

Éditorial

QUELS CARBURANTS POUR DES MOTEURS À BASSES ÉMISSIONS DE CO₂ ?

Pierre Duret

Centre Moteurs et utilisation des hydrocarbures,

École du pétrole et des moteurs, 232, avenue Napoléon-Bonaparte, 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France

e-mail: pierre.duret@ifp.fr

INTRODUCTION

À la suite du succès remporté par le précédent congrès international de l'IFP sur le thème des nouveaux procédés de combustion HCCI et CAI [1], l'IFP a organisé une nouvelle conférence internationale en 2004 : « Quels carburants pour des moteurs à faibles rejets de CO₂ ? » dans le cadre de ses *Rencontres Scientifiques*. L'objectif de cette conférence a été d'offrir aux experts issus de l'industrie automobile, de l'industrie des moteurs de poids lourds, de l'industrie des petits moteurs, aux compagnies pétrolières, aux fabricants d'additifs, aux équipementiers et aux organismes de R&D, la possibilité de débattre du potentiel de cette nouvelle génération de carburants et de modes de conversion de l'énergie dans les moteurs. Les comptes-rendus complets de la conférence intitulée "Which Fuels for Low-CO₂ Engines?" sont publiés par les Éditions Technip [2]. Le dossier de la présente publication de *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'IFP* contient trois articles extraits de ces comptes-rendus, afin d'offrir aux lecteurs un aperçu de la conférence.

Les mots clés du titre de cette nouvelle conférence sont « basses émissions de CO₂ », et ils sont entourés (dans la version originale du titre) par les termes « carburants » d'un côté, et « moteurs » de l'autre. Cela signifie que, lorsque nous avons proposé ce titre, nous avons émis l'hypothèse qu'une évolution significative en termes d'émissions de CO₂ dans le domaine des transports pouvait être mise en œuvre par le biais d'un travail collectif sur les moteurs et les carburants. Cet événement a confirmé que notre hypothèse était réaliste.

LES DIFFÉRENTES APPROCHES EN MATIÈRE DE « CARBURANTS ET MOTEURS » VISANT À RÉDUIRE LES ÉMISSIONS FUTURES DE CO₂ DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS

Dans le cadre de l'étude du couple carburant et moteur visant à réduire les émissions de CO₂, plusieurs approches se sont naturellement présentées à nous.

- La première d'entre elles consiste à améliorer conjointement les technologies existantes relatives aux moteurs et aux carburants liquides, et à adapter ensuite certains moteurs conventionnels de manière à ce qu'ils puissent fonctionner avec de nouveaux types de carburants liquides tels que les biocarburants. Ce point s'est avéré être le sujet de la première session de cette conférence, et est illustré par l'article du présent dossier relatif au potentiel de l'éthanol en tant que carburant pour un moteur spécialisé.
- La seconde approche va encore plus loin. Elle consiste à optimiser réellement les moteurs à l'aide de nouveaux procédés de combustion (permettant de surmonter le dilemme « rendement de CO₂ »/« émissions de particules et d'oxydes d'azote (NOx) » des moteurs à charge stratifiée) tels que le HCCI (combustion diesel homogène) et le CAI (auto-inflammation contrôlée), mais également à modifier les formulations des carburants (toujours liquides) afin d'augmenter les avantages offerts par le HCCI/CAI. Ce point est largement couvert par la seconde session de cette conférence, dont l'article sur le développement de nouveaux procédés de combustion HCCI/CAI est extrait.
- Si l'on progresse encore, nous arrivons à une troisième approche qui consiste à utiliser le gaz naturel pour la conversion de l'énergie dans les moteurs, soit directement sous forme gazeuse dans un véhicule, soit indirectement sous forme liquide après le processus de conversion du gaz en liquide. Chaque solution présente des inconvénients et des avantages, et ce point a fait l'objet de la troisième session de cette conférence. Il est illustré par l'article reproduit ici, qui concerne le développement d'un démonstrateur alimenté en gaz naturel, afin de tenter d'améliorer les connaissances et de mieux comprendre le potentiel de cette troisième approche.
- Enfin, la dernière approche se situe à la limite entre le moteur à combustion interne et la pile à combustible. Elle

consiste à utiliser de l'hydrogène dans un moteur à combustion interne, soit en petite quantité (mélangée avec un autre carburant principal) afin d'améliorer l'efficacité et la propreté de la combustion, soit comme un carburant unique, ce que les comptes-rendus de la conférence abordent.

