

Laboratoire de régulation

Rapport des séances

21/02/2018

06/03/2018

20/03/2018

17/04/2018

Emile Albert

Mathieu David

William de Decker

Tom Selleslagh

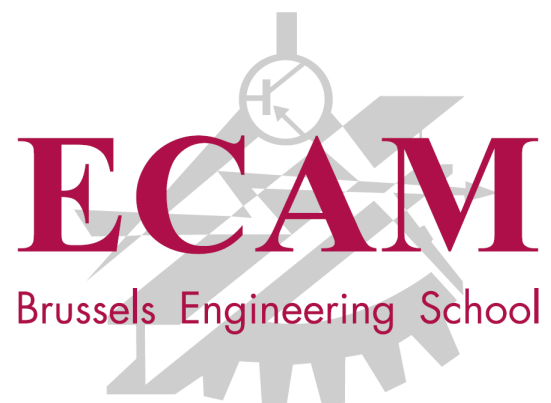


Table des matières

1	Séance 1 : Identification	2
1.1	Introduction	2
1.2	Système	2
1.2.1	Entrées - Sorties	2
1.2.2	Linéarisation du système	2
1.3	Modélisation vs. identification	3
1.3.1	La modélisation	3
1.3.2	L'identification	3
1.4	Essai indiciel	3
1.4.1	Description et conditions de l'essai	3
1.4.2	Modèle de Broïda	4
1.4.3	Modèle de Vander Grinten	5
1.4.4	Modèle de Stejc	5
1.4.5	Optimisation des modèles	5
1.5	Observations	6
1.6	Synthèse de régulateur par la méthode de Chien - Hrones - Reswick	6
2	Séance 2 : Etude du régulateur PID	8
2.1	Introduction	8
3	Séance 3 : Feed-Forward	9
3.1	Introduction	9
4	Séance 4 : Internal Model Control	10
4.1	Introduction	10

1 Séance 1 : Identification

1.1 Introduction

Une bonne régulation ne peut se faire sans un bon modèle

Les régulateurs sont destinés à opérer sur des systèmes physiques. Les réponses qu'ils doivent fournir pour une bonne régulation s'appuient sur leur synthèse et les paramètres qui en découlent. Ces paramètres doivent correspondre au plus près à la réalité physique du système. Cette réalité est exprimée au travers du modèle mathématique associé à ce dernier. Ce modèle correspond à la fonction de transfert du système, autrement dit à la relation liant son (ses) entrée(s) à sa (ses) sortie(s).

1.2 Système

Dans le cadre de ce laboratoire, le système que nous allons étudier est un canon à chaleur didactique 'LTR700'. Il est constitué d'une résistance chauffante, d'un ventilateur et d'une sonde de température à la sortie. De plus, le système possède deux mécanismes permettant d'introduire des perturbations :

1. Un clapet pouvant modifier l'entrée d'air du canon
2. Un switch permettant de court-circuiter une partie de la résistance

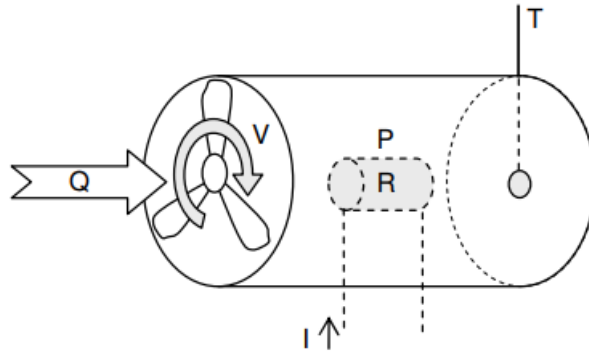


FIGURE 1 – Schéma du système

1.2.1 Entrées - Sorties

L'entrée u du système correspond au courant i injecté dans la résistance, directement lié à la puissance thermique dissipée à l'intérieur du canon ($P = R \cdot I^2$).

La sortie y du système, quant à elle, correspond à la température de l'air T° mesuré à la sortie du canon à l'aide d'une sonde de température 'PT100'.

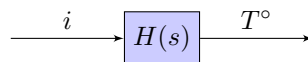


FIGURE 2 – Schéma bloc

1.2.2 Linéarisation du système

Le système n'est pas linéaire puisque, premièrement, l'équation de la puissance en fonction du courant ($P = R \cdot I^2$) introduit déjà un exposant d'ordre 2. Deuxièmement, l'échange de chaleur entre la résistance et l'air se fait par convection, mais également par rayonnement ($P = \epsilon S \sigma T^4$), ce qui introduit des termes de puissance 4.

Il faut donc linéariser le système. On travaillera en petite variations afin que l'hypothèse de linéarité soit valide.

