



Laboratoire 6

Commandes industrielles - GEL-4100

présenté à

M. Éric Poulin

<i>matricule</i>	<i>nom</i>
910 055 897	Daniel Thibodeau
910 097 879	Francis Valois

Université Laval

11 décembre 2013

RAPPORT

Ce laboratoire vise à concevoir une boucle de régulation dans le domaine discret et à valider la réalisation par une expérimentation pratique au laboratoire.

1.1 Préparation

Le procédé à analyser est présenté à l'équation suivante :

$$G_p(s) = \frac{1}{(22s + 1)(5s + 1)} \quad (1.1)$$

Il est nécessaire d'y inclure la présence du bloqueur d'ordre 0 :

$$G_{BOZ}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \quad (1.2)$$

La période d'échantillonnage (T) est égale à 4 secondes. Le développement nécessaire à la détermination de la transformée en z est le suivant :

$$\overline{G_{BOZ}G_p}(z) = \mathcal{Z}\{G_{BOZ}\} \cdot \mathcal{Z}\{G_p\} \quad (1.3)$$

$$\overline{G_{BOZ}G_p}(z) = \mathcal{Z}\left\{\frac{1 - e^{Ts}}{s}\right\} \cdot \mathcal{Z}\left\{\frac{\frac{1}{5 \cdot 22}}{(s + 1/22)(s + 1/5)}\right\} \quad (1.4)$$

$$\overline{G_{BOZ}G_p}(z) = \left(\frac{z - 1}{z}\right) \mathcal{Z}\left\{\frac{\frac{1}{5 \cdot 22}}{s(s + 1/22)(s + 1/5)}\right\} \quad (1.5)$$

$$\overline{G_{BOZ}G_p}(z) = \left(\frac{z - 1}{z}\right) \mathcal{Z}\left\{\frac{0.05882}{s(s + \frac{1}{22})} - \frac{0.05882}{s(s + \frac{1}{5})}\right\} \quad (1.6)$$

$$\overline{G_{BOZ}G_p}(z) = \frac{-0.05882 \cdot 5(1 - e^{\frac{-4}{5}})}{(z - e^{\frac{-4}{5}})} + \frac{0.05882 \cdot 22(1 - e^{\frac{-22}{5}})}{(z - e^{\frac{-22}{5}})} \quad (1.7)$$

$$\overline{G_{BOZ}G_p}(z) = \frac{0.05318z + 0.03837}{(z - 0.4493)(z - 0.8338)} \quad (1.8)$$

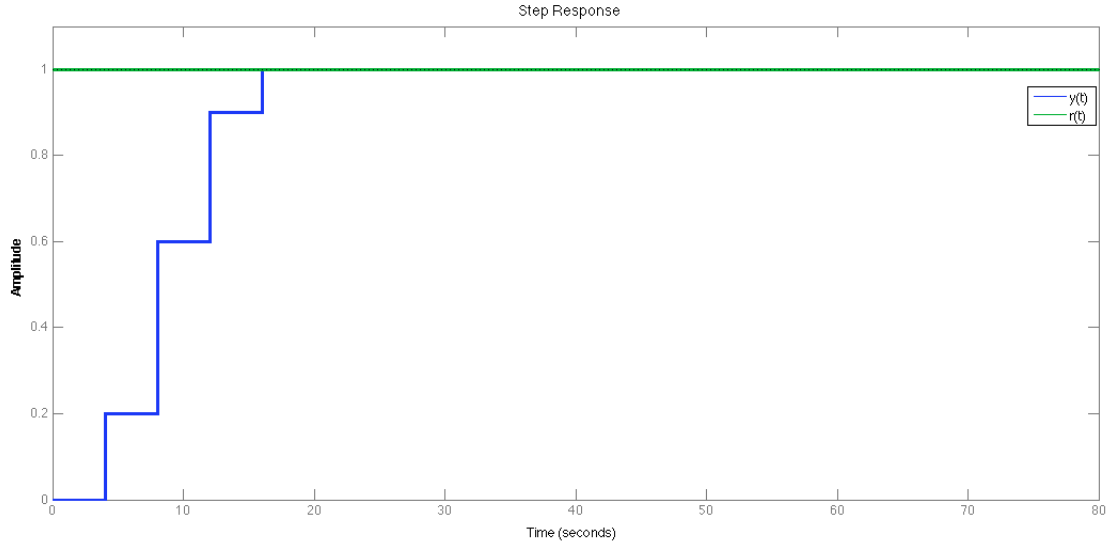


Figure 1.1 – Réponse du système $G_p(s)$ pour un échelon de consigne unitaire lorsque régulé au moyen de $G_c(z)$

