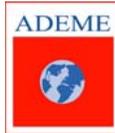


# Optimisation énergétique des moteurs thermiques : nouveaux défis



## Étude expérimentale des conditions d'auto-inflammation, du dégagement de chaleur et des mécanismes d'oxydation dans un moteur HCCI

Rahim EBRAHIMI\*, Gautier PETIT\*\*, Bernard DESMET\*, Rodolphe MINETTI\*\*

\* LME-EA 2447

Laboratoire de Mécanique et Energétique (LME)  
Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis  
Le Mont Houy  
59313 Valenciennes-Cedex 9  
Bernard.Desmet@univ-valenciennes.fr

\*\* PC2A-UMR-CNRS 8522

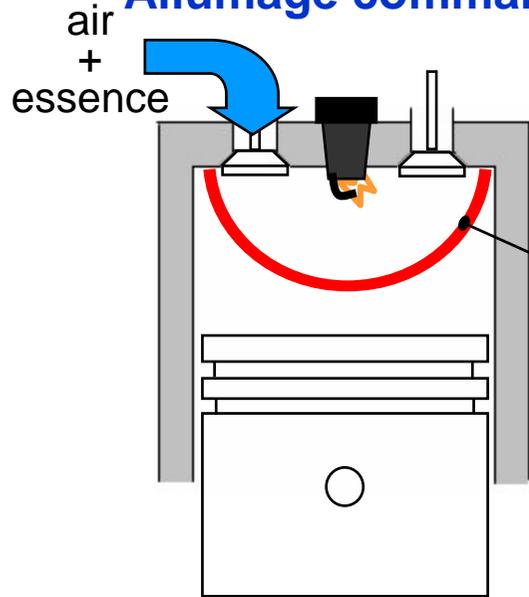
Laboratoire de Chimie Physique Appliquée (LCPA)  
Université d'Artois  
ZAC Porte Nord  
62700 Bruay-La-Buissière  
rodolphe.minetti@univ-artois.fr





# Concept de combustion HCCI

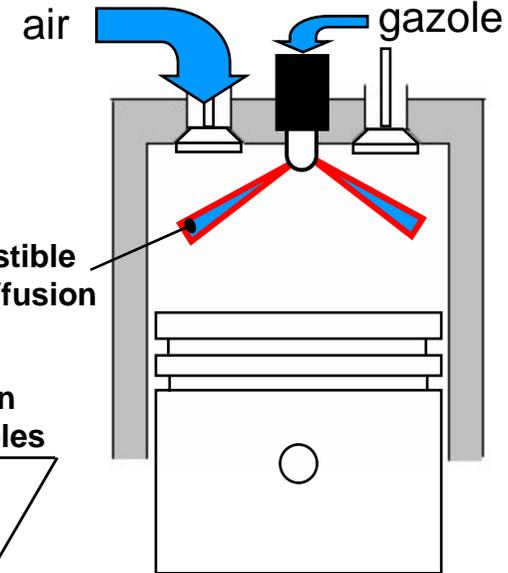
## Allumage commandé



Propagation de flamme

	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Développé depuis de nombreuses années</li><li>■ Faible prix</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Faible rendement à charge partielle</li><li>■ Taux de compression limité par le cliquetis</li></ul>

## Diesel

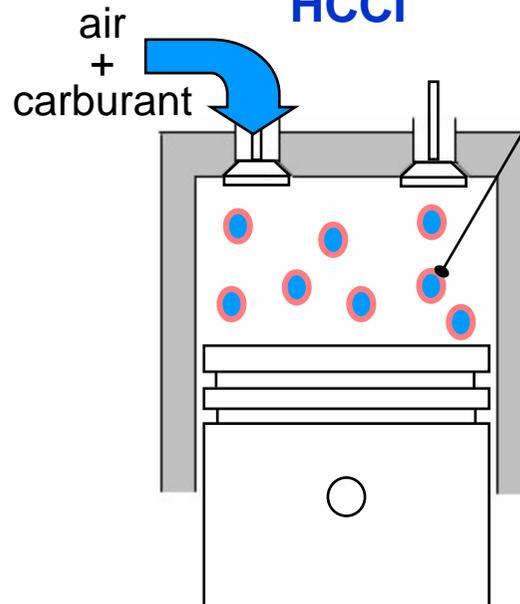


Jet de combustible  
Flamme de diffusion

	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Bon rendement</li><li>■ Puissance élevée</li><li>■ Durabilité</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Emissions importantes de NOx et de particules</li><li>■ Bruit</li></ul>