1.3 Modélisation vs. identification

Avant de pouvoir réguler le système, il nous faut trouver un modèle dynamique fiable du système, qui nous permettra de savoir ou estimer comment le système réagira aux variations de ses entrées.

Il existe deux méthodes principales pour trouver le modèle dynamique d'un système :

1.3.1 La modélisation

La modélisation, consiste à utiliser les équations différentielles régissant le système. On peut ainsi trouver la fonction de transfert en exprimant la relation des sorties aux entrées dans le domaine de Laplace. La modélisation d'un système nécessite cependant de connaître toutes les équations différentielles, ainsi que leurs coefficients. Ceci n'est pas toujours facile, ni même possible. Dans ce cas, nous pourrions avoir recours à des méthodes d'identification du système par voie expérimentale.

1.3.2 L'identification

L'identification d'un système consiste à le considérer comme une boîte noire et à réaliser des mesures pertinentes sur celui-ci afin de pouvoir en déduire sa fonction de transfert. Une mesure qui est souvent réalisée afin d'identifier le système est la réponse indicielle. Elle consiste à mettre un échelon en entrée et mesurer la sortie. À partir de la réponse, il est possible d'approximer la fonction de transfert du système.

C'est ce que nous allons faire durant cette séance. Les objectifs de cette première séance consiste à comparer trois méthodes de modélisations différentes pour le système physique, de trouver un modèle optimal en exécutant une routine d'optimisation dans Matlab et finalement de synthétiser par méthode directe un régulateur PID (méthode de Chien-Hrones-Reswick).

1.4 Essai indiciel

1.4.1 Description et conditions de l'essai

Dans le but de déterminer la fonction de transfert du système, nous allons donc appliquer un échelon à celui-ci.

Le système étant d'un degré supérieur à un, nous allons travailler autour d'un point de fonctionnement pour pouvoir considérer la réponse du système linéaire sur cet intervalle. Ce point de fonctionnement est 50% de la température et donc un intervalle égal à $[45\% - 55\%]$

L'échelon sera appliqué sur la totalité de la plage. Le système étant considéré comme linéaire, la raison de ce choix n'est pas d'augmenter la précision d'une approximation, mais plutôt de minimiser l'erreur induite par le bruit. En effet, un échelon plus grand permet de réduire le ratio signal/bruit.

Condition de l'essai

- Le système didactique LTR700 utilisé est le numéro 3
- Position du clapet - Ouvert
- Position de l'interrupteur de perturbation - 0

Identification

- Mode régulateur - MANU
- Échelon de température de l'air- de 45% à 55% - $\Delta = 10\%$
- Mesure de la température de l'air en sortie de 39.5% à 49.5% - $\Delta = 10\%$

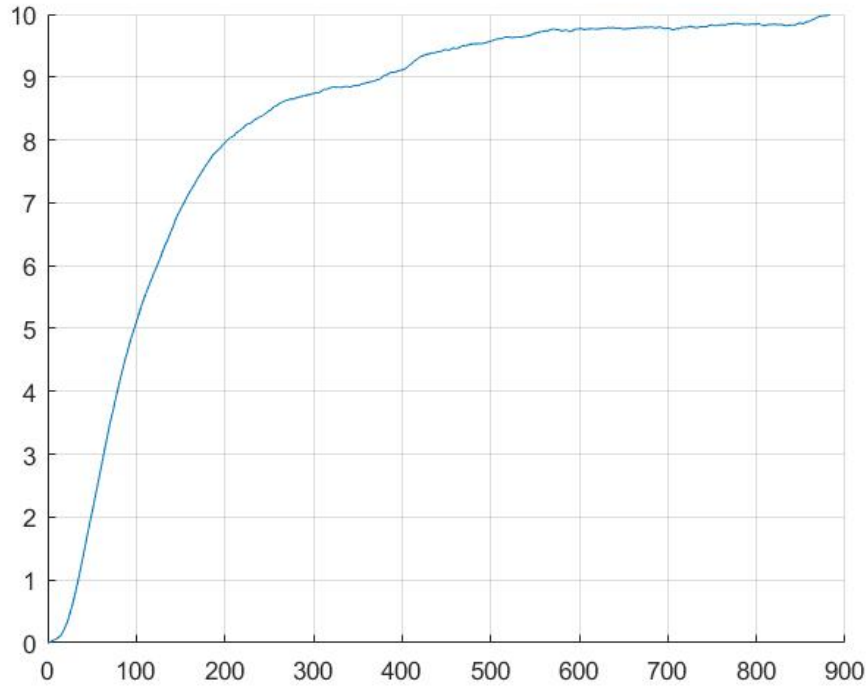


FIGURE 3 – Réponse indicielle du système

- On trouve la valeur de a graphiquement grâce à la formule $a = \frac{a'}{\Delta y} = \frac{2.52}{9.78} = 0.2577$
- T_U est trouvé graphiquement et vaut 20.83
- T_G est trouvé graphiquement et vaut 145.83
- T_1 est trouvé graphiquement et vaut 58.33
- T_2 est trouvé graphiquement et vaut 75

Les graphiques manuelles utilisés pour déterminer ces constantes se trouvent en annexe.

