EVOLUTIONS DES MOTEURS D'AUTOMOBILES A COMBUSTION INTERNE

LES COMBUSTIONS DE DEMAIN : le HCCI

L'automobile s'avère être, au moins en partie, responsable de la pollution urbaine. Les polluants émis par les moteurs thermiques à combustion interne équipant les automobiles sont désormais strictement réglementés et le tableau ci-dessous montre l'évolution croissante des normes.

	Normes	Date	CO	HC	HC+NOx	***NOx***	***Particules***
Diesel	Euro 3	2000	0,64		0,56	0,50	0,05
	Euro 4	2005	0,50		0,3	***0,25***	***0,025***
	Proposition Euro 5	~2009	0,50		0,23	***0,18***	***0,005***
Essence	Euro 3	2000	2,30	0,20		0,15	
	Euro 4	2005	1	0,10		0,08	
	Proposition Euro 5	~2009	1	0,10		0,07	0,005*

En g/km – Véhicules pouvant accueillir 9 sièges
*Applicable seulement aux véhicules ayant un moteur à injection directe en mélange pauvre

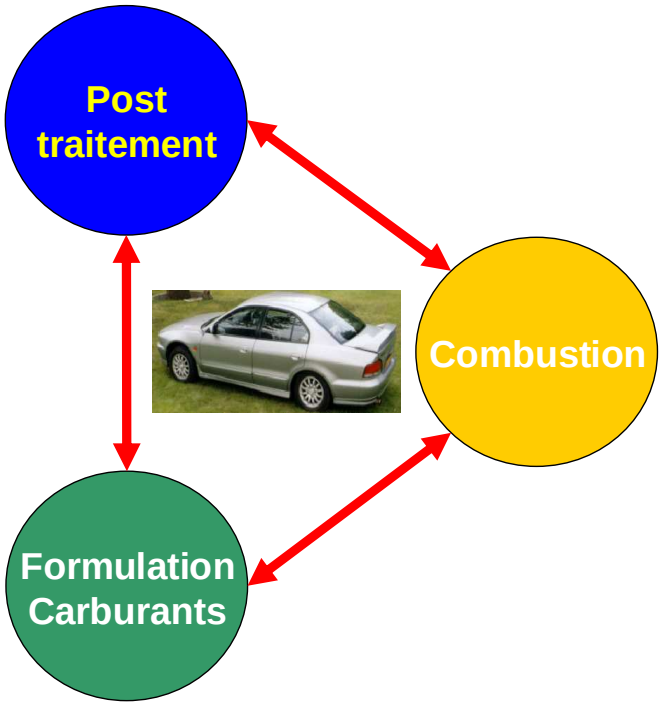
Comment franchir les prochaines étapes réglementaires en évitant les systèmes "lourds" de dépollution?

Une des solutions adoptées par les constructeurs dans les dix prochaines années sera la dépollution à la source par de nouveaux concepts de combustion.

Un de ces concepts de combustion est appelé : HCCI ou CAI

Les principaux moyens de traitement de la pollution automobile

Le traitement à la source



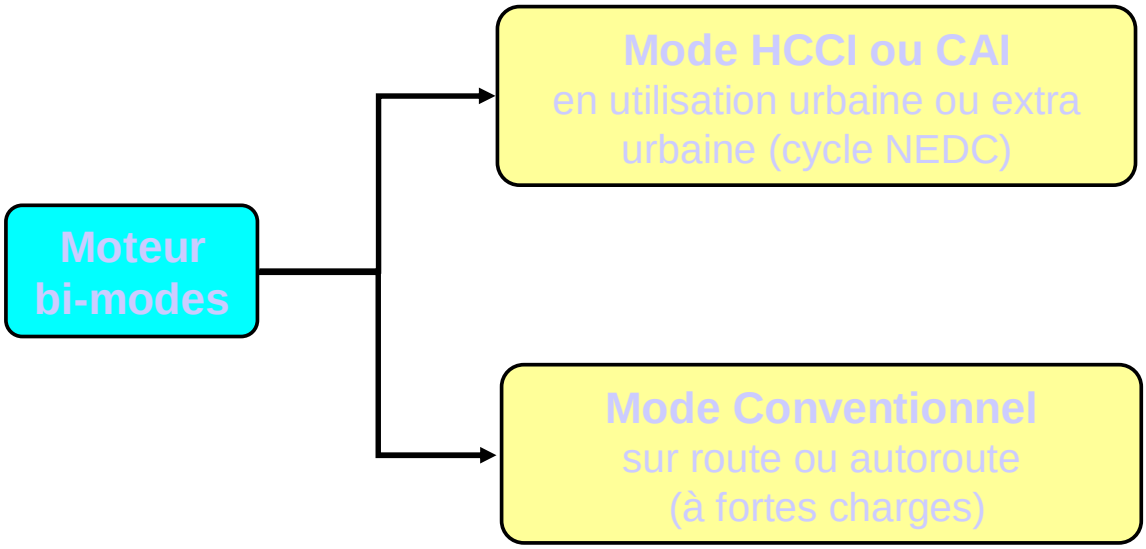
Action directe sur les mécanismes de formation des polluants au sein de la chambre de combustion

