

# CONTRÔLE MOTEUR A ALLUMAGE COMMANDE

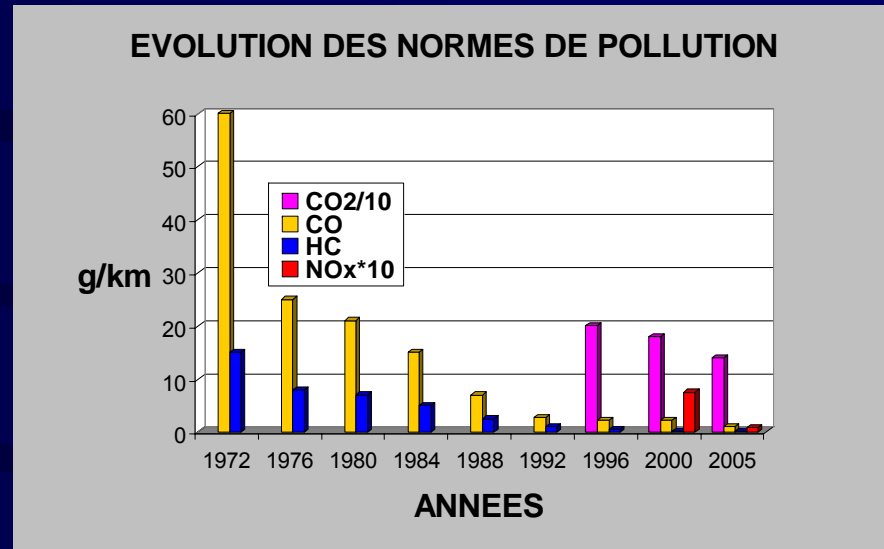
---

Estimation / Prédiction de la masse et  
de la composition du mélange  
enfermé dans le cylindre

P. GIANSETTI

# Introduction

- Evolution des normes de pollution



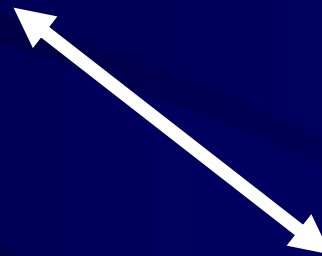
- Optimisation du fonctionnement du moteur



- Contrôle moteur



Composition & Masse  
du mélange admis

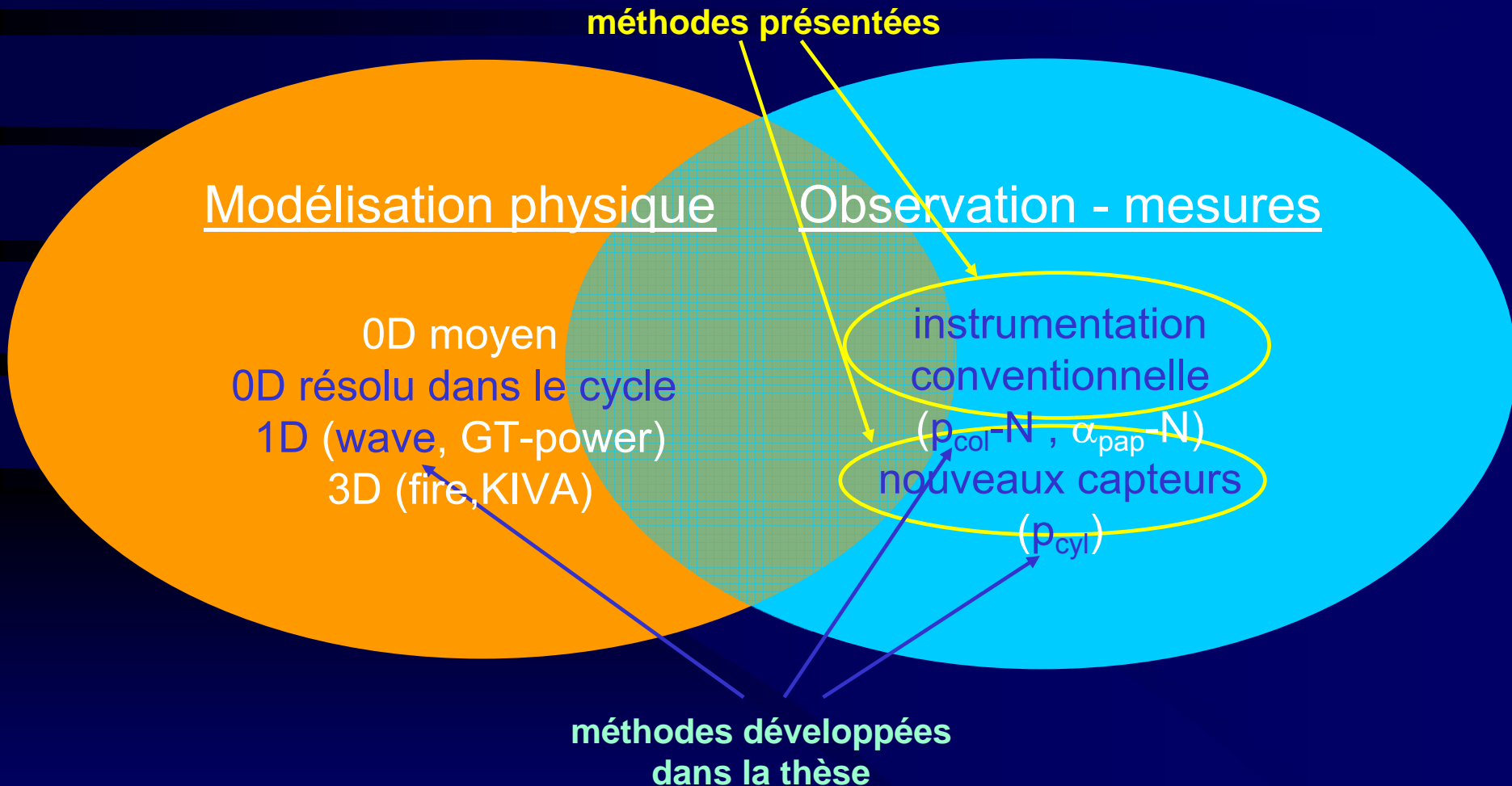


# Introduction

- Le comportement (performances, émissions, consommation) moteur est affecté au premier ordre par la masse et par la composition des gaz enfermés dans le cylindre.
- A richesse 1, il est nécessaire de déterminer précisément (estimer) la masse, la composition des gaz dans le cylindre étant implicitement connue.
- Par contre, dans le cas d'un fonctionnement en mélange pauvre, il faut :
  - **prendre en compte** les gaz d'échappement recirculés (**EGR**), les gaz résiduels (**IGR**),
  - **estimer-prédire** cycle à cycle la **composition** des gaz dans le **cylindre**,ceci afin de permettre une régulation optimale de la richesse cylindre par rapport à la masse de  $O_2$ .

# Estimation de la masse de gaz dans le cylindre

Modèles &/ou méthodes pour l'estimation ?



# Plan de la présentation

---

## 1. Problématique

- 1.1 la formation des NOx
- 1.2 la recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 le fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 le fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 Fraction massique des gaz résiduels
- 2.2 Estimation de la composition des gaz
- 2.3 Résultats

## 3. Estimation de la masse totale à partir de la pression cylindre

- 3.1 Méthodologie générale et moyens d'essais
- 3.2 Estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

# Problématique

---

# Problématique

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

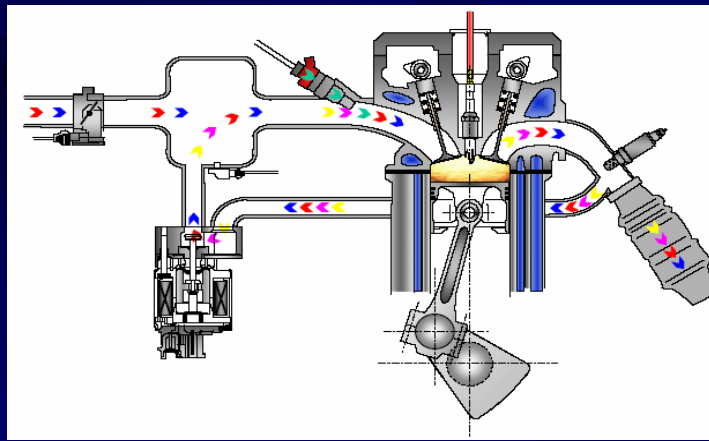
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Mélange pauvre :
  - diminution des NO<sub>x</sub> pour  $\phi < 0,8$
  - amélioration du rendement ( $PMI_{hp} \nearrow$ ,  $PMI_{bp} \searrow$ )
- Problématique :
  - délivrer couple moteur
  - masse comburant à déterminer
  - $\chi_{O_2} / \chi_{N_2}$  pas constant en mélange pauvre
    - EGR et IGR contiennent de l'O<sub>2</sub> (non neutres)
    - redéfinir la richesse
  - estimer masse et composition (au moins en O<sub>2</sub>)



$$\phi_{O_2} = \frac{m_{carb}}{m_{O_2}} \left( \frac{m_{carb}}{m_{O_2}} \right)_{stoe}$$

# La formation des NO<sub>x</sub> (1/2)

## 1. Problématique

1.1 formation des NO<sub>x</sub>

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

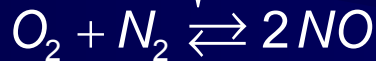
3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

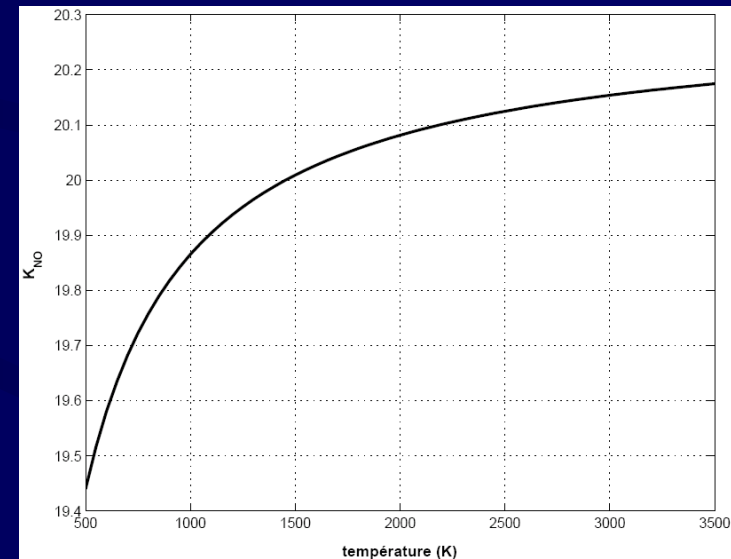
## 4. Conclusion

### Influence de la température

mécanisme de Zeldovich (NO<sub>x</sub> thermiques)



$$[NO]_{eq} = \sqrt{K_{NO} [N_2]_{eq} [O_2]_{eq}}$$



la concentration en NO<sub>x</sub> est fonction de la température





# La formation des NO<sub>x</sub> (2/2)

## 1. Problématique

1.1 formation des NO<sub>x</sub>

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

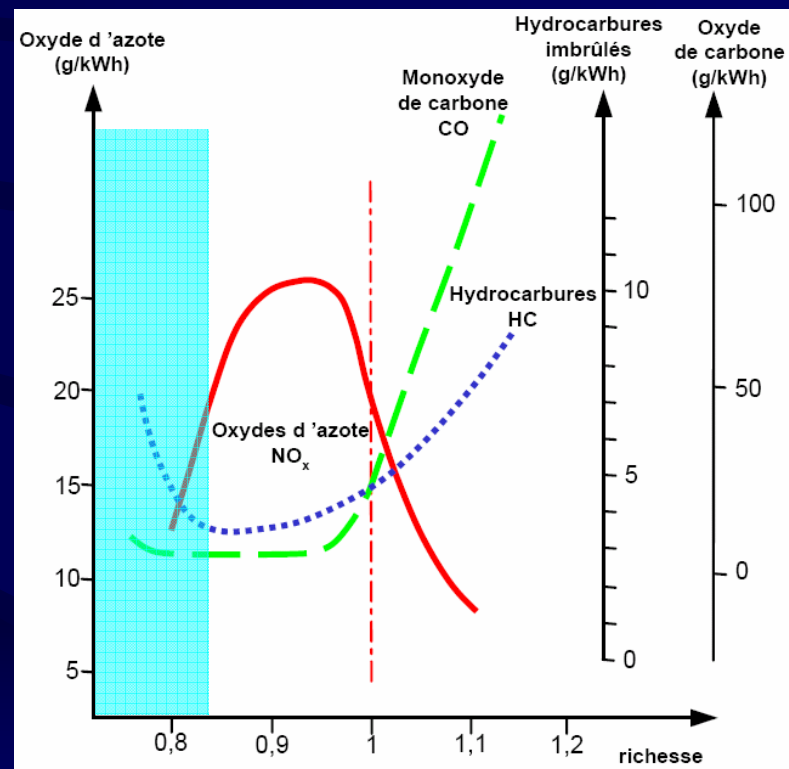
3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Influence de la richesse

fonctionnement en mélange pauvre pour éviter la formation des NO<sub>x</sub>



$$\text{NO}_x (\phi < 0,8) < \text{NO}_x (\phi = 1)$$

# La recirculation des gaz d'échappement

## 1. Problématique

1.1 formation des NO<sub>x</sub>

1.2 recirculation des gaz d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange pauvre