Allumage par compression  
Points d'allumages multiples

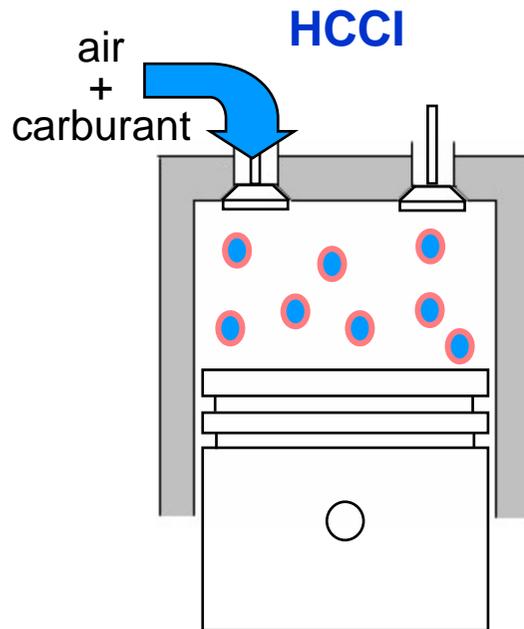
## HCCI





# Concept de combustion HCCI

## Homogeneous Charge Compression Ignition

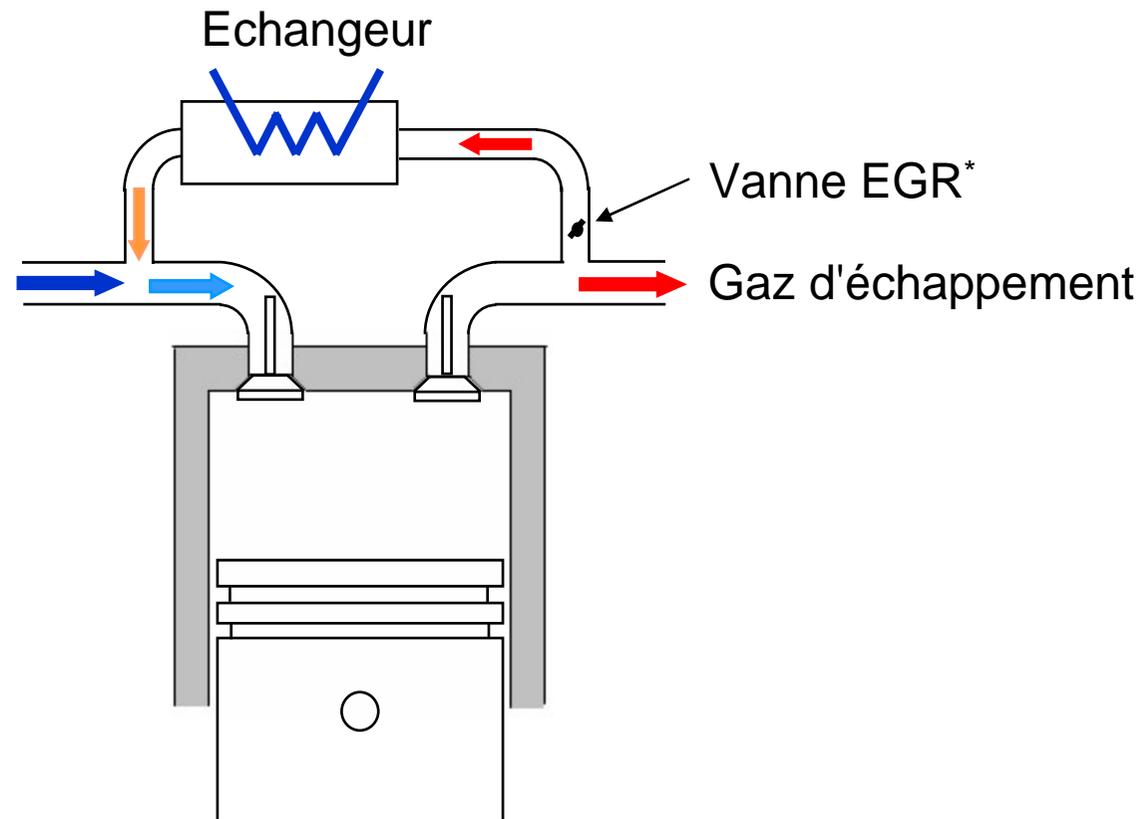


	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Combustion à basse température<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ très peu de NO<sub>x</sub> (&lt;0,1 g/(ch.h))</li></ul></li><li>■ Combustion de mélanges pauvres homogènes<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ peu d'émissions de particules</li></ul></li><li>■ Taux de compression élevé</li><li>■ Combustion rapide</li><li>■ Faibles échanges thermiques<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ rendement élevé</li></ul></li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Contrôle de la combustion</li><li>■ Domaine de charge limité</li><li>■ Mélange air-combustible convenable</li></ul>



# Contrôle de l'auto-inflammation

## Recirculation des gaz d'échappement

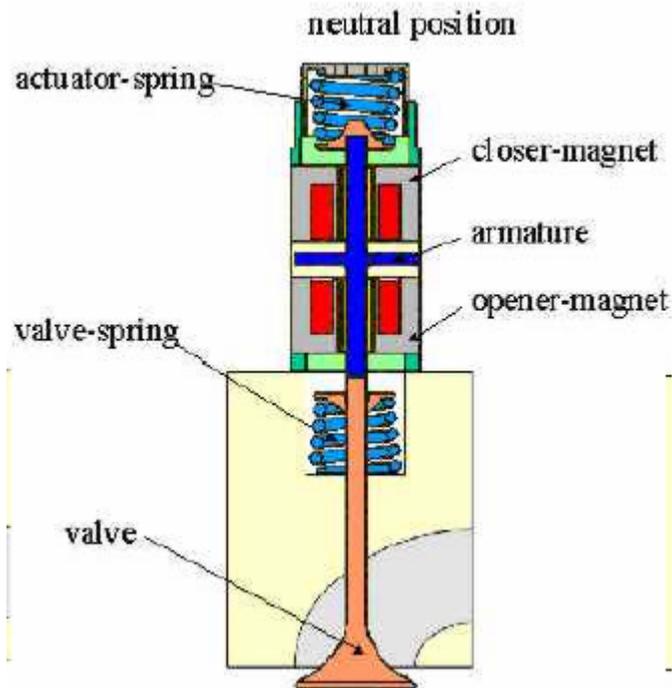


\* EGR : Exhaust Gas Recirculation



# Contrôle de l'auto-inflammation

## Distribution à calage variable (VVT : Variable Valve Timing)



Soupape à commande  
électromagnétique d'après [1]



