

# Rapport de Laboratoire - Control Theory

Nicolas Jurquet (21211) - Xavier Allaud(21151)

March 2024

## 1 Introduction

Le but de ce rapport est d'expliquer le processus de conception d'un régulateur PID avec une boucle de rétroaction en utilisant un kit TCLab. Pour se faire, il faudra identifier la dynamique d'entrée/sortie du système afin de construire un modèle de celui-ci. Sur base de ce modèle, il sera possible d'implémenter un PID discret qu'il faudra ensuite optimiser puis tester en conditions réelles.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Identification de la Dynamique</b>	<b>2</b>
2.1	Processus $P(s)$	2
2.2	Perturbation $D(s)$	3

## 2 Identification de la Dynamique

### 2.1 Processus $P(s)$

Application d'un step  $X(s) = \frac{1}{s}$  lorsque le système se situe en régime établi pour analyser la "step response"  $Y(s) = \frac{P(s)}{s}$ .

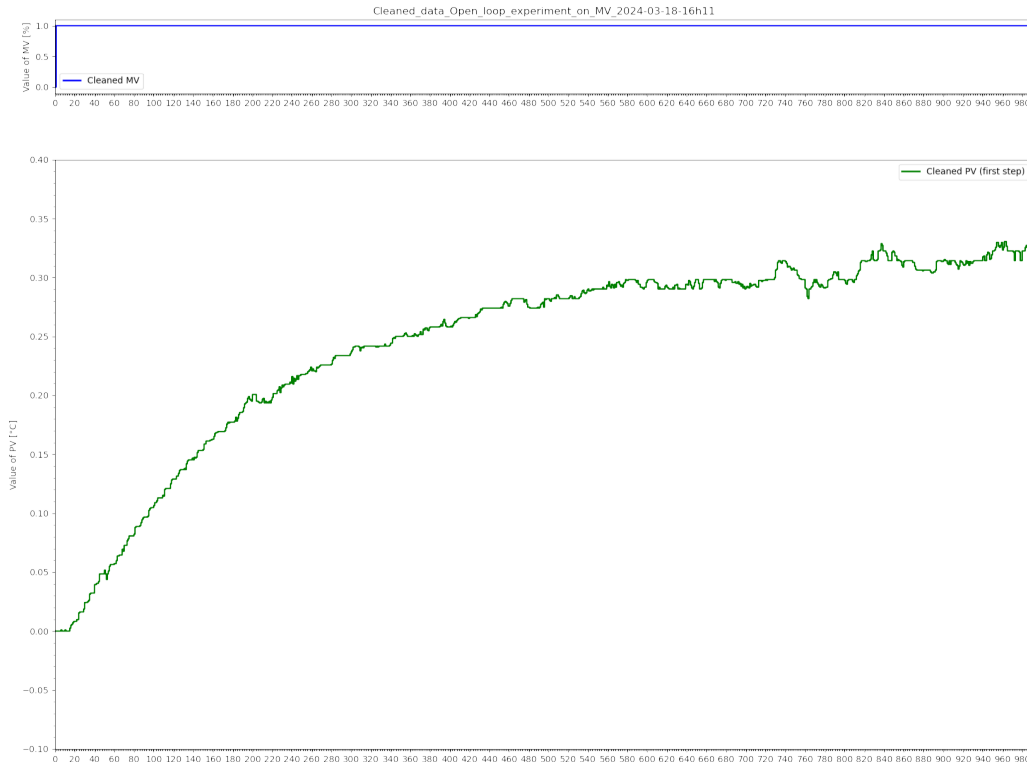


FIGURE 1 – Réponse à un step sur MV

1. Le graphique (1) obtenu permet (presque) d'affirmer que le processus est un système du 1<sup>e</sup> ordre avec un délai. L'allure de la "step response" est donc  $y(t) = K_p(1 - e^{-t/T})u(t)$ .
2. Le but est maintenant d'obtenir les paramètres de la fonction de transfert du processus  $P(s)$  ce qui permettra de prédire  $Y(s)$  pour n'importe quel  $X(s)$  puisque  $Y(s) = P(s) \cdot X(s)$  ou  $PV = P(s) \cdot MV$ . Pour se faire, on utilise une fonction de minimisation d'erreur :

```
minimize(FOPDT_cost,  
        p0,args=(MVm,PVm,Ts,  
                (fig,ax1,l1,l2)),  
        method='Powell',  
        bounds=bnds,  
        options={'maxiter': maxIter})
```

Où  $p0$  contient les points de départ d'optimisation pour les paramètres  $K_p$ ,  $T$  et  $\theta$ . La fonction de minimisation va faire varier ces paramètres afin que la fonction de coût,  $FOPDT\_cost$ , renvoie la valeur la plus basse possible.

$FOPDT\_cost$  :

```
for i in range(0,len(MV)):  
    t.append(i*Ts) #calcule le temps correspondant au point actuel  
    ↪ de la donnée en se basant sur la période de sample
```

```

MVTemp.append(MV[i]) #itère sur la longueur du vecteur d'entrée

Delay_RT(MVTemp,theta,Ts,MVDelay) #application d'un délai à MV
FO_RT(MVDelay,Kp,T,Ts,PVSim) #On applique un délai au premier ordre via le
↪ délai appliqué à MV puis on calcule un point du vecteur de sortie à
↪ chaque itération
objective = objective + (PV[i] - PVSim[i])**2 #on ajoute le carré de
↪ l'erreur actuel à la somme des carré des erreurs précédentes

```

Le fichier `Identification.ipynb` permet de trouver les valeurs estimées de  $K_P$ ,  $T_{1p}$ ,  $T_{2p}$  et  $\theta_p$  qui vont par après nous servir à modéliser le Processus et la Perturbation de façon optimale, ainsi que les différentes méthodes d'approximations des modèles du 1<sup>e</sup> et 2<sup>e</sup> ordre.