1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Les EGRs abaissent la température de flamme



diminution des NO<sub>x</sub>

- A iso PME, les EGRs conduisent à augmenter la pression collecteur



augmentation du rendement de la boucle hp du cycle



diminution des pertes par pompage (boucle bp)

# Le fonctionnement en mélange pauvre

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

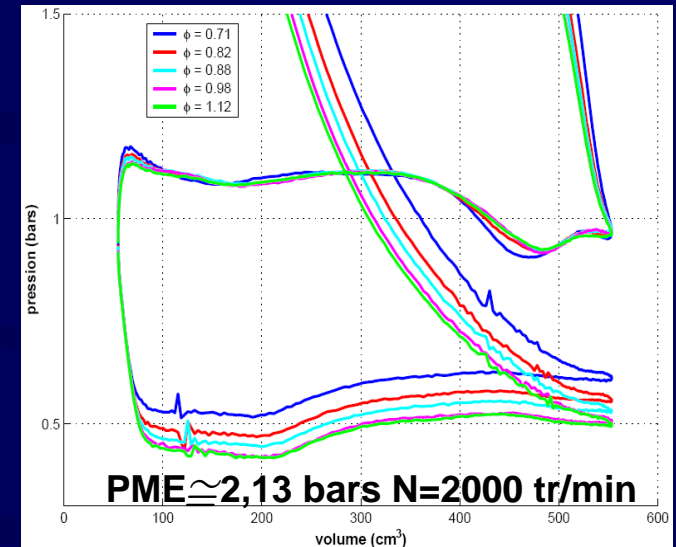
3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

• Augmente la pression collecteur



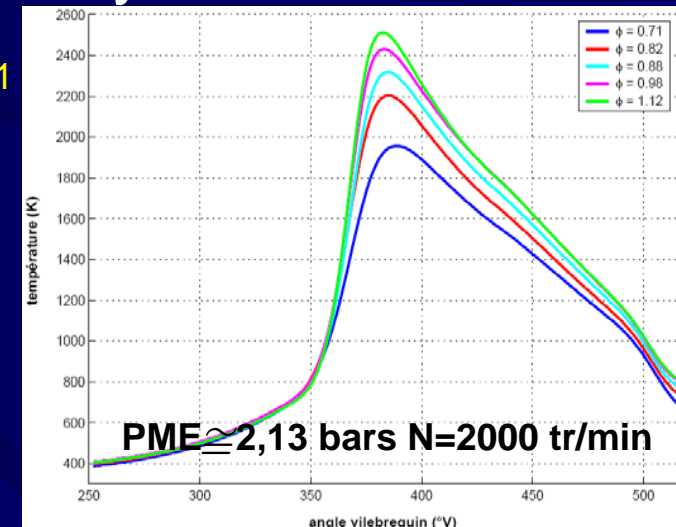
diminution des pertes  
par pompage,  
augmentation du  
rendement.



• Augmente la masse cylindre

$$m_{\text{gaz}\phi=0,7} > m_{\text{gaz}\phi=1}$$

abaissement de la  
température cylindre



# Le fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 1. Problématique

1.1 formation des NO<sub>x</sub>

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

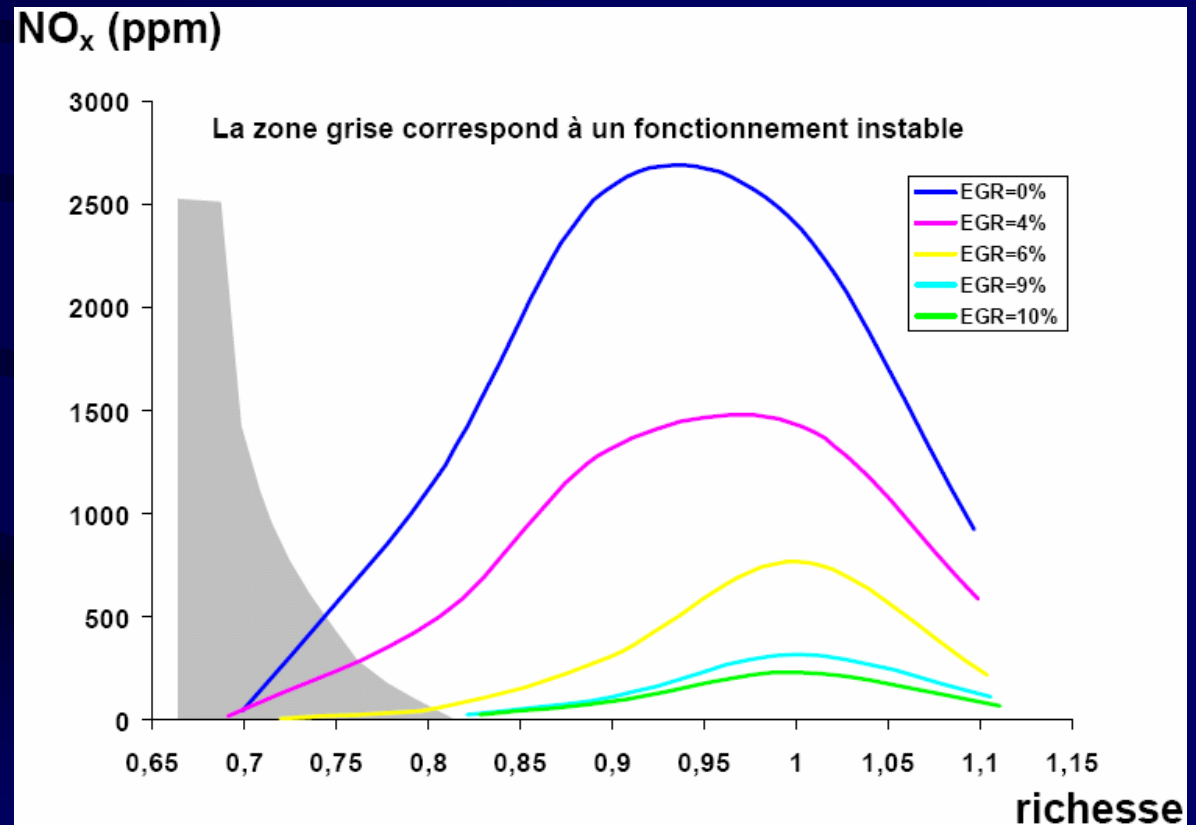
3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

## • Association des 2 concepts

augmentation du rendement

diminution des NO<sub>x</sub>



NO<sub>x</sub> mini pour  $\phi=0,8$  et EGR=10%

# Détermination des masses et espèces dans le cylindre

---

# Détermination des masses et espèces dans le cylindre

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Gaz présents dans le cylindre

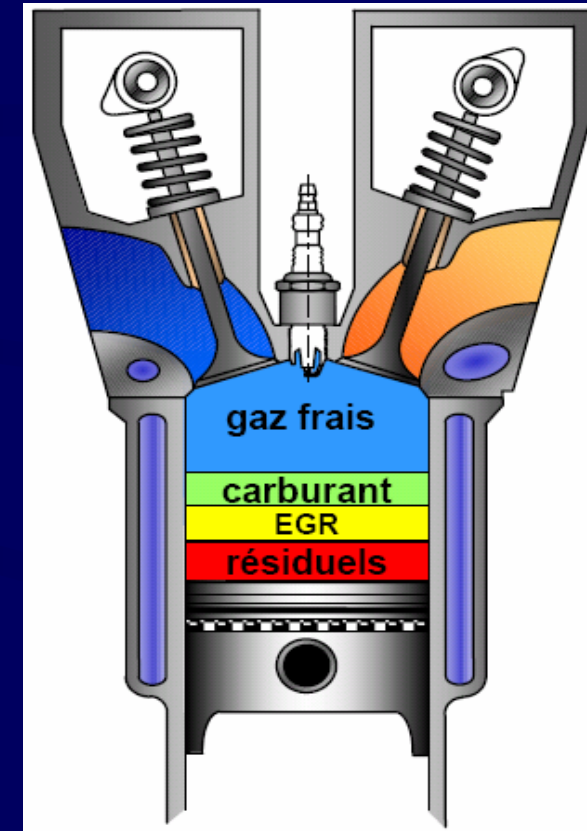
masse d'air frais  
masse de carburant  
masse d'EGR  
masse de **gaz résiduels**

↓  
nécessité de mesures

↓  
modèle simple

↓  
intégration au contrôle moteur

pas de méthodes de mesure des résiduels



-2

il faudrait un schéma montrant que les résiduels peuvent être considérés comme un volume ne quittant jamais la chambre de combustion :  
donc très difficile à mesurer

-; 25/09/2005

# Fraction massique de gaz résiduels (1/6)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

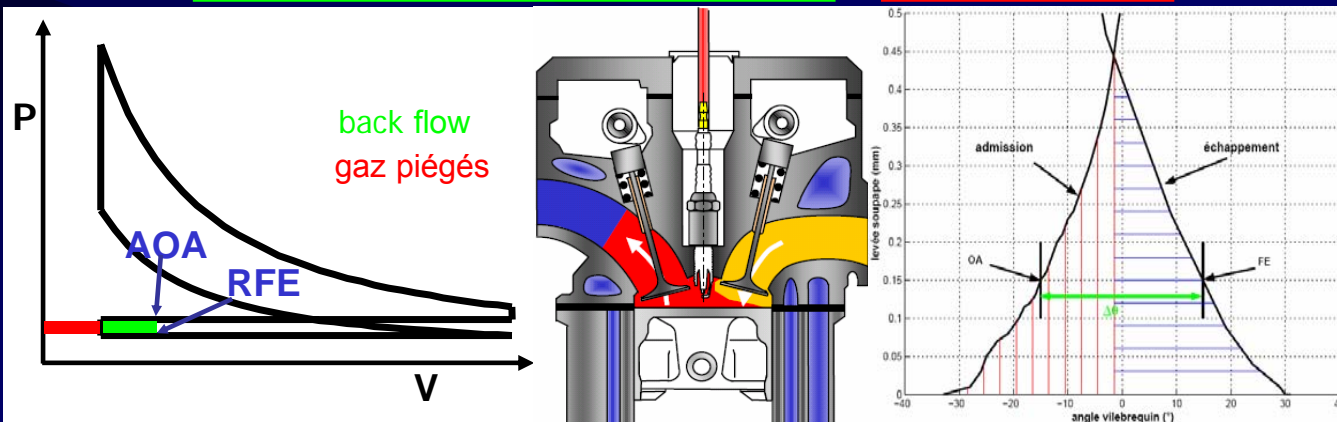
## 4. Conclusion

- Gaz piégés dans les volumes morts
- Back-flow provenant de la  $\Delta p_{adm-éch}$  durant le croisement de soupape

$$m_{res} = \int_{AOA}^{RFE} \dot{m}_{éch} d\theta + m_{AOA}$$

- Modèle (Fox) basé sur l'analyse d'un cycle théorique

$$\chi_{res} = C_1 \frac{OF}{N} \left( \frac{p_{éch}}{p_{col}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2\gamma}} \sqrt{|p_{éch} - p_{col}|} + \frac{C_2}{r_c} \left( \frac{p_{éch}}{p_{col}} \right)^{1/\gamma}$$