Document Siemens



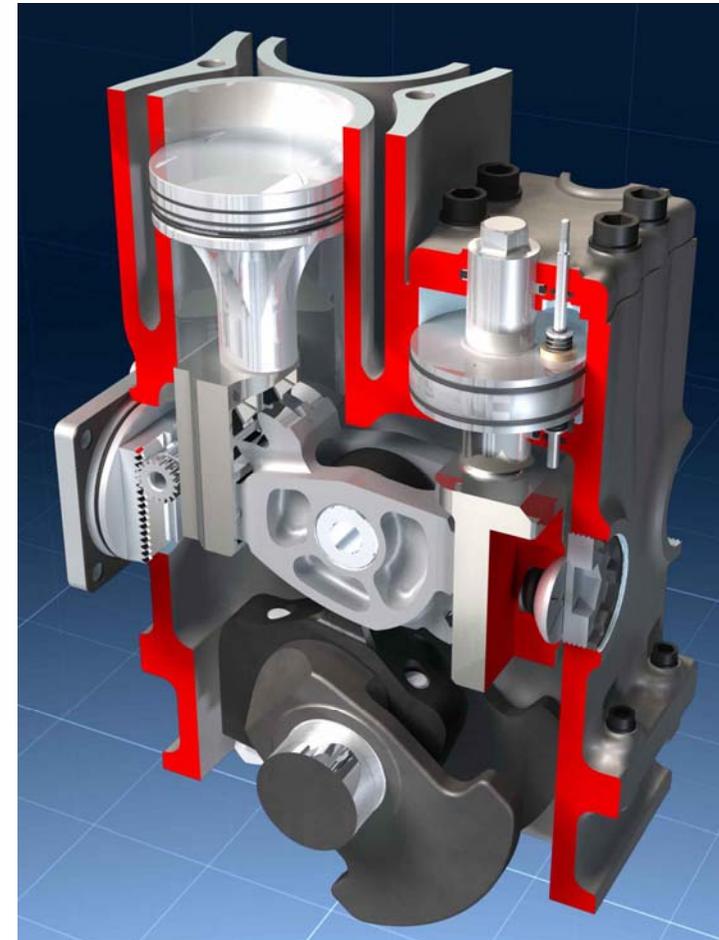
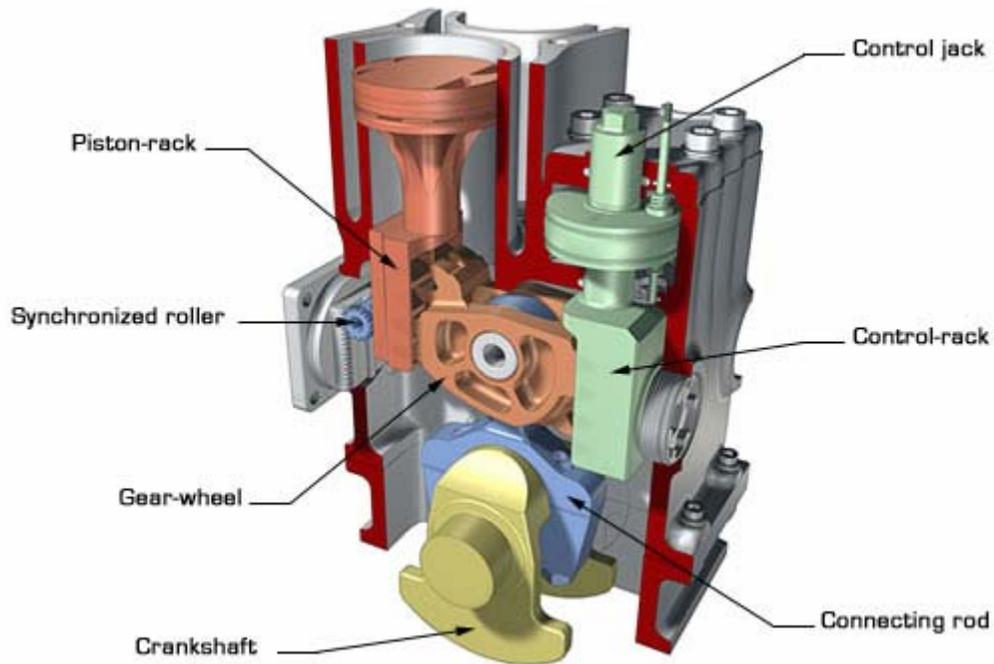
Document Valeo

[1] Chun Tai, Andrew Stubbs, Tsu-Chin Tsao, *Modeling and Control Design of an Electromagnetic Engine Valve*, Proceedings of the American Control Conference, Arlington, June 25-27, 2001, p. 2890-2895



# Contrôle de l'auto-inflammation

## Taux de compression variable

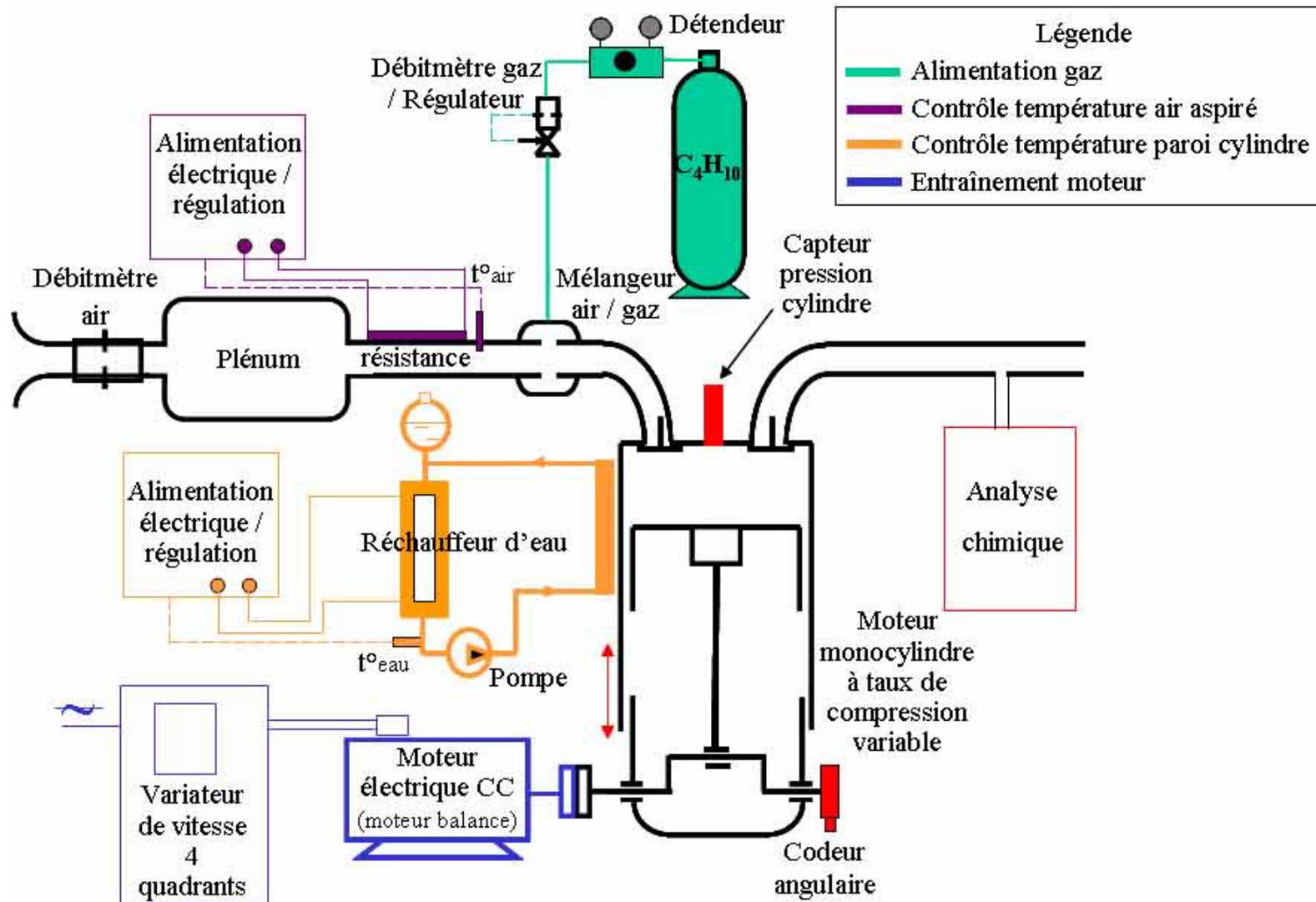


Moteur à taux de compression variable

(Document MCE-5 : <http://www.mce-5.fr>)



