

# Outils Logiciels Semestre 2

## TP : Introduction à l'automatique

Auteur : N. Boizot

2020-2021

---

**Important.** Ce sujet de TP est prévu pour durer 4 séances de TP du module *Outils Logiciels II*.

Vous devrez rendre un **rapport de TP (un rapport par binôme)**. Vous aurez **une semaine après le dernier TP** pour finaliser votre rapport.

---

**Objectif du TP :** ce TP est une initiation aux problématiques de l'automatique (ou de la régulation) à travers la mise en place d'une régulation de position angulaire simple. Il fait appel aux notions que vous avez vu lors des cours, TDs et TP d'*outils logiciels 2*.

Le système considéré est un moteur à courant continu de chez *Pololu* muni d'un réducteur et d'un encodeur incrémental.

Le signal d'entrée sera une quantité sans dimension et celui de sortie sera une mesure de position angulaire exprimée en degrés. Une mesure de la vitesse de rotation (en tours par minute) sera aussi disponible.

Le mode d'emploi de la maquette pédagogique utilisée dans ce TP est disponible sur moodle. L'interface entre la maquette et le PC se fait à travers le logiciel *Matlab*<sup>1</sup>, la partie étude sera réalisée sous *Mathcad*.

## 1 Prise en main de la maquette.

### 1.1. Première prise de données

En suivant le *mode d'emploi de la maquette* disponible en téléchargement sur moodle, réalisez une série d'expériences (en boucle ouverte) qui vous permettront de récupérer un (ou plusieurs) fichiers de données.

*Remarque : afin de pouvoir conserver un fichier de données en particulier, n'oubliez pas de le renommer. En effet, toute nouvelle expérience ré-écrit le fichier précédent.*

### 1.2. Manipulation des données sous Mathcad

Importez les données dans Mathcad. Ceci vous permettra de tracer les graphes de la réponse indicielle du système étudié. Un *tutoriel* est disponible en téléchargement sur moodle.

---

1. Vous n'avez pas réellement besoin de savoir utiliser ce logiciel-ci.

## 2 Identification de la dynamique du système

En automatique, l'**identification** ou **identification des systèmes** consiste à construire le modèle mathématique de la dynamique d'un procédé complexe à partir de données recueillies lors d'expériences élémentaires (réponses à un échelon, à une rampe, à une succession d'échelons, à une entrée sinusoïdale, etc.). La méthode la plus simple, pour un système à une entrée et une sortie, consiste à appliquer un échelon en entrée du système et à analyser la réponse correspondante.

*Remarque : comme vous l'avez vu en TD, la fonction de transfert (vitesse de rotation/tension d'entrée) est approximée par un premier ordre. La fonction de transfert (position angulaire/tension) est un premier ordre suivi d'un intégrateur. Pour la suite de ce TP, il faut être capable de réaliser une identification pour chacun de ces deux systèmes.*

### Notations :

- ◇ le signal d'entrée est noté  $u(t)$  ;
- ◇ le signal de sortie est noté  $y(t)$ , sa signification physique dépendra du contexte ;
- ◇  $U(s) = TL[u(t)]$  est la transformée de Laplace de  $u(t)$  ;
- ◇  $Y(s) = TL[y(t)]$  est la transformée de Laplace de  $y(t)$ .

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

Soit un système du premier ordre de fonction de transfert :  $F_1(s) = \frac{K}{1+\tau s}$ .

- ◇ Comment peut-on déterminer les valeurs des paramètres  $K$  et  $\tau$  à partir du tracé de la réponse de  $F_1(s)$  à un échelon d'entrée d'amplitude<sup>2</sup>  $A$  ?
- ◇ Proposez des valeurs pour les coefficients  $K$  et  $\tau$  de votre moteur à partir des données collectées lors d'une expérience.
- ◇ Vérifier la qualité de votre proposition en comparant sur un même graphe la réponse indicielle théorique (obtenue en simulant votre modèle) avec les données expérimentales recueillies.

### 2.2. Cas d'un système du premier ordre suivi d'un intégrateur

Soit un système du premier ordre suivi d'un intégrateur, on note  $F_2(s)$  la fonction de transfert de ce système.

- ◇ Quelle est l'expression de  $F_2(s)$  ?
- ◇ La réponse de  $F_2(s)$  à un échelon d'entrée d'amplitude  $A$  est :

$$y(t) = KA \left( t - \tau + \tau e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Comment peut-on déterminer les valeurs des paramètres  $K$  et  $\tau$  à partir du tracé de la réponse de  $F_2(s)$  à un échelon d'entrée d'amplitude  $A$  ?