# Fraction massique de gaz résiduels (2/6)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

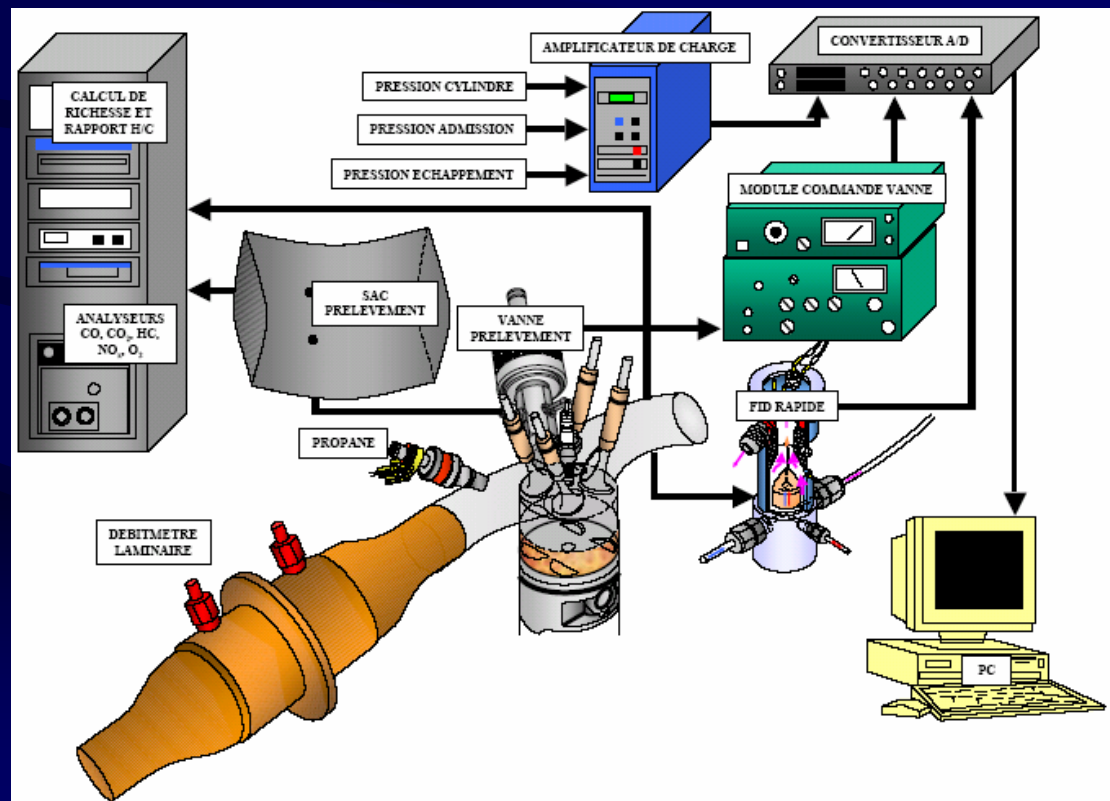
- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Méthodes de mesures développées
  - Dilution
  - Prélèvement cylindre
- Méthode par prélèvement
  - analyse du CO<sub>2</sub> avant et après combustion



# Fraction massique de gaz résiduels (3/6)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Maximisation de la masse prélevée à section de passage constante

→ durée ouverture importante

prélèvement soupapes fermées

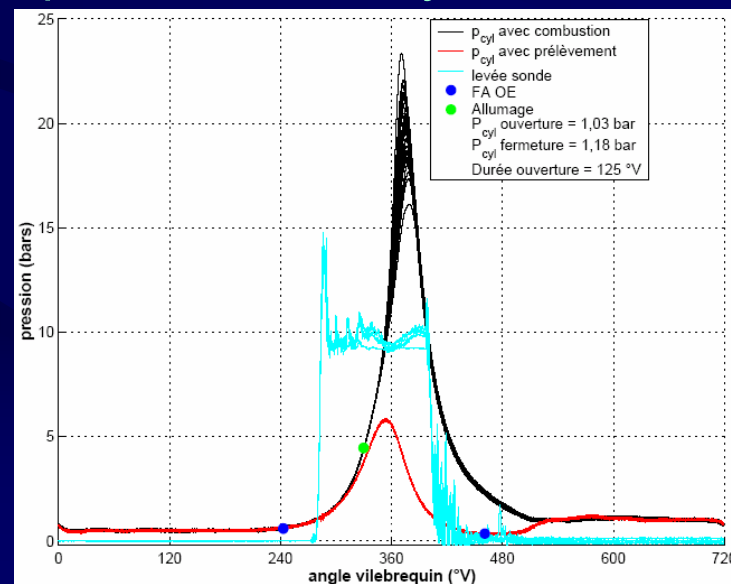
→ ouverture phasée dans le cycle

composition figée durant prélèvement

→ allumage coupé durant prélèvement

iso conditions thermodynamiques (P et T)

→ prélèvement 1 cycle sur 9



# Fraction massique de gaz résiduels (4/6)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

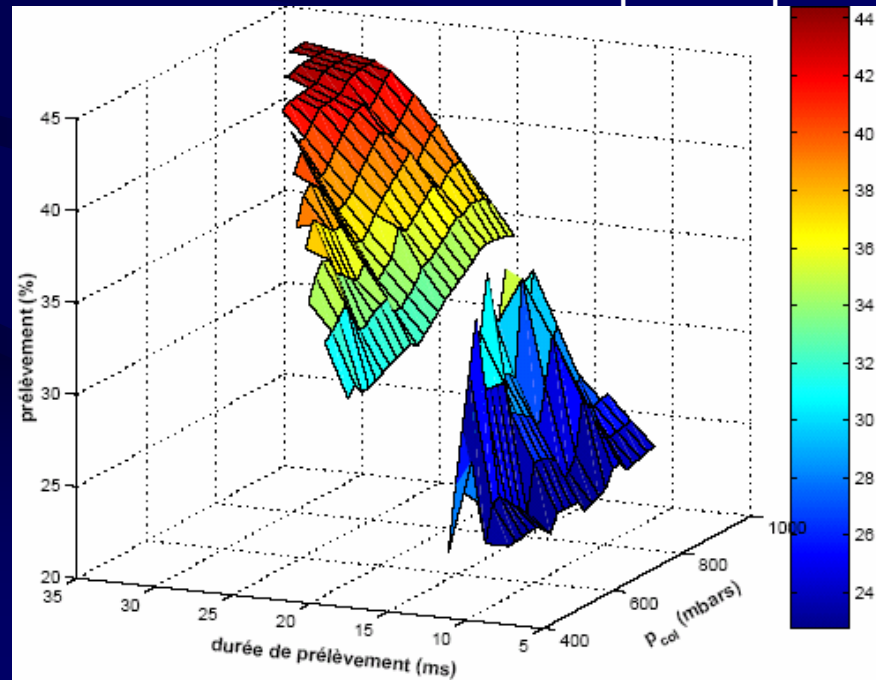
## 4. Conclusion

### • Masse prélevée

25% à 35% à 2000 tr/min }  
30% à 45% à 1000 tr/min } → durée d'ouverture liée au régime

pourcentage prélevé augmente avec  $p_{col}$

→ durée ouverture plus importante



# Fraction massique de gaz résiduels (5/6)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

## Mesures

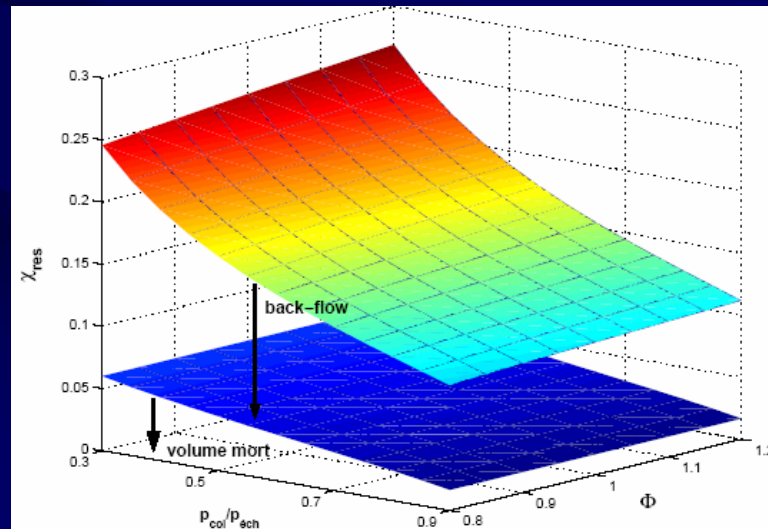
$$\chi_{res} = \frac{(1 + [H_2O]_{sec,éch}) [CO_2]_{sec,cyl}}{[H_2O]_{sec,éch} [CO_2]_{sec,cyl} + [CO_2]_{sec,éch}}$$

mesures analyseur IR

## Nouveau modèle de gaz résiduel prise en compte richesse

$$\chi_{res} = \frac{2,095}{N} \frac{\Gamma - 1}{\Gamma} \left( \frac{p_{éch}}{p_{col}} \right)^{0,285} \sqrt{|p_{éch} - p_{col}|} - 0,436 \frac{\phi^{0,295}}{\Gamma} \left( \frac{p_{éch}}{p_{col}} \right)^{0,719}$$

recalage du modèle



# Fraction massique de gaz résiduels (6/6)

## 1. Problématique

### 1.1 formation des NOx

### 1.2 recirculation des gaz d'échappement

### 1.3 fonctionnement en mélange pauvre

### 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

### 2.1 fraction massique de gaz résiduels

### 2.2 estimation de la composition

### 2.3 résultats et conclusion

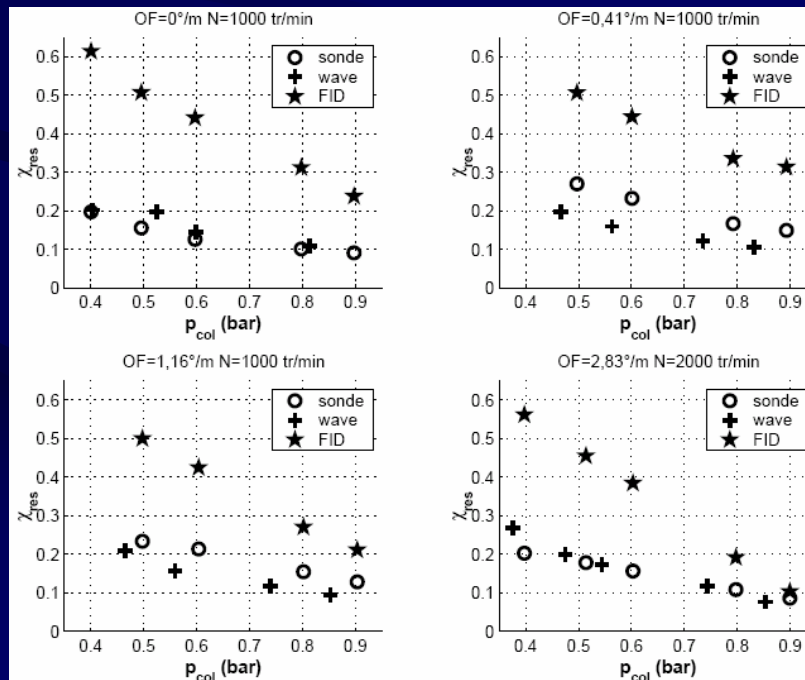
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

### 3.1 méthodologie générale

### 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Corrélation avec méthode dilution et code CFD 1D
  - méthode de dilution (simple à mettre en œuvre)
    - surestimation des résiduels
    - perturbation du FID à O<sub>2</sub> dans les gaz
  - estimation convenable avec le code 1D:
    - croisement (phasé au PMH, durée  $\leq 65$  °V)
    - balayage et miscibilité mal pris en compte



# Estimation de la composition (1/15)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

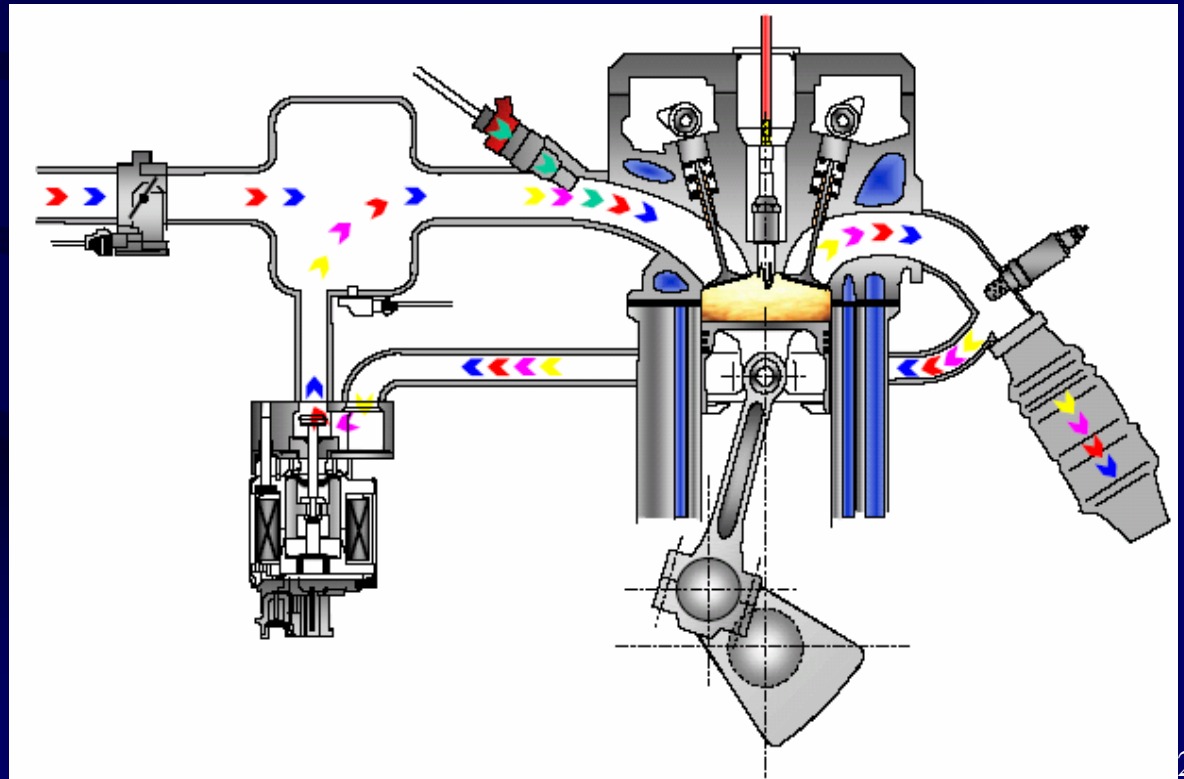
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Contexte :