# Banc d'essais de moteur entraîné HC/CI





# Banc d'essais de moteur entraîné HCCI

## Moteur mono-cylindre entraîné à taux de compression variable

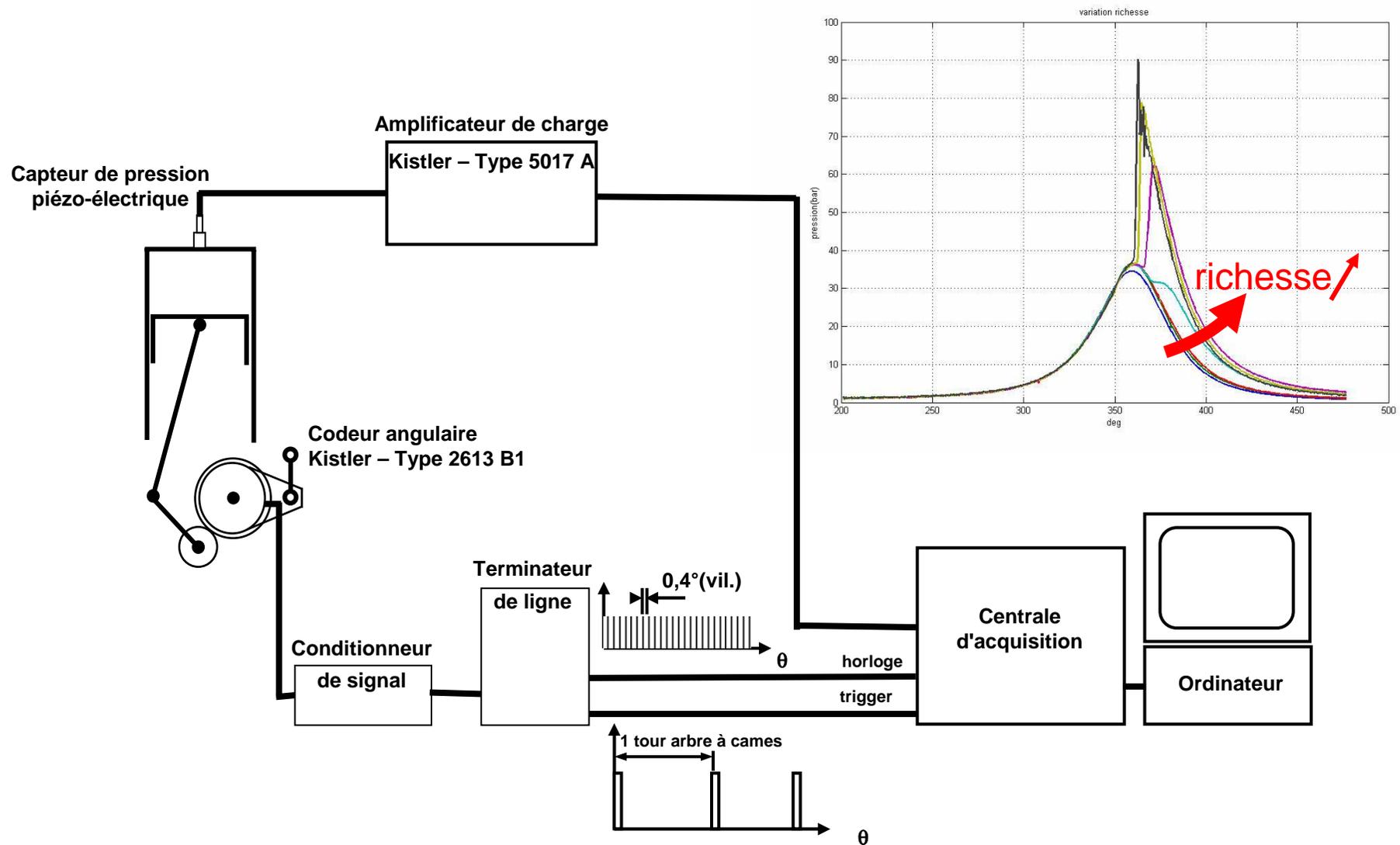
### Caractéristiques du moteur

Cylindrée :	582 cm <sup>3</sup>
Diamètre de l'alésage :	95 mm
Course du piston :	82 mm
Longueur de bielle :	156 mm
Taux de compression variable :	5:1 à 18:1
Vitesse de rotation variable :	1000 à 2500 tr/mn