La dernière session de cette conférence a été conclue par un échange de points de vue concernant l'avenir de ces approches, auquel ont participé différents acteurs impliqués dans le futur des faibles rejets de CO₂ concernant les transports.

Les deux sections suivants cette introduction vont s'intéresser aux activités mondiales à partir de l'analyse du nombre d'études publiées par les chercheurs, en utilisant des requêtes et des bases de données appropriées [3].

L'EFFERVESCENCE MONDIALE POUR LE HCCI

Comme le montre la figure 1 concernant les articles relatifs au HCCI/CAI, leur nombre a augmenté de manière significative depuis 2001, et la rupture entre 2000 et 2001 correspond exactement au premier événement entièrement dédié au HCCI/CAI qui a été organisé à l'IFP [1].

Il est encore plus significatif de constater que, si nous ajoutons les quelques 50 articles publiés pendant le premier semestre 2004, plus de 300 articles relatifs au HCCI/CAI ont été publiés en trois ans et demi, ce qui est quasiment égal à ce qui a été publié en dix ans de 1990 à 2000.

Un grand nombre de sociétés et d'institutions travaillent aujourd'hui sur le sujet, et nous pouvons nous attendre à ce que les technologies HCCI/CAI soient mises en application d'ici à quelques années. Néanmoins, ces premières mises en application dans la production automobile devront être effectuées en

utilisant les carburants essence et diesel conventionnels existants. L'étape suivante consistera à faire évoluer la formulation des carburants afin de tirer profit le plus possible du HCCI/CAI non seulement en termes de rendement et de basses émissions de CO₂, mais également en termes d'émissions de NOx/particules, comme cela est illustré par les différents auteurs des comptes-rendus de la conférence.

Aujourd'hui, si l'on s'intéresse aux sociétés et aux institutions qui s'impliquent le plus dans cette recherche, sur la figure 2, on peut voir que plusieurs d'entre elles étaient présentes à cette conférence afin de faire partager leurs avancées respectives à la communauté scientifique.

Afin d'améliorer les connaissances dans le domaine des nouveaux procédés de combustion de moteurs HCCI/CAI, l'IFP a récemment créé un réseau européen d'excellence appelé "ECO-Engines", qui s'intéresse à la conversion de l'énergie dans les moteurs. L'objectif de ce réseau est de renforcer la recherche européenne et de développer des programmes d'éducation et de formation appropriés dans ce domaine technique. Il est intéressant de noter que toutes les institutions européennes de la figure 2 (*Lund Institute of Technology, Chalmers University, Brunel University, IFP et AVL*) se sont particulièrement impliquées dans *ECO-Engines*, et ont même joué un rôle majeur au sein de ce réseau.

Le programme d'éducation et de formation est également mené par l'École du pétrole et des moteurs (IFP School) avec les mêmes partenaires. L'École du pétrole et des moteurs (IFP School) est une école d'ingénieurs proposant des cycles d'études supérieures dans différents domaines, parmi lesquels le programme « Moteurs à combustion interne » est particulièrement apprécié par l'industrie des moteurs et

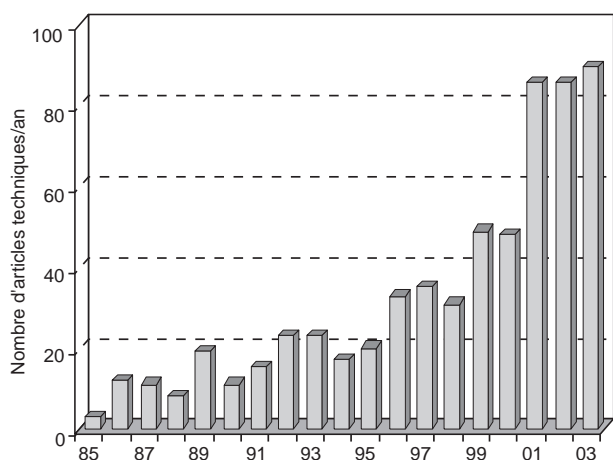


Figure 1

Analyse statistique du nombre d'articles techniques relatifs aux nouveaux procédés de combustion de moteurs HCCI/CAI, publiés de 1985 à 2003.

