combustion variability. In their article entitled "*Numerical methods and turbulence modeling for LES of piston engines: Impact on flow motion and combustion*" **A. Misdariis**, **A. Robert**, **O. Vermorel**, **S. Richard** and **T. Poinsot** present an evaluation of the feasibility of LES of two spark-ignited, indirect injection engines. They specifically consider the impact of a high order convective scheme and advanced sub-grid scale models on LES predictions.

S. Fontanesi, **S. Paltrinieri**, **A. D'Adamo** and **S. Duranti** present preliminary results of a LES study aimed at characterising CCV in a direct injection engine in their article entitled "*Investigation of boundary condition and field distribution effects on the cycle-to-cycle variability of a turbocharged GDI engine using LES*", and explore the impact of imposing or not cyclic variations of intake and exhaust pressures at the boundaries of the computational domain. Finally, **D. Goryntsev**, **K. Nishad**, **A. Sadiki** et **J. Janicka** in their contribution "*Application of LES for analysis of unsteady effects on combustion processes and misfires in DISI engine*" present a LES study of the cyclic flow variations in a gasoline direct injection engine and exploratory work aimed at evaluating the misfire frequency.

Another field of application of LES is the study of high-pressure, transient, auto-igniting liquid sprays typical of Diesel engine combustion. In their contribution "*Eulerian – Eulerian Large-Eddy Simulations applied to non-reactive transient Diesel sprays*", **A. Robert**, **L. Martinez**, **J. Tillou** and **S. Richard** investigate the influence of an Eulerian description on LES predictions of a Diesel spray. They also consider mesh resolution and injector outflow boundary conditions issues, and suggest some guidelines for such simulations. Using a similar modeling approach, **J. Tillou**, **J.-B. Michel**, **C. Angelberger**, **C. Bekdemir** and **D. Veynante** present a contribution entitled "*Large-Eddy Simulation of Diesel spray combustion with Exhaust Gas Recirculation*" and show comparisons of LES predictions using a sub-grid-scale combustion model based on tabulated auto-igniting strained diffusion flames of the combustion of the spray H from the ECN database, and compare them to experimental findings.

Finally, a novel field of application for LES presented at LES4ICE'12 is the study of EGR mixing in different engine components. In their contribution "*Modeling of EGR Mixing in an engine intake manifold using LES*", **A. Sakowitz**, **S. Reifarth**, **M. Mihaescu**

and **L. Fuchs** present LES studies of the mixing between EGR and the fresh mixture in the intake manifold of a six-cylinder heavy duty engine, and highlight the benefits that could be expected from them in practice. **O. Bodin**, **Y. Wang**, **M. Mihaescu** and **L. Fuchs** apply the same LES approach to the study of EGR mixing during the exhaust pulses in the exhaust manifold of a heavy-duty engine as described in their contribution "*LES of the exhaust flow in a heavy-duty engine*".

We sincerely hope the articles published in the present special issue will allow the reader gaining an insight into on-going LES research worldwide, and into industrial applications exploiting the unique potentials of this technique.

Christian Angelberger
IFP Energies nouvelles Expert

Sébastien Candel
École Centrale Paris, EM2C, CNRS
Chairman of the Editorial Board of OGST