

## **RAPPORT DE MONTAGE**

Par

**Geneviève FRANTZ et Mathieu RICHARD**

### **CORRECTION D'UN SYSTÈME BOUCLÉ : IDENTIFICATION DU PROCÉDÉ, SIMULATION ET MISE EN ŒUVRE (M25)**

Domaine :

**AUTOMATIQUE**

**22 janvier 2010**

Rédigé par Mathieu RICHARD



# Table des matières

Table des matières	i
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Identification du procédé</b>	<b>3</b>
1.1 Condition générale d'utilisation . . . . .	3
1.2 La méthode de Broïda . . . . .	3
1.3 La méthode de Strejc . . . . .	4
1.4 Discussion et validité des modèles . . . . .	6
1.4.1 Réponse impulsionnelle . . . . .	6
1.4.2 Réponse indicielle . . . . .	7
1.4.3 Réponse fréquentielle . . . . .	8
1.5 Conclusion . . . . .	8
<b>2 Correction du système bouclé</b>	<b>9</b>
2.1 Méthode graphique . . . . .	9
2.1.1 Correcteur proportionnel (P) . . . . .	9
2.1.2 Correcteur intégral (I) . . . . .	11
2.2 Autres méthodes . . . . .	13
2.2.1 Correcteur proportionnel intégral (PI) . . . . .	13
2.2.2 Correcteur proportionnel intégral dérivé (PID) . . . . .	14
<b>Conclusion</b>	<b>21</b>
<b>Annexe</b>	<b>23</b>



# Introduction

Dans l'industrie, tout procédé doit répondre à un certain cahier des charges. Ainsi des systèmes, contraints aux lois de la nature par exemple, nécessite le contrôle de certains paramètres comme :

- Le dépassement, par exemple, un réservoir d'eau ne doit en aucun cas déborder.
- Le temps de réponse, par exemple, le maintien de l'équilibre instable en boucle ouverte d'un pendule inversé nécessite une certaine rapidité du système en boucle fermée.
- La réjection des perturbations (régulation), par exemple, la position angulaire d'un moteur ne doit pas dépendre d'un couple résistant non constant.

Ainsi les systèmes "S" sont rebouclés avec un correcteur "C". La représentation sous schéma bloc de cette association est présenté sur la figure 1.

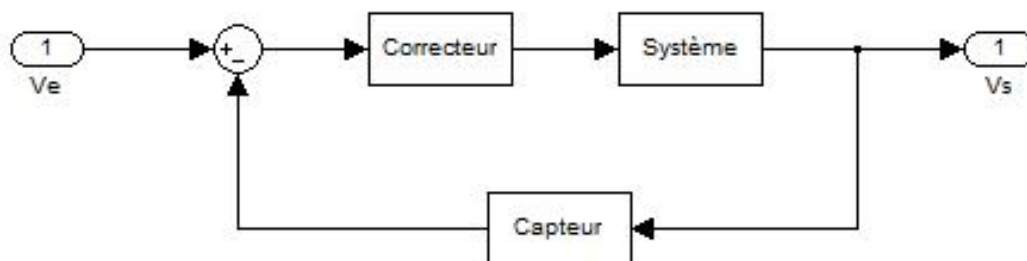


Figure 1 – Représentation sous schéma bloc de la maquette

Le but de ce montage est alors d'utiliser différentes méthodes d'identification de système afin de les comparer à l'aide notamment de simulations sous Matlab et de les employer à la construction de correcteurs. Les correcteurs étudiés seront les correcteurs proportionnel (P), proportionnel intégral (PI), et proportionnel intégral dérivateur (PID). À l'issue de cette élaboration, les avantages et les inconvénients des différentes méthodes d'obtention des paramètres des correcteurs seront mis en parallèle.

Le système étudié dans ce montage provient de la maquette 'Syst 1/3 n°5'. Cette dernière comporte un correcteur modifiable à l'aide d'interrupteurs et de potentiomètres (accès à des correcteurs P, PI, et PID). Deux systèmes sont disponibles :

– Le premier (A) est un premier ordre :  $S(p) = \frac{1}{1+T.p}$

– Le second (B) est un troisième ordre avec un pôle dominant :  $S(p) = \frac{1}{(1+T.p).(1+\frac{T}{10}.p).(1+\frac{T}{50}.p)}$

Avec  $T=1$  ms.

Une seconde maquette est disponible au laboratoire d'électronique. Cette dernière permet de simuler un système ayant la fonction de transfert :

$$S(p) = \frac{1}{(1+\tau.p).(1+2.m.\frac{p}{\omega_0}+(\frac{p}{\omega_0})^2)}$$

Avec  $\tau = 0.68$  ms,  $\omega_0 = 6.7$ krad.s<sup>-1</sup> et  $m = 0.40$ .

