

## Identification algébrique du retard - Application à une soufflerie de séchage

Kaouther Ibn Taarit, Kaouther Laabidi, Lotfi Belkoura, Mekki Ksouri,  
Jean-Pierre Richard

► **To cite this version:**

Kaouther Ibn Taarit, Kaouther Laabidi, Lotfi Belkoura, Mekki Ksouri, Jean-Pierre Richard. Identification algébrique du retard - Application à une soufflerie de séchage. STA'07, 8th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control, Nov 2007, Sousse, Tunisie. 2007. <inria-00180625>

**HAL Id: inria-00180625**

**<https://hal.inria.fr/inria-00180625>**

Submitted on 19 Oct 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Identification Algébrique du Retard Application à une Soufflerie de Séchage

Kaouther Ibn Taarit<sup>1</sup>, Kaouther Laabidi<sup>2</sup>, Lotfi Belkoura<sup>3</sup>, Mekki Ksouri<sup>4</sup>,  
Jean-Pierre Richard<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup> Laboratoire d'Analyse et Commande des systèmes, Ecole Nationale  
d'Ingénieurs de Tunis, BP, 37, Le Belvédère, 1002 Tunis, Tunisie  
[kaouther.ibntaarit@gmail.com](mailto:kaouther.ibntaarit@gmail.com); [Kaouther.laabidi@enit.rnu.tn](mailto:Kaouther.laabidi@enit.rnu.tn);  
[Mekki.ksouri@mrstcd.gov.tn](mailto:Mekki.ksouri@mrstcd.gov.tn)

<sup>3</sup> Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal, Université des  
Sciences et Technologies de Lille, UFR d'IEEA, 59655, Villeneuve  
d'Ascq Cedex, France  
[lotfi.belkoura@univ-lille1.fr](mailto:lotfi.belkoura@univ-lille1.fr)

<sup>5</sup> Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal, École Centrale  
de Lille, BP, 48 – 59651, Villeneuve d'Ascq Cedex, France  
[jean-pierre.richard@ec-lille.fr](mailto:jean-pierre.richard@ec-lille.fr)

**Résumé.** *Dans cette communication, on étudie l'identification en ligne du retard par l'approche algébrique. Une présentation de cette technique d'identification est effectuée. Une application à une soufflerie de séchage est envisagée. L'air est soufflé par un ventilateur tournant à une vitesse constante. Cette soufflerie est décrite par un modèle mathématique de type entrée-sortie, linéaire, continu, monovarié, du premier ordre, avec retard, opérant dans un cadre essentiellement stationnaire. Les résultats expérimentaux permettant de valider les résultats analytiques, sont présentés et commentés.*

**Mots clés.** *Systèmes à retards; Modèles entrée-sortie linéaires; Identification en ligne; Technique algébrique; Soufflerie de séchage.*

**Abstract.** *In this communication, we study the on-line identification of the delay by the algebraic approach. A presentation of this identification technique is made. An application in a blower of drying is envisaged. The air is blown by a ventilator turning in a constant speed. This blower is described by a mathematical model of type one input-one output, linear, continuous, monovarié, of the first order, with delay, operating in a stationary framework. The experimental results allowing validating the analytical results are presented and commented.*

**Keywords.** *Time delay systems; Linear model one input-one output; Online identification; Algebraic identification; Drying blower system.*

## 1. Introduction

L'étude des systèmes à retards a été l'objet de nombreux travaux en automatique durant ces dernières décennies. Ces systèmes sont présents dans des domaines variés et la compréhension des processus qui régissent leur dynamique est un point fondamental de recherche pour leur commande [13]. D'un point de vue pragmatique, tous les processus physiques comportent des retards. Cependant, dans certains cas, les retards se révèlent très largement inférieurs aux constantes de temps du système. Ils peuvent être alors négligés. En revanche, si les retards sont dans le même ordre de grandeur que les constantes de temps du système, ils ne peuvent plus être négligés [16].

Parmi les questions abordées, le concept d'identification des systèmes à retards représente l'un des problèmes les plus ouverts et les plus cruciaux [4]. Ce concept consiste à représenter le système par un modèle mathématique caractérisant au mieux son comportement dynamique et à identifier dans une première étape le retard et dans une deuxième étape les paramètres, où on s'intéresse à estimer les paramètres intervenant dans l'équation du modèle tout en supposant que les paramètres de structure sont connus a priori. A partir de cette représentation, on pourra prédire le comportement du système et par suite élaborer des lois de commande assurant les performances et le comportement désirés [5], [6] et [7].

Peu de travaux se sont penchés sur l'identification des systèmes continus et à retards. Quelques résultats significatifs ont été obtenus par une approche du type moindres carrés modifiés [12], par une technique adaptative basée sur les fonctionnelles de Lyapounov et le principe d'invariance de Krasovkii-Lasalle [11] et par des techniques d'estimation du type mode glissant [8]. Ces approches sont asymptotiques et présentent de faibles vitesses de convergences. C'est pour cela que leurs perspectives d'exploitation en ligne sont limitées.

Dans cette communication, on s'intéresse à étudier la méthode d'identification algébrique qui a été développée par Belkoura et al, 2006 et à l'appliquer sur une soufflerie de séchage.

La technique algébrique d'identification en ligne de retards présente en réalité un développement de l'approche opérationnelle initiée par les travaux de M. Fliess et H. Sira-Ramirez [9] dans le cadre des systèmes linéaires par rapport aux paramètres, non nécessairement linéaires vis-à-vis des entrées-sorties, mais sans retards.