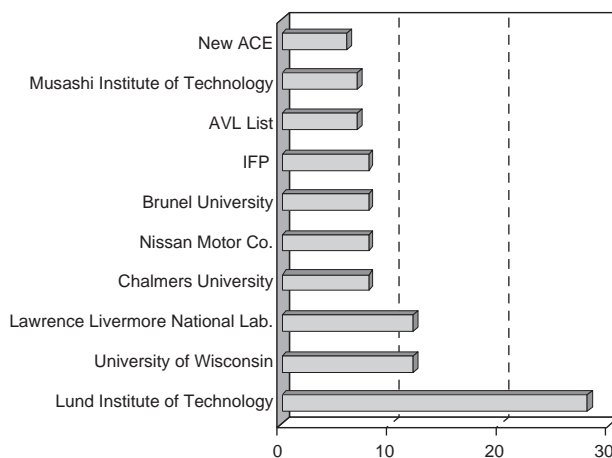


Figure 2

Principales sociétés et institutions (et nombre correspondant d'articles) ayant publié des articles techniques relatifs au HCCI et au CAI pendant ces dernières trois années et demie.

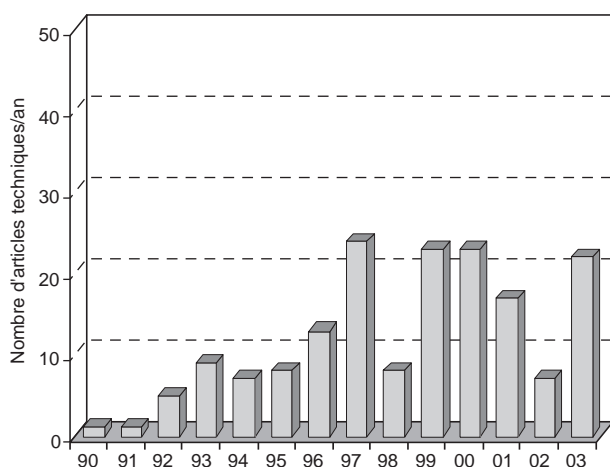


Figure 3

Analyse statistique du nombre d'articles techniques relatifs à l'utilisation de biocarburants dans les moteurs et les véhicules, publiés de 1990 à 2003.

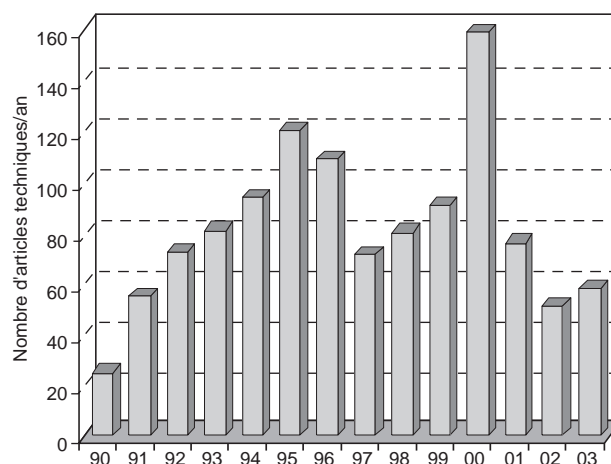


Figure 4

Analyse statistique du nombre d'articles techniques relatifs à l'utilisation du gaz naturel dans les moteurs et les véhicules, publiés de 1990 à 2003.

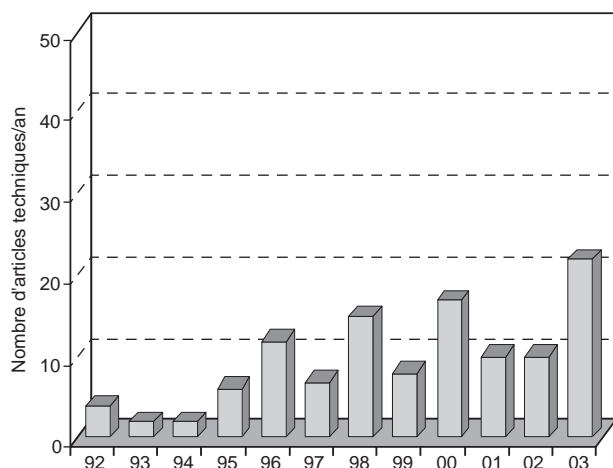


Figure 5

Analyse statistique du nombre d'articles techniques relatifs à l'utilisation de l'hydrogène dans les moteurs à combustion interne, publiés de 1992 à 2003

l'industrie automobile. Il est donc particulièrement important pour l'École du pétrole et des moteurs (IFP School), dont la conférence débutait par les cérémonies de célébration de son cinquantième anniversaire, de réussir cette collaboration européenne en matière de développement de nouveaux programmes d'éducation et de formation, mais également de documentation relative à tout ce qui a trait au HCCI/CAI.