- recirculation des gaz d'échappement
- injection du carburant après le collecteur
- collecteur avec capteur pression et sonde température
- papillon et vanne EGR pilotés électriquement





# Estimation de la composition (2/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

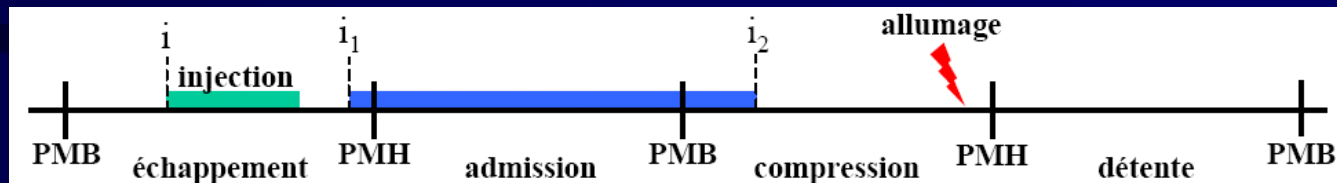
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Détermination de la masse admise à partir de  $p_{col}$  et  $T_{col}$
- Injection du carburant (instant  $i$ )
- Admission gaz frais ( $i_1$  à  $i_2$ )



- L'injection a lieu **avant** ou durant la phase d'admission, donc  $m_{O_2}$  admis dans le cylindre est indéterminée à l'instant  $i$
- Nécessité de prédire  $p_{col}$  et  $T_{col}$  pour adapter la quantité de carburant

# Estimation de la composition (3/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Objectif : meilleure régulation de richesse  $O_2$  (spécialement en transitoire)

## • Moyen

– prédire les espèces dans le cylindre [  $O_2$   $N_2$   
 $CO_2$   $H_2O$   $C_xH_y$  ]

- prédiction de  $[m_{air} m_{egr}]$  à partir de la prédiction de  $[p_{col} T_{col}]$
- prédiction des IGR à l'aide d'un modèle
- détermination des espèces en utilisant une équation de combustion

## • Contrainte

– utiliser des capteurs conventionnels



# Estimation de la composition (4/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

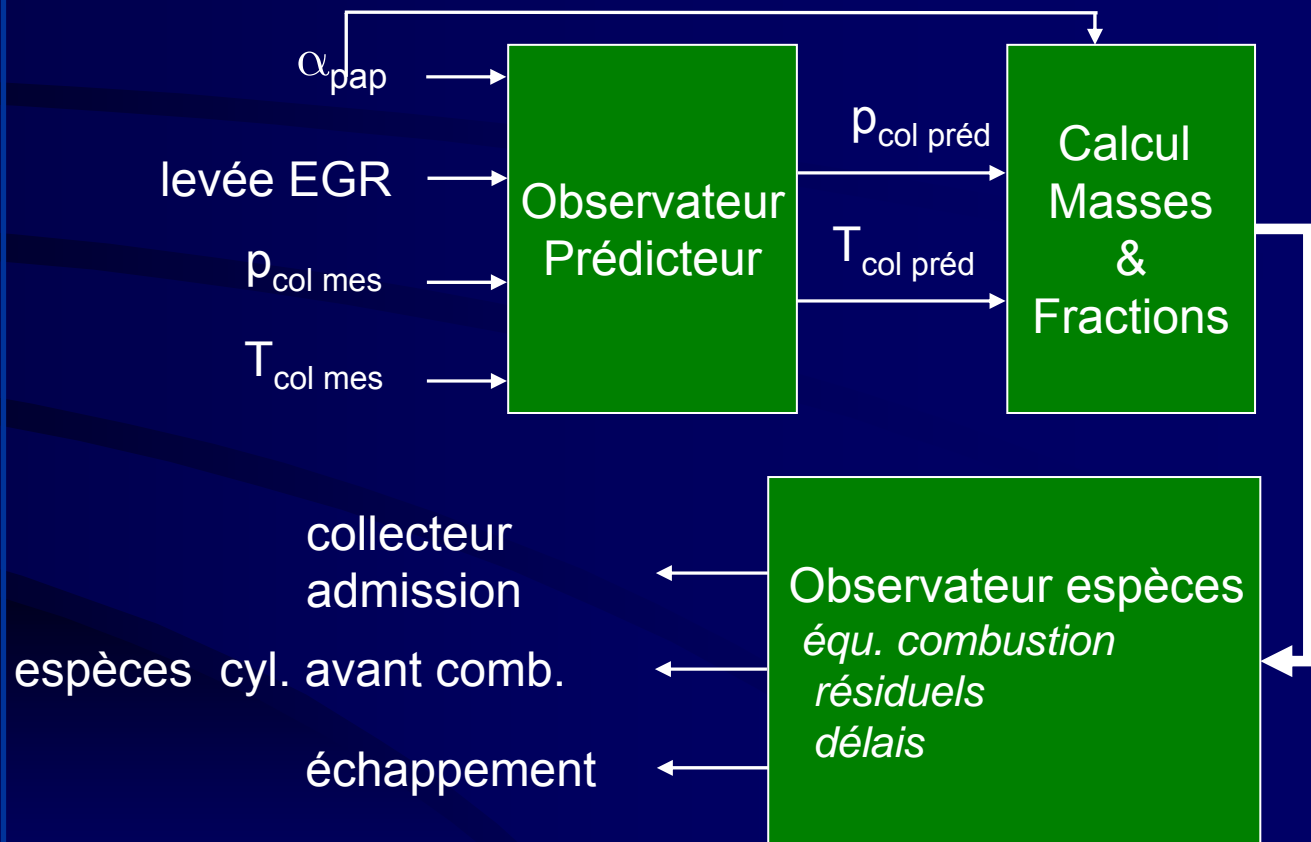
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Schéma général



# Estimation de la composition (5/15)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

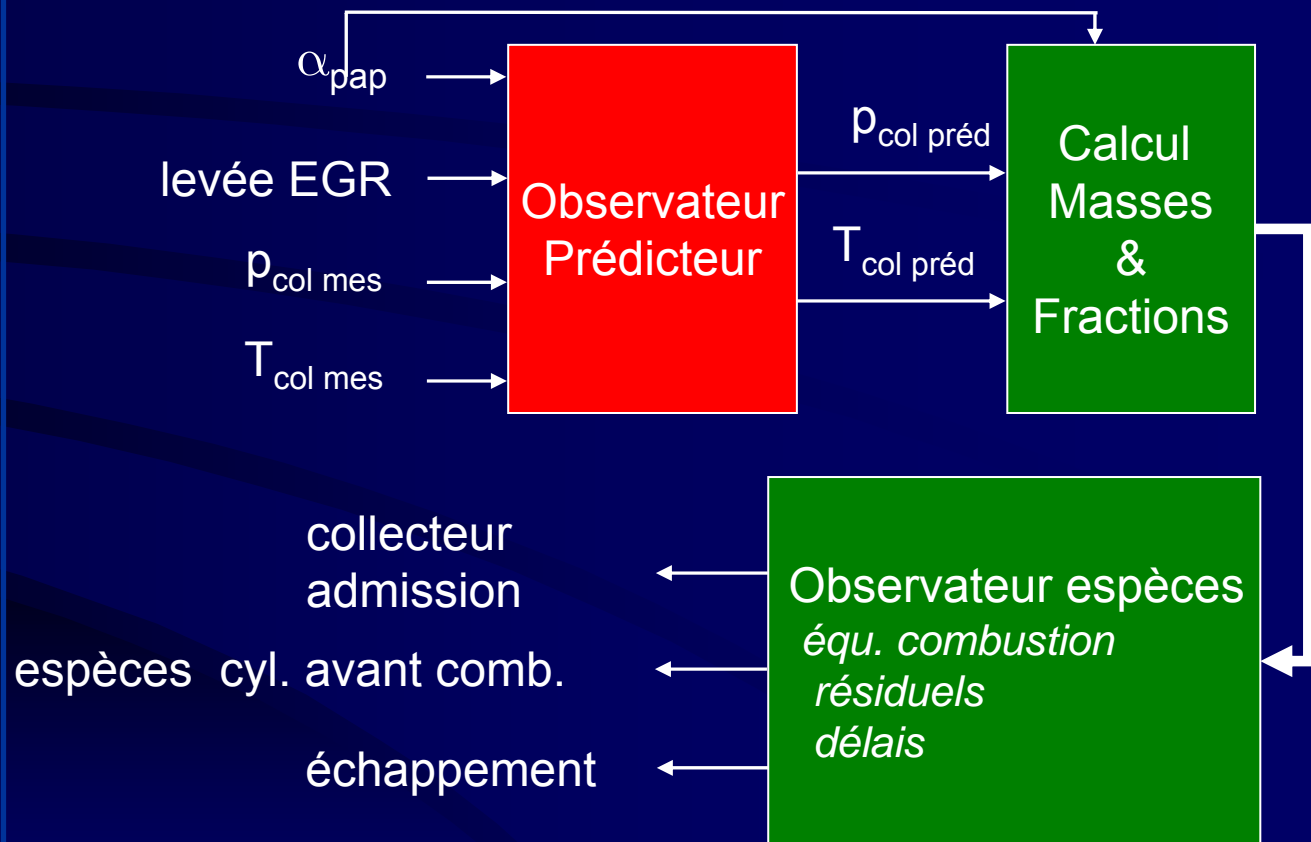
- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Observateur Prédicteur



# Estimation de la composition (6/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Equations comportementales du collecteur

$$\dot{p}_{col} = \frac{1}{V_{col}} \left( \dot{m}_{pap} + \dot{m}_{egr} - \dot{m}_{cyl} \right) r_{col} T_{col} + \frac{m_{col} r_{col} \dot{T}_{col}}{V_{col}}$$

↓
↓
↓

St-Venant

cartographie

conservation énergie

$$\dot{T}_{col} = \frac{1}{m_{col} c_{V_{col}}} \left( \dot{Q} + \dot{m}_{pap} c_{p_{air}} T_{air} + \dot{m}_{egr} c_{p_{egr}} T_{egr} - \dot{m}_{cyl} c_{p_{col}} T_{col} - (\dot{m}_{pap} + \dot{m}_{egr} - \dot{m}_{cyl}) c_{V_{col}} T_{col} \right)$$

loi des gaz parfaits

cartographie ou modèle

# Estimation de la composition (7/15)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Représentation du système

**modèle collecteur non linéaire**

$$\begin{cases} \dot{X} = f(X, U) \\ Y = h(X) \end{cases}$$

**linéarisation**

$$f(X, U) = f(X^0, U^0)$$

**développement en série de Taylor**

$$+ \frac{\partial f}{\partial X}(X^0, U^0)(X - X^0) + \frac{\partial f}{\partial U}(X^0, U^0)(U - U^0) + \sigma(X - X^0, U - U^0)$$

**linéarisation appliquée au système**

$$\delta \dot{X} = \frac{\partial f}{\partial X}(X^0, U^0) \delta X + \frac{\partial f}{\partial U}(X^0, U^0) \delta U$$

# Estimation de la composition (8/15)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### Représentation d'état

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = AX(t) + BU(t) \\ Y(t) = CX(t) \end{cases}$$

**U implicitement dans A**

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \dot{p}_{col}}{\partial p_{col}} & \frac{\partial \dot{p}_{col}}{\partial T_{col}} \\ \frac{\partial \dot{T}_{col}}{\partial p_{col}} & \frac{\partial \dot{T}_{col}}{\partial T_{col}} \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} \Delta p_{col} \\ \Delta T_{col} \end{pmatrix}$$

**discrétisation**

$$\hat{X}_{k+1/k} = \Delta_0 \hat{X}_{k/k-1} + (\Delta_0 - I)A(t_0)^{-1}V_0$$

$p_{col}$  et  $T_{col}$  prédites

**rebouclage**

$$\hat{X}_{k+1/k} = \Delta_0 \hat{X}_{k/k-1} + (\Delta_0 - I)A(t_0)^{-1}V_0 + K_0 [y_k - C \cdot \hat{X}_{k/k-1}]$$