Réduction de la complexité et du coût des systèmes de post-traitement, ainsi que des effets induits sur la consommation

Il est toujours préférable d'empêcher la formation de polluants plutôt que de devoir les traiter après production par des moyens complexes et coûteux comme par exemple les catalyseurs de NOX.

La mise en oeuvre des nouveaux concepts de combustion sur véhicule

Des motorisations à deux modes de combustion



IMPORTANT :

Les moteurs HCCI ou CAI ne peuvent fonctionner qu'en bi-modes.

Les grands principes des nouveaux concepts de combustion

La combustion homogène à allumage par compression

Par rapport à la combustion traditionnelle

- Mélange homogène air/carburant avec une forte dilution par de l'air ou recirculation des gaz brûlés
- Combustion contrôlée par l'auto inflammation et non par la propagation d'une flamme ou la diffusion du carburant

Pas de sur-richesse locale en carburant
Température de combustion très basse

Peu de suies et de NOx

En général, on parle de HCCI pour le diesel et CAI pour l'essence

LES MOTEURS HCCI ET CAI

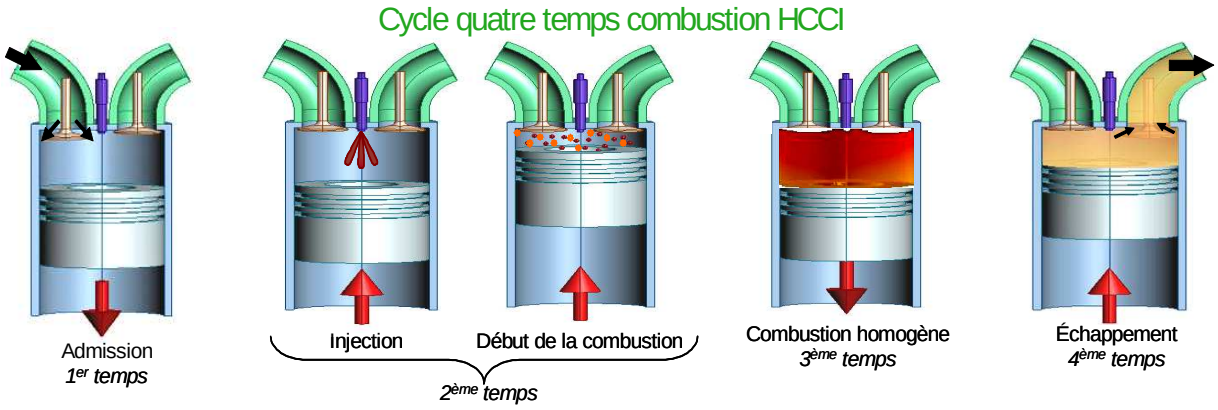
Baptisés HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) pour le Diesel et CAI (Controled Auto Ignition) pour l'essence, **ces moteurs réabsorbent en partie leurs gaz brûlés,** ce qui conduit à un allumage instantané de l'intégralité du mélange que contient la chambre de combustion.

L'ESSENTIEL :