- Gain statique $k = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{13.0}{13.04} = 0.970$

1.4.2 Modèle de Broïda

On modélise la fonction de transfert d'un système d'ordre n à l'aide d'un modèle du premier ordre combinée à un retard pur

$$H_B(s) = \frac{K}{1 + Ts} * e^{-T_m s} \quad (1)$$

où

- K est le gain statique [sans unité]
- T est la constante de temps [s]
- T_m est le temps mort [s]

Pour notre système nous obtenons suivant les formules et les valeurs trouvées graphiquement

- $T = 5.5(t_2 - t_1) = 5.5(75 - 58.33) = 91.685$
- $T_m = 2.8t_1 - 1.8t_2 = 2.8 * 58.33 - 1.8 * 75 = 28.324$

Ce qui donne

$$H_B(s) = \frac{0.970}{1 + 91.685s} * e^{-28.324s} \quad (2)$$

1.4.3 Modèle de Vander Grinten

Modélisation du système grâce à un modèle du second ordre avec deux pôles distincts et un temps mort

$$H_V(s) = \frac{Ke^{-sT_m}}{(sT_1 + 1)(sT_2 + 1)} \quad (3)$$

où

- K est le gain statique [sans unité]
- T_1 est la première constante de temps [s]
- T_2 est la deuxième constante de temps [s]
- T_m est le temps mort [s]

Pour notre système nous obtenons suivant les formules et les valeurs trouvées graphiquement

- $T_1 = T_G \frac{3ae-1}{1+ae} = 145.83 \frac{3*0.2577*e-1}{1+0.2577*e} = 94.445$
- $T_2 = T_G \frac{1-ae}{1+ae} = 145.83 \frac{1-0.2577*e}{1+0.2577*e} = 25.693$
- $T_m = T_U \frac{T_1 T_2}{T_1 + 3T_2} = 20.83 \frac{94.445*25.693}{94.445+3*25.693} = 6.683$

1.4.4 Modèle de Stejc

Ce modèle identifie un ordre n quelconque à condition d'avoir tous les pôles identiques

$$H_S(s) = \frac{Ke^{-sT_m}}{(sT + 1)^n} \quad (4)$$

où

- K est le gain statique [sans unité]
- T est la constante de temps [s]
- T_m est le temps mort [s]
- n est l'ordre du modèle

Pour notre système, les valeurs calculées pour définir les paramètres du modèle de Stejc sont

- $\frac{T_U}{T_G} = \frac{20.83}{145.83} = 0.143$
- $\frac{T_G}{T} = \frac{145.83}{91.685} = 1.591$ Avec $T = 5.5(t_2 - t_1) = 5.5(75 - 58.33) = 91.685$?

L'ordre est alors déterminé en fonction du tableau fournis dans les notes de laboratoires

Ordre(n)	Tu/Tg	Tg/T
1	0	1
2	0,1	2,72
3	0,22	3,69
4	0,32	4,46
5	0,41	5,12
6	0,49	5,7
7	0,57	6,23

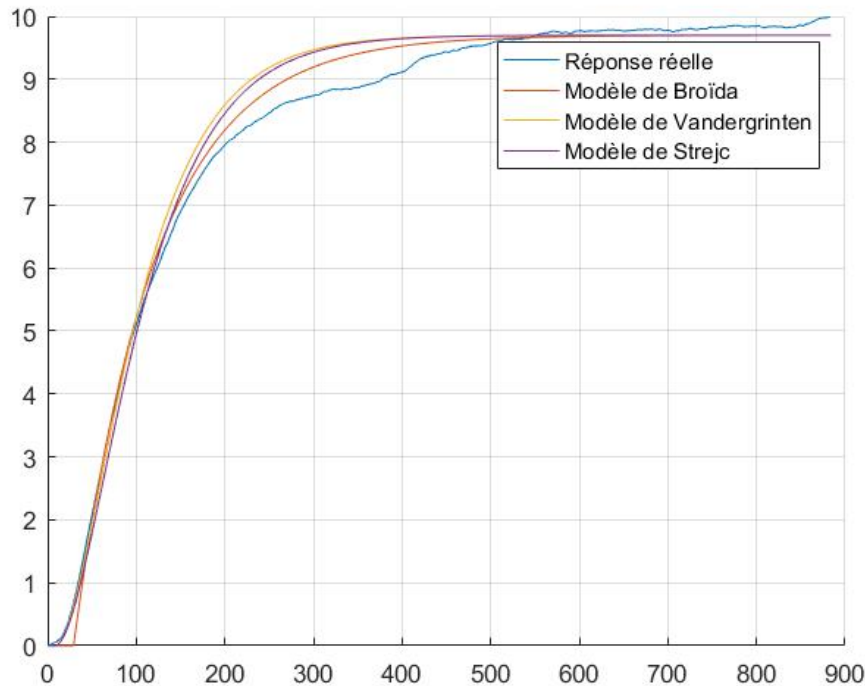
Remarque : Dans le cas où les valeurs calculée tombent entre les valeurs énoncées dans le tableau, on prendra la valeur inférieure pour définir l'ordre. En effet, la courbe correspondante à l'ordre inférieure pourra être rectifiée avec un temps mort pur pour se rapprocher de la courbe réelle, au contraire de la courbe correspondante à l'ordre supérieur.