Cette technique est précédemment développée dans [3] et [4] et l'apport essentiel de cette communication est l'application à un cas concret qui est dans notre cas une soufflerie de séchage.

Les travaux d'identification des systèmes à retards présentés se situent dans un cadre essentiellement linéaire et stationnaire (au moins en ce qui concerne la façon dont interviennent les paramètres à identifier).

Cette communication est organisée comme suit : dans la deuxième section, on présente le cadre mathématique et algébrique de cette méthode. L'algorithme d'identification algébrique est développé. La troisième section est réservée à l'estimation algébrique d'un système du premier ordre à retards. Dans la quatrième section, on donne une description de la soufflerie, les résultats expérimentaux, ainsi que les résultats de simulations obtenus suite à l'application de cette technique. La conclusion générale est donnée dans la dernière section.

## 2. Cadre mathématique

### 2.1. Définitions et Notations

Le formalisme des distributions offre une large souplesse et un cadre unifié dans l'énoncé et le traitement des différents problèmes de modélisation des systèmes linéaires et stationnaires. Ainsi, toute fonction  $y$ , vue comme distribution, est indéfiniment dérivable.

La dérivation, la translation et l'intégration peuvent être formées de produits de convolution, notés " $*$ ", et dans lesquels l'impulsion de Dirac joue le rôle de l'unité. On notera  $\delta_\tau$  l'impulsion retardée  $\delta(t-\tau)$  et  $H$  la fonction de Heaviside (échelon unitaire). Tous les signaux considérés sont à support borné à gauche et on se situe dans une algèbre de convolution avec unité  $\delta$ .

$$\dot{y} = \delta^{(1)} * y, y(t-\tau) = \delta_\tau * y, \int y = H * y . \quad (1)$$

Supposons que  $\Omega$  est un sous ensemble ouvert de  $\mathfrak{R}$ . L'espace des fonctions  $C^\infty$  à support compact dans  $\Omega$  est noté par  $D(\Omega)$ ,  $D'(\Omega)$  est l'espace des distributions sur  $\Omega$ , c'est à dire, l'espace des fonctions linéaires continues sur  $D(\Omega)$ .

Nous écrivons  $D'_+$  (respectivement  $\mathcal{E}'$ ), l'espace des distributions avec un support contenu dans  $[0, \infty)$  (respectivement support compact).

Pour  $S, T \in D'_+$ ,  $\text{supp } S * T \subset \text{supp } S + \text{supp } T$ , où la somme dans le côté droit est définie par  $\{x + y; x \in \text{supp } S, y \in \text{supp } T\}$ .

Une distribution est d'ordre  $r$  si elle agit continûment sur les fonctions de classe  $C^r$  et non  $C^{r-1}$ . Les mesures et les fonctions sont d'ordre 0.

Avec un léger abus de notations, nous écrivons  $H^k y$  la convolution itérée  $H * H * \dots * H * y$ , ce qui revient à effectuer  $k$  intégrations successives de  $y$  et, plus généralement,  $T^k$  représente le produit de convolution de l'ordre  $k$ .

En conclusion, lorsqu'aucune confusion n'est possible, nous notons parfois  $T(s)$ ,  $s \in \mathbb{C}$ , la transformée de Laplace de  $T$ .

Toutes ces définitions et ces notations sont prises des références suivantes [2], [3], [4] et [14].

### 2.2. Principe

La multiplication de deux distributions  $\alpha$  et  $T$  n'est pas toujours définie. Cette opération est licite si l'un des deux termes est indéfiniment dérivable. Plusieurs propriétés peuvent être dérivées de ce produit dont le plus important est le suivant :

**Théorème 1** (Schwartz, 1966). Si  $T$  a un support compact  $K$  et est d'ordre (nécessairement fini)  $m$ ,  $\alpha T = 0$  lorsque  $\alpha$  et ses dérivées d'ordre  $\leq m$  s'annulent sur  $K$  [3].

Grâce au théorème 1, le produit  $t\delta$  peut être étendu à  $t^l \delta^{(n)} = 0$  pour  $\forall l > n$ , et

$$t^l \delta^{(n)} = (-1)^l \frac{n!}{(n-l)!} \delta^{(n-l)}, \quad \forall l \leq n. \quad (2)$$

Nous faisons recours à une autre propriété impliquant la multiplication par  $t^n$  et le produit de convolution. Dans le cas où l'un des deux distributions (S ou T) est de support compact :

$$t^n (S * T) = \sum_{k=0}^n C_n^k (t^k S) * (t^{n-k} T). \quad (3)$$

La combinaison des règles (2) et (3) avec  $S = \delta^{(p)}$  et  $T = y$ , nous permet de transformer les termes de la forme  $t^n y^{(p)}$  en somme linéaire des dérivées du produit  $(t^k y)$ .

En posant  $z_i = t^i y$ , nous obtenons alors

$$t^3 y^{(2)} = t^3 (\delta^{(2)} * y) = -6z_1 + 6z_2^{(1)} - z_3^{(2)}. \quad (4)$$

L'équation (4) va être utilisée par la suite pour l'implémentation de l'algorithme d'identification.

### 3. Cas d'un système du premier ordre

#### 3.1. Formulation du problème

Justifier par l'application considérée, nous nous intéressons à étudier un système du premier ordre à retard soumis à une perturbation constante d'amplitude  $\gamma_0$  et pour lequel l'entrée  $u$  est constante, d'amplitude  $u_0$ , et retardée du paramètre  $\tau$  à identifier. La prise en compte de la condition initiale  $y(0)$  dans l'équation de fonctionnement se traduit par la relation suivante :

$$\dot{y} + ay = y(0)\delta + \gamma_0 H + bu(t-\tau). \quad (5)$$

Les paramètres  $a$ ,  $b$  et  $\tau$  sont constants et nous supposons dans un premier temps que le coefficient  $a$  est connu et que l'entrée échelon  $u$  s'écrit sous la forme  $u = u_0 H$ .

