



## 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 :

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

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

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

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

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

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

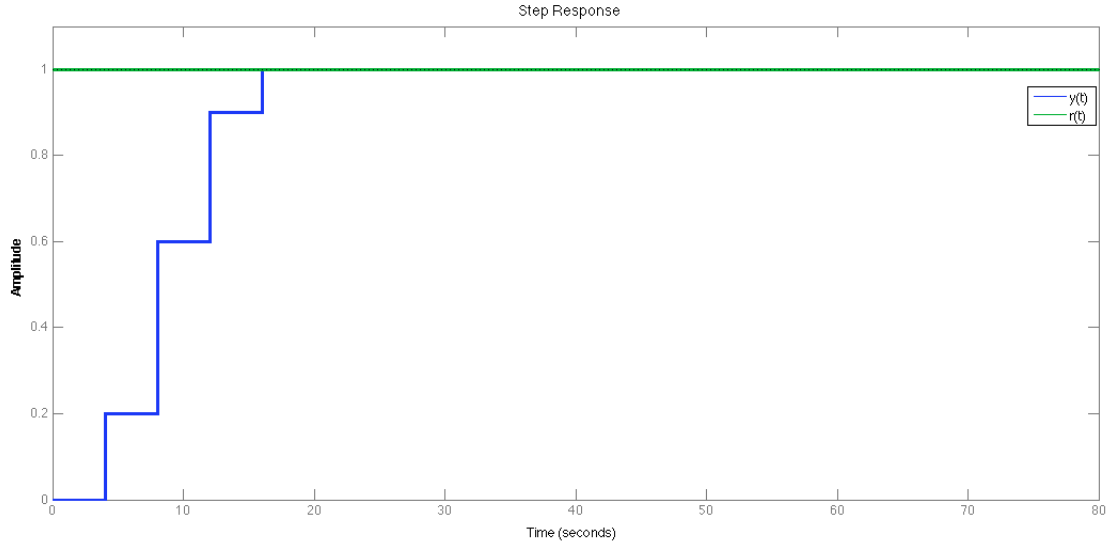


Figure 1.1 – Réponse du système  $G_p(s)$  pour un échelon de consigne unitaire lorsque régulé au moyen de  $G_c(z)$

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.

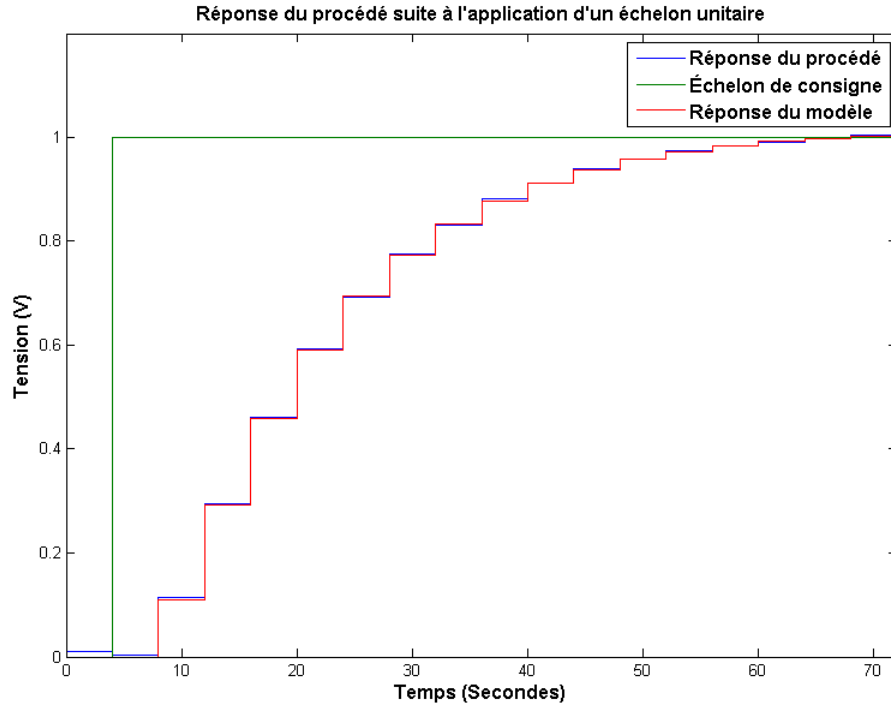


Figure 1.2 – Schéma bloc du système d'asservissement numérique du procédé analogique

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.