# Chapitre 1

## Identification du procédé

*Dans ce chapitre, sont présentées les méthodes de Broïda et Strejc permettant l'identification de système. De plus, leur comparaison au niveau de la réponse impulsionnelle, indicielle, et fréquentielle est traitée dans le but de les valider.*

L'identification du procédé est une étape cruciale pour sa correction. En effet, certaines méthodes de correction nécessitent d'avoir un modèle analytique du procédé. Lorsque qu'un modèle de connaissance ne peut être établi, un modèle comportemental est alors construit. Les méthodes de Broïda et Strejc permettent justement d'en déterminer.

### 1.1 Condition générale d'utilisation

Afin de pouvoir obtenir un modèle à partir des méthodes de Broïda et de Strejc, le signal de sortie du procédé ne doit pas présenter de dépassement ni de cassure de pente lors d'une réponse indicielle.

### 1.2 La méthode de Broïda

Le modèle proposé par la méthode de Broïda est une fonction de transfert du premier ordre avec un retard pur :

$$H_b(p) = \frac{K.e^{-r.p}}{1 + T.p} \quad (1.1)$$

Le paramètre  $K$  représente le gain statique du système et est donc mesuré en tant que tel ; lors d'une réponse impulsionnelle du système le rapport entre la valeur finale de la sortie et la valeur finale de la consigne donne le gain statique de ce dernier.  $K = 1$ .

Afin de déterminer les paramètres  $T$  et  $r$ , il est nécessaire de mesurer sur le signal de sortie, lors d'une réponse indicielle du système, les temps  $t_1$  et  $t_2$  définis par :

$$\begin{cases} s(t_1) = 28\%.s(\infty) \\ s(t_2) = 40\%.s(\infty) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T = 5,5.(t_2 - t_1) \\ r = 2,8.t_1 - 1,8.t_2 \end{cases} \quad (1.2)$$

$s$  étant le signal de sortie du procédé. Le graphe du modèle ainsi créé passe par les points  $[t_1, s(t_1)]$  et  $[t_2, s(t_2)]$

Dans le cas du procédé étudié, les résultats sont :

$$\begin{cases} t_1 \approx 428 \mu s \\ t_2 \approx 620 \mu s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T \approx 1056 \mu s \\ r \approx 119 \mu s \end{cases}$$

### 1.3 La méthode de Strejc

Le modèle proposé par la méthode de Strejc est une fonction de transfert comportant un pôle d'ordre  $n$  et un retard pur :

$$H_s(p) = \frac{K.e^{-r.p}}{(1 + T.p)^n} \quad (1.3)$$

Le paramètre  $K$  est le gain statique et est donc mesuré en tant que tel :  $K = 1$ .

Afin de déterminer les paramètres  $T$ ,  $r$  et  $n$ , il est nécessaire de mesurer sur le signal de sortie, lors d'une réponse indicielle du système, les temps  $T_u$  et  $T_a$ . Ces derniers sont obtenus en traçant la tangente au point d'inflexion de la courbe de cette réponse, le graphe 1.1 illustre ces temps.

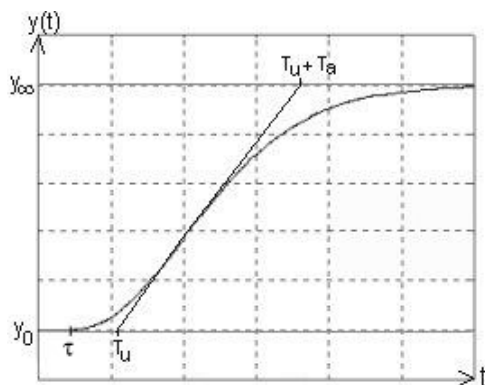


Figure 1.1 – Analyse de la réponse indicielle selon la méthode de strejc



Alors les paramètres  $T, r$  et  $n$  sont calculés à partir du tableau suivant :

$\frac{T'_u}{T_a}$	0	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493	0,570	0,642
$n$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{T_a}{T}$	1	2,718	3,695	4,463	5,119	5,699	6,226	6,711

$$\begin{cases} n = n(\max(T'_u, T_u > T'_u)) \\ r = T_a \cdot \left( \frac{T_u}{T_a} - \frac{T'_u}{T_a} \right) \end{cases} \quad (1.4)$$

Une astuce peut être employé pour obtenir une meilleure précision sur le point d'inflexion : le maximum de la réponse impulsionnelle du système correspond au point d'inflexion.

