

# Optimisation des paramètres d'un modèle physique :

## Application à un four de cimenterie



A.-C. Witsel, C. Renotte, M. Remy  
Service d'Automatique - FPMs



### Problématique

#### Phase expérimentale

Four réel ⇒ Données

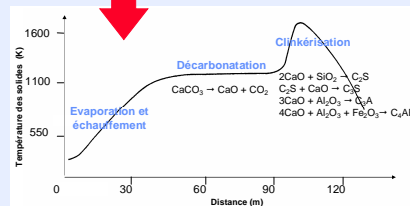
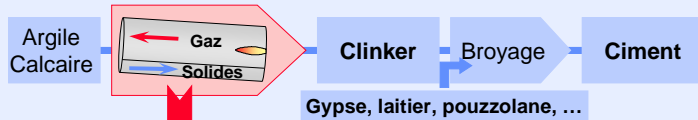
#### Modélisation

- Modèle « boîte grise » :  
*Exploite les lois physiques et les mesures expérimentales*
- Implantation

Identification des paramètres

Simulateur

### Four à ciment



#### Notations :

A =  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
C = CaO  
F =  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
S =  $\text{SiO}_2$   
eg. :  $\text{C}_3\text{S} \Rightarrow 2\text{CaOSiO}_2$

### Modèle

- Bilans thermiques et massiques
- Variables : Températures des gaz, des solides, des parois intérieure/extérieure et composition (kg/m) des constituants gazeux ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , ...) et solides ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , ...)
- 20 équations aux dérivées partielles
- Méthode des lignes (discrétisation de l'espace en N points)
- Conditions limites = équations algébriques
- 20 x N équations algèbro-différentielles

Espace et temps

$$M \times \frac{\partial Y}{\partial t} = F(Y, p, x, t)$$

**Paramètres**

### Paramètres

- Paramètres du modèle = coefficients intervenant dans les équations
  - Calculables, disponibles dans la littérature (caractéristiques géométriques du four, propriétés physiques des constituants, chaleurs de réaction, coefficients de conduction des parois, ...)
  - Inconnus ou mal connus
    - Coefficients d'échange de chaleur (convection, rayonnement)
    - Facteurs pré-exponentiels (réactions chimiques type Arrhénius)
    - Pouvoir calorifique du fuel

### Identification des paramètres inconnus ou mal connus

#### Analyse de la sensibilité des paramètres aux données expérimentales :

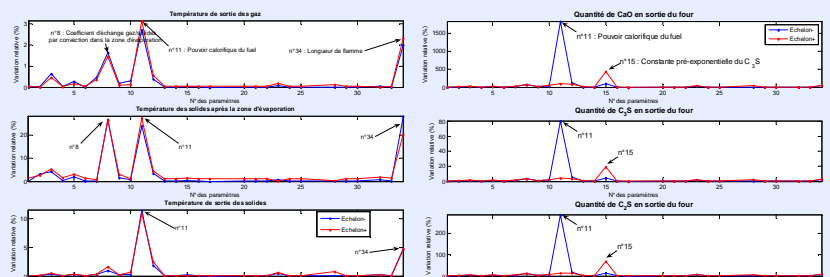
- Toutes les mesures disponibles sont-elles utiles ?
- Tous les paramètres sont-ils identifiables ?

#### Paramètres

- Pouvoir calorifique du fuel
- Coefficient d'échange par convection gaz/solides
- Longueur de flamme
- Facteur pré-exponentiel  $\text{C}_3\text{S}$

#### Mesures

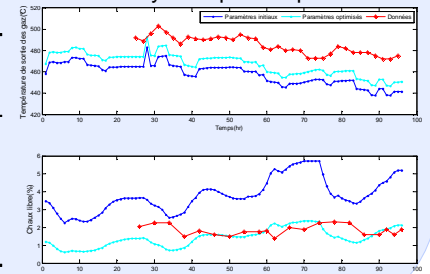
- Gaz :  $t^\circ$  sortie
- Solides :  $t^\circ$  après chaînes, courbe théorique
- Composition du clinker
- Position des différentes zones



#### Résultats statiques d'optimisation

	Tg de sortie	Ts après évaporation	Chaux libre
Données	485 °C	+/-100 °C	1.85 %
Avant optimisation	331 °C	85 °C	0.47 %
Après optimisation	467 °C	110 °C	1.22 %

#### Résultats dynamiques d'optimisation



#### Optimisation

- Critère des moindres carrés

$$J = \sum_{j=1}^{n_y} \sum_{i=1}^{n_{t,j}} \left( \frac{y_{j,i} - y_{m,j}(p, t_i)}{y_{j,i}} \right)^2$$

avec  $n_y$  = nombre de mesures  
 $n_{t,j}$  = nombre d'instantants de mesure  
 $y_{j,i}$  =  $j^{\text{ème}}$  mesure à l'instant  $t_i$   
 $y_{m,j}(p, t_i)$  =  $j^{\text{ème}}$  sortie du modèle à l'instant  $t_i$