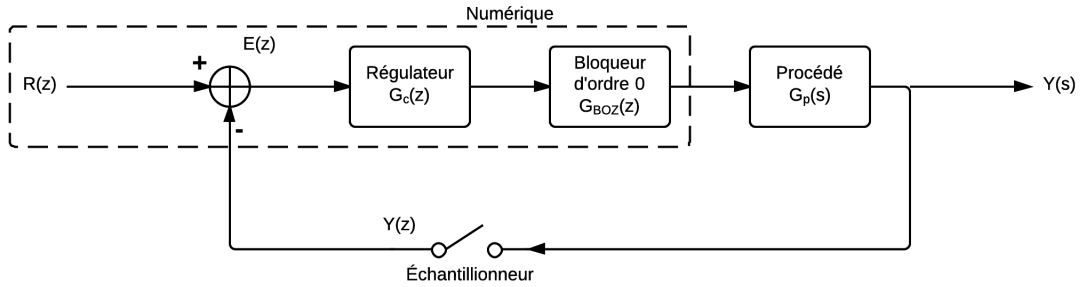


Figure 1.3 – Schéma bloc du système d'asservissement numérique du procédé analogique

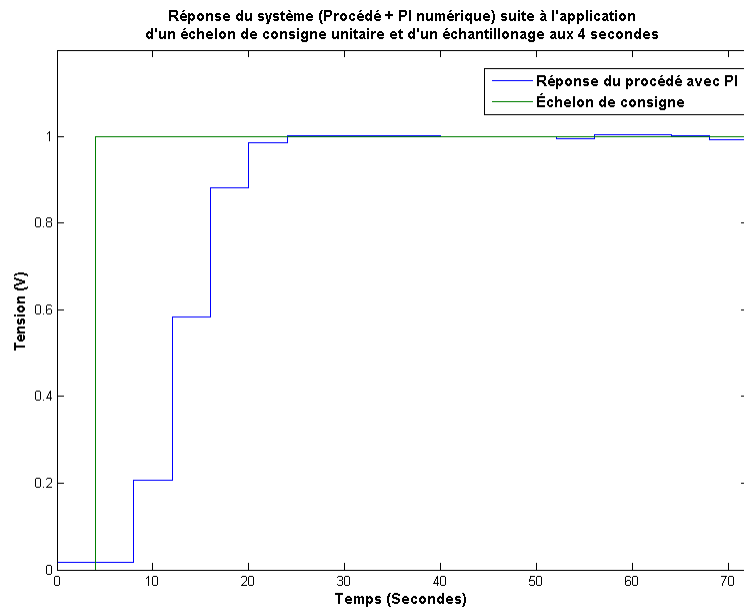


Figure 1.4 – Schéma bloc du système d'asservissement numérique du procédé analogique

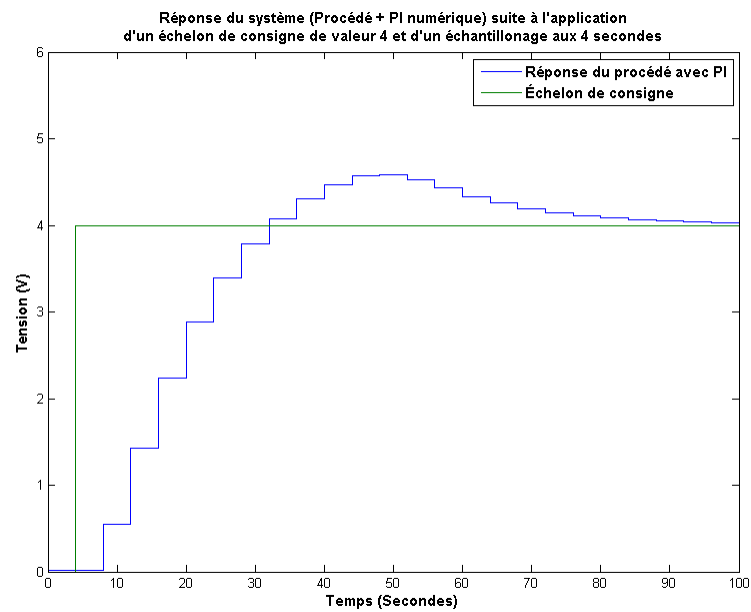


Figure 1.5 – Schéma bloc du système d'asservissement numérique du procédé analogique