LES RELATIONS ENTRE LES MOTEURS À COMBUSTION INTERNE ET LES CARBURANTS ALTERNATIFS

Il est possible de réaliser une analyse similaire des articles techniques relatifs à l'utilisation de carburants alternatifs

dans les moteurs. La figure 3 illustre tout d'abord le nombre d'articles relatifs à l'utilisation de biocarburants.

Nous pouvons constater en premier lieu que leur nombre est beaucoup plus faible par rapport aux articles concernant le HCCI/CAI. Cela pourrait indiquer que les activités sont moins nombreuses dans ce domaine, mais aussi qu'il existe peut-être un besoin moins important de recherche poussée dans le domaine des biocarburants et de l'adaptation des moteurs. Cette adaptation est également probablement moins compliquée, sur le plan scientifique et technique, que la combustion HCCI/CAI.

Nous pouvons néanmoins observer une augmentation intéressante de l'activité (avec quelques variations cycliques) depuis le milieu des années 90, probablement due à la pression politique visant à promouvoir ces carburants.

En ce qui concerne le nombre d'articles relatifs à l'utilisation du gaz naturel dans les moteurs et les véhicules, que ce soit de manière directe (carburants gazeux) ou indirecte (GTL), la situation est vraiment différente. Le nombre d'articles est beaucoup plus élevé, avec deux pointes en 1995 et en 2000. Nous nous en demandons la raison. Néanmoins, ces informations statistiques ne sont pas suffisantes pour conclure que ce phénomène pourrait être le signe de deux périodes comportant des perspectives plus importantes pour ces carburants, suivies d'une période de baisse d'engouement.

Enfin, en ce qui concerne la figure 5, nous pouvons observer un nombre relativement faible d'articles dédiés à l'utilisation de l'hydrogène dans les moteurs à combustion interne. Néanmoins, ce nombre semble croître « lentement » mais « sûrement » à partir de 1995. Nous ne savons pas aujourd'hui jusqu'où cela ira : pourquoi pas jusqu'à l'application industrielle du H_2 dans les moteurs à combustion interne comme une transition avant l'ère des piles à combustible dans le domaine des transports !

CONCLUSION

En conclusion, j'espère que le présent dossier *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'IFP* permettra au lecteur d'avoir un aperçu bref mais néanmoins intéressant de ces *Rencontres Scientifiques de l'IFP*. Celles-ci ont permis à tous les intervenants et participants de débattre, de manière très ouverte et très efficace, de l'avenir du couple « moteur » et « carburant » pour des moyens de transport à faibles rejets de CO₂, qui sont nécessaires à la satisfaction des besoins de plus en plus importants en termes de mobilité des personnes à travers le monde.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie très sincèrement Élisabeth Ubrich pour sa coopération lors de l'élaboration de ce document, en

particulier pour l'analyse statistique de l'ensemble des articles publiés.

REFERENCES

- 1 Duret, P. (2001) (éditeur) A New Generation of Engine Combustion Processes for the Future. *Congrès international de l'IFP*, 26-27 novembre, Éditions Technip, Paris.
- 2 Duret, P. et Montagne, X. (2004) (éditeurs) Which Fuels for Low-CO₂ Engines? *Rencontres Scientifiques de l'IFP/IFP International Conference*, 22-23 septembre, Éditions Technip, Paris.
- 3 Base de données de publications «*Mobility*» comprenant tous les articles *SAE* et la plupart des autres articles techniques internationaux concernant le domaine automobile.

Pierre Duret

*Directeur du Centre Moteurs et utilisation des hydrocarbures
École du pétrole et des moteurs*

Editorial

WHICH FUELS FOR LOW-CO₂ ENGINES?