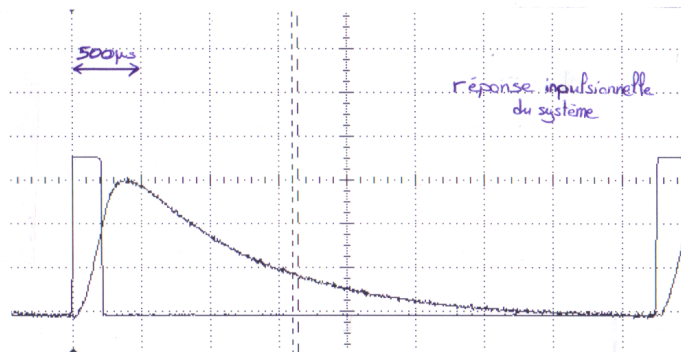
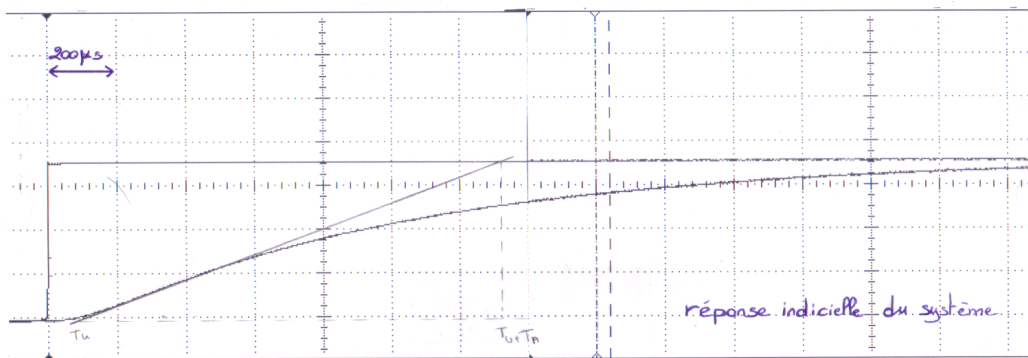


Figure 1.2 – Réponse indicielle (première courbe) et impulsionnelle (deuxième courbe) du procédé en boucle ouverte

D'après la figure 1.2, ces constantes sont :

$$\begin{cases} T_u \approx 83 \mu s \\ T_a \approx 1225 \mu s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n = 1 \\ T \approx 1225 \mu s \\ r \approx 83 \mu s \end{cases}$$

## 1.4 Discussion et validité des modèles

Les différents tracés des réponses du système ont été relevés point par point avec la maquette tandis que ceux des méthodes de Broïda et de Strejc sont obtenus par simulation sous Matlab.

### 1.4.1 Réponse impulsionnelle

Sur la figure 1.3, la réponse impulsionnelle des différentes fonctions de transfert sont représentées. On remarque que les deux méthodes donnent des résultats semblables. Notamment il est déductible de ces deux procédés que le système étudié a un pôle dominant ; ce qui est vérifié par sa fonction de transfert donnée en introduction.

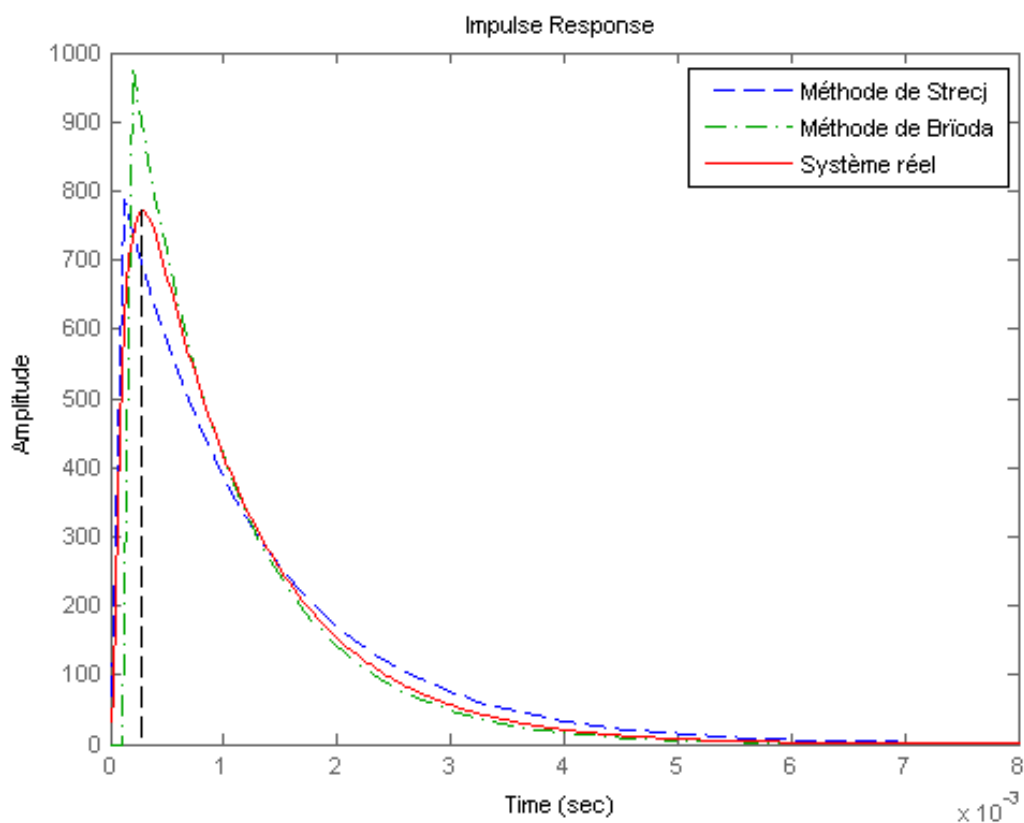


Figure 1.3 – Comparaison des réponses impulsionnelles

**Remarque** : dans le cas de la seconde maquette disponible en salle de laboratoire simulant un troisième ordre non équivalent à un premier ordre dominant, la méthode de Strejc semble plus appropriée car il fait notamment correspondre le point d'inflexion de la réponse indicielle associée avec la réponse indicielle du système.