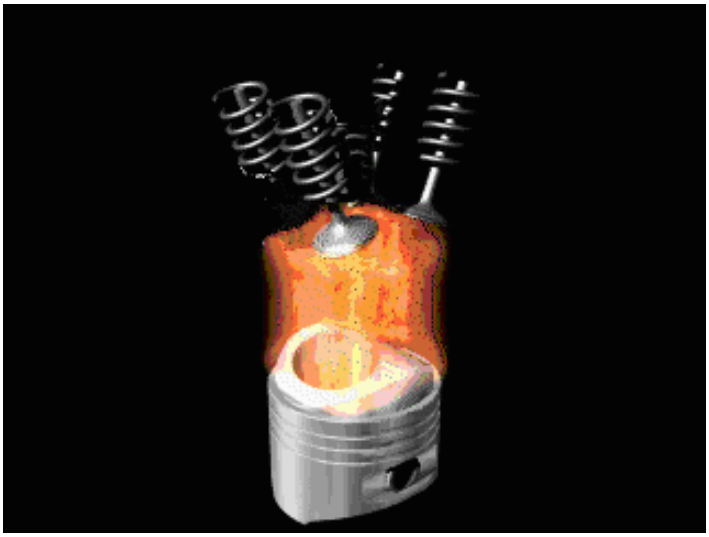
Le phénomène d'auto-inflammation, tant redouté dans les anciens moteurs à essence, est ici mis à contribution pour provoquer l'inflammation instantanée de l'ensemble du volume de mélange air-carburant dans les chambres de combustion. Qu'il s'agisse d'un moteur à essence ou Diesel, ce type de fonctionnement ne nécessite plus d'allumage en fonctionnement établi.
L'auto-inflammation du mélange est obtenue soit par la pression et par la température du mélange Diesel préétabli (HCCI), soit par des gaz brûlés résiduels (CAI). Dans ce cas, la combustion hétérogène chaude classique par propagation d'un front de flamme fait place à une combustion globale homogène et plus «froide» (la température reste inférieure à 1300 ℃). Deux points qui conduisent à l'absence de formation de particules de suie et de NOx.
De tels moteurs pourraient répondre, à terme ainsi aux exigences de la norme Euro 5 sans post traitement des NOx ni filtre à particules.

Les moteurs HCCI et CAI fonctionnent avec un taux de compression qui conduit à l'allumage spontané de l'ensemble du mélange. Il en résulte une combustion dite «froide» dans la chambre qui ne produit quasiment ni suie ni NOx.

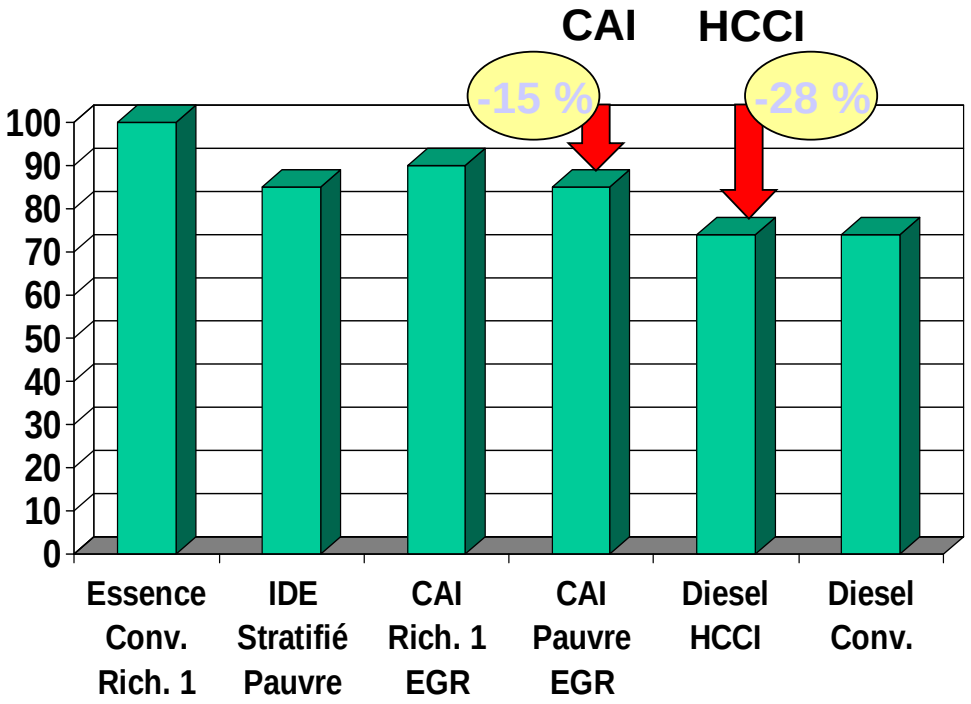
Présentation du moteur HCCI



HCCI : - Auto-allumage par compression
- Injection directe et homogénéisation en cycle Diesel
- Forte dilution et contrôle de la combustion par les gaz brûlés recyclés