**intégrale**

$$\hat{X}_{k+1/k} = \Delta_0 \hat{X}_{k/k-1} + (\Delta_0 - I)A(t_0)^{-1}V_0 + K_0 [y_k - C \cdot \hat{X}_{k/k-1}] + K_i \int Y_i - C \hat{X}_i$$

# Estimation de la composition (9/15)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

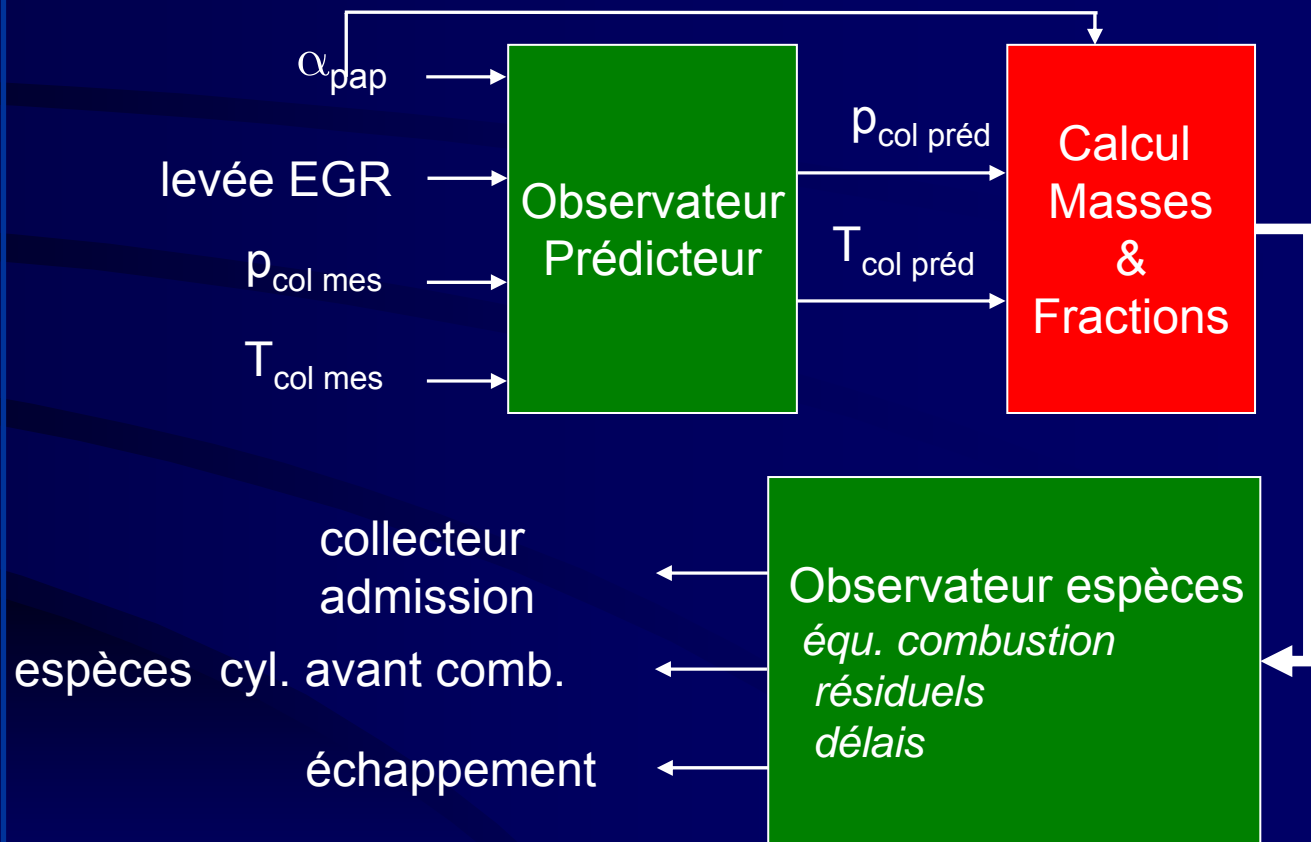
- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Masses et fractions



# Estimation de la composition (10/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Détermination de la masse passant par le papillon, l'EGR et entrant dans le cylindre

$$\Delta m_{pap_{k+1}} = \dot{m}_{pap_{k+1}} \cdot te$$

$$\Delta m_{egr_{k+1}} = \dot{m}_{egr_{k+1}} \cdot te$$

$$\Delta m_{cyl_{k+1}} = \frac{p_{col} V_{cyl}}{r_{col} T_{col}} \eta_v(p_{col}, N) \sqrt{\frac{T_{col}}{T_{carto}}}$$

estimations réalisées  
à partir de  $p_{col}$  et  $T_{col}$   
prédites

- Détermination de la masse de chaque espèce provenant de chaque organe

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m_{O_2, pap_{k+1}} = \Delta m_{pap_{k+1}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{O_2} + 3.77 M_{N_2}} \\ \Delta m_{N_2, pap_{k+1}} = \Delta m_{pap_{k+1}} \cdot \frac{M_{N_2}}{M_{O_2} + 3.77 M_{N_2}} \end{array} \right.$$

on considère que CO2 et H2O  
ne sont pas présents dans l'air ambiant

# Estimation de la composition (11/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Détermination de la masse de chaque espèce provenant de chaque organe

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m_{O_2 \text{ egr}_{k+1}} = \Delta m_{\text{egr}_{k+1}} \cdot \chi_{O_2 \text{ ech}_k} \\ \Delta m_{N_2 \text{ egr}_{k+1}} = \Delta m_{\text{egr}_{k+1}} \cdot \chi_{N_2 \text{ ech}_k} \\ \Delta m_{H_2O \text{ egr}_{k+1}} = \Delta m_{\text{egr}_{k+1}} \cdot \chi_{H_2O \text{ ech}_k} \\ \Delta m_{CO_2 \text{ egr}_{k+1}} = \Delta m_{\text{egr}_{k+1}} \cdot \chi_{CO_2 \text{ ech}_k} \end{array} \right.$$

apport par le  
circuit d'EGR

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m_{O_2 \text{ cyl}_{k+1}} = \Delta m_{\text{cyl}_{k+1}} \cdot \chi_{O_2 \text{ col}_k} \\ \Delta m_{N_2 \text{ cyl}_{k+1}} = \Delta m_{\text{cyl}_{k+1}} \cdot \chi_{N_2 \text{ col}_k} \\ \Delta m_{H_2O \text{ cyl}_{k+1}} = \Delta m_{\text{cyl}_{k+1}} \cdot \chi_{H_2O \text{ col}_k} \\ \Delta m_{CO_2 \text{ cyl}_{k+1}} = \Delta m_{\text{cyl}_{k+1}} \cdot \chi_{CO_2 \text{ col}_k} \end{array} \right.$$

masses entrant  
dans le cylindre



# Estimation de la composition (12/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Détermination des concentrations dans le collecteur

$$\chi_{O_2 col_{k+1}} = \frac{m_{O_2 col_k} + \Delta m_{O_2 pap_{k+1}} + \Delta m_{O_2 egr_{k+1-\tau}} - \Delta m_{O_2 cyl_{k+1}}}{m_{col\ k+1}}$$

$$\chi_{N_2 col_{k+1}} = \frac{m_{N_2 col_k} + \Delta m_{N_2 pap_{k+1}} + \Delta m_{N_2 egr_{k+1-\tau}} - \Delta m_{N_2 cyl_{k+1}}}{m_{col\ k+1}}$$

$$\chi_{H_2O\ col_{k+1}} = \frac{m_{H_2O\ col_k} + \Delta m_{H_2O\ egr_{k+1-\tau}} - \Delta m_{H_2O\ cyl_{k+1}}}{m_{col\ k+1}}$$

$$\chi_{CO_2\ col_{k+1}} = \frac{m_{CO_2\ col_k} + \Delta m_{CO_2\ egr_{k+1-\tau}} - \Delta m_{CO_2\ cyl_{k+1}}}{m_{col\ k+1}}$$

**Il est nécessaire d'avoir des conditions initiales sur les concentrations pour déterminer l'apport de masse**

# Estimation de la composition (13/15)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

Concentration dans le cylindre avant combustion

$$\chi_{O_2ech_{k+1}} = 1 - \chi_{N_2ech_{k+1}} - \chi_{H_2Oech_{k+1}} - \chi_{CO_2ech_{k+1}}$$

$$\chi_{N_2ech_{k+1}} = \frac{\chi_{N_2col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{N_2ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right)}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

**masse admise** →  $m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}}$  + **masse résiduels** →  $\frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}$

$$\chi_{H_2Oech_{k+1}} = \frac{\chi_{H_2Ocol_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{H_2Oech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right)}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

$$\chi_{CO_2ech_{k+1}} = \frac{\chi_{CO_2col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{CO_2ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right)}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

$$\chi_{CO_2ech_{k+1}} = \frac{\chi_{CO_2col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{CO_2ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right)}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

$$\chi_{CO_2ech_{k+1}} = \frac{\chi_{CO_2col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{CO_2ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right)}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

**carburant encore présent** →  $m_{C_xH_y_{k+1}}$

$$\chi_{C_xH_y_{cyl_{k+1}}} = \frac{m_{C_xH_y_{k+1}}}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

# Estimation de la composition (14/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

## • Concentration à l'échappement

combustion complète  $\longrightarrow$  tout carburant consommé

$$\chi_{O_2 ech_{k+1}} = 1 - \chi_{N_2 ech_{k+1}} - \chi_{H_2O ech_{k+1}} - \chi_{CO_2 ech_{k+1}}$$

$$\chi_{N_2 ech_{k+1}} = \frac{\chi_{N_2 col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{N_2 ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right)}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

$$\chi_{H_2O ech_{k+1}} = \frac{\chi_{H_2O col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{H_2O ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right) + \Delta m_{H_2O_{C_xH_y_{k+1}}}}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

$$\chi_{CO_2 ech_{k+1}} = \frac{\chi_{CO_2 col_{k+1}} \cdot m_{cyl_{k+1}} + \chi_{CO_2 ech_k} \left( \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}} \right) + \Delta m_{CO_2_{C_xH_y_{k+1}}}}{m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}} + \frac{\chi_{res_k} (m_{cyl_{k+1}} + m_{C_xH_y_{k+1}})}{1 - \chi_{res_k}}}$$

combustion

# Estimation de la composition (15/15)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange pauvre

1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

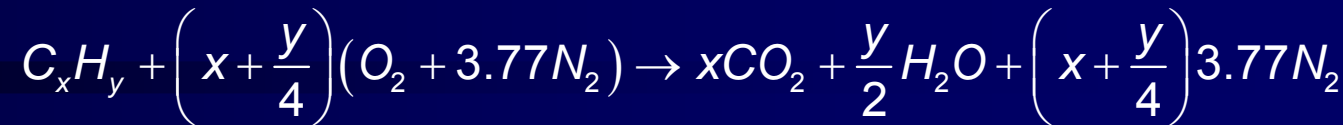
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Conversion du carburant en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O



$$\Delta m_{H_2O \text{ } C_xH_y \text{ } k+1} = m_{C_xH_y \text{ } k+1} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{C_xH_y}} \cdot \frac{y}{2}$$

$$\Delta m_{CO_2 \text{ } C_xH_y \text{ } k+1} = m_{C_xH_y \text{ } k+1} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{C_xH_y}} \cdot x$$

- Richesse O<sub>2</sub> dans le cylindre

$$\phi_{O_2} = \frac{\frac{m_{carb}}{\chi_{O_2 \text{ cyl}_{i+1}} m_{tot}}}{\left(\frac{m_{carb}}{m_{O_2}}\right)_{stoe}}$$

← masse de O<sub>2</sub> dans le cylindre

# Résultats (1/6)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

## • Sur données moteur réelles

nombre cylindres	1
soupapes adm. / éch.	2 / 2
alésage	88 (mm)
course	82 (mm)
cylindrée unitaire	498,7 (cm <sup>3</sup> )
rapport volumétrique	10,1
levée soupapes maxi adm. / éch.	9,6 / 9,4 (mm)
diamètre soupapes adm. / éch.	29,5 / 26,6 (mm)
volume collecteur	7 (L)

## • Résultats :

- estimation des résiduels,
- prédiction  $p_{col}$   $T_{col}$ ,
- prédiction concentrations
- prédiction richesse