## 1.4.2 Réponse indicielle

Sur la figure 1.4, la réponse indicielle des différentes fonctions de transfert sont représentées. On remarque alors que cette fois-ci la méthode de Broïda semble être la plus appropriée.

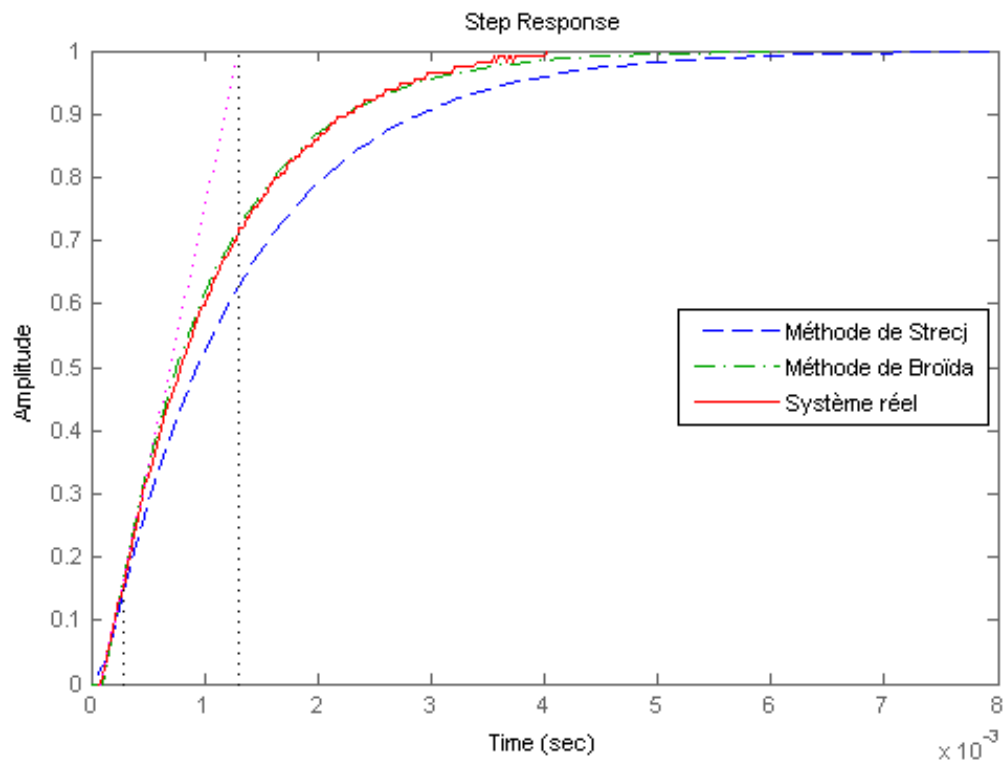


Figure 1.4 – Comparaison des réponses indicielles

### 1.4.3 Réponse fréquentielle

Sur la figure 1.5, la réponse fréquentielle des différentes fonctions de transfert sont représentées. La meilleure des méthodes apparaît être celle de Strejc. En effet, les marges de phase et de gain du système coïncides davantage avec celles de la fonction de transfert obtenue avec la méthode de Strejc.

