

**This document must be cited according to its final version
which is published in a conference proceeding as:
B. Da Silva¹, I. Bombard¹, P. Dufour¹, P. Laurent¹,
« Etude expérimentale de la robustesse d'une commande prédictive d'un
procédé de cuisson sous infrarouge de peintures en poudre »,
Société Française de Thermique (SFT), paper 53
Vannes, France, may 26-29 2009**

**All open archive documents of Pascal Dufour are available at:
<http://hal.archives-ouvertes.fr/DUFOUR-PASCAL-C-3926-2008>**

**The professional web page (Fr/En) of Pascal Dufour is:
<http://www.lagep.univ-lyon1.fr/signatures/dufour.pascal>**

1

Université de Lyon, Lyon, F-69003, France; Université Lyon 1;
CNRS UMR 5007 LAGEP (Laboratoire d'Automatique et de Génie des Procédés),
43 bd du 11 novembre, 69100 Villeurbanne, France
Tel +33 (0) 4 72 43 18 45 - Fax +33 (0) 4 72 43 16 99
<http://www-lagep.univ-lyon1.fr/> <http://www.univ-lyon1.fr> <http://www.cnrs.fr>

Étude expérimentale de la robustesse d'une commande prédictive d'un procédé de cuisson sous infrarouge de peintures en poudre



Bruno da Silva, Isabelle Bombard, Pascal Dufour*, Pierre Laurent

* : dufour@lagep.univ-lyon1.fr, <http://www.lagep.univ-lyon1.fr/signatures/dufour.pascal>

Résumé

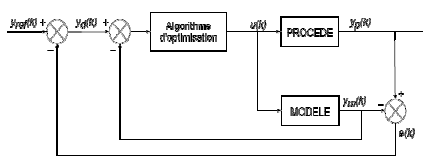
L'objectif est de montrer la robustesse d'une loi de commande prédictive en temps réel d'un procédé de cuisson de peintures en poudre sur un support plan et métallique sous infrarouge. En dépit d'un modèle de connaissance non parfait dû à des propriétés radiatives (statique et dynamique) de l'émetteur et de la peinture complexes à modéliser et à mesurer en ligne, cette commande en boucle fermée permet de contrôler expérimentalement l'état du feuil de peinture qui est étroitement lié à la maîtrise de l'évolution des températures pendant le cycle de cuisson, en particulier au sein de la couche de peinture.

Objectifs de commande en ligne

Evaluer les performances du cycle de cuisson commandée en boucle fermée : la commande prédictive (via le logiciel MPC@CB) doit être robuste vis-à-vis des incertitudes sur la connaissance de différentes propriétés radiatives des peintures et des comportements émetteurs difficiles à modéliser.

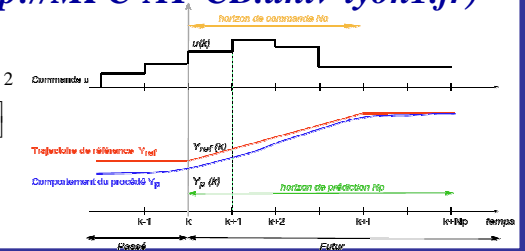
Algorithme de commande en ligne : MPC@CB (<http://MPC-AT-CB.univ-lyon1.fr>)

- Modèle de comportement de la peinture fonction des propriétés radiatives peintures et émetteurs IR
- Optimisation de la commande $u(k)$ (le flux IR) pour minimiser le critère de performance J