# Résultats (2/6)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

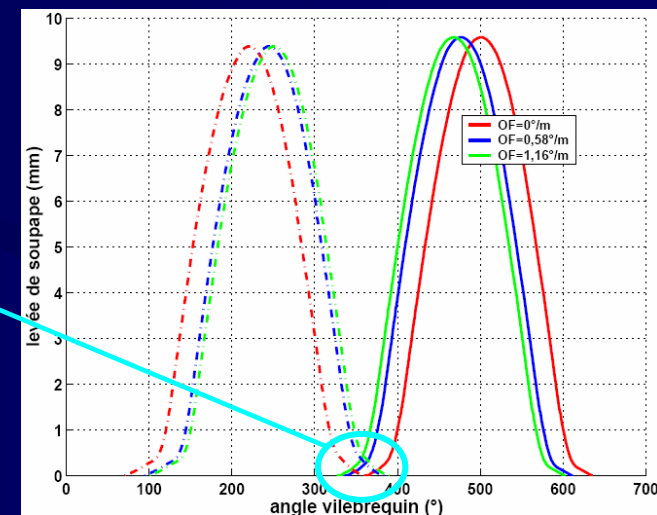
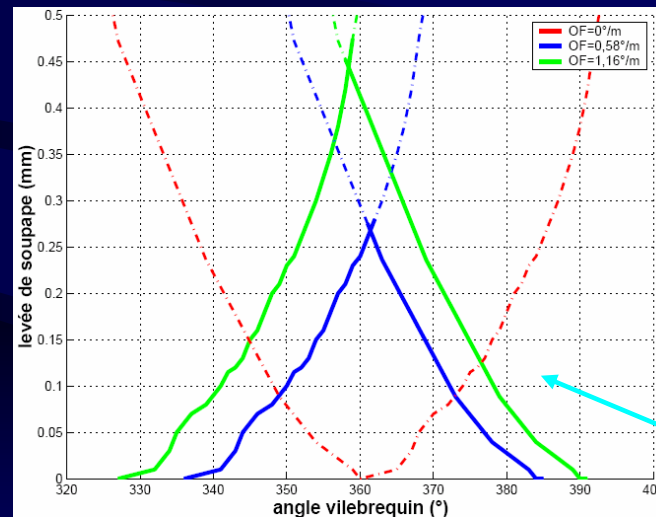
3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

## • Points de fonctionnement pour le recalage

OF(°/m)	$p_{col}$ (mbars)	$\phi$	N (tr/min)
0	400 – 900	0,8 – 1,1	1000
0	400 – 900	0,8 – 1,1	2000
0,58	400 – 900	0,8 – 1,1	1000
0,58	300 – 800	0,8 – 1,1	2000
1,16	500 – 800	0,8 – 1,1	1000
1,16	400 - 900	0,8 – 1,1	2000



# Résultats (3/6)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

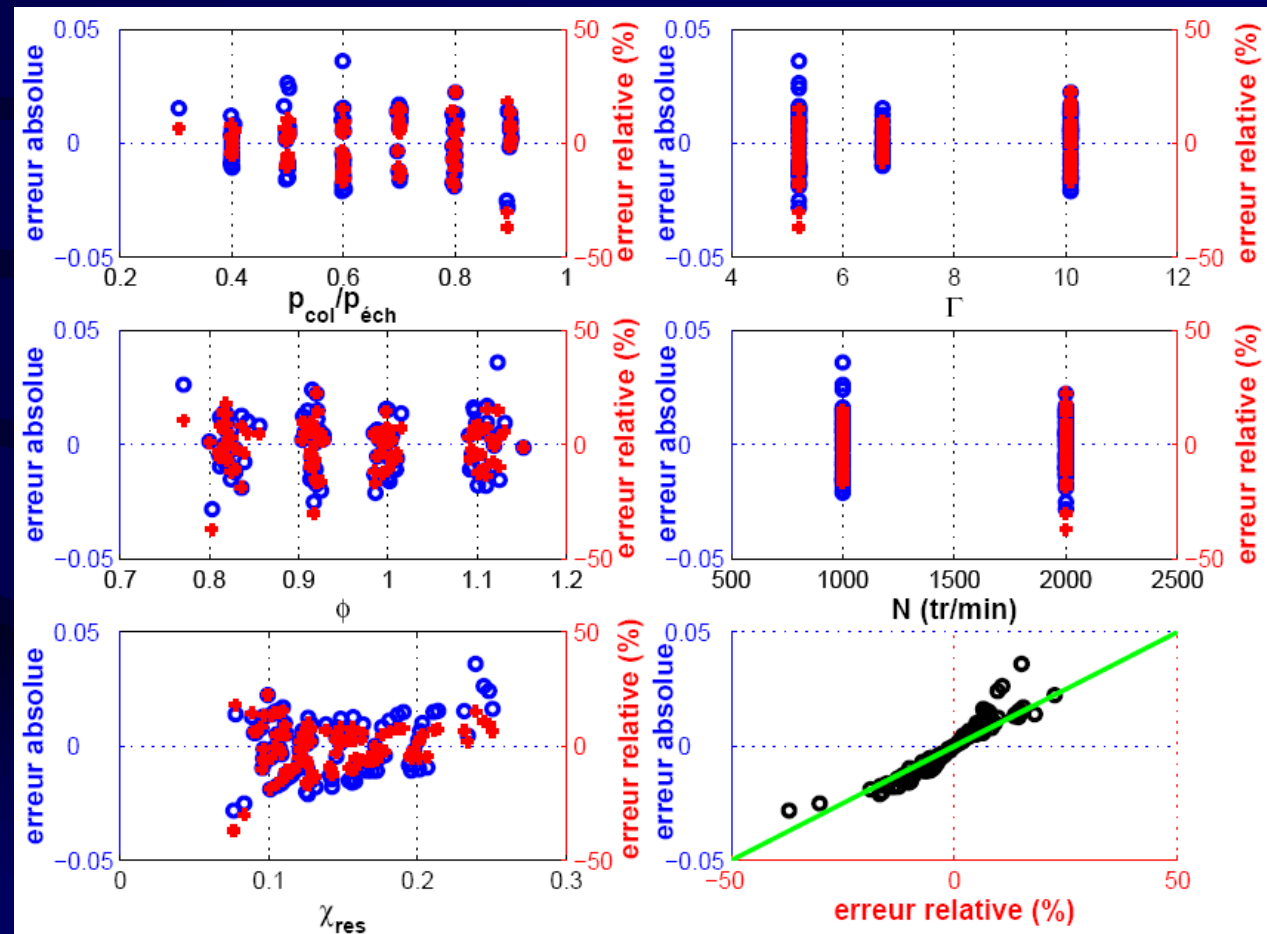
3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Erreurs entre modèle et expérience

- pas de divergence d'erreur
- erreur absolue < 4%





# Conclusion

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Méthode d'estimation basée sur l'analyse du CO<sub>2</sub> contenu dans les gaz prélevés dans le cylindre
- Méthode d'estimation des IGR validée pour différents points représentatifs d'un large domaine de fonctionnement.
- L'erreur d'estimation des IGR est toujours inférieure à 4%.
- Applicabilité temps réel : estimation très rapide du fait de la structure du modèle



# Résultats (4/6)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

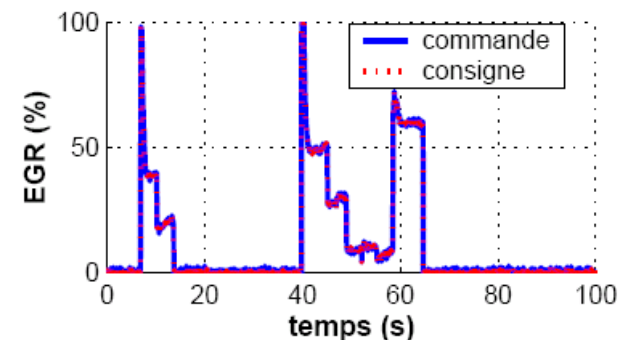
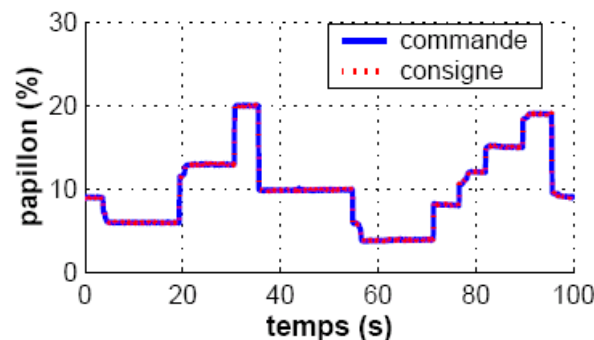
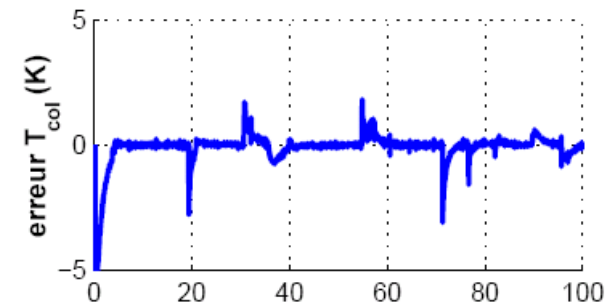
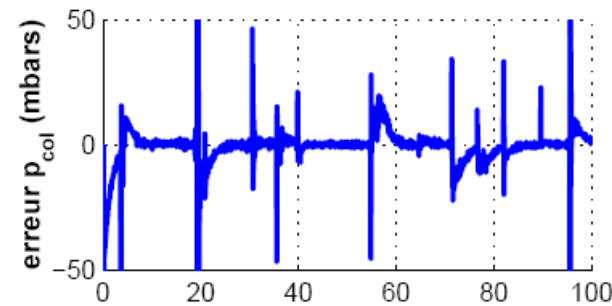
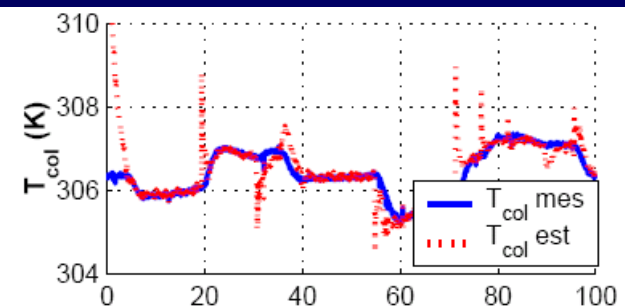
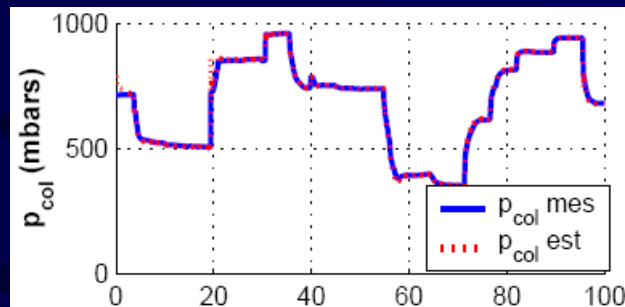
3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Estimation de la pression

– estimation satisfaisante sur T

– amélioration de la calibration du papillon





# Résultats (6/6)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

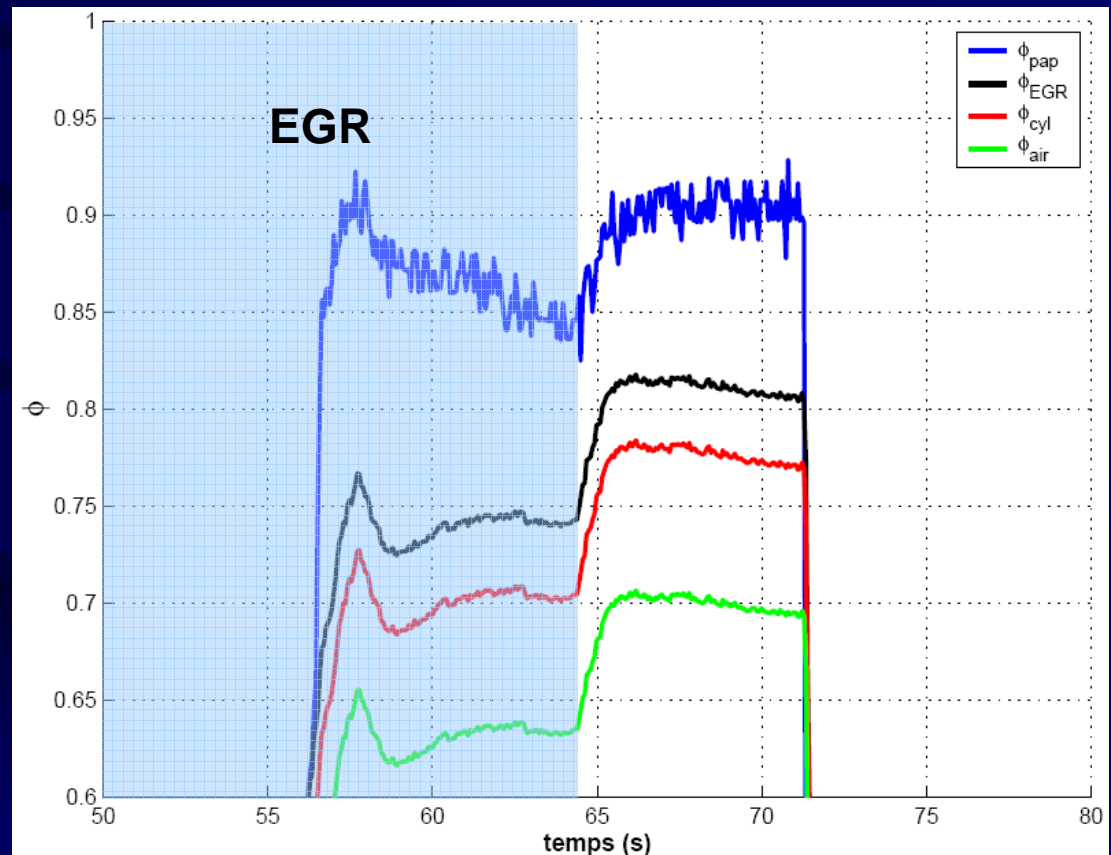
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Estimation de la richesse ( $m_{\text{carb}} = \text{const}$ )
  - $\phi_{\text{cyl}}$  change avec quantité d'EGR
  - $\phi$  est fonction de la masse admise et de la concentration collecteur