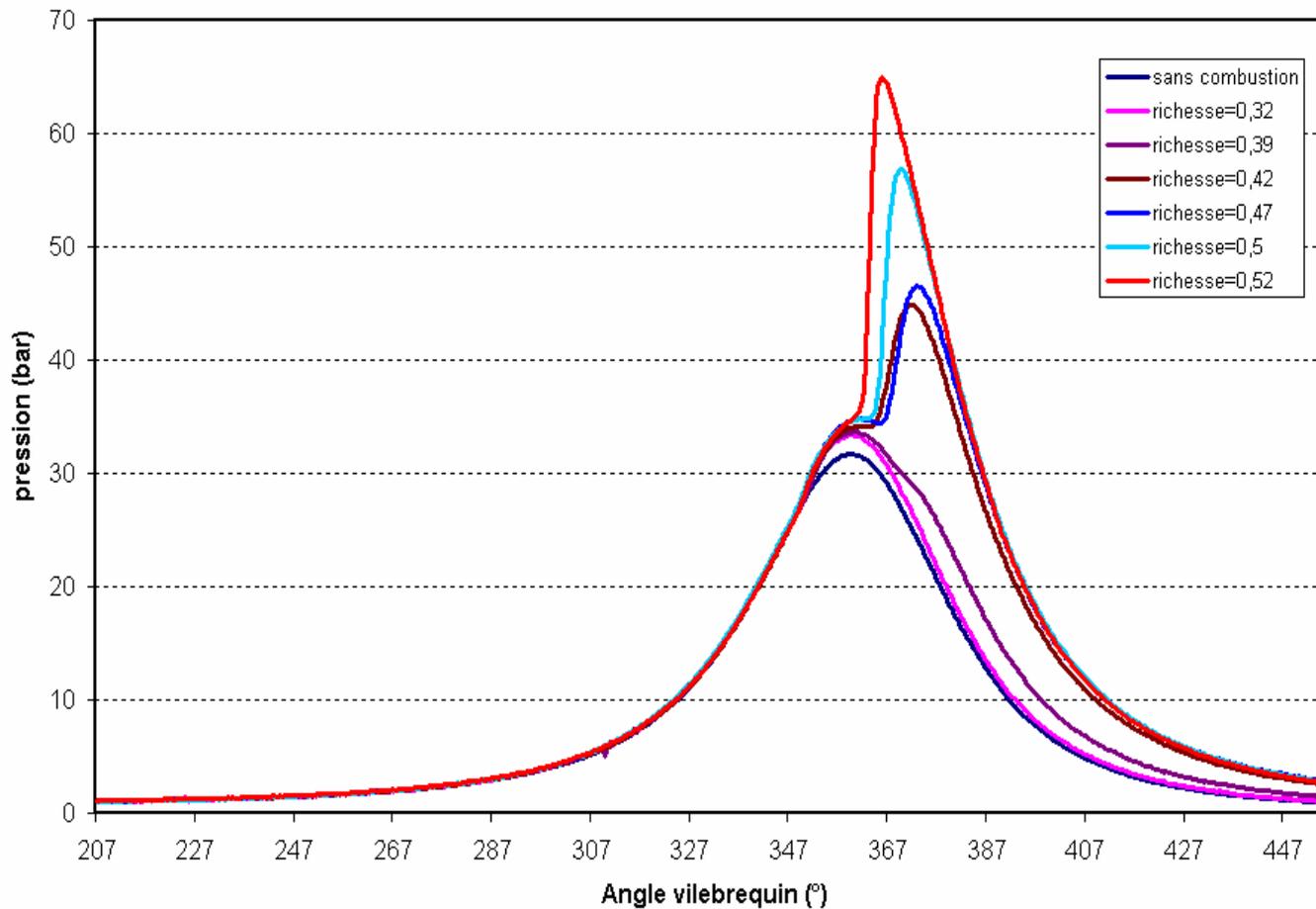
# Banc d'essais de moteur entraîné HC CI





# Mesures

## Pression cylindre pour différentes richesses



### Conditions d'essai

Combustible : n-butane

Vitesse de rotation : 600 tr/mn

Rapport volumétrique : 13,4

Température air aspiré : 21°C

Débit d'air : 6,38 m<sup>3</sup>/h (N)