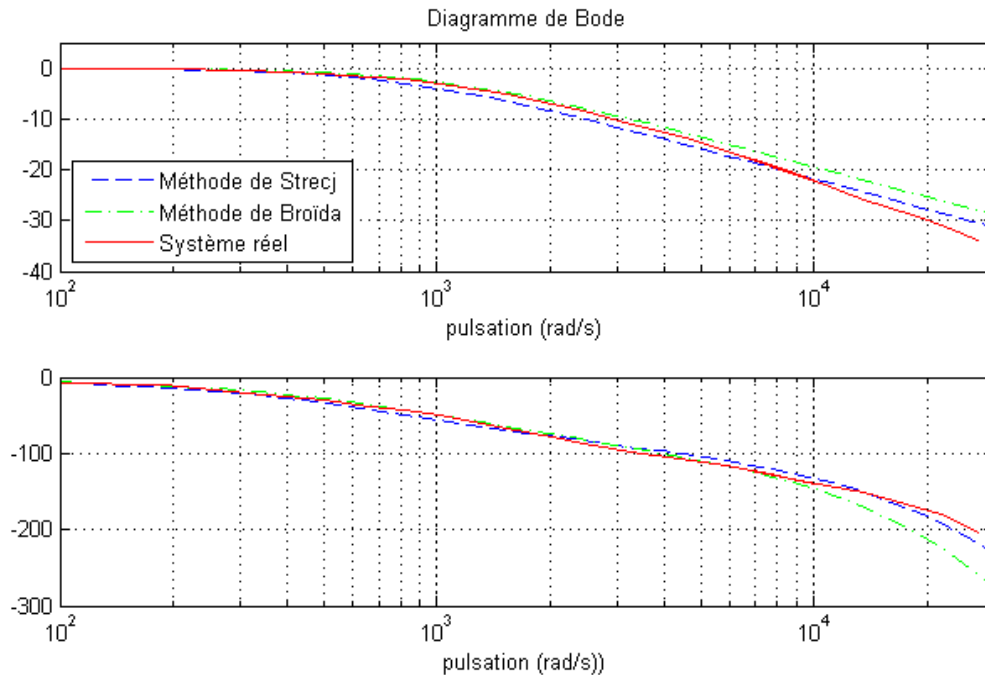


Figure 1.5 – Comparaison des réponses fréquentielles

## 1.5 Conclusion

L'une des caractéristiques importantes pour corriger un système est sa stabilité en boucle fermée (marge de phase et marge de gain). La méthode de Strejc est alors la plus adéquate.

De plus, la fonction de transfert obtenue par la méthode de Strejc admet un retard suffisamment faible par rapport au temps caractéristique  $T$  ( $r \ll T$ ), ainsi il est négligeable. Ainsi, cette fonction de transfert devient plus commode à manipuler, contrairement à celle obtenue par la méthode de Broïda.

La fonction de transfert retenue pour approcher le système est :

$$H(p) = \frac{1}{1 + T.p} \quad \text{avec } T = 1225 \mu s \quad (1.5)$$

# Chapitre 2

## Correction du système bouclé

*Après l'identification du procédé, l'étape suivante consiste à trouver des correcteurs adaptés à ce dernier. Dans ce chapitre, sont décrites des méthodes graphiques ainsi que les méthodes de Ziegler-Nyquist et de Naslin permettant de définir les paramètres de correcteurs P, PI et PID.*

### 2.1 Méthode graphique

#### 2.1.1 Correcteur proportionnel (P)

Le correcteur étudié est le correcteur proportionnel :  $C(p) = K_p$ . Trois critères peuvent être utilisés graphiquement :

- Critère de Nyquist :  $M_\phi=45^\circ$ . Sur le diagramme de Black, ce point critique est  $[-135^\circ \ 0\text{dB}]$
- Critère sur la marge de gain :  $M_G=10\text{dB}$ . Sur le diagramme de Black, ce point critique est  $[-180^\circ \ -10\text{dB}]$
- Critère d'instabilité :  $\text{FTBO}(p)=-1$ . Sur le diagramme de Black, ce point critique est  $[-180^\circ \ 0\text{dB}]$

Ainsi, le déplacement vertical de la courbe jusqu'à coïncidence avec le point critique choisi donnera le gain du correcteur en décibel conduisant à la limite de stabilité.

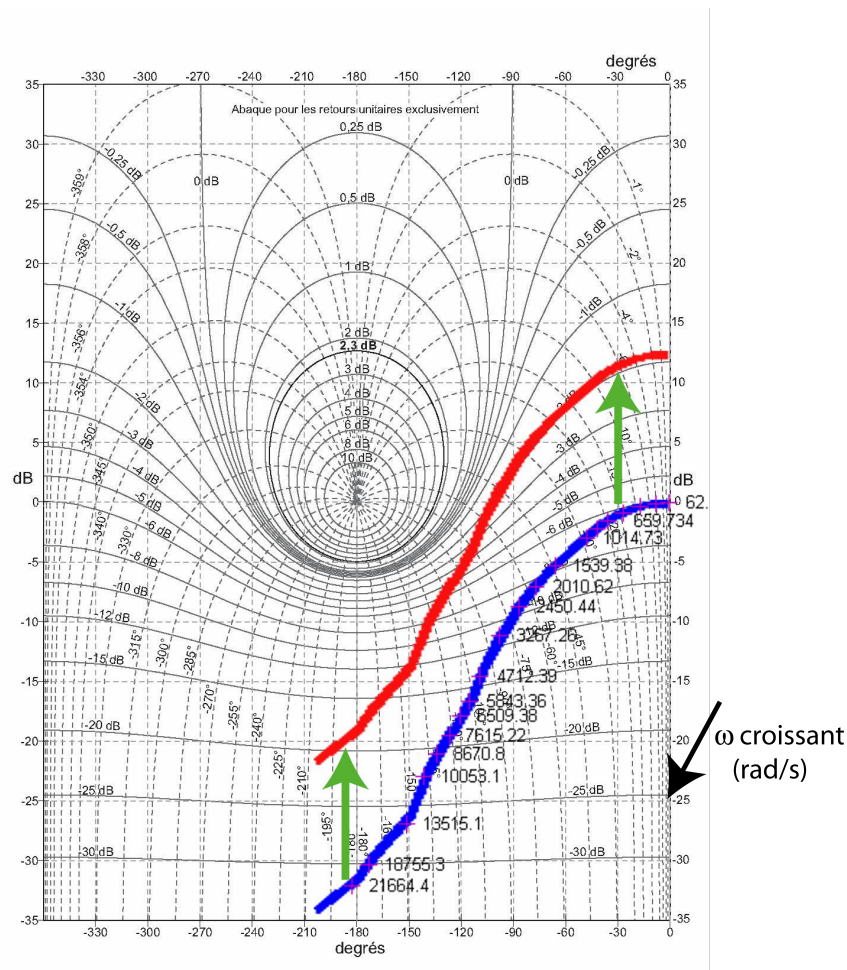


Figure 2.1 – Diagramme de Black du procédé (en bleu) et du système en boucle ouverte avec un correcteur proportionnelle (en rouge).