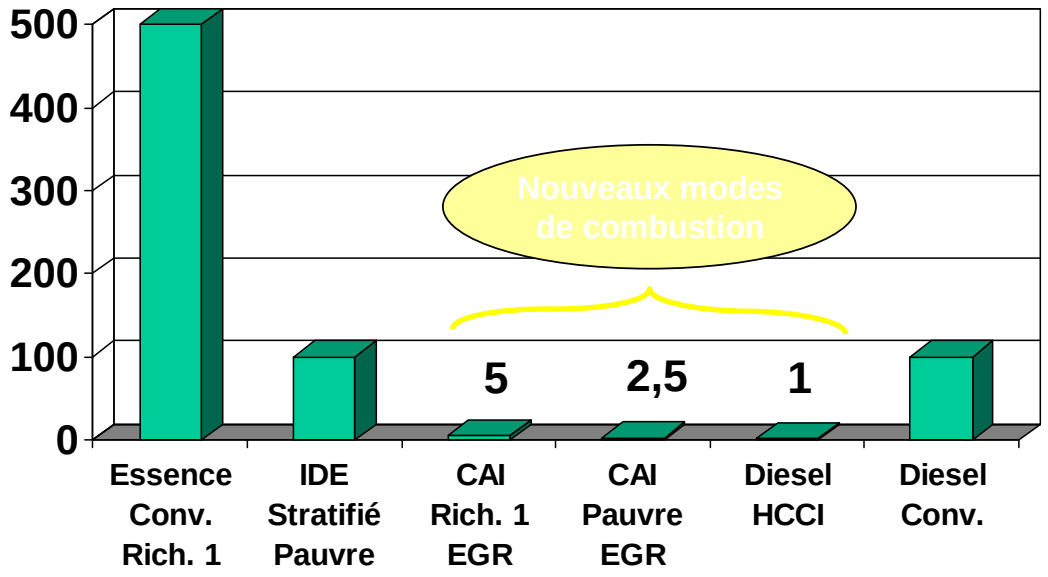
Le potentiel en consommation de carburant



Comparaison par rapport à la référence essence conventionnelle (Réf. 100)

L'étude ci-dessus montre bien l'intérêt que présente le mode CAI ou HCCI pour la recherche de réduction de la consommation en carburant.

Le potentiel en émissions de NOx



Comparaison par rapport à la référence diesel conventionnel (Réf. 100)

ANALYSE ET COMPREHENSION DU DEROULEMENT DE LA COMBUSTION EN MODE HCCI *(Homogeneous Charge Compression Ignition)*

GENERALITES :

- Mode de combustion HCCI :
  - Cycle diesel.
  - Injections du carburant "précoces" et contrôle de l'EGR (Recirculation des gaz brûlés).
  - Auto-inflammation du mélange air/carburant à une température et pression données.
  - Milieu "homogène".
- Axes à améliorer :
  - Etendre significativement la zone de fonctionnement en mode HCCI.
  - Diminuer des émissions d'HC et de CO.
  - Maîtriser les niveaux de bruit.