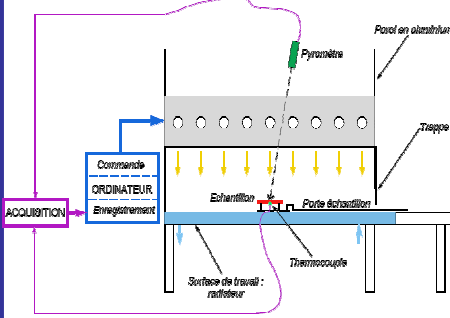


$$\min_{u=u_k} J(u) = \sum_{j=k+1}^{j=k+N_p} [y_{ref}(j) - (e(k) + y_m(j))]^2$$

vérifiant les contraintes entrées sorties et vérifiant le modèle reliant u à y_m



Résultats expérimentaux



1. Four pilote
2. Contraintes à vérifier pour le flux infrarouge pendant l'optimisation
3. Etude expérimentale pour différentes valeurs des coefficients d'absorption de la peinture introduite dans le modèle

$$\begin{cases} 0 \text{ W.m}^{-2} \leq u(k) = \varphi_{IR}(k) \leq 23500 \text{ W.m}^{-2} \\ -2000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \leq \frac{du}{dt}(k) \leq 2000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \\ y_p(k) = T_{mesurée}(k) \leq 450\text{K} \end{cases}$$

Modèle de peinture noire	Modèle de peinture blanche	Modèle moyen
$\alpha_n = 0.95 (-)$	$\alpha_b = 0.55 (-)$	$\alpha_m = 0.75 (-)$

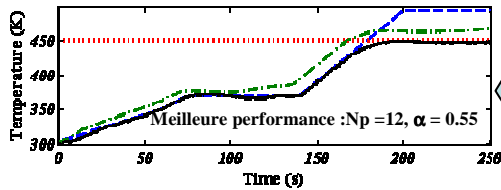
4. Critères d'évaluation des performances : erreur quadratique moyenne

- > $RMSE_P$ représente la différence entre la référence contrainte et la sortie du procédé,
- > $RMSE_M$ représente la différence entre la sortie du procédé et la sortie du modèle

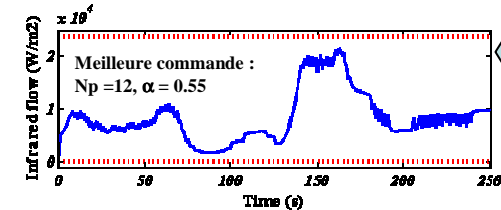
$$RMSE_P = \sum_{k=1}^{k=N_k} \sqrt{\frac{(y_{ref_const}(k) - y_p(k))^2}{N_k}}$$

$$RMSE_M = \sum_{k=1}^{k=N_k} \sqrt{\frac{(y_p(k) - y_m(k))^2}{N_k}}$$

5. Résultats expérimentaux pour la peinture blanche :

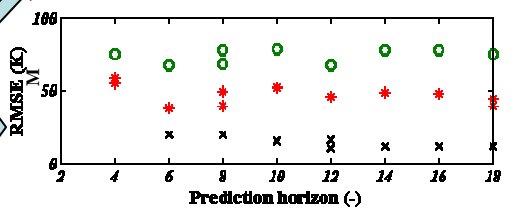
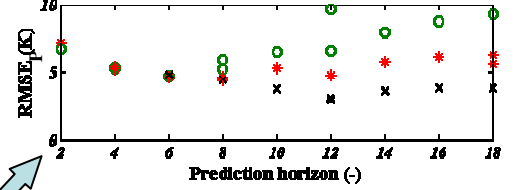


Meilleure performance : $N_p = 12, \alpha = 0.55$



Meilleure commande : $N_p = 12, \alpha = 0.55$

○ modèle avec α_n
x modèle avec α_p
+ modèle avec α_m



Conclusions

- > Malgré des incertitudes de modélisation et de certains de ces paramètres, le cycle de cuisson choisi à l'avance est suivi, quelque soit la couleur de l'échantillon.
- > La couleur blanche est la plus sensible à la variation en ligne de l'absorptivité.
- > La commande prédictive basée sur le modèle possède de façon intrinsèque des propriétés de robustesse intéressantes.
- > Réglage de la commande : existence d'un optimum sur le réglage de l'horizon de prédiction N_p .
- > Perspective : utilisation d'un observateur (capteur logiciel en ligne basé sur un modèle) pour estimer le coefficient d'absorption. Cette estimation peut ensuite être utilisée en ligne dans le modèle afin d'améliorer les performances de commande.