Les résultats obtenus avec ce procédé sont alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\phi} = 45^{\circ} \Rightarrow K_{\phi} = 21dB \\ M_G = 10dB \Rightarrow K_G = 27dB \\ M_G = 0dB \Rightarrow K_0 = 37dB \end{array} \right.$$

### Remarque

En pratique de gain  $K_0$  n'est que de 33 dB. Cet effet est dû à la saturation des éléments ainsi qu'à la bande passante des amplificateurs opérationnels de la maquette.

### 2.1.1.1 Avantages

Plus le gain  $K_p$  est grand, plus le temps de montée de la réponse indicielle en boucle fermée est faible. De plus, l'erreur statique diminue de la même manière lorsque la stabilité est conservée.

### 2.1.1.2 Inconvénients

En revanche, lorsque le gain  $K_p$  croît, dans un premier temps, le temps de réponse à 5%, à un échelon, diminuera. Mais à cause d'oscillation, dans un second temps, ce temps stagnera : le système deviendra plus instable (ces oscillations n'apparaissent que pour des systèmes d'ordre supérieur à deux). De plus, le signal à l'entrée du procédé risque de saturer si le gain  $K_p$  est trop important du fait des limitations de linéarité des amplificateurs opérationnels. Pour finir, l'erreur statique n'est nulle que pour un gain  $K_p$  infini.

## 2.1.2 Correcteur intégral (I)

Avoir une erreur statique nulle peut être parfois crucial. Le correcteur étudié ici a pour fonction de transfert :  $C(p) = \frac{1}{T_i \cdot p}$ . Ce dernier permet, justement, d'éliminer cette erreur statique. Le seul paramètre à déterminer est  $T_i$ . Le diagramme de bode du procédé permet une détermination rapide. De manière similaire, les trois critères cités dans le cas d'un correcteur proportionnel peuvent être utilisés :

- Critère de Nyquist :  $M_\phi = 45^\circ$ .
- Critère sur la marge de gain :  $M_G = 10\text{dB}$ .
- Critère d'instabilité : FTBO(p)=-1. Sur le diagramme de Bode, ce point critique correspond à la pulsation  $\omega$  pour laquelle le gain est de 0 dB et la phase de  $-180^\circ$ .

La phase de la fonction de transfert en boucle ouverte sera déphasée de  $-90^\circ$  par rapport à celle du procédé. Il suffira alors de mesurer le gain nécessaire pour le déphasage souhaité.

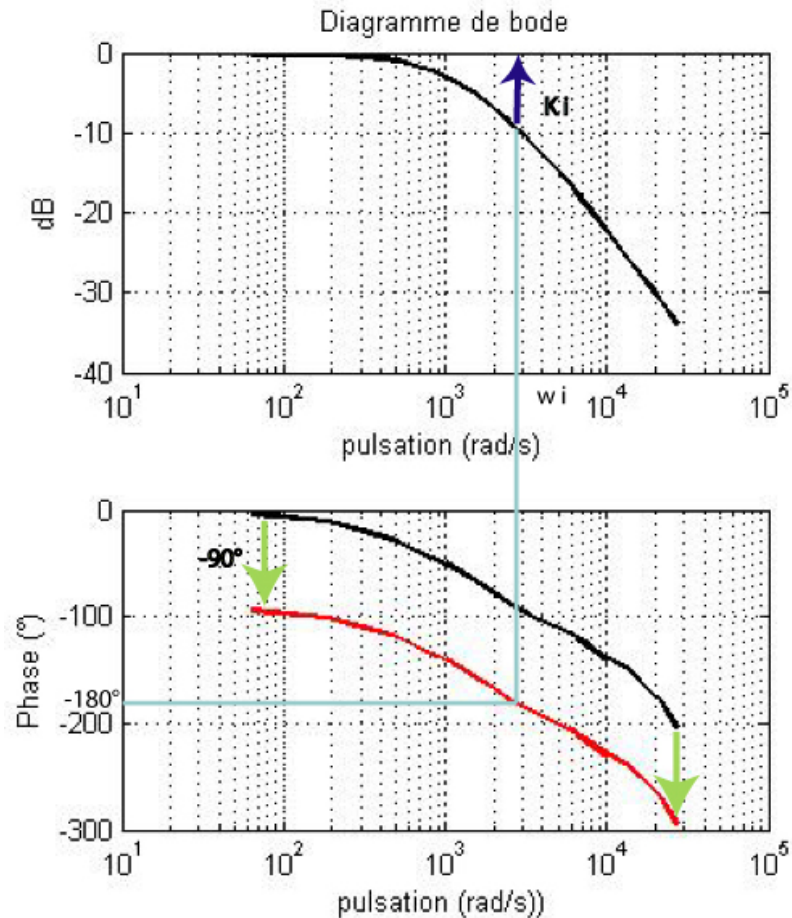


Figure 2.2 – Diagramme de bode du procédé (en noir) et détermination graphique du correcteur dans le cas, souhaité, d’une marge de gain de 10dB de la FTBO.