Pour notre réponse du Processus, nous obtenons les valeurs suivantes pour un modèle du 2<sup>e</sup> ordre :

$$\begin{aligned}
K_P &= 0.308 \\
T_{1p} &= 183.819 \text{ s} \\
T_{2p} &= 3.292 \cdot 10^{-12} \text{ s} \\
\theta_p &= 20.015 \text{ s}
\end{aligned}$$

Et les valeurs suivantes pour un modèle du 1<sup>er</sup> ordre :

$$\begin{aligned}
K_P &= 0.314 \\
T_p &= 206.264 \text{ s} \\
\theta_p &= 12.999 \text{ s}
\end{aligned}$$

On remarque directement que  $T_{2p}$  est négligeable par rapport à  $T_{1p}$ , et permet donc de confirmer que le processus agit comme un système du 1<sup>er</sup> ordre avec délai :

$$\hat{P}(s) = \frac{K_P e^{-\theta_p s}}{(T_{1p}s + 1)(T_{2p}s + 1)} \approx \frac{K_P e^{-\theta_p s}}{T_{1p}s + 1} \quad (1)$$

## 2.2 Perturbation D(s)

Nous appliquons maintenant un step sur DV pour observer la réponse du système à une perturbation.

Étant donné l'allure du graphe (2), et en particulier le point d'inflexion aux alentours de 80 secondes, nous pouvons estimer que la perturbation se comporte comme un système du 2<sup>e</sup> ordre avec délai de la forme :

$$\hat{D}(s) = \frac{K_D e^{-\theta_d s}}{(T_{1d}s + 1)(T_{2d}s + 1)} \quad (2)$$

En effet, nous obtenons grâce au fichier `Identification.ipynb`, les valeurs suivantes pour un modèle du 2<sup>e</sup> ordre :

$$\begin{aligned}
K_D &= 0.295 \\
T_{1d} &= 182.255 \text{ s} \\
T_{2d} &= 13.184 \text{ s} \\
\theta_d &= 28.999 \text{ s}
\end{aligned}$$

Et les valeurs suivantes pour un modèle du 1<sup>er</sup> ordre :

$$\begin{aligned}
K_D &= 0.296 \\
T_d &= 184.880 \text{ s} \\
\theta_d &= 40.136 \text{ s}
\end{aligned}$$

Les valeurs obtenues pour  $T_{1d}$  et  $T_{2d}$  nous permettent de confirmer que la perturbation est un système du 2<sup>e</sup> ordre.

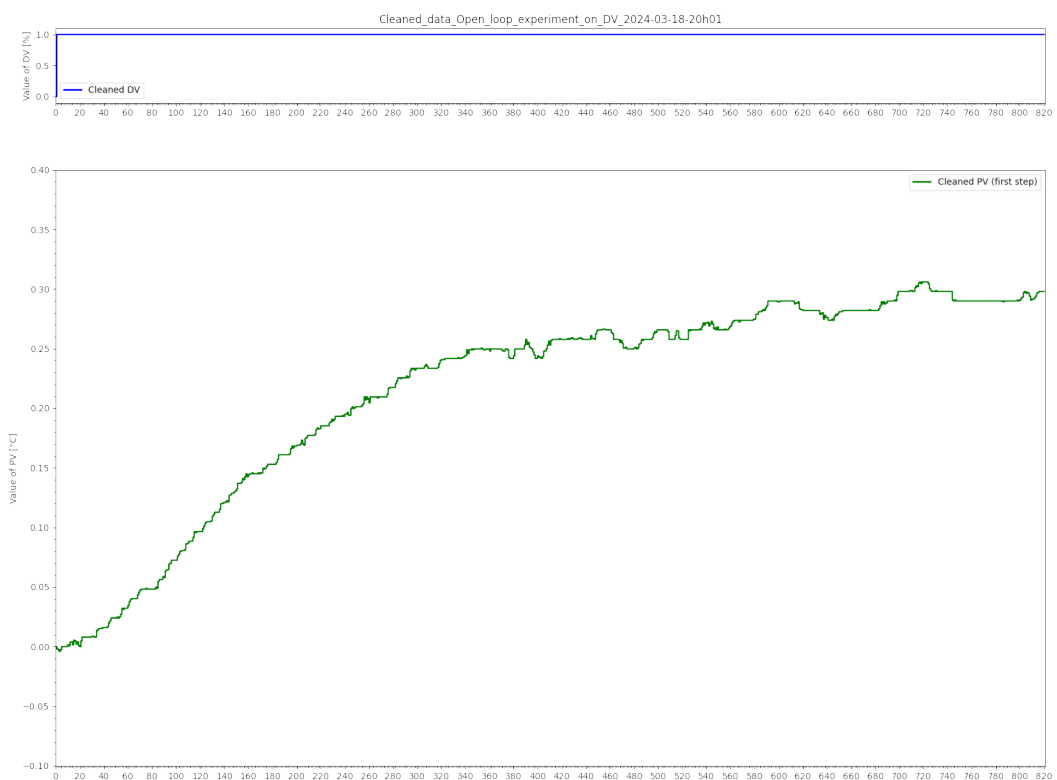


FIGURE 2 – Réponse à un step sur DV