En dérivant l'équation (5), nous obtenons alors :

$$\ddot{y} + a\dot{y} = \varphi_0 + \gamma_0 \delta + bu_0 \delta_\tau. \quad (6)$$

où  $\varphi_0 = (\dot{y}(0) + ay(0))\delta + y(0)\delta^{(1)}$ , est d'ordre 1 et de support  $= \{0\}$ . A partir du Théorème de Schwartz, la multiplication de l'équation (6) par toute fonction  $\alpha$

vérifiant  $\alpha(0) = \alpha'(0) = \alpha(\tau) = 0$  permet d'annihiler son membre de droite. Le choix du polynôme  $\alpha(t) = t^2(t-\tau)$  répond à cet objectif, ce qui se traduit aussi par :

$$t^3[\ddot{y} + a\dot{y}] = \tau t^2[\ddot{y} + a\dot{y}] . \quad (7)$$

$$bu_0 t^3 \delta_\tau = bu_0 \tau t^2 \delta_\tau . \quad (8)$$

Une simple intégration de (7) conduit à une égalité de fonctions rendant  $\tau$  accessible au calcul. Néanmoins, afin de s'affranchir de toute dérivation dans l'algorithme d'identification,  $k \geq 2$  intégrations (c'est-à-dire une convolution avec  $H^k$ ) seront nécessaires pour former la relation suivante :

$$\tau H^k (t^2 y^{(2)} + a t^2 y^{(1)}) = H^k (t^3 y^{(2)} + a t^3 y^{(1)}) . \quad (9)$$

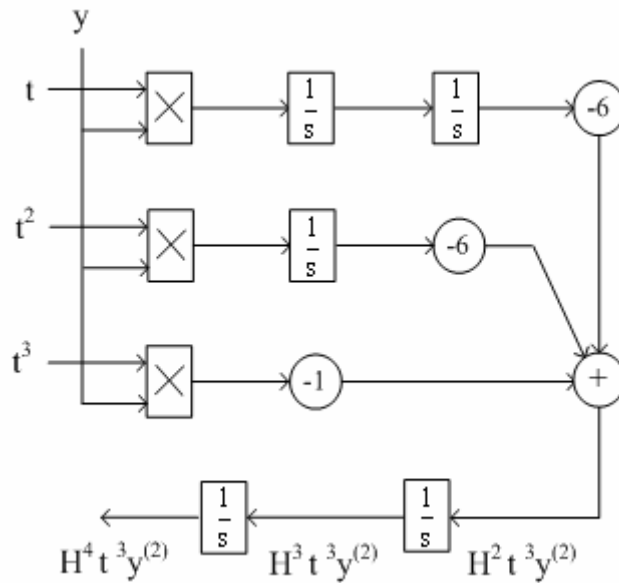
Compte tenu des propriétés des supports  $\text{supp } H^k \delta_\tau \subset (\tau, \infty)$ , l'équation (8) montre que les fonctions obtenues  $H^k (t^q y^{(2)} + a t^q y^{(1)})$ ,  $q = 2, 3$ , sont nulles sur l'intervalle  $(0, \tau)$ , rendant le retard non identifiable par l'équation (9) sur ce segment. Au contraire, les fonctions sont continues et non nulles pour  $t > \tau$ , le retard est identifiable sur tout l'intervalle  $(\tau, \infty)$ , il est donné par l'expression (10).

$$\tau = \frac{H^k (w_0 + a w_3)}{H^k (w_1 + a w_2)}, \quad \forall t > \tau . \quad (10)$$

Les termes  $w_i$  sont donnés par (11) qui utilise la notation  $z_i = t^i y$ .

$$\begin{aligned} w_0 &= t^3 y^{(2)} = -6z_1 + 6z_2^{(1)} - z_3^{(2)} \\ w_1 &= t^2 y^{(2)} = -2z_0 + 4z_1^{(1)} - z_2^{(2)} \\ w_2 &= t^2 y^{(1)} = 2z_1 - z_2^{(1)} \\ w_3 &= t^3 y^{(1)} = 3z_2 - z_3^{(1)} \end{aligned} . \quad (11)$$

La réalisation effective de ces derniers termes s'effectue selon le principe d'intégration par parties. La figure 1 représente le schéma partiel de réalisation.



**Fig.1.** Schéma partiel de réalisation

Du fait de la non identifiabilité du retard sur l'intervalle  $(0, \tau)$ , ce dernier peut être maintenu à 0 tant que le numérateur ou dénominateur formés en (10) n'ont pas atteint de valeur nulle significative [1]. Notons que l'algorithme donné en (10) requiert uniquement les valeurs de  $a$  et de l'entrée  $y$ .