On exprime $H(z)$ comme une fonction de z positifs. Il est possible de déterminer la fonction $H(z)$ à partir des données présentées dans le problème.

$$y(k) = 0.2r(k-1) + 0.4r(k-2) + 0.3r(k-3) + 0.1r(k-4) \quad (1.9)$$

$$\frac{Y(z)}{R(z)} = 0.2z^{-1} + 0.4z^{-2} + 0.3z^{-3} + 0.1z^{-4} \quad (1.10)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{0.2z^3 + 0.4z^2 + 0.3z^1 + 0.1}{z^4} \quad (1.11)$$

On vérifie que $H(z=1)$ est bel et bien à gain unitaire. Connaissant $\overline{G_{BOZ}G_p}(z)$ et $H(z)$, il est possible de déterminer le régulateur $G_c(z)$ nécessaire selon l'équation présentée ci-dessous :

$$G_c(z) = \frac{N_H(z)}{(D_H(z) - N_H(z))} \cdot \frac{1}{\overline{G_{BOZ}G_p}(z)} \quad (1.12)$$

Il est possible de déterminer le régulateur à partir des paramètres déterminés précédemment :

$$G_c(z) = \frac{0.2z^3 + 0.4z^2 + 0.3z^1 + 0.1}{z^4 - 0.2z^3 - 0.4z^2 - 0.3z^1 - 0.1} \cdot \frac{(z - 0.4493)(z - 0.8338)}{0.05318z + 0.03837} \quad (1.13)$$

On vérifie au moyen de la figure 1.1 que le régulateur a exactement la réponse de la fonction de transfert désirée lorsqu'on applique un échelon de consigne unitaire.

1.2 Expérimentation

Afin de corriger les paramètres théoriques du régulateur déterminé lors de la préparation, il est nécessaire de procéder à un essai d'identification du procédé analogique. La figure 1.2 présente la réponse obtenue à un échelon unitaire de de consigne. Au moyen de ident, le procédé continu a été identifié comme le procédé suivant :

$$G_p(s) = \frac{1.0182}{(14.2776s + 1)(3.2146s + 1)} \quad (1.14)$$

Selon ident, le procédé identifié possède une corrélation de 99.67% avec le modèle.

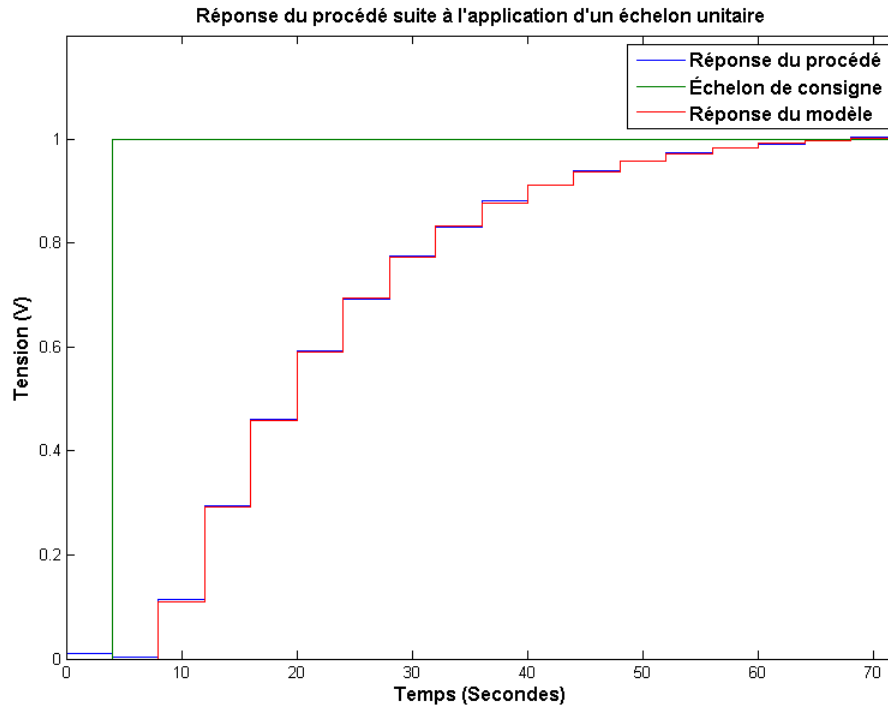


Figure 1.2 – Comparaison de la réponse à un échelon unitaire du procédé analogique discrétisé avec un temps d'échantillonnage de 4 secondes et du modèle déterminé au moyen de ident