Pierre Duret

*Center for Internal Combustion Engines and Hydrocarbon Utilizations,
IFP School, 232, avenue Napoléon-Bonaparte, 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France
e-mail: pierre.duret@ifp.fr*

INTRODUCTION

Following the success of the previous *IFP International Congress* on the theme of new HCCI and CAI combustion processes [1], *IFP* organized in 2004 a new *International Conference*: “Which Fuels for Low-CO₂ Engines?”. The aim of this conference was to provide the opportunity for experts from the automotive industry, the heavy duty and small engine sectors, fuel companies, additive makers, OEM suppliers and R&D organizations to discuss the potential of this new generation of fuels and energy conversion in engines. The full proceedings of “Which Fuels for Low-CO₂ Engines?” are published by Éditions Technip [2]. The dossier of the present issue of *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'IFP* contains three papers extracted from the proceedings, in order to give readers a taste of the conference.

The key words of the title of this new conference are “Low-CO₂” and these two key words are surrounded by the words “Fuels” on one side and “Engines” on the other side. It means that when we proposed this title, we made the hypothesis that any significant progress on CO₂ emissions from transportation have to be done in working in conjunction on both engines and fuels. This event confirmed that we were right in making such hypothesis.

MULTIPLE “FUEL AND ENGINE” APPROACHES FOR FUTURE LOW-CO₂ TRANSPORTATION

To cover the subject of fuel/engine couple for low CO₂ emissions, several approaches naturally appeared to us.

– The first one is to further improve jointly the existing engine and liquid fuel technologies, and in a second step to make some adaptation of conventional engines for their operation with new type of liquid fuels such as bio-fuels. It was the subject of the first session of this conference, and is illustrated by the article in this dossier on the potential of ethanol as fuel for a dedicated engine.

- The second approach goes one step further. It is to really optimize the engines with new combustion processes (allowing to overcome the “CO₂-efficiency” *versus* “NO_x-PM” dilemma of stratified charge engines) such as HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) and CAI (Controlled Auto-Ignition) and to also modify the (still liquid) fuel formulations in order to increase the benefits offered by HCCI and CAI. This is the subject extensively covered by the second session of this conference, from which the article on new HCCI/CAI combustion process development is extracted.
- Still one step further, we arrive to a third approach which is to use natural gas for the energy conversion in engines either directly in a gaseous form in a vehicle, or indirectly in a liquid form after the gas to liquid conversion process. Each solution presents drawbacks and advantages and it was the purpose of the third session of this conference, illustrated by the article reproduced here on the development of a natural gas demonstrator, to try to improve the knowledge and to better know the potential of this third approach.
- Finally the last approach is located at the transition between the internal combustion engine and the fuel cell. It is to use hydrogen in an internal combustion engine, either in small quantity (mixed with another main fuel) to enhance the combustion efficiency and cleanliness or as a single fuel as it is also dealt with in the full conference proceedings.

To conclude the last session of this conference was an exchange of points of view concerning the future of these approaches given by different stakeholders involved in the future of low CO₂ transportation.

In the next two sections of this introduction we will examine the world-wide activities based on the analysis of the number of studies published by the researchers using appropriate requests and database [3].

THE WORLDWIDE HCCI EFFERVEESCENCE

As shown by Figure 1 covering HCCI/CAI papers, their number has significantly increased since 2001, the breakthrough between 2000 and 2001 being exactly timed when the first fully HCCI/CAI-dedicated event has been organized at *IFP* [1].

What is even more remarkable is that if we add the about 50 papers published during the first half of 2004, it means that more than 300 HCCI/CAI papers have been published within 3.5 years, which is almost the same as had been previously published in 10 years between 1990 to 2000.

A lot of companies and institutions are now working on the subject and we can expect the spread of practical application of HCCI/CAI technologies within the next few years. Nevertheless all these first applications in production will have to be done using the conventional existing diesel and gasoline fuels. The next step will be the evolution of the fuel formulations to take increased benefit of HCCI/CAI both in terms of efficiency/low CO₂ as well as in terms of NO_x/PM as shown by different authors in the conference proceedings.

Now if we look to the companies and institutions which are the most deeply involved in such research, in Figure 2, several of them were present at this conference to share their respective progresses with the scientific community.