Dans le cas où le coefficient ' $a$ ' est également inconnu, la même approche peut être utilisée pour une identification simultanée. La relation suivante est déduite de (9):

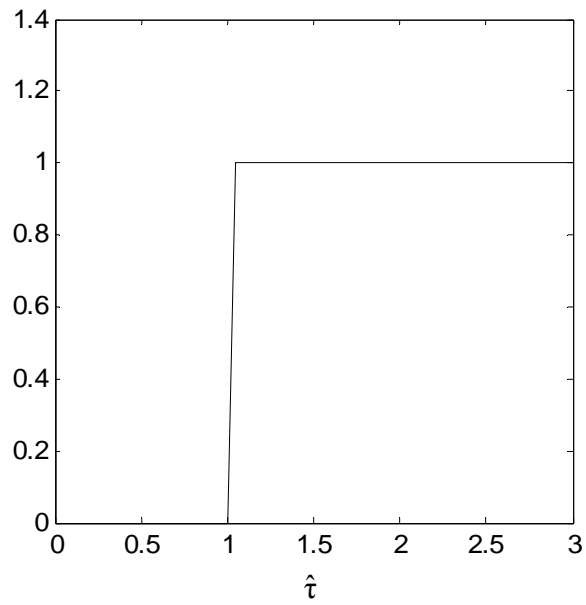
$$\tau(H^k w_1) + a \tau(H^k w_2) - a(H^k w_3) = H^k w_0 \quad (12)$$

Elle représente un système linéaire avec les paramètres inconnus  $(a, \tau, \tau a)$  et est obtenu en utilisant différents ordres d'intégration :

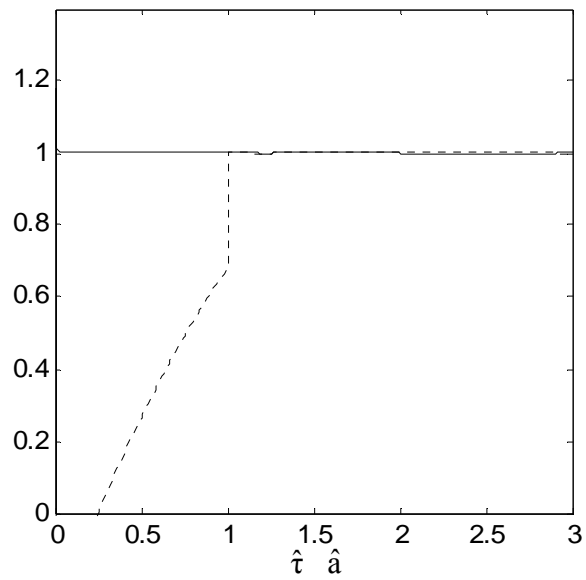
$$\begin{pmatrix} H^2 w_1 & H^2 w_2 & H^2 w_3 \\ H^3 w_1 & H^3 w_2 & H^3 w_3 \\ H^4 w_1 & H^4 w_2 & H^4 w_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\tau} \\ a\hat{\tau} \\ -\hat{a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H^2 w_0 \\ H^3 w_0 \\ H^4 w_0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

### 3.2. Résultats de simulations

Les résultats de simulation de l'identification du retard seul, ou du retard en même temps que  $a$ , sont donnés respectivement par les figures 2 et 3 pour  $k = 2, 3, 4$  intégrations et les valeurs des paramètres [10]:  $y(0) = 1, a = 1, \tau = 1, \gamma_0 = 5, b = 2$  et  $u_0 = 1$ .



**Fig. 2.** Identification du retard



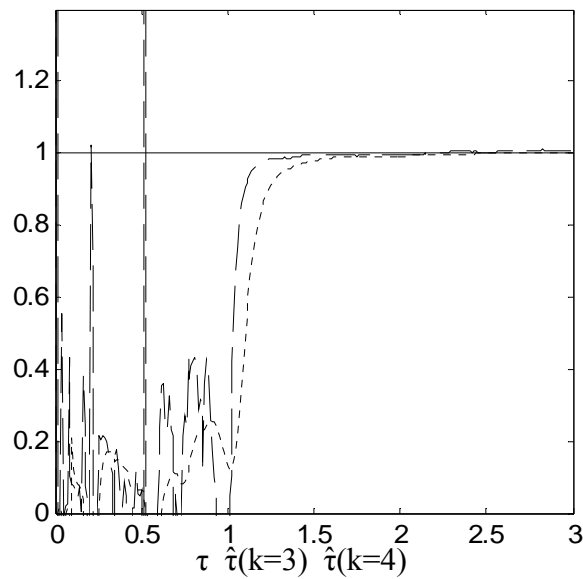
**Fig. 3.** Identification simultanée de  $a$  (*ligne continue*) et de  $\tau$  (*ligne pointillée*)



### 3.3. Robustesse

Dans cette section, une étude de la robustesse de cette approche via les bruits sera effectuée. Des bruits blancs d'entrée et de sortie ont été pris respectivement d'amplitude  $2 \times 10^{-6}$  et  $4 \times 10^{-6}$ .

Les résultats de la simulation sont donnés par la figure 4 pour  $k=3, 4$  intégrations.



**Fig. 4.** Identification du retard avec la présence du bruit.  $\tau$  (ligne continue),  $\hat{\tau}(k=3)$  (ligne à tiret) et  $\hat{\tau}(k=4)$  (ligne pointillée)

Avec des données bruitées, l'intégration par  $H(s) = \frac{1}{s}$  peut être remplacée par n'importe quelle fonction de transfert appropriée et en particulier par un filtre passe bas présenté par la fonction de transfert suivante  $T(s) = \frac{1}{(\gamma s + 1)}$ .

## 4. Application à une soufflerie de séchage

Nous étudions, dans cette partie, le problème d'identification d'une soufflerie de séchage. L'élaboration d'un modèle mathématique de type entrée-sortie, permettant de décrire le comportement dynamique de la soufflerie, est menée en se basant sur des mesures expérimentales.

#### 4. 1. Description de la soufflerie

Le système thermique est constitué de trois blocs, la soufflerie électrique, le capteur et l'unité de traitement et de calcul selon le schéma synoptique de la figure 5.