# Mesures

## Traitement des données de mesures

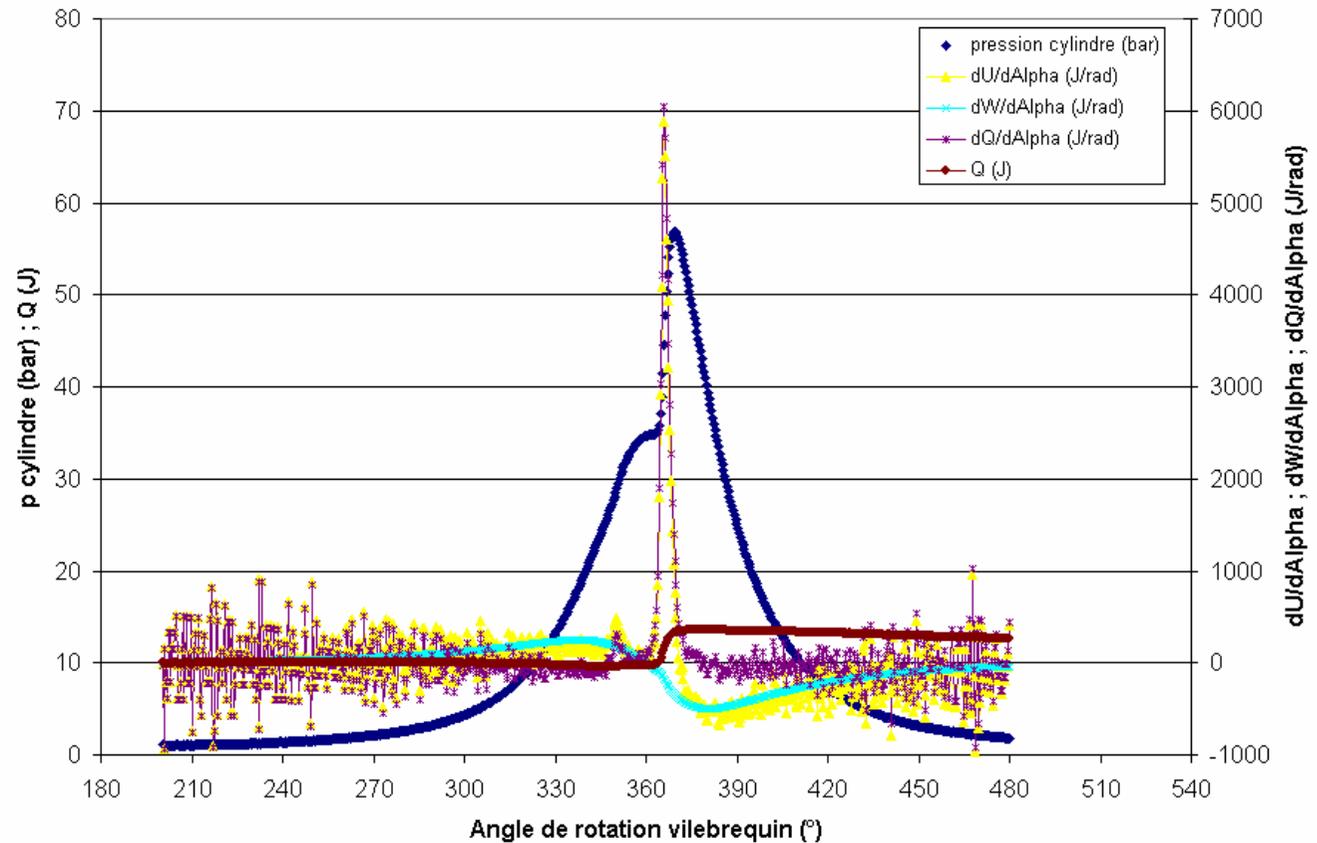
$$\delta Q = \delta Q_p + \delta Q_c$$

↓                    ↓  
Parois            Combustion

$$dU = \delta W + \delta Q$$

$$dU = \frac{c_v}{r} d(p.V)$$

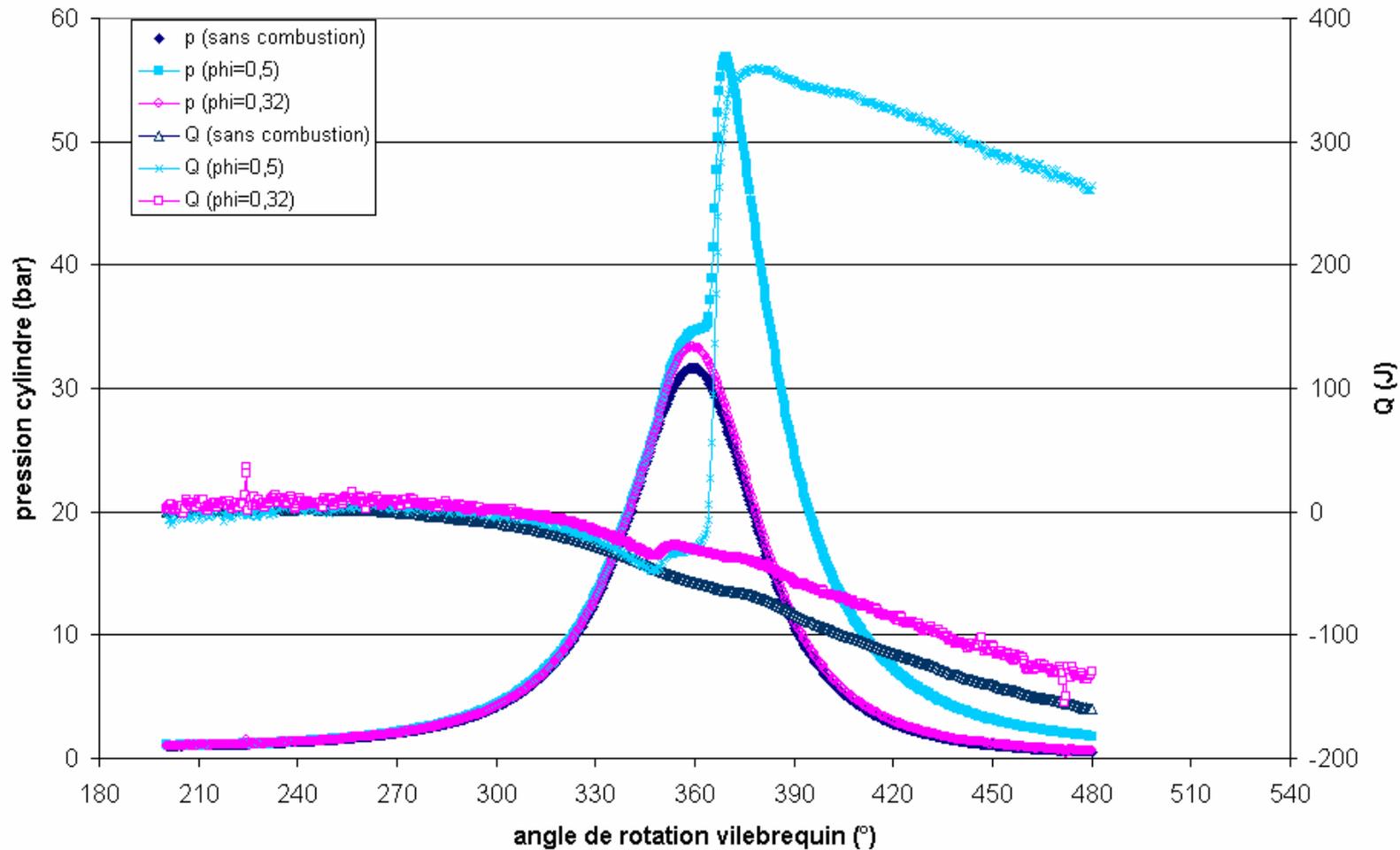
$$\delta W = -p.dV$$





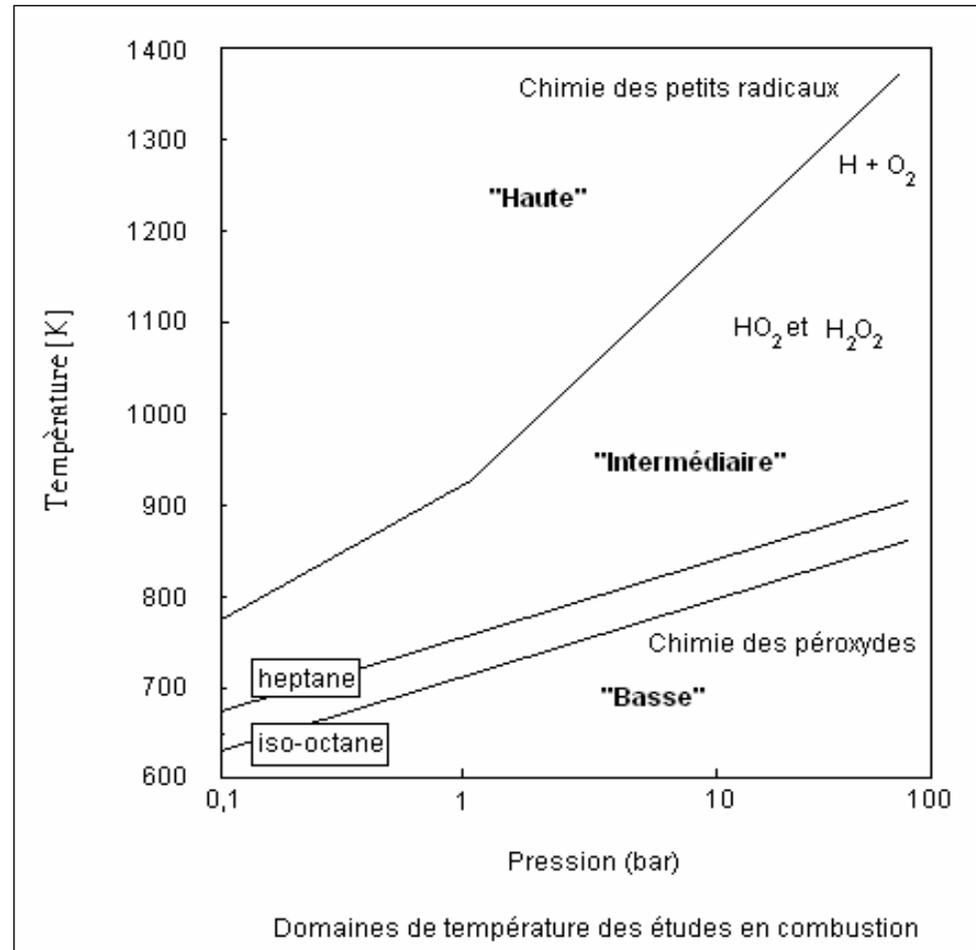
# Mesures

## Dégagement de chaleur pour différentes richesses



# /// Domaines de température des études en combustion

Objectif : imposer les conditions limites d'auto-inflammation sans la déclencher





### ⇒ Exigences requises

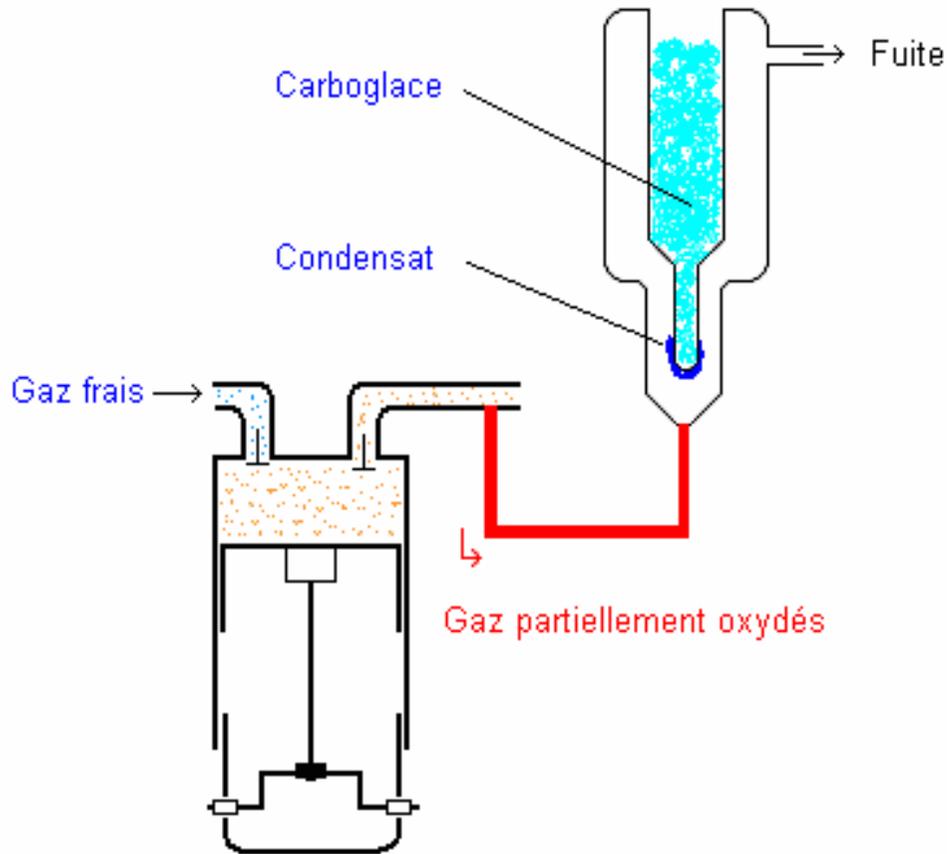
- ↪ Sensible aux mécanismes d'oxydation de basse température