In this direction of improving the knowledge in the field of new HCCI/CAI engine combustion processes, *IFP* has recently set up an European network of excellence named “ECO-Engines” for energy conversion in engines. The purpose of this network is to strengthen the European research and also to develop appropriate education and training

courses in this technical field. It is interesting to notice that all the European institutions of the Figure 2 (*Lund Institute of Technology*, *Chalmers University*, *Brunel university*, *IFP* and *AVL*) are deeply involved in ECO-Engines and even play a major role in it.

The education and training part is also lead by the *IFP* School with the same partners. *IFP* School is an engineer school providing applied graduate studies in different fields, among them the “Internal Combustion Engines” program is highly appreciated by the engine and automotive industry. It will be then of major importance for the *IFP School*, which celebrated its 50 years anniversary at the time of the congress, to successfully undertake this European cooperation in the development of new education and training courses and materials on HCCI/CAI related topics.

THE RELATIONS BETWEEN INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND ALTERNATIVE FUELS

We can make similar analysis on the technical papers related to the use of alternative fuels in engines. The Figure 3 shows first the number of papers related to the use of bio-fuels.

We can first see that their number is much smaller compared with HCCI/CAI papers. This could mean that there are fewer activities in this field but perhaps also less need to undertake extensive research in bio-fuels and engine adaptation. This adaptation is also probably scientifically and technically less complicated than HCCI/CAI combustion.

We can nevertheless observe an interesting increase of activity (with some cyclic variations) since the middle of the 1990’s, probably due to the beginning of the political pressure to promote such fuels.

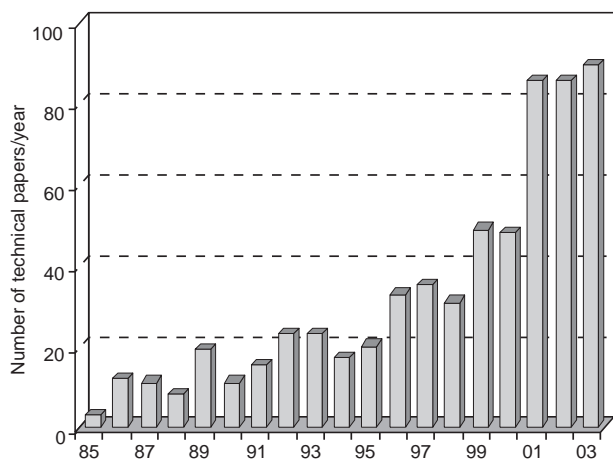


Figure 1

Statistical analysis of the number of technical papers related to the new HCCI and CAI engine combustion processes, published from 1985 to 2003.

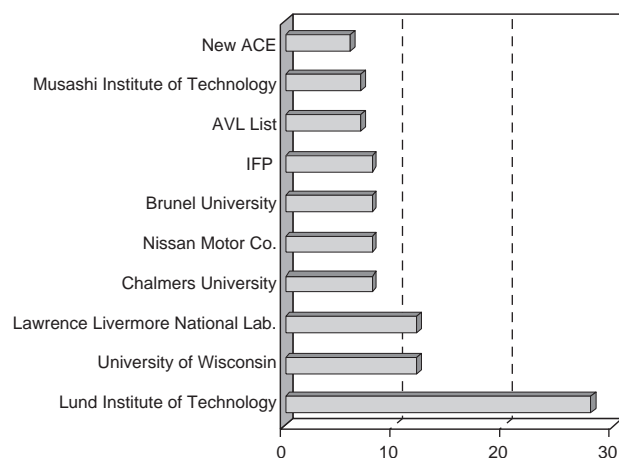


Figure 2

Main companies and institutions (and corresponding number of papers) having published technical papers related to HCCI and CAI during the last 3.5 years.

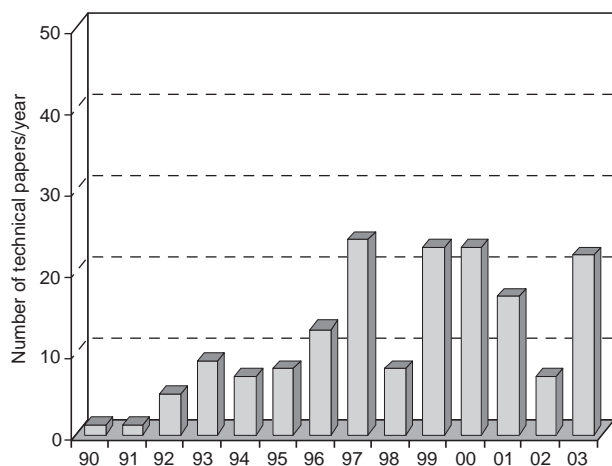


Figure 3

Statistical analysis of the number of technical papers related to the use of bio-fuels in engines and vehicles, published from 1990 to 2003.