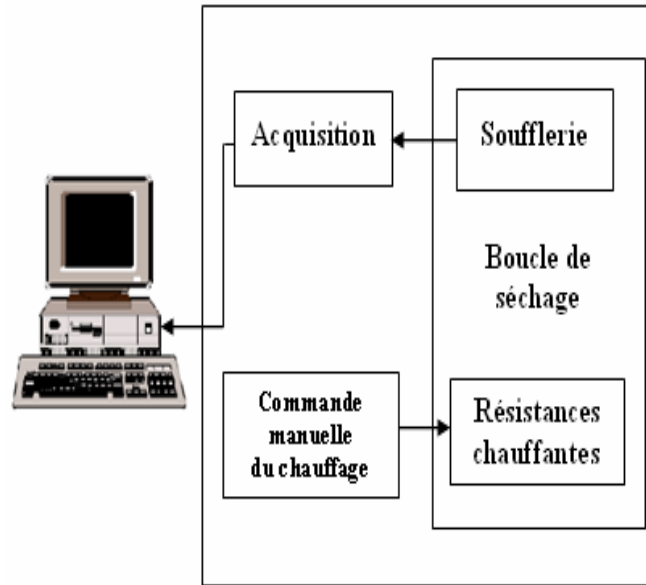


Fig. 5. Schéma bloc du système

Le dispositif expérimental consiste en une soufflerie en circuit ouvert qui permet d'avoir un écoulement d'air ayant des caractéristiques aérothermiques appropriées et qui peuvent être modifiées d'un essai à un autre. Cette soufflerie se présente sous la forme d'une conduite à section rectangulaire et est commandée par des résistances chauffantes (voir figure 6). Cette conduite est de longueur de 3 mètre mais la température de sortie est mesurée à 2.5 mètre des résistances chauffantes. Le débit de l'air peut être modifié en faisant varier la vitesse du ventilateur par l'intermédiaire d'un variateur de vitesse.

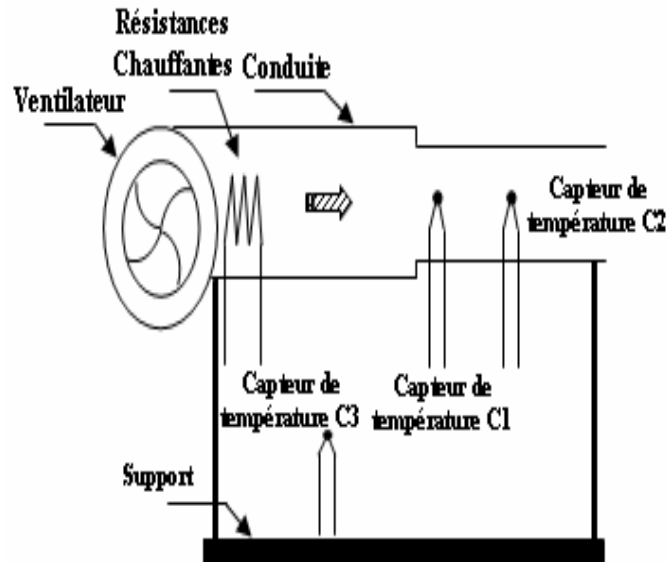


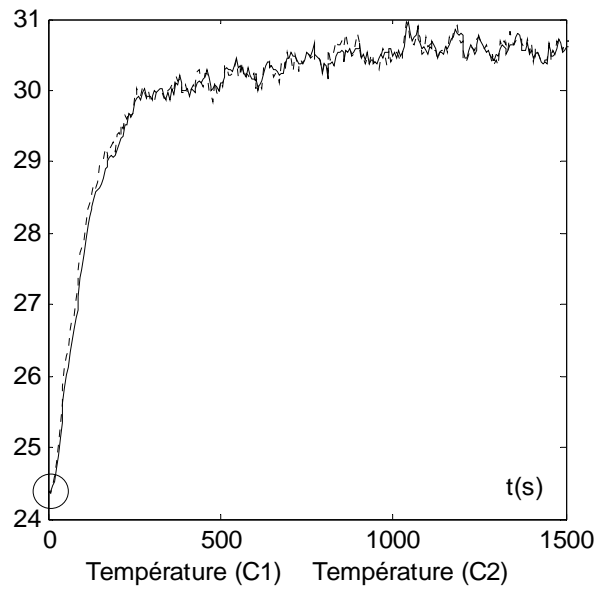
Fig. 6. Schéma descriptif du processus de séchage

L'air est chauffé au contact d'un ensemble de résistances chauffantes. La puissance optimale de chauffe est de l'ordre de 10 kW. L'installation peut supporter une température maximale de 75°C. La température est mesurée au moyen de trois thermocouples dont l'un est de type J et les deux autres sont de type K. Le thermocouple de type J, noté C1, permet la mesure de la température que subit la charge utilisée. Alors que le deuxième thermocouple de type K assure la suivie de la variation de la température juste à la sortie de la veine d'essai et il est appelé thermocouple C2. Quant au troisième thermocouple, noté C3, il sert à relever la température ambiante.