- ↪ Représentatif d'une essence commerciale
- ↪ Engendrer des gaz d'échappements riches en intermédiaires réactionnels

### ⇒ Choix du butane

- ↪ Indice RON = 94  
Gazeux à 293 K
- ↪ Chimie d'auto-inflammation étudiée depuis de nombreuses années



## Système de prélèvement



↻ Prélèvement des intermédiaires de réactions par la technique du doigt froid

↻ Conservation de l'échantillon en phase liquide à basse température en vue de l'analyse



**La quantification des intermédiaires réactionnels rencontrés doit permettre d'établir des schémas d'oxydation réalistes**

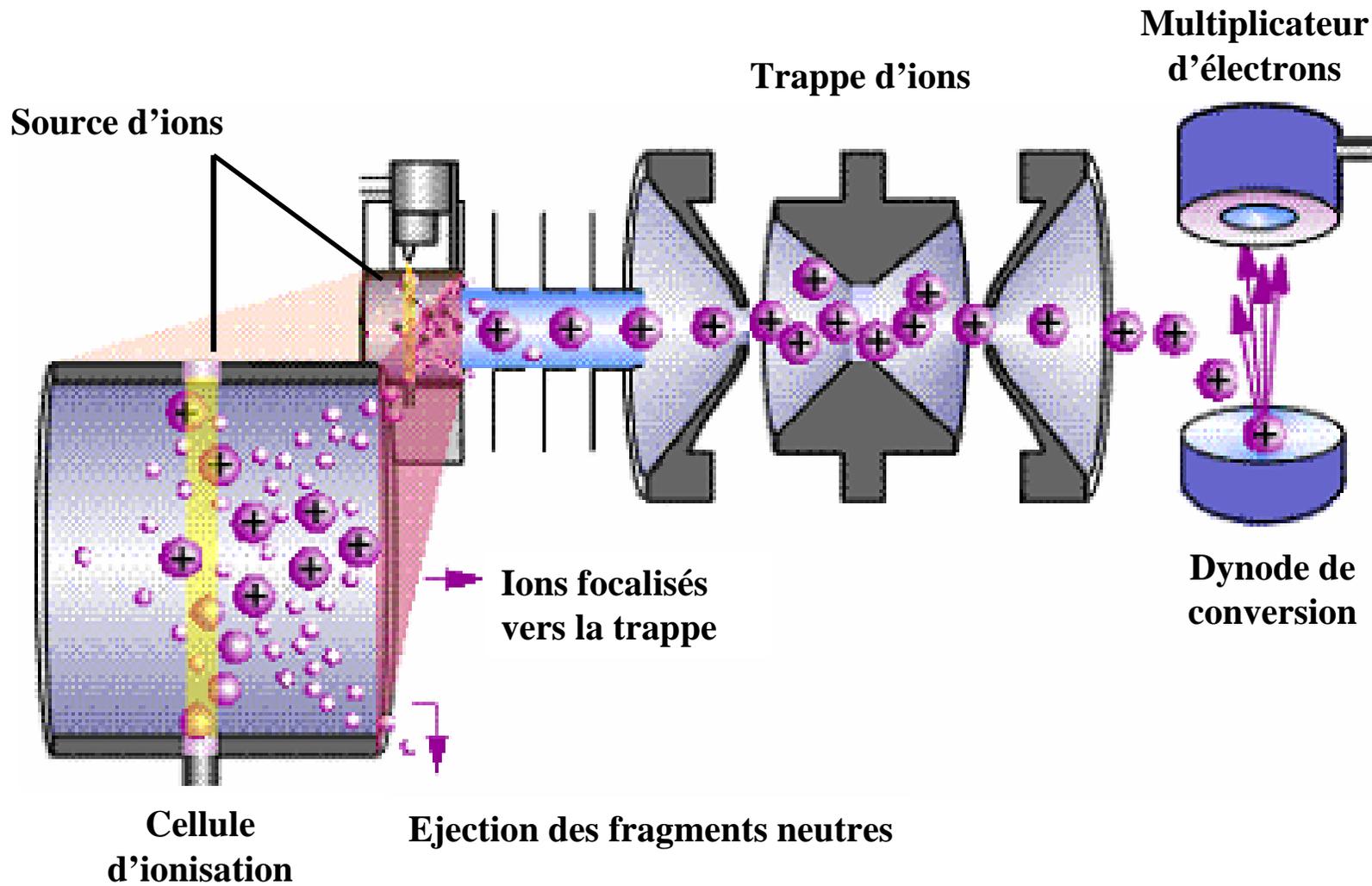
La chromatographie phase gaz couplée au spectromètre de masse à trappe d'ions