1.4.5 Optimisation des modèles

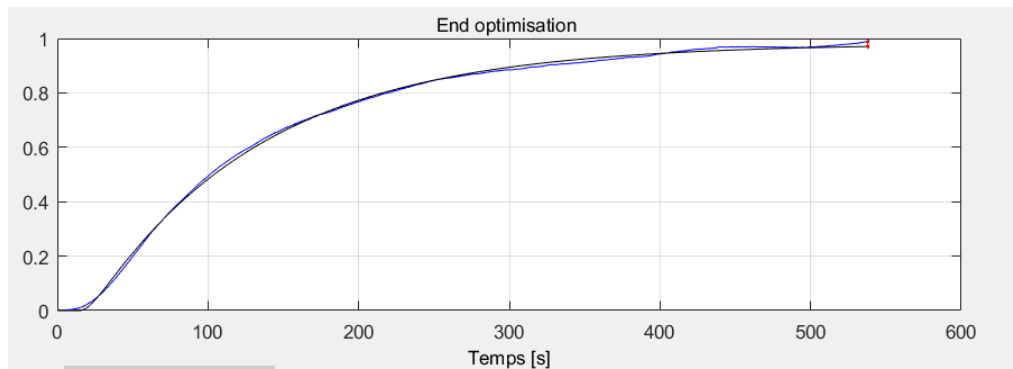
L'objectif de cette méthode est de trouver un modèle optimal par recherche algorithmique par fonction de coût. Les modèles trouvés précédemment sont donc améliorés par la routine `fminsearch` de MATLAB.

1.5 Observations

Les 3 courbes des modèles utilisés pour modéliser le système sont reprises ci-dessous



A l'aide de la fonction matlab d'optimisation, nous avons déterminé un modèle idéal et ses paramètres associés pour le système étudié



De cette optimisation découle 4 paramètres :

- $K_P = 0.98$
- $T_1 = 114.74$
- $T_2 = 7.12$
- $T_m = 14.97$

1.6 Synthèse de régulateur par la méthode de Chien - Hrones - Reswick

La méthode de Chien - Hrones - Reswick est une méthode de synthèse directe de régulateur PID. Le type de régulateur (P, PI ou PID) est choisi en fonction de la réglabilité du système étudié et ses paramètres sont ensuite calculés en fonction des constantes de temps observées.

- Réglabilité $\rho = \frac{T_G}{T_U} = \frac{145.83}{20.83} = 7.001$
Selon les critères de la méthode, le régulateur adapté est un régulateur PI ($10 > \rho \geq 7$)
On trouve alors

$$\begin{aligned}
- K_{BO} &= \frac{\rho}{2.9} = \frac{7.001}{2.9} = 2.414 \\
- K_r &= \frac{K_{BO}}{K_s} = \frac{2.414}{0.97} = 2.489 \\
- T_i &= 1.2T_G = 1.2 * 145.83 = 174.996
\end{aligned}$$

Si on impose de travailler avec un régulateur PID on trouve alors

$$\begin{aligned}
\bullet K_{BO} &= \frac{\rho}{1.7} = \frac{7.001}{1.7} = 4.118 \\
\bullet K_r &= \frac{K_{BO}}{K_s} = \frac{4.118}{0.97} = 2.245 \\
\bullet T_i &= T_G = 145.83 \\
\bullet T_d &= (0.5...1)T_U = (0.5...1) * 20.83 = \\
\bullet T_f &= \frac{T_d}{10...20} =
\end{aligned}$$

2 Séance 2 : Etude du régulateur PID

2.1 Introduction

3 Séance 3 : Feed-Forward

3.1 Introduction

4 Séance 4 : Internal Model Control

4.1 Introduction