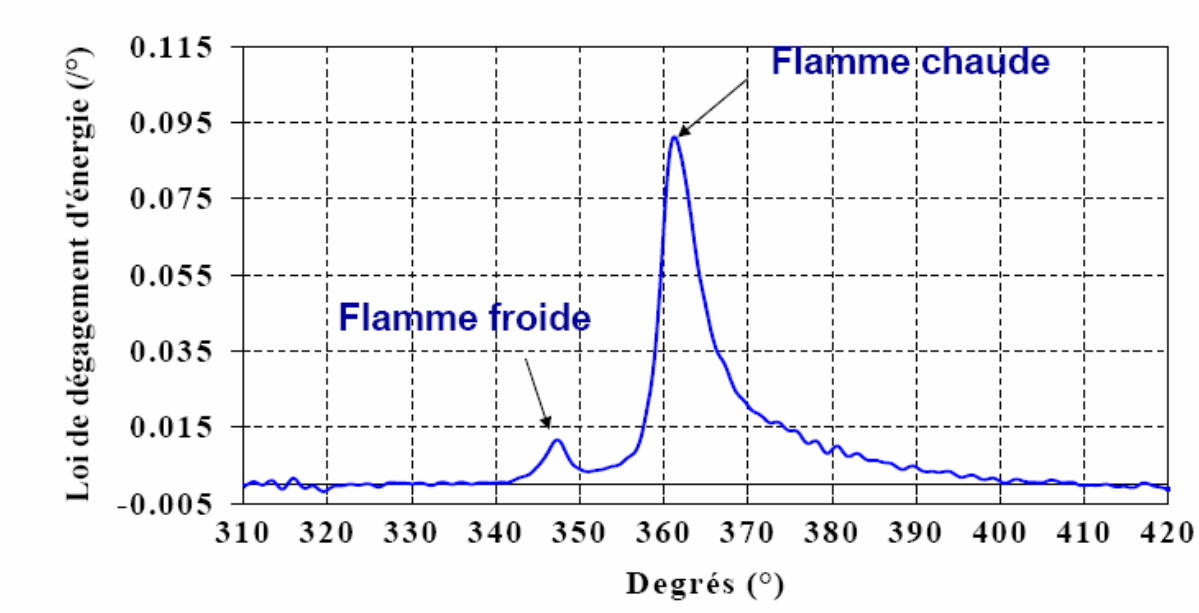
Voies d'action

-Technologie (ex : cylindrée et rapport volumétrique variables)

-Carburant

CARACTERISTIQUE :

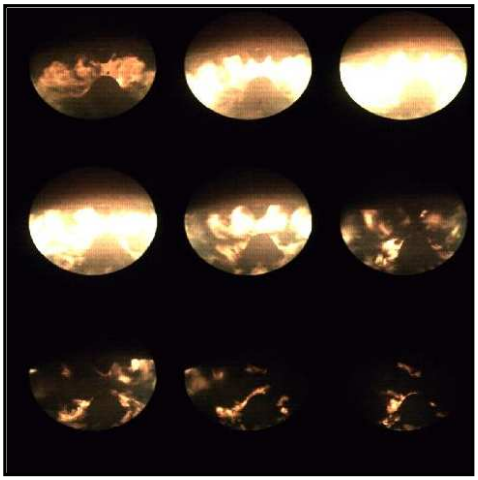
La combustion HCCI se déroule en deux étapes : flamme froide puis flamme chaude (définitions en annexe).