Le temps d'échantillonnage étant de 4 secondes, il est possible d'effectuer la conversion vers le domaine discret directement dans matlab. Le procédé numérique résultant est présenté

ci-dessous :

$$G_p(z) = \frac{0.1105z + 0.06664}{z^2 - 1.044z + 0.2177} \quad (1.15)$$

Comme le procédé est différent de celui déterminé lors de la préparation, il est nécessaire de recalculer le régulateur numérique. Il est possible d'employer exactement le même développement que précédemment :

$$G_c(z) = \frac{0.2z^3 + 0.4z^2 + 0.3z^1 + 0.1}{z^4 - 0.2z^3 - 0.4z^2 - 0.3z^1 - 0.1} \cdot \frac{z^2 - 1.044z + 0.2177}{0.1105z + 0.06664} \quad (1.16)$$

Le schéma bloc du système d'asservissement numérique est présenté à la figure 1.3 et a été réalisé de manière pratique dans le laboratoire. Afin de valider les performances, nous avons procédé à deux essais de validation, soit un essai avec un échelon unitaire et un essai avec un échelon de quatre. Les comparaisons entre les performances obtenues avec le modèle théorique et le prototype expérimental sont présentées aux figures 1.4 et 1.5 pour les essais avec un échelon unitaire et un échelon de quatre respectivement.

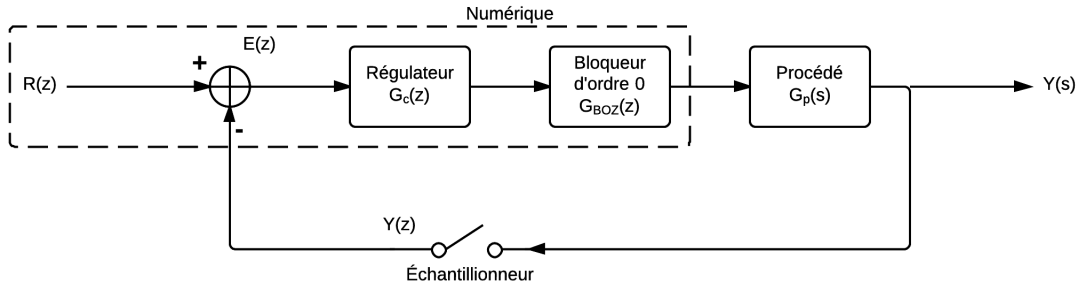


Figure 1.3 – Schéma bloc du système d'asservissement numérique du procédé analogique

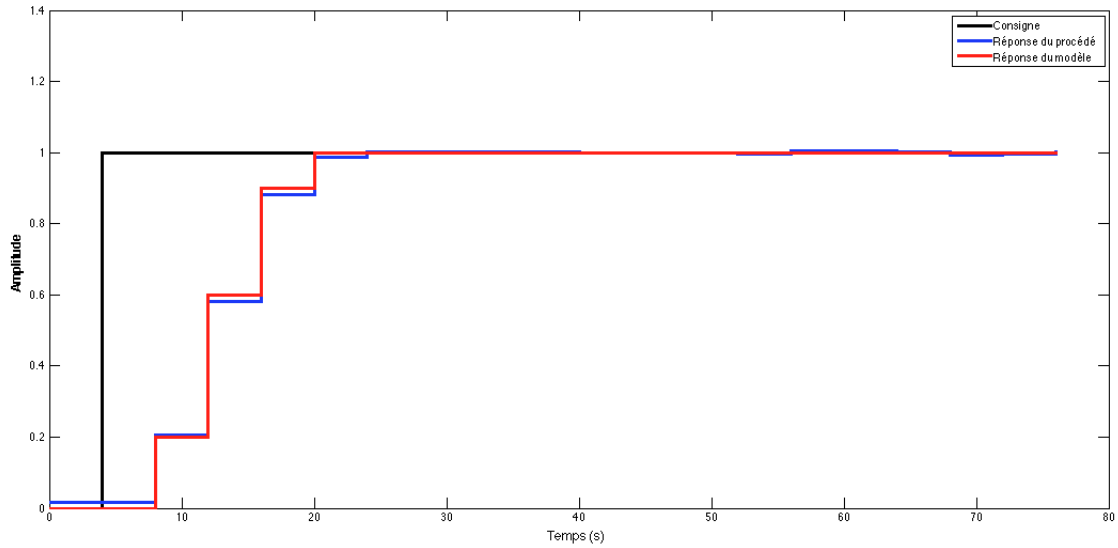


Figure 1.4 – Résultats de l'essai de validation des performances au moyen d'un échelon unitaire sur le procédé analogique discrétisé avec un temps d'échantillonnage de 4 secondes.