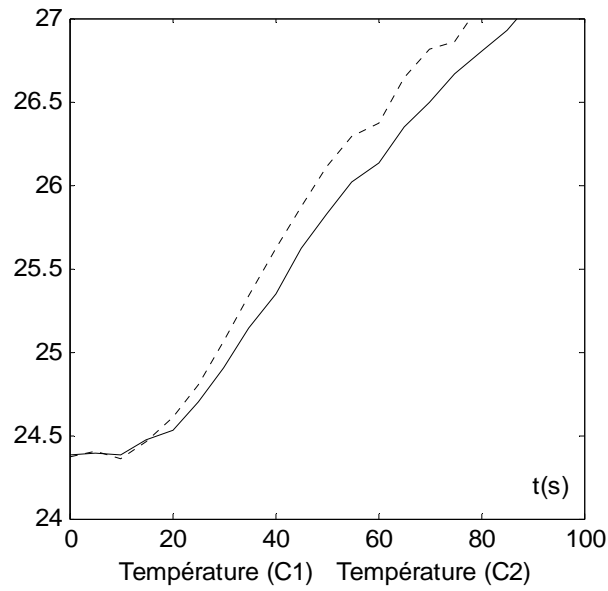
L'acquisition de mesures sur la soufflerie est faite grâce à une chaîne d'acquisition de type « Agilent 34970A ».

Notre base de données est obtenue suite à l'excitation du système par un échelon de 220 Volts afin de relever la variation de la température en fonction du temps. La température initiale est de 24°C alors que le débit de l'air à travers la conduite est de l'ordre de 0.7 m/s.

Les réponses indicielles de la soufflerie au niveau de la charge et à la sortie de la conduite sont illustrées par les figures 7 et 8.



**Fig. 7.** Evolution de la température au niveau de C1 (*ligne pointillée*) et de C2 (*ligne continue*)



**Fig. 8.** Evolution de la température sur l'intervalle [0 100] secondes

On remarque que les variations de la température peuvent être considérées comme la réponse d'un système linéaire à retard. L'identification du retard est effectuée par la méthode algébrique alors que la constante de temps et le gain statique sont identifiés par une technique d'identification des modèles non paramétriques continus à savoir l'analyse indicielle.

La méthode adoptée est celle de Strejc [7]. Cette méthode peut s'appliquer aux systèmes dont la réponse indicielle ne présente pas de dépassement. On identifie à une fonction de la forme:

$$H(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{(1+Ts)^n}. \quad (14)$$

Les paramètres à identifier sont le gain statique  $K$ , le retard  $\tau$ , la constante de temps  $T$  et l'ordre  $n$ .

La méthode identifie, alors, la réponse indicielle comme étant proche de celle du système suivant :

$$H(s) = \frac{0.03 e^{-10s}}{1+100 s}. \quad (15)$$

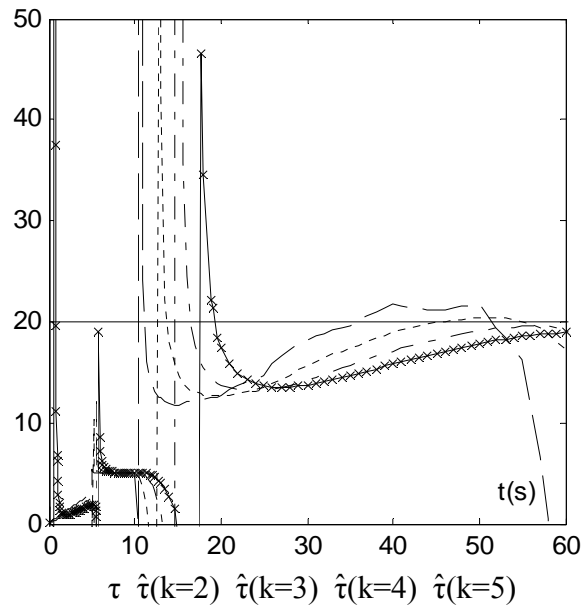
Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser tout d'abord à identifier le retard interne de la soufflerie puis à identifier un retard à la commande  $\tau_{com}$ .

#### 4. 2. Identification de la soufflerie

L'estimation des paramètres intervenant dans le modèle est réalisée par la méthode algébrique à partir du couple d'entrée sortie  $\{u(t) \text{ et } y(t)\}$ . Cette méthode sera appliquée pour trois cas du retard sur la commande à savoir : 0, 80 et 200 secondes et les résultats de simulations sont obtenus pour  $k = 2, 3, 4, 5$  intégrations et pour une constante du temps égale à 100 secondes. Pour chaque cas étudié, la condition initiale subit un bruit différent de l'autre.

##### 1<sup>er</sup> cas : $\tau_{com} = 0$ secondes

L'évolution de la température au niveau de la charge est décrite par la figure 7. L'application directe des algorithmes d'identification décrits par les équations (10) et (13) sur le couple d'entrée sortie a conduit aux résultats de simulations suivants.



**Fig. 9.** Identification du retard  $\tau$  (ligne continue),  $\hat{\tau}(k=2)$  (ligne à tiret),  $\hat{\tau}(k=3)$  (ligne pointillée),  $\hat{\tau}(k=4)$  (ligne à tiret point) et  $\hat{\tau}(k=5)$  (ligne à croix)

D'après les résultats des simulations, on remarque, d'une part, que la soufflerie présente en réalité un retard propre de l'ordre de 20 secondes. D'autre part, on constate que l'algorithme d'estimation converge vers la valeur désirée du retard pour  $k=4$ . C'est pour cela qu'on peut dire que plus le nombre d'intégration augmente plus le retard estimé converge vers la valeur désirée. Cela est dû à la présence du bruit qui peut être atténué en augmentant le nombre d'intégrations.