- ◇ Proposez des valeurs pour les coefficients  $K$  et  $\tau$  à partir des données collectées lors d'une expérience.
- ◇ Vérifier la qualité de votre identification en comparant sur un même graphe la réponse indicielle théorique (obtenue en simulant votre modèle) avec les données expérimentales recueillies.

### 2.3. Une question d'unités

La valeur du gain doit être la même quelle que soit la méthode utilisée : après

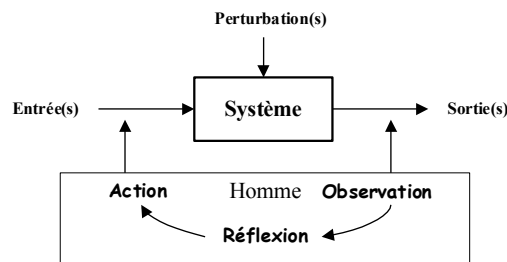
---

2. c-à-d.  $U(s) = \frac{A}{s}$

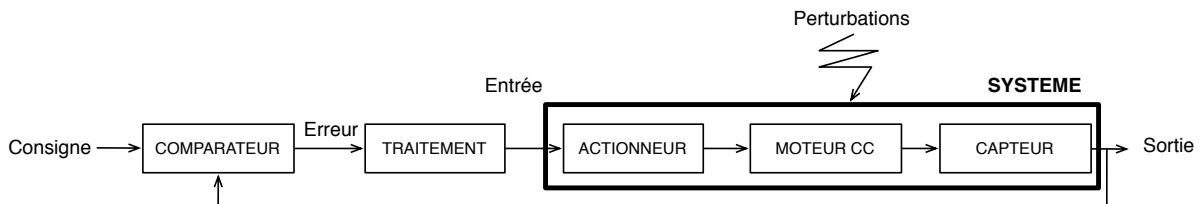
tout, il s'agit du même moteur. En principe, les valeurs que vous avez trouvées sont différentes. C'est une question d'unités. Après avoir exprimé dans la même unité les différentes valeurs trouvées pour le gain, ces dernières vous semblent-elles comparables ?

### 3 Etude d'une boucle de régulation

La mise au point d'un régulateur tourne autour de l'idée de **boucle de retour**, ou de **boucle fermée**. Cette idée s'inspire d'un raisonnement en trois phases, utilisé par l'être humain dans la majorité des situations : observation, réflexion/calcul et action (par ex. la conduite d'une voiture). Ce principe est illustré à la figure (1a).



(a) Principe de la boucle fermée.



(b) Schéma-bloc du principe de boucle fermée.

FIGURE 1

Afin d'appliquer le principe schématisé à la figure (1a), la boucle de régulation est décomposée en différents éléments, cela donne la boucle de la figure (1b). Nous agissons sur le **système** à travers ses **actionneurs**. Un **capteur** nous fournit une information sur l'état du système (une position, un niveau d'eau, une température, une vitesse, etc.). Les objectifs sont décrits par le biais d'une **consigne** (dans notre cas, il s'agit d'une position angulaire à atteindre).

L'information des capteurs est comparée à la consigne afin d'obtenir une **erreur**. Cette erreur (entre ce que l'on veut et ce que le système fait réellement) est **traitée** afin de générer un signal de commande adapté. Ce dernier est envoyé aux actionneurs.

Dans ce TP, nous voulons mettre en place une régulation de position angulaire. La fonction de transfert (*position/tension*) est donc la fonction  $F_2(s)$  de la partie précédente. Le type de traitement que nous allons utiliser s'appelle **régulation par action proportionnelle**.

Le principe est illustré à l'aide de la figure (2) : l'entrée du système est égale à l'erreur multipliée par un gain constant  $G$  (positif). Notre **objectif** est de choisir la valeur du paramètre  $G$  de sorte à choisir (ou forcer) le comportement du système bouclé.

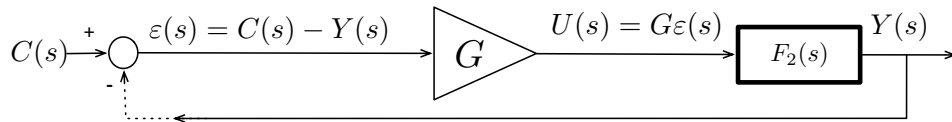


FIGURE 2 – Schéma-bloc d'une régulation par action proportionnelle ( $G$  est une constante).

### 3.1. Calcul de la fonction de transfert en boucle fermée.

Dans la suite, nous utiliserons la fonction de transfert  $F_2(s)$ .