- ↻ Acquisition spectrale selon trois modes (Full scan, Single Ion Monitoring, MS<sup>n</sup>)
- ↻ Deux types d'ionisation : électronique et chimique
- ↻ Deux types de détection : positive et négative





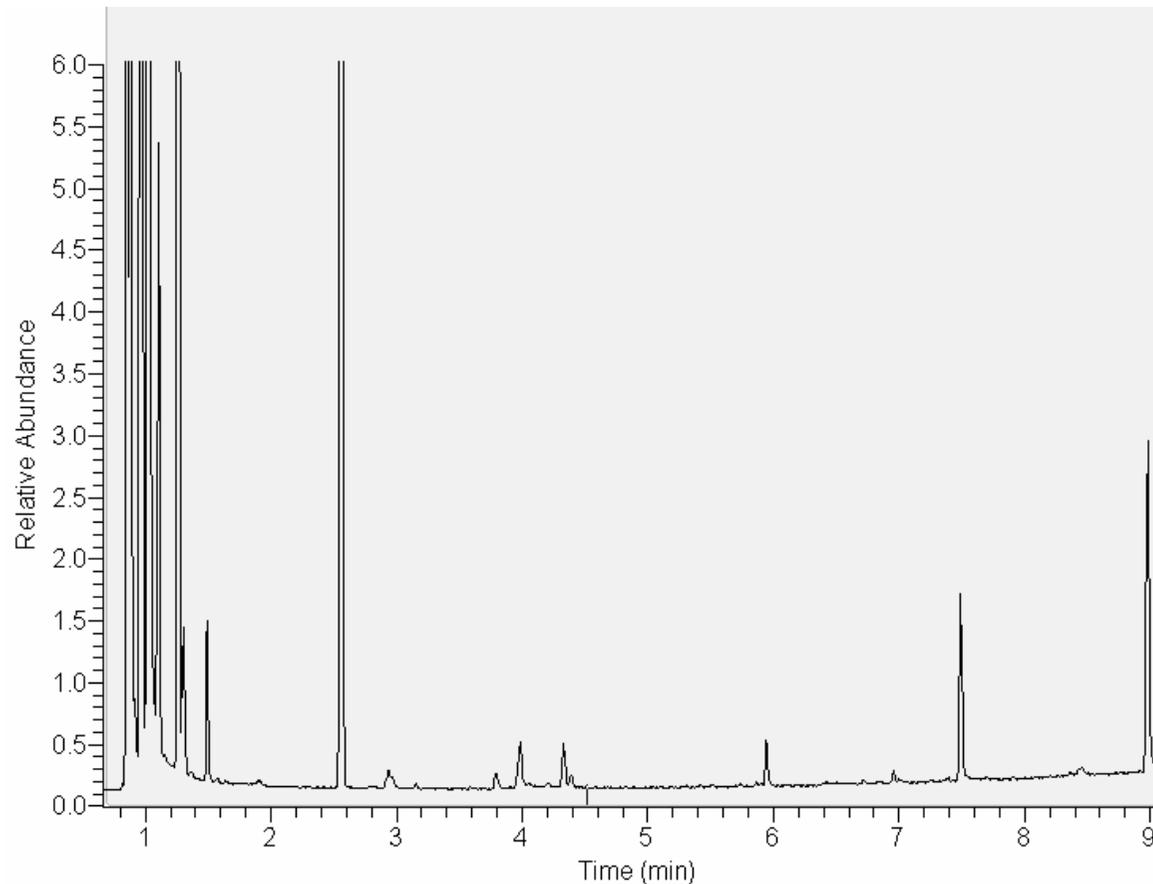
# Le spectromètre de masse à trappe d'ions





## Chromatographe type

### Produits issus de l'oxydation de basse température du butane :



- Méthane
- Ethène
- 1-propène
- Méthanol
- Acétaldéhyde
- Oxirane
- 1-butène
- Butane
- 2-butène
- Ethanol
- Méthyloxirane
- 2-propenal
- propanal
- propanone
- 2-propène-1-ol
- diméthyloxirane
- Ethenyloxirane
- 2-méthyloxetane
- Ethyloxirane...



## Conclusion

---

- ⇒ Mise en place d'un dispositif expérimental sur un mode de combustion non maîtrisé
- ⇒ Observation des différents modes de combustion
- ⇒ Identification du dégagement de chaleur
- ⇒ Identification des intermédiaires de réactions du carburant utilisé

## Perspectives

- ⇒ Contrôle et réglage du moteur entraîné et accessoires
- ⇒ Limites d'auto-inflammation et de cliquetis
- ⇒ Campagne de prélèvement et d'analyse des intermédiaires de réactions