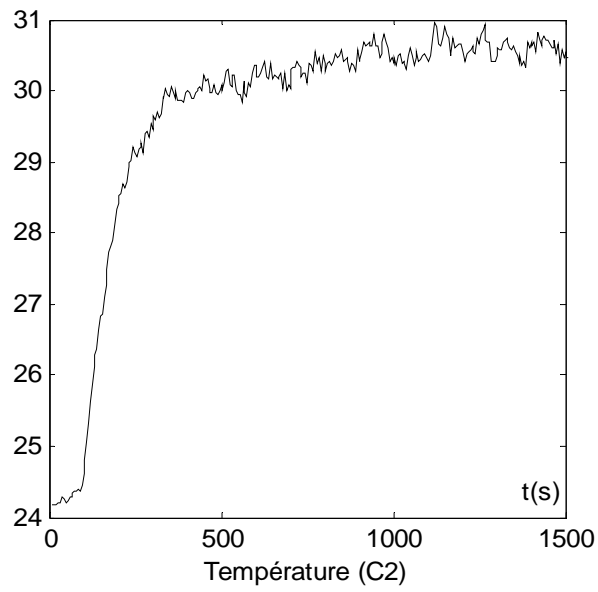
**2<sup>ème</sup> cas :**  $\tau_{com}=80$  secondes

Les mêmes simulations sont refaites pour un retard sur la commande de valeur égale à 80 secondes qui est inférieur à la constante du temps.

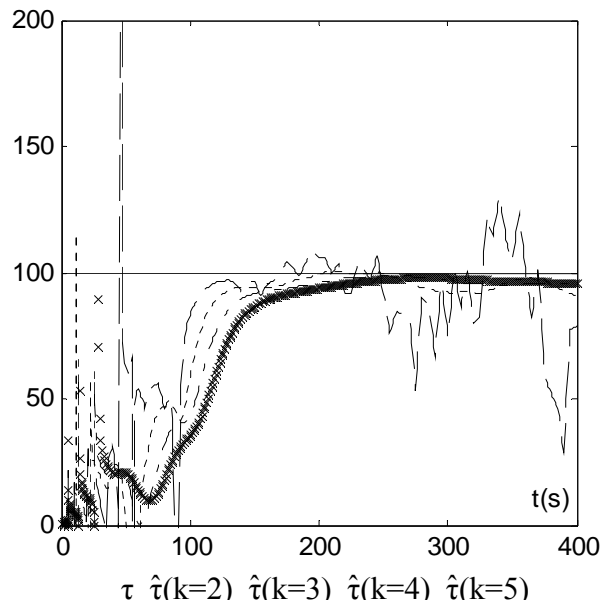
La variation de la température à la sortie de la conduite de la soufflerie est présentée par la figure 10.

D'après cette courbe d'évolution de la température, on constate, alors la présence d'un bruit assez important sur sa partie initiale.

On représente à la figure 11 les courbes d'évolution du retard estimé pour différentes valeurs de  $k$ .



**Fig. 10.** Evolution de la température pour  $\tau_{\text{com}}=80$  secondes



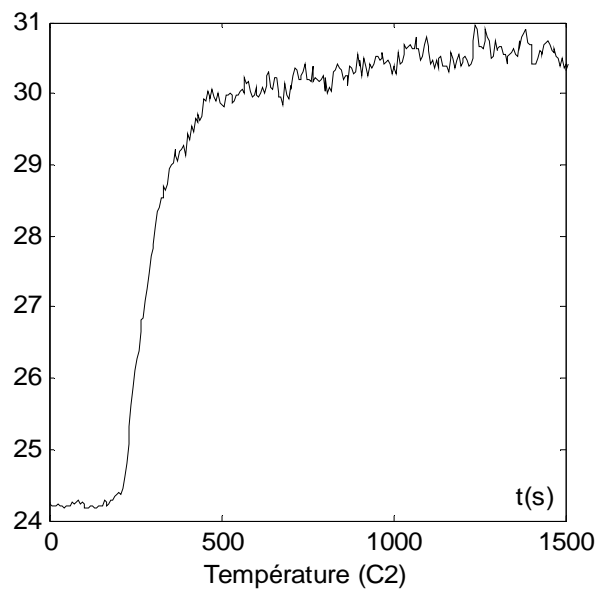
**Fig. 11.** Identification du retard  $\tau$  (ligne continue),  $\hat{\tau}(k=2)$  (ligne à tiret),  $\hat{\tau}(k=3)$  (ligne pointillée),  $\hat{\tau}(k=4)$  (ligne à tiret point) et  $\hat{\tau}(k=5)$  (ligne à croix)

L'algorithme d'identification algébrique converge vers la valeur désirée du retard à partir d'un nombre d'intégration égal à 5 qui représente la valeur minimale qu'il faut l'admettre pour avoir des résultats d'estimations satisfaisantes.

Cette augmentation du nombre d'intégration est due à l'importance du bruit sur la condition initiale par rapport à celui du premier cas étudié.

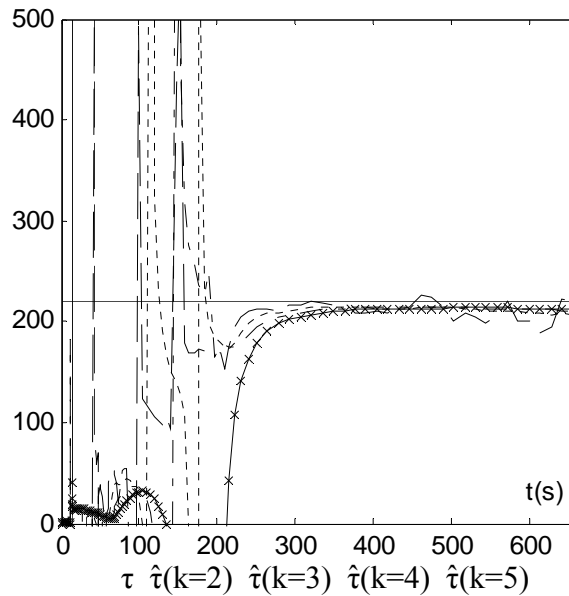
**3<sup>ème</sup> cas :**  $\tau_{com} = 200$  secondes

L'objectif primordial de cette méthode d'identification algébrique est d'identifier un retard supérieur à la dynamique du processus à étudier. C'est pour cela qu'un troisième cas étudiant la capacité de cet algorithme vis-à-vis un retard égal à 200 secondes sera développé par la suite. L'allure de la sortie de la soufflerie de séchage qui présente un bruit assez faible sur la condition initiale est alors décrite par la figure 12. Les résultats de la simulation montrant l'évolution du retard sont donnés par la figure 13.