- ◇ En vous basant sur la figure (2), quelles sont les expressions des fonctions de transfert  $\frac{U(s)}{\varepsilon(s)}$  et  $\frac{Y(s)}{\varepsilon(s)}$  ?
- ◇ On appelle **fonction de transfert en boucle fermée** la fonction

$$Tbf(s) = \frac{Y(s)}{C(s)}$$

lorsque la partie pointillée de la figure (2) est connectée.

Donnez l'expression de  $Tbf(s)$  en fonction de  $F_2(s)$  et  $G$ .

Calculez ensuite explicitement  $Tbf(s)$ .

### 3.2. Identification des caractéristiques de $Tbf(s)$ .

- ◇ La fonction de transfert de boucle fermée  $Tbf(s)$  est du deuxième ordre. La forme canonique d'un tel système est de la forme :

$$\frac{\tilde{K}\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2}$$

où  $\tilde{K}$  est le gain statique,  $\zeta$  est le coefficient d'amortissement et  $\omega_0$  la pulsation propre.

- ◇ Déterminer les expressions du gain statique, du coefficient d'amortissement et de la pulsation propre en fonction des paramètres  $K$ ,  $\tau$  et  $G$ .

### 3.3. Calcul de la valeur de $G$ .

On veut maintenant être capable de choisir la valeurs du coefficient d'amortissement de la boucle fermée.

- ◇ En partant de l'expression de  $\zeta$ , exprimer  $G$  comme une fonction de  $\zeta$ ,  $K$  et  $\tau$ .

### 3.4. Simulation.

- ◇ Réalisez une simulation de la boucle fermée (c'est à dire de la réponse de  $Tbf(s)$ ) pour une consigne au choix (en degrés) en utilisant les valeurs de  $K$  et  $\tau$  trouvée à la question 2.2. On réglera  $G$  de sorte à ce que  $\zeta = 0.7$ .

*Remarque : le but de cette étape est de se faire une idée de l'allure de la courbe réponse que l'on souhaite obtenir. Cette courbe sera ensuite comparée avec le résultat obtenu en pratique avec la maquette.*

## 4 Mise en place de la régulation

Nous voulons maintenant mettre en place une régulation de position sur la maquette. Pour cela, il suffit de choisir le mode *boucle fermée* lors d'une prise de données.

#### 4.1. Identification du système

Le mieux serait de procéder à une nouvelle identification du système pour être sûr que les paramètres  $K$  et  $\tau$  utilisés pour le calcul de  $G$  correspondent bien à la maquette que vous utilisez ce jour là et que les conditions expérimentales sont les bonnes.

*Remarque : si vous n'en avez pas le temps, cette étape peut-être omise.*

#### 4.2. Calcul de $G$

- ◇ Calculez  $G$  pour avoir  $\zeta = 0.7$ .

Une rapide analyse aux dimensions en vous basant sur le schéma de la Figure 3 vous permettra de déduire l'unité de  $G$ , et ainsi d'exprimer  $K$  dans l'unité adéquate.

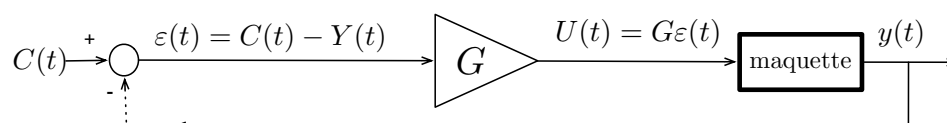


FIGURE 3 – Schéma-bloc de la régulation dans le domaine temporel.

#### 4.3. Régulation et comparaison des résultats

- ◇ Appliquez votre réglage à la maquette en mode boucle fermée.
- ◇ Importez dans Mathcad les mesures de cette nouvelle expérience et comparez les avec la simulation correspondante.

*A cette étape, il est possible que vous constatiez de grosses différences entre les résultats théoriques et les résultats pratiques. Beaucoup de raisons peuvent expliquer cela (erreurs de calculs, mauvaise identification, mauvaises unités, changement dans les conditions expérimentales,...).*

*Une raison moins évidente à ce stade est la suivante.*

*Dans la maquette le signal de contrôle est saturé de sorte à ce qu'il reste dans l'intervalle  $[-400, 400]$ . Le contrôle calculé par la boucle fermée étant égal à  $G \times (\text{consigne} - \text{sortie})$ , alors, si l'on choisit par exemple une consigne de 90 degrés, pour une valeur de  $G = 20$ , cela donne :*

$$u(t) = 20 * 90 = 1800$$

*Autrement dit, au début de la régulation, le signal de commande sera saturé à la valeur 400, ce qui impliquera des performances bien inférieures à celles de la simulation. Pour remédier à ce problème, une solution est de choisir une consigne adaptée (dans l'exemple ci-dessus : entre 15 et 20 degrés).*