Dans le cas présenté sur la figure 2.2, le gain  $K_i$  est égal à :  $K_i = \frac{1}{T_i \cdot \omega_i}$ . Alors  $T_i$  est déductible par :

$$T_i = \frac{1}{K_i \cdot \omega_i} \quad (2.1)$$

### 2.1.2.1 Avantages

L’avantage majeur du correcteur I par rapport au correcteur P est qu’il impose une erreur statique nulle à une réponse indicielle en boucle fermée. De plus, plus le paramètre  $T_i$  est faible, plus le temps de montée de la réponse indicielle du système bouclé l’est aussi.



### 2.1.2.2 Inconvénients

Un de ses inconvénients est l'instabilité qu'il entraîne. En effet, plus  $T_i$  est faible, plus le système corrigé est instable. De plus, le temps de réponse à 5%, à un échelon, diminue, dans un premier temps, lorsque  $T_i$  diminue, puis varie différemment selon le système, dans un second temps, du fait des oscillations de la réponse.

## 2.2 Autres méthodes

### 2.2.1 Correcteur proportionnel intégral (PI)

Précédemment, il a été vu que le correcteur P était avantageux en hautes fréquences pour sa stabilité par rapport au correcteur I. Et le correcteur I, imposant une erreur statique nulle lors d'une réponse indicielle, est utile en basses fréquences. Ainsi, le correcteur PI est envisagé :  $C(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p}\right)$ .

#### 2.2.1.1 Méthode de Ziegler-Nichols à partir de la réponse indicielle en boucle ouverte

Les paramètres du correcteur n'étant plus déterminables graphiquement, une méthode semi-graphique permet néanmoins de les obtenir. Cette méthode nécessite la mesure des temps  $T_u$ ,  $T_a$  et  $K$  définis dans le chapitre I. Indirectement, c'est l'identification par la méthode de Strejc qui est utilisée. À partir du tableau récapitulatif disponible en annexe, les paramètres  $T_i$  et  $K_p$  sont déduits :

$$\begin{cases} T_u = 83 \mu s \\ T_a = 1225 \mu s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_p = 13.3 \\ T_i = 274 \mu s \end{cases}$$

REFAIRE LES MESURES.

#### 2.2.1.2 Méthode de Ziegler-Nichols avec la méthode de pompage (oscillations limites)

Cette méthode de Ziegler-Nichols utilise l'instabilité du système en boucle fermée. En effet, pour obtenir les différents paramètres, il faut calculer, pour un correcteur P, le gain  $K_0$  nécessaire pour rendre le système instable en boucle fermée. Pour cette valeur, il faut relever la pseudo-période  $T_0$  des oscillations. Ainsi, à partir du tableau récapitulatif disponible en annexe, les paramètres  $K_p$  et  $T_i$  sont déduits :

$$\begin{cases} K_0 = 44,7 \\ T_0 = 310 \mu s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_p = 20,1 \\ T_i = 257 \mu s \end{cases}$$

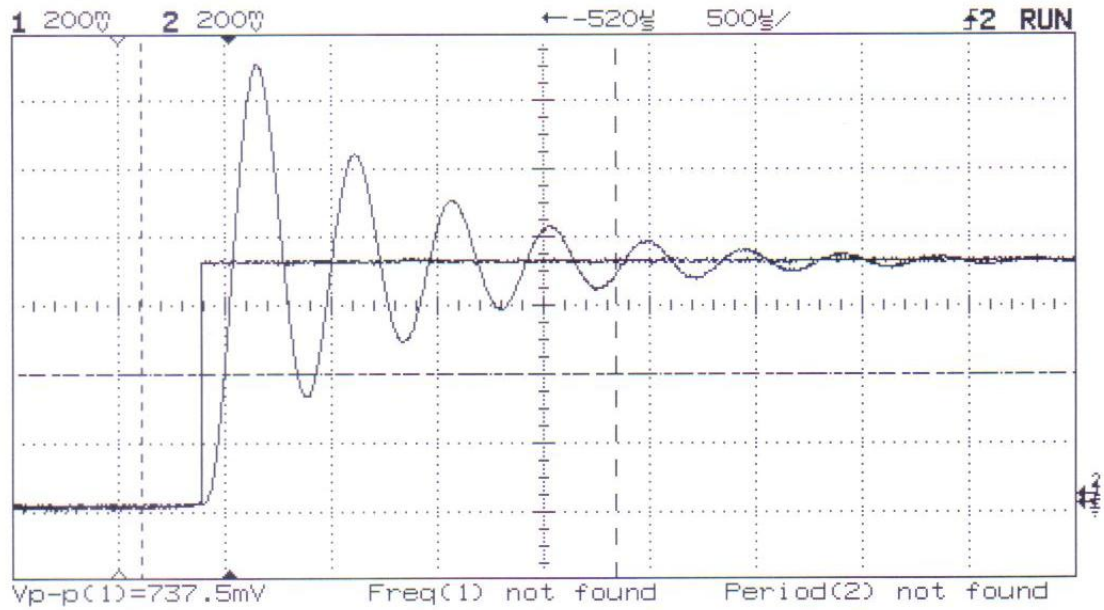


Figure 2.3 – Réponse indicielle du système corrigé avec un correcteur PI déterminé par la méthode de pompage