**Fig. 12.** Evolution de la température pour  $\tau_{com} = 200$  secondes





**Fig. 13.** Identification du retard  $\tau$  (ligne continue),  $\hat{\tau}(k=2)$  (ligne à tiret),  $\hat{\tau}(k=3)$  (ligne pointillée),  $\hat{\tau}(k=4)$  (ligne à tiret point) et  $\hat{\tau}(k=5)$  (ligne à croix)

Pour un retard supérieur à la constante du temps du système étudié, on remarque que le retard estimé converge vers la valeur désiré pour un nombre d'intégration  $k \geq 3$ . La variation du nombre d'intégrations est liée à l'importance du bruit que subit le système étudié et montre ainsi l'existence d'un nombre d'intégration minimal permettant l'atténuation du bruit pour  $t \geq \tau$ .

Les résultats de simulation illustrés précédemment prouvent la capacité que possède cet algorithme d'identification à estimer la valeur du retard même dans un contexte bruité.

## 5. Conclusion

Cette communication a traité l'identification algébrique d'une soufflerie décrite par un modèle mathématique de type entrée-sortie, linéaire, continu, monovarié, du premier ordre, avec retard, opérant dans un cadre essentiellement stationnaire.

Une présentation de la méthode d'identification algébrique qui est basée sur un formalisme distributionnel a été détaillée.

Une description succincte de la soufflerie et de son environnement a été présentée.

Les résultats d'estimation du retard obtenus à partir de l'expérience et de la simulation sont acceptables. Ces résultats montrent que, dans le cas d'un contexte bruité, la rapidité de la convergence des algorithmes d'identification algébrique

dépend essentiellement d'un nombre minimum d'intégration qu'il faut déterminer. Ce nombre d'intégration augmente lorsque le bruit devient plus important.

Tous ces résultats prouvent la rapidité de la convergence des algorithmes d'identification algébrique et leur robustesse vis-à-vis les bruits qui permettent de traiter simultanément l'identification et la commande en ligne des systèmes à retards.

## Références

1. Belkoura, L., Orlov, Y.: Identifiability analysis of linear delay-differential systems. *IMA Journal of Mathematical Control and Information*, 19(12):73\_81, 2002
2. Belkoura, L., Dambrine, M., Orlov, Y., Richard, J.-P.: Identifiability and identification of linear systems with delays. Springer, LNCSE Advances in Time Delay Systems, 38:123\_135, 2004
3. Belkoura, L., Richard, J.-P., Fliess, M.: On line identification of systems with delayed inputs. In MTNS'06, 16th Conference on Mathematical Theory of Networks and Systems, invited session Networked systems, Kyoto, Japan, July 2006
4. Belkoura, L.: Systèmes à retards: Identifiabilité et Identification. Ecole d'automne, Douz, 2006
5. Ben Abdennour, R., Borne, P., Ksouri, M., M'sahli, F.: Identification et commande numérique des procédés industriels. Editions Technip, Paris, 2001
6. Borne, P., Tanguy, G.-D., Richard, J.-P., Rotella, F., Zambettahis, I.: Modélisation et identification des processus. Editions Technip, Paris, 1992
7. Borne, P., Tanguy, G.-D., Richard, J.-P., Rotella, F., Zambettahis, I.: Analyse et régulation des processus industriels. Editions Technip, Paris, 1993
8. Drakunov, S.-V., Perruquetti, W., Richard, J.-P., Belkoura, L.: Delay identification in time delay systems using variable structure observers. *IFAC Annual Reviews in Control*, Elsevier, vol. 30 (2), pp. 143 – 158, 2006
9. Fliess, M., Sira-Ramirez, H.: An algebraic framework for linear identification, *ESAIM Contr. Optim. Cal. Variat*, vol. 9, 2003, pp. 151-168
10. Mounier, H.: Modélisation et structural properties in infinite dimension: from time delay systems to distributed parameter systems. Ecole d'automne, Douz, 2006
11. Orlov, Y., Belkoura, L., Richard, J.-P., Dambrine, M.: Adaptive identification of linear time delay systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Special issue on Time-Delay, 13(9), 2003
12. Ren, X.M., Rad, A.B., Chan, P.T., Lo, W.L.: On line identification of continuous-time systems with unknown time delay. *IEEE Tac*, 50(9):1418\_1422, 2005
13. Richard, J.-P.: Time delay systems: An overview of some recent advances and open problems. *Automatica*, 39:1667\_1694, 2003
14. Schwartz, L.: Théorie des distributions (2nd ed.), Hermann, Paris, 1966
15. Veysset, F.: Modélisation et identification de comportements de l'avion en vol turbulent par modèles à retards. Thèse, Ecole Centrale de Lille, 2006
16. Zhong, Q.-C.: Robust control of time-delay systems (Springer Verlag, London, edition: 2006)