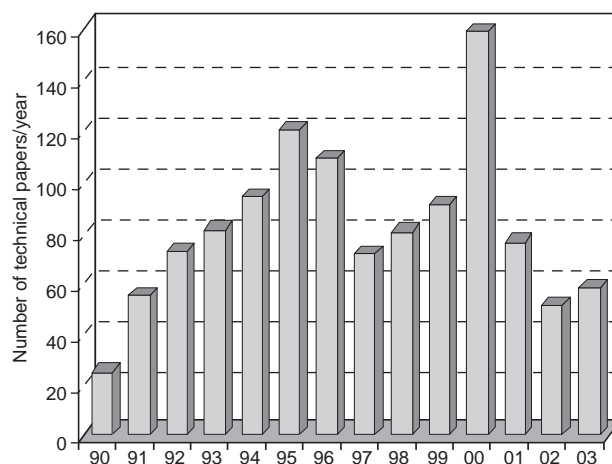


Figure 4

Statistical analysis of the number of technical papers related to the use of natural gas in engines and vehicles, published from 1990 to 2003.

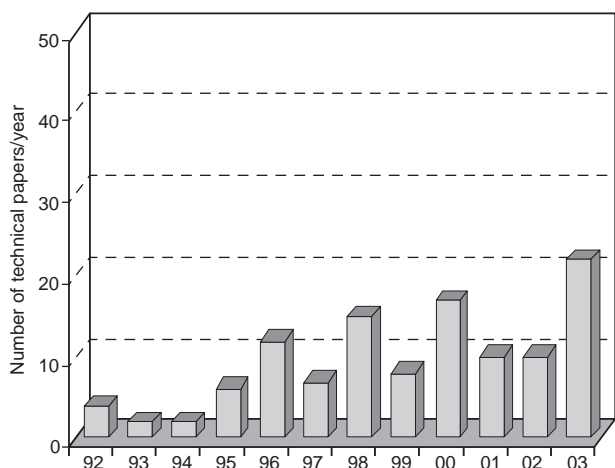


Figure 5

Statistical analysis of the number of technical papers related to the use of hydrogen in internal combustion engines published from 1992 to 2003.

Regarding the number of papers related to the use of natural gas in engines and vehicles, either directly (gaseous fuels) or indirectly (GTL), the situation is much different. The number of papers is much higher with two peaks in 1995 and 2000. It asks question to us. Nevertheless, this statistical information is not sufficient to conclude that this phenomenon could be the sign of two periods of higher perspective for such fuels followed by period of reduced interest .

Finally, looking at Figure 5, we can see a relatively small number of papers on the use of hydrogen in internal combustion engines, but this number seems to grow "slowly"

and "surely" since 1995. We don't know today where it will go, maybe up to the industrial application of H_2 in IC engines before the long term era of the fuel cells for transportation!

CONCLUSION

In conclusion, I hope that this *Oil & Gas Science and Technology - Revue de IIFP* dossier will give the reader an brief but interesting insight into a conference which provided all the speakers and delegates with the opportunities to discuss in a very open and efficient manner about the future of the "engine" and "fuel" couple for low CO_2 transportation means, necessary to satisfy the growing needs for mobility of people all over the world.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to deeply acknowledge Elisabeth Ubrich for her cooperation in preparing the document here above, in particular in the statistical analysis of all the published papers.

REFERENCES

- 1 Duret, P. (2001) (éditeur) A New Generation of Engine Combustion Processes for the Future. *Congrès international de l'IFP*, 26-27 novembre, Éditions Technip, Paris.
- 2 Duret, P. et Montagne, X. (2004) (éditeurs) Which Fuels for Low- CO_2 Engines? *Rencontres Scientifiques de l'IFP/IFP International Conference*, 22-23 septembre, Éditions Technip, Paris.
3. Base de données de publications "Mobility" comprenant tous les articles SAE et la plupart des autres articles techniques internationaux concernant le domaine automobile.

Pierre Duret
Director of Center for IC Engines and Hydrocarbon Utilizations
IFP School