# Conclusion

## 1. Problématique

### 1.1 formation des NOx

### 1.2 recirculation des gaz d'échappement

### 1.3 fonctionnement en mélange pauvre

### 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

### 2.1 fraction massique de gaz résiduels

### 2.2 estimation de la composition

### 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

### 3.1 méthodologie générale

### 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Un observateur bouclé de la concentration des 5 espèces chimiques ( $O_2, N_2, CO_2, H_2O$  et  $C_xH_y$ ) dans le cylindre à partir de la pression collecteur a été établi.
- L'observateur est basé sur un modèle physique de collecteur avec prise en compte des IGR et EGR.
- Les mesures nécessaires sont la pression et la température dans le collecteur ainsi que la position du papillon d'admission et de la vanne EGR.
- Après caractérisation, l'observateur a été testé et validé :
  - sur un large domaine de fonctionnement sur simulateur
  - sur un domaine plus restreint sur données réelles.

# Estimation masse totale à partir de la pression cylindre

---

# Estimation masse totale à partir de la pression cylindre

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Estimation de la masse admise

Instrumentation conventionnelle

capteur pression collecteur

**phénomènes  
vibratoires, inertiels et  
dispersion remplissage  
non pris en compte**

débitmètre d'air  
**temps de réponse  
du débitmètre d'air trop  
élevé pour transitoires,  
dispersion remplissage  
non pris en compte**

utilisation de la pression cylindre

$$m_{admis} = m_{tot} - m_{res}$$

reconstruction masse air frais  
cycle à cycle et cylindre à cylindre



# Méthodologie générale

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

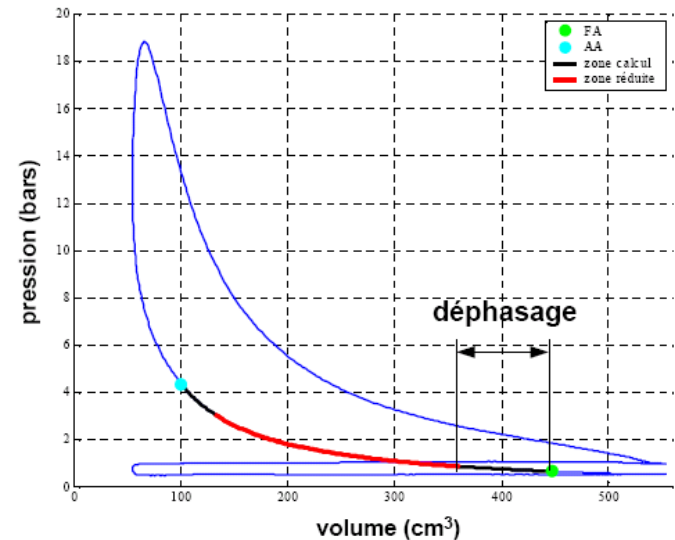
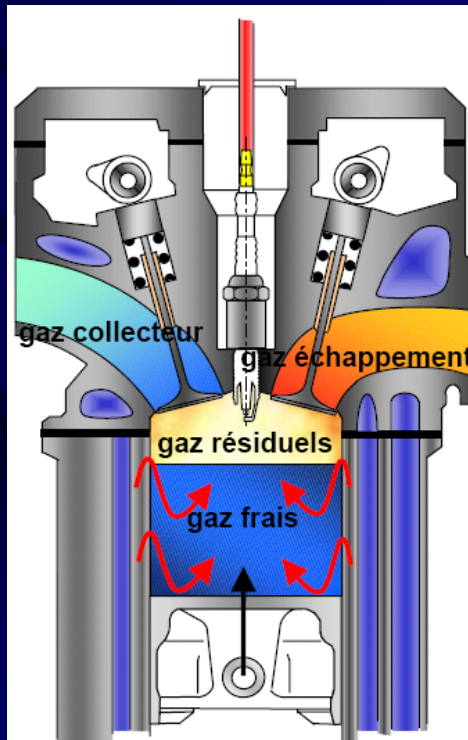
- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

$\hat{p}_{cyl}$  : estimation de la pression cylindre durant la phase de compression.

$\varepsilon$  : vecteur d'erreurs entre pression estimée et mesurée

estimation masse totale :  $m=f(\varepsilon)$



# Estimation de la masse totale

## Estimation de la pression cylindre

### 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

### 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

### 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

### 4. Conclusion

$$\hat{T}_{cyl} = \frac{p_{cyl} V_{cyl}}{\hat{m}_{cyl} r}$$

initialisation

$$\hat{T}_{ref} = (1 - \hat{X}_{res}) T_{cool} + \hat{X}_{res} T_{ech}$$

$$+ \left[ \frac{p_{cyl(ref)} V_{cyl(ref)} - p_{cyl(FA)} V_{cyl(FA)}}{\hat{m}_{cyl} r} \right]$$

$$+ C_1 \bar{U}_p^{1/3} \sqrt{p_{cool}} \left[ (1 - \hat{X}_{res}) T_{cool} + \hat{X}_{res} T_{ech} \right]$$

$$S_{paroi} \left[ T_{paroi} - \left( (1 - \hat{X}_{res}) T_{cool} + \hat{X}_{res} T_{ech} \right) \right] / \hat{m}_{cyl} c_v$$

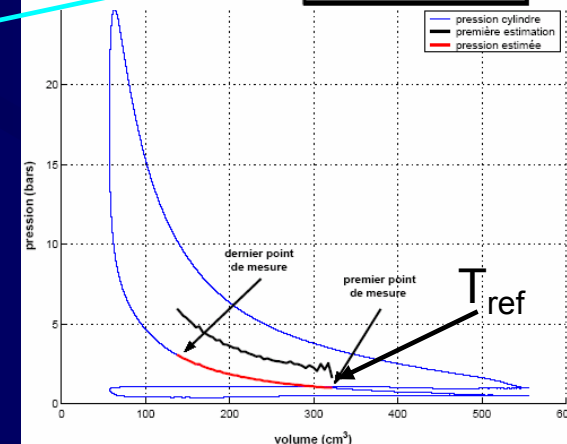
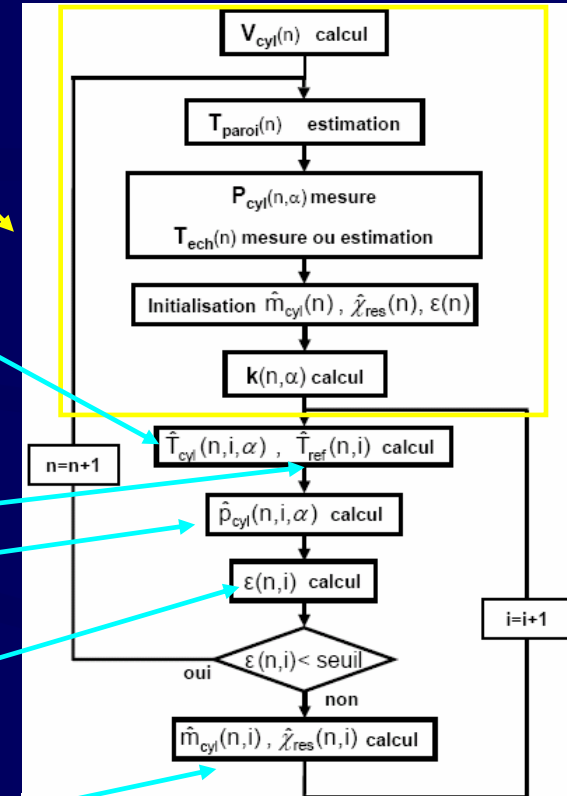
$$\hat{p}_{cyl} = p_{cyl} \left( \frac{\hat{T}_{cyl}}{\hat{T}_{ref}} \right)^{\frac{1}{k}-1}$$

$$\varepsilon = \sum_{\alpha=1}^n \frac{\hat{p}_{cyl(\alpha)} - p_{cyl(\alpha)}}{n}$$

$$\hat{X}_{res} = \frac{\hat{m}_{cyl} - \hat{m}_{air}}{\hat{m}_{cyl}}$$

$$\hat{m}_{cyl(i+1)} = \hat{m}_{cyl(i)} + k_p \cdot \varepsilon(i)$$

erreur  $p_{cyl}$  nulle:  
 $m_{cyl} T_{cyl}$  juste mais  
 $m_{cyl}$  et  $T_{cyl}$  peuvent être faux





# Estimation de la masse totale (1/4)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

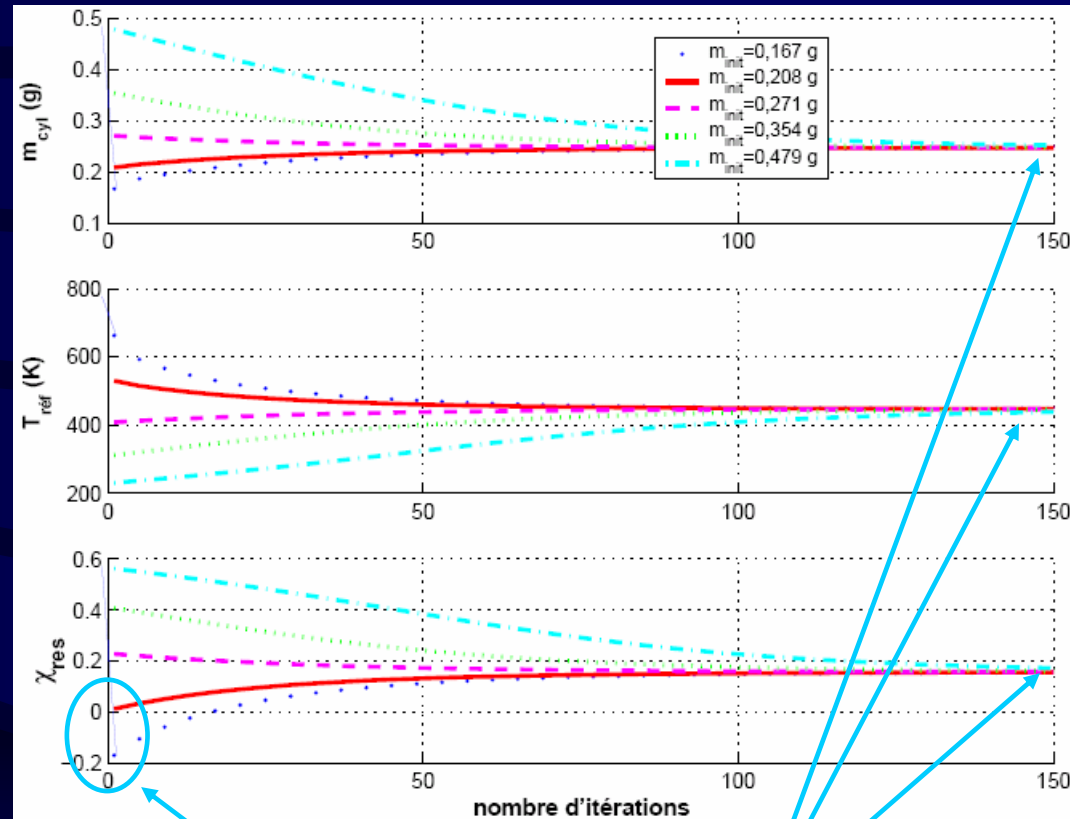
## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