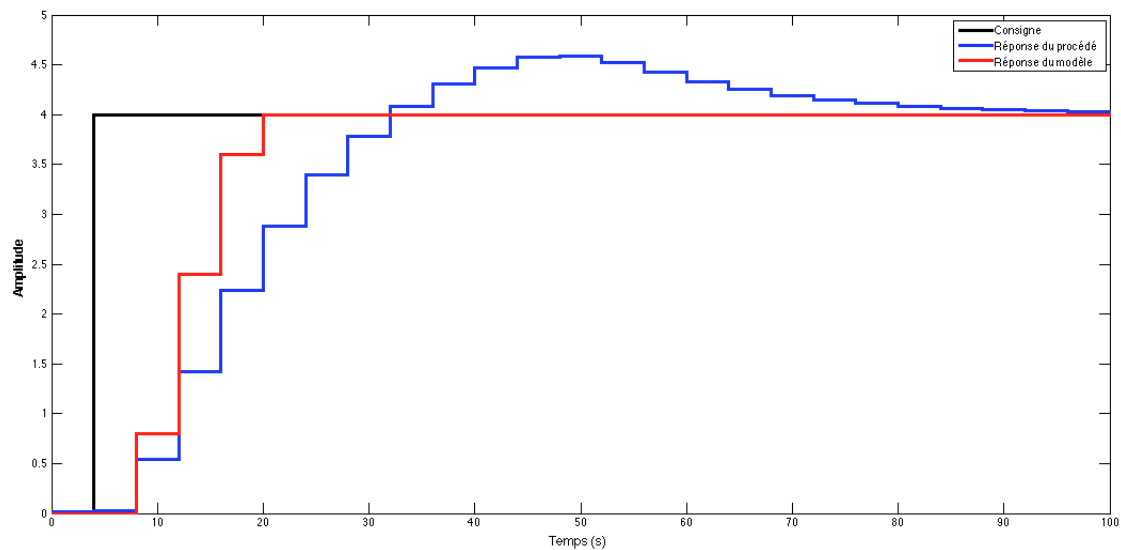


Figure 1.5 – Résultats de l'essai de validation des performances au moyen d'un échelon de 4 sur le procédé analogique discrétisé avec un temps d'échantillonnage de 4 secondes.

1.3 Discussion des résultats

Au moyen de l'essai d'identification du modèle présenté à la figure 1.2 il est possible de constater que la corrélation est excellente et que la représentation du modèle analogique discrétisé est juste et suffisamment précise pour fins de calculs. La méthode de calcul employée lors de la préparation nous a permis d'effectuer une modification du régulateur à appliquer au système au moyen de modifications mineurs. Il s'agit ici de l'avantage de la synthèse directe, qui permet, lorsqu'on travaille dans le domaine discret, de fournir une méthode de réglage efficace lorsque le procédé à réguler change. Cette méthode requiert moins de traitement que la méthode dans le domaine continu et l'application est directe.

Au moyen de l'essai réalisé au moyen d'un échelon unitaire, présenté à la figure 1.4, on remarque que l'erreur entre la réponse réelle et la réponse du modèle est pratiquement négligeable et inférieure à 3% en tout temps. Dans les plages prévues dans la conception du régulateur, on remarque que la synthèse directe nous fournit un régulateur remplissant la réponse en boucle fermée demandée. Cependant, lorsqu'on emploie un échelon n'étant pas unitaire, on remarque, à la figure 1.5, qu'il y a un fort dépassement causé par le régulateur. On constate donc que le procédé n'est pas linéaire et qu'il faudrait modifier les paramètres du régulateurs pour atteindre la réponse demandée. Il est à noter que l'erreur causée par le dépassement atteint les 15%. On en retient que la synthèse directe fournit un régulateur remplissant la fonction de transfert demandée en boucle fermée, cependant, le procédé ne doit rester linéaire si on veut éviter une erreur de modélisation et un comportement indésirable du régulateur.