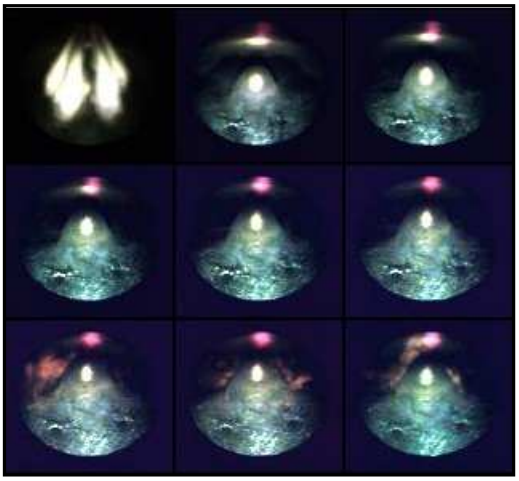
La combustion HCCI diesel

Visualisation de la combustion dans un moteur par endoscopie

Combustion Traditionnelle



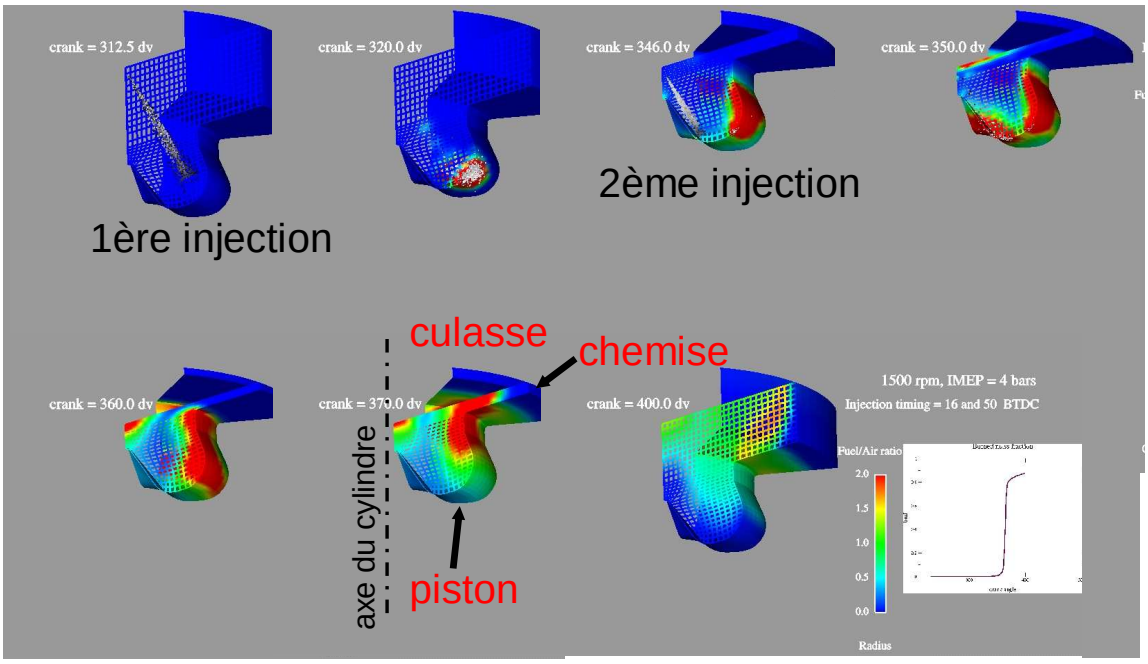
Combustion Homogène



Conditions expérimentales : 1500 tr/min - PMI = 3 bar

L'apport de la modélisation 3D pour l'optimisation des procédés HCCI

Combustion HCCI : 2 injections, évolution de la richesse au cours du temps



Problématique du moteur HCCI

- Avantages :
  - faible émission de particules
  - faible émission de NO_x
  - rendement proche du rendement d'un moteur Diesel conventionnel

- Contrôle de la combustion :
  - par la technologie moteur (phasage et le séquençage de l'injection adaptés, bol et injecteur particuliers)
  - par la recirculation des gaz brûlés (EGR)
  - par une formulation de carburants adaptés

Combustions homogènes : l'état des lieux

- Le potentiel des combustions HCCI & CAI est clairement démontré
  - Ultra basses émissions de NOx et de particules
  - Gains en consommation substantiels par rapport à l'essence
- Il reste des problèmes à résoudre
  - Maîtrise de la combustion et du contrôle en transitoire
  - Réduction des émissions d'imbrûlés et de bruit ...
- Mais les développements technologiques apporteront les réponses appropriées pour conduire vers des applications en série
  - Stratégies avancées de contrôle moteur
  - Systèmes d'injection à hautes performances ...

DEVELOPPEMENT DES NOUVEAUX PROCEDES DE COMBUSTION CAI/HCCI

LES CARBURANTS :

Les nouveaux procédés tels que le CAI ou le HCCI permettent de réduire d'un facteur 10 à 100 les émissions de particules et de NOx par rapport aux moteurs à essence ou Diesel standard.
Le problème principal dans le développement de tels modes de combustion reste la gamme restreinte de régime et de charge compatible avec un fonctionnement correct du moteur, aux niveaux acceptables d'émissions de NOx *(Nitric Oxide emissions)* et de bruit.
Une des voies prometteuses permettant d'étendre la gamme de fonctionnement de la combustion CAI est la recherche de formules de carburants mieux adaptées, optimisées par la modification et le contrôle de leurs propriétés d'auto-inflammation et/ou leurs propriétés physiques et chimiques afin d'améliorer le démarrage et le déroulement de la combustion.

CHOIX DES CARBURANTS

PROBLEME DE LA COMBUSTION HCCI :

Zone de fonctionnement limitée

- Moteur doit fonctionner en mode conventionnel diesel et en HCCI
  - Rester proche des formulations de carburant actuelles :

BASE DIESEL

- Gazole conventionnel pas optimum pour la combustion en mode HCCI :

AJOUT DE MOLECULES MODELES

↓

- Molécules modèles choisies pour favoriser les paramètres clés : vaporisation, initiation et déroulement de la combustion.
  - Oléfine : long délai d'auto-inflammation et double liaison conduisant à une réactivité accrue.
  - Acétal : court délai et diminution des particules à l'échappement des moteurs automobiles.
  - Naphtène/cycloalcène : délai dépend de la structure chimique et molécules cycliques – tendues.

Conclusion

- Potentiel de contrôle de la combustion via le carburant.
- Optimisation du calage par la formulation du carburant adaptée.
- Cartographie de l'effet des molécules modèles.

ANNEXE

Schémas d'oxydation des hydrocarbures (3 domaines de températures)

- Flamme froide (< 700 K) :
  - propagation ramifiante.
  - cinétique lente.

- Coefficient négatif de température (entre 700 K et 800 K) :
  - nouveau mécanisme : propagation linéaire.
  - diminution de la vitesse de réaction quand la température. augmente.

- Flamme chaude (> 800 K) :
  - propagation ramifiante.
  - dissociation des hydrocarbures.
  - cinétique rapide.

Sources documentaires : IFP