

# Contrôle par commande prédictive d'un procédé de cuisson sous infrarouge de peintures en poudre



Isabelle Bombard, Bruno da Silva, Pascal Dufour\*, Pierre Laurent, Joseph Lieto (dufour@lagep.univ-lyon1.fr)

## Résumé

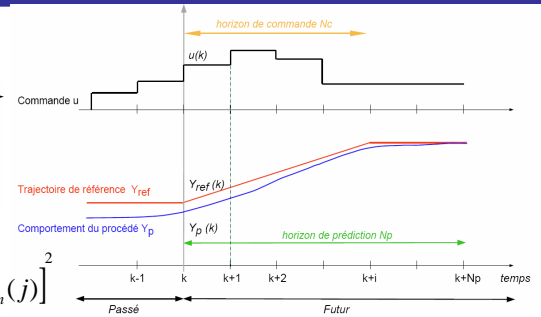
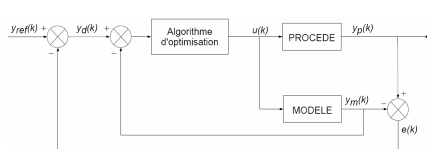
Cette étude présente le développement d'une commande de procédé de cuisson de peinture en poudre sous infrarouge en utilisant une structure de commande prédictive à modèle interne. Un modèle de cuisson est utilisé pour prédire le comportement de la peinture en réponse à différentes intensités radiatives imposées à la surface du film, la cuisson étant suivie au travers de la mesure de température de l'ensemble support + peinture.

## Contexte - Objectifs

- Démonstration de la faisabilité de la commande d'un procédé infrarouge de cuisson de peinture : application à l'amélioration de la qualité du feuil de peinture
- Commande en ligne : comportement radiatif de la peinture et des émetteurs difficile à modéliser => commande à modèle interne

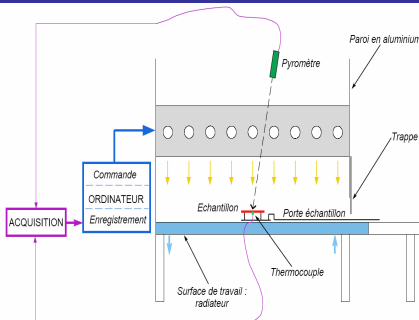
## Méthode

- Commande  $u(k)$  : flux infrarouge
- Modèle de comportement de la peinture
- Une mesure par période d'échantillonnage
- trajectoire de cuisson de référence en température prédites via modèle interne
- **Optimisation** de  $u$  pour respecter la consigne
- Contraintes amplitude et vitesse sur  $u(k)$



$$\min_{u=[u_k, \dots, u_{k+N_c-1}]} J(u) \quad \text{avec} \quad J(u) = \sum_{j=k+1}^{j=k+N_p} [y_{ref}(j) - e(k) - y_m(j)]^2$$

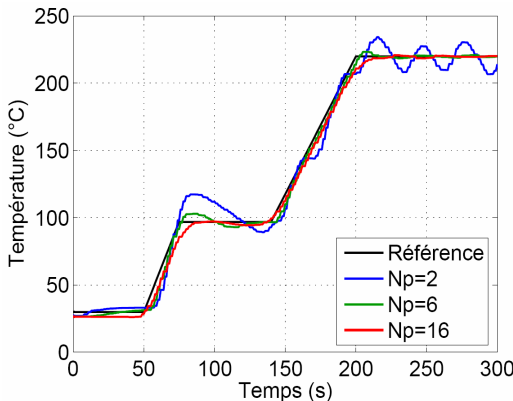
## Résultats expérimentaux



➤ **Four pilote et contraintes retenues pour le flux infrarouge**

$$\begin{cases} 0 \text{ W.m}^{-2} \leq u \leq 23500 \text{ W.m}^{-2} \\ -2000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \leq \frac{du}{dt} \leq 2000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$

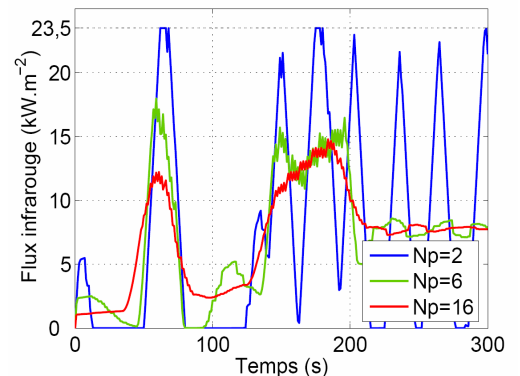
➤ **Logiciel MPC@CB**  
(dufour@lagep.univ-lyon1.fr)



➤ **Réglage de  $N_p$  l'horizon de prédiction**

⇐ **sur la température**

**sur le flux infrarouge =>**



➤ **influence sur la qualité (ici la brillance) de la trajectoire DE REFERENCE en température adoptée pour la cuisson : la cuisson 2 répond au critère qualité du fabricant de peinture**

| trajectoire de référence de cuisson |                    | 1         | 2      | 3      |
|-------------------------------------|--------------------|-----------|--------|--------|
| Rampe                               | °C.s <sup>-1</sup> | 4,03      | 4,23   | 0,5    |
| T <sub>max</sub>                    | °C                 | 190       | 220    | 220    |
| x <sub>max</sub>                    | -                  | 0,9909    | 0,9998 | 0,9996 |
| Épaisseur                           | µm                 | 40-50     | 41-70  | 67-92  |
| Gloss 60°                           | -                  | 38,5-41,5 | 28-30  | 40-41  |

## Conclusions

- Applicabilité d'une commande prédictive sur un procédé de cuisson radiatif des peintures en poudre (systèmes décrits par des équations aux dérivées partielles).
- Cahier des charges de la commande : poursuite d'une trajectoire en température définie au préalable (revêtement de qualité optimale).
- Importance du choix de l'horizon de prédiction lié à la commande.
- Dans le futur, application de ce type d'optimisation sous contrainte à des propriétés d'usage, comme la brillance par exemple. Pour cela, **une mesure en ligne ainsi qu'un modèle d'évolution de ces propriétés** sont nécessaires.