### • Sensibilité aux conditions initiales



conditions initiales  
négatives

valeur finale  
identique

# Estimation de la masse totale (2/4)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

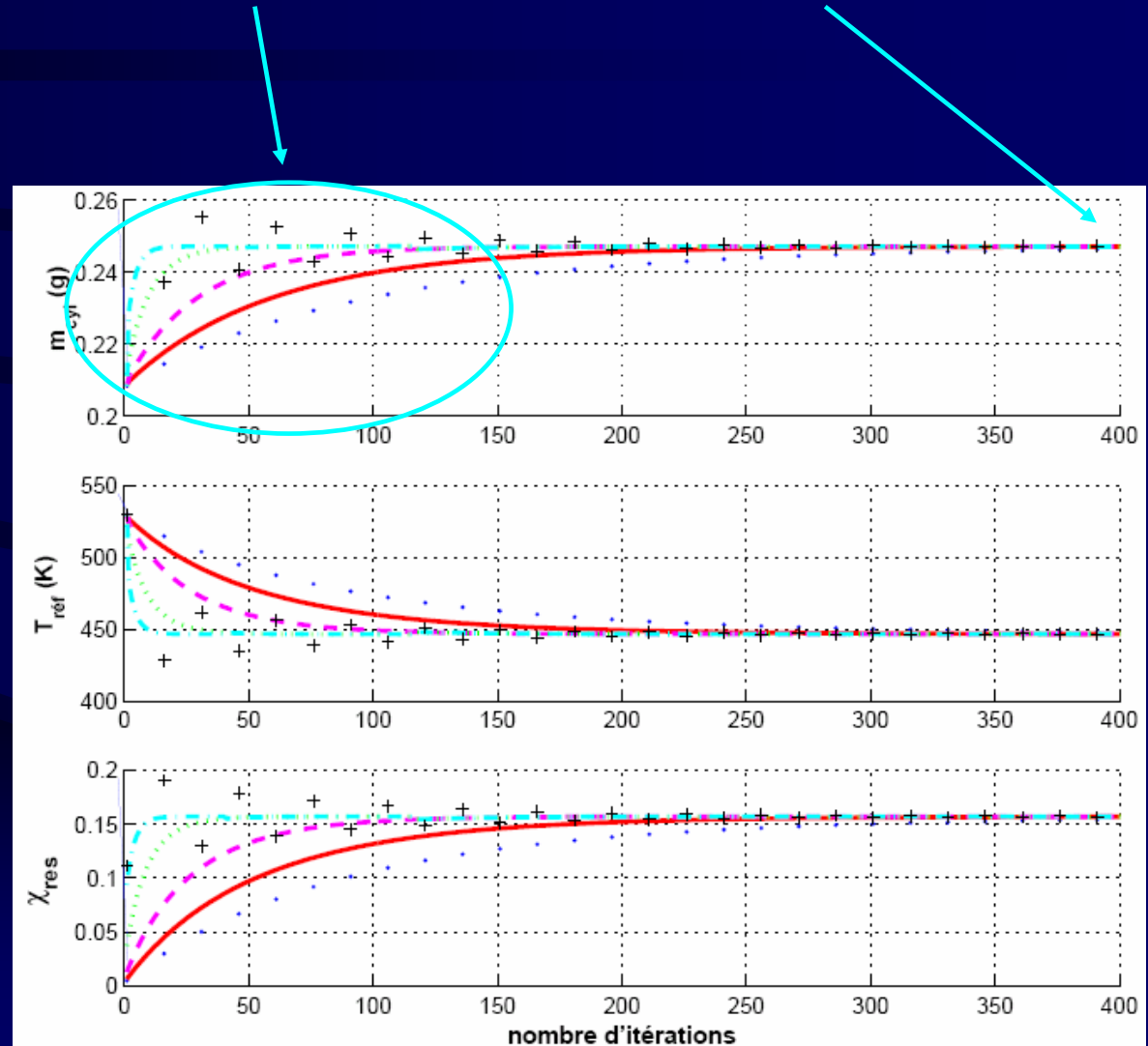
- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Sensibilité au gain de rebouclage  
convergence +/- rapide      valeur finale



# Estimation de la masse totale (3/4)

## 1. Problématique

- 1.1 formation des NOx
- 1.2 recirculation des gaz d'échappement
- 1.3 fonctionnement en mélange pauvre
- 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

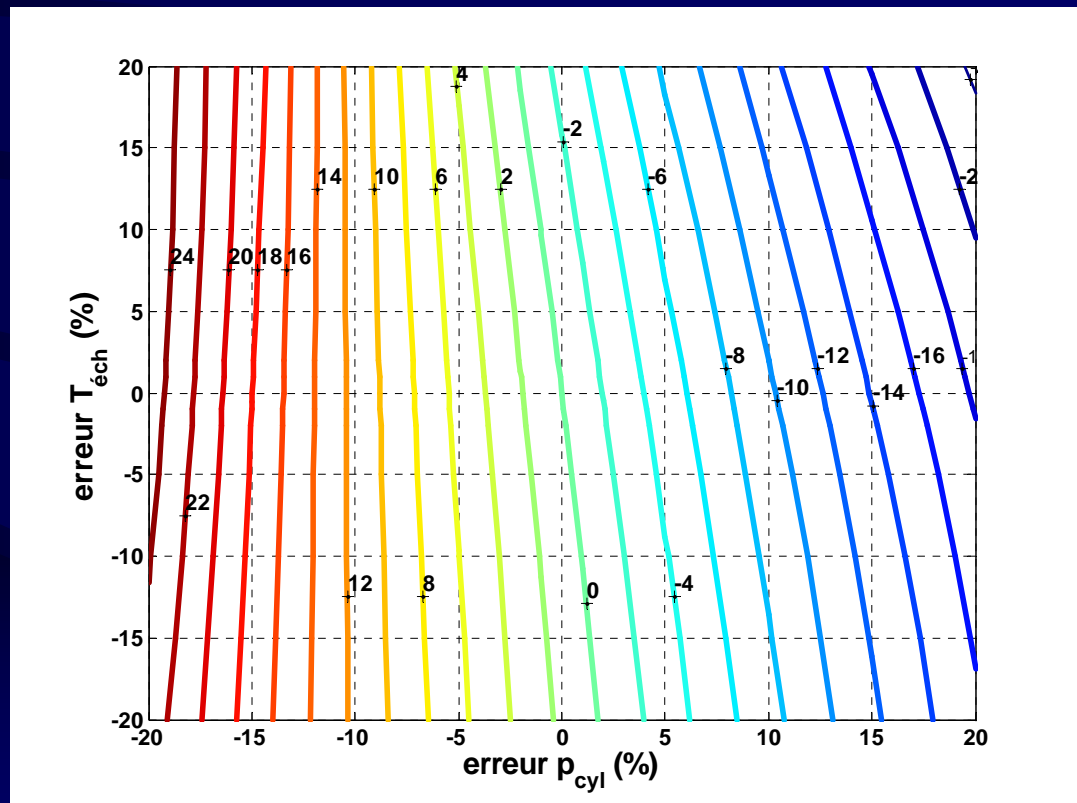
- 2.1 fraction massique de gaz résiduels
- 2.2 estimation de la composition
- 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

- 3.1 méthodologie générale
- 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Influence de l'erreur de recalage en pression et de l'erreur sur la température
  - faible influence de la température échappement
  - erreur sur  $m_{cyl}$  de l'ordre de l'erreur sur  $p_{cyl}$



# Estimation de la masse totale (4/4)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

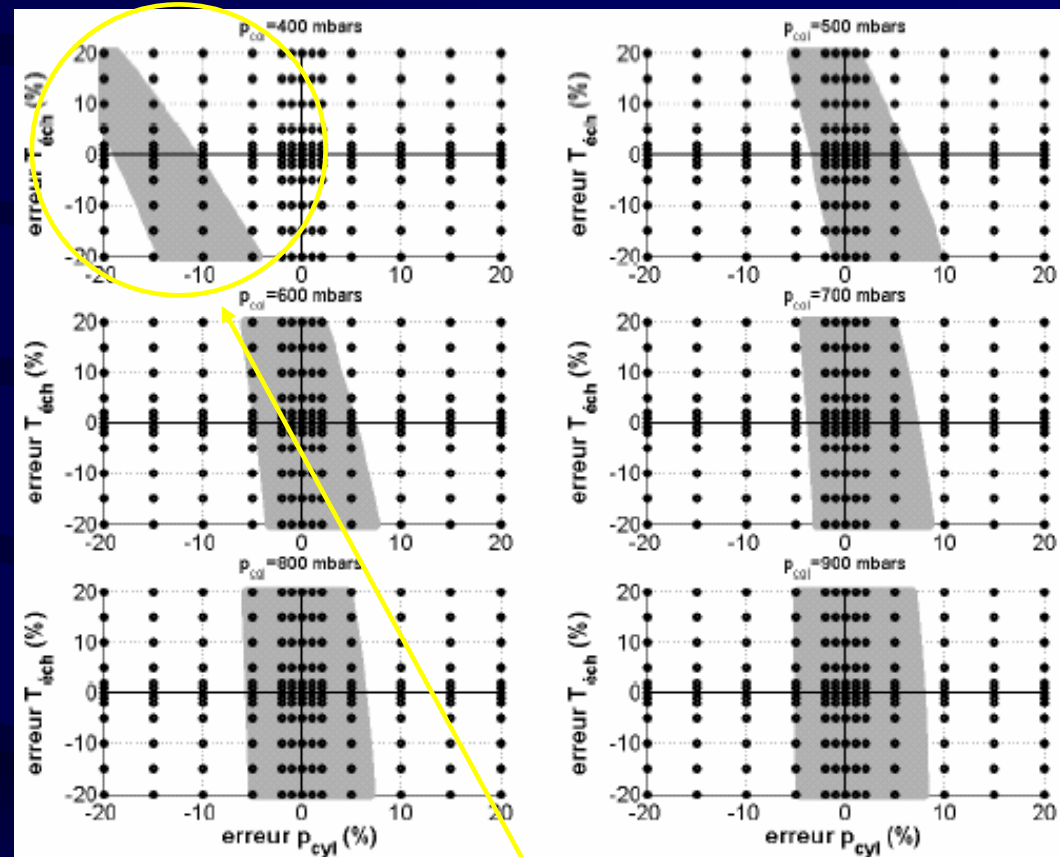
3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Sensibilité à la  $p_{col}$   
erreur sur la masse : 5%

erreur sur la température : 5%



mauvaise prise en compte des échanges de chaleur

# Conclusion

## 1. Problématique

### 1.1 formation des NOx

### 1.2 recirculation des gaz d'échappement

### 1.3 fonctionnement en mélange pauvre

### 1.4 fonctionnement en mélange pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

### 2.1 fraction massique de gaz résiduels

### 2.2 estimation de la composition

### 2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

### 3.1 méthodologie générale

### 3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- Une méthode d'estimation (itérative et bouclée) de la masse de gaz enfermée dans le cylindre a été établie. Elle est basée sur :
  - la mesure de la pression cylindre,
  - des modèles physiques.
- Elle permet de s'affranchir des temps de réponse des appareils de mesure
- De structure simple, convergence rapide, elle est applicable en temps réel.
- Méthode sensible :
  - à la qualité et à la précision de la mesure,
  - au recalage (et à son intégrité) de la pression cylindre,
  - à la validité du modèle de pertes aux parois.

# Conclusion

---

# Conclusion (1/2)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- «Résiduels»

- modèle de gaz résiduels

- méthodes

- Dilution
- Prélèvement
- code 1D

- caractérisé et validé

- « Approche collecteur »

- observateur bouclé permettant de prédire la concentration des 5 espèces chimiques ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  et  $C_xH_y$ ) dans le cylindre,

- méthode applicable pour un fonctionnement en mélange pauvre en présence d'EGR,

- validé et testé sur simulateur

- applicable en temps réel

# Conclusion (2/2)

## 1. Problématique

1.1 formation des NOx

1.2 recirculation des gaz  
d'échappement

1.3 fonctionnement en mélange  
pauvre

1.4 fonctionnement en mélange  
pauvre avec EGR

## 2. Détermination des masses et espèces dans le cylindre

2.1 fraction massique de gaz  
résiduels

2.2 estimation de la composition

2.3 résultats et conclusion

## 3. Estimation de masse totale à partir de pression cylindre

3.1 méthodologie générale

3.2 estimation de la masse totale

## 4. Conclusion

- « Approche Pression Cylindre »
  - méthode (itérative et bouclée) permettant d'estimer la masse de gaz dans le cylindre à partir de la mesure de la pression cylindre
  - sensibilités étudiées
    - Pression
    - $T^\circ$
    - Recalage
    - Régime, richesse, distribution
- « Perspectives »
  - méthode de dilution avec CO<sub>2</sub> rapide
  - validation de l'observateur (spectromètre de masse rapide)
  - bouclage observateur en richesse
  - contrôle moteur bouclé en  $m_{cyl}$  ou  $\phi_{cyl}$
  - modèle de pertes pour l'approche  $p_{cyl}$



Merci de votre attention

---