Ainsi, la réponse indicielle du système bouclé a un dépassement de 80% et un temps de réponse à 5% de 2.7 ms. Ce correcteur est mauvais puisque le procédé à un temps de réponse à 5% de 2,3 ms.

## 2.2.2 Correcteur proportionnel intégral dérivé (PID)

L'inconvient d'un correcteur PI, c'est qu'il puisse paraître encore trop instable. Rajouter un dérivateur permet de diminuer cette instabilité :  $C(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p\right)$ .

### 2.2.2.1 Méthode de Ziegler-Nichols à partir de la réponse indicielle en boucle ouverte

Cette méthode présentée pour un correcteur PI reste la même pour un correcteur PID. Ainsi, à partir du tableau récapitulatif en annexe, les paramètres  $T_i$ ,  $T_d$  et  $K_p$  sont déduits :

$$\begin{cases} T_u = 83 \mu s \\ T_a = 1225 \mu s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_p = 17.7 \\ T_i = 166 \mu s \\ T_d = 42 \mu s \end{cases}$$

REFAIRE LES MESURES.

### 2.2.2.2 Méthode de Ziegler-Nichols avec la méthode de pompage (oscillations limites)

Cette méthode pour un correcteur PI reste la même pour un correcteur PID. Ainsi, à partir du tableau récapitulatif en annexe, les paramètres  $T_i$ ,  $T_d$  et  $K_p$  sont déduits :

$$\begin{cases} K_0 = 44,7 \\ T_0 = 310 \mu s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_p = 26,8 \\ T_i = 155 \mu s \\ T_d = 39 \mu s \end{cases}$$

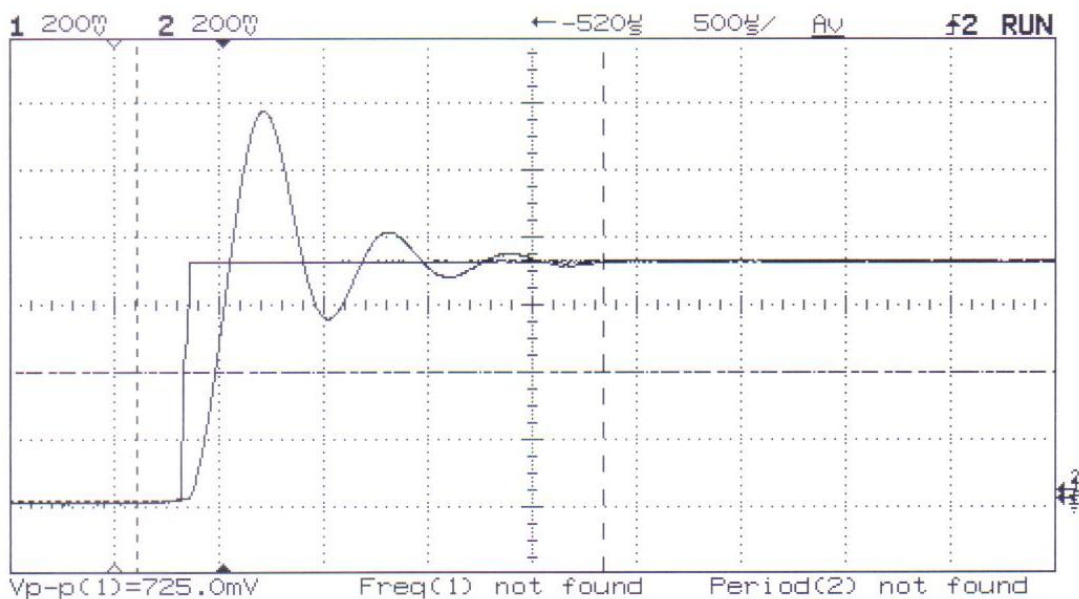


Figure 2.4 – Réponse indicielle du système corrigé avec un correcteur PI déterminé par la méthode de pompage

Ainsi, la réponse indicielle du système bouclé a un dépassement de 65% et un temps de réponse à 5% de 1,3 ms.

### 2.2.2.3 Méthode de Naslin

La méthode de Naslin consiste à analyser la fonction de transfert du système bouclé. Cette fonction devra, alors, être mis sous la forme :

$$H(p) = \frac{\sum_{j=0}^n a'_j \cdot p^j}{\sum_{k=0}^n a_k \cdot p^k} \quad (2.2)$$

D'autres coefficients sont alors définis :

$$\alpha_k = \frac{a_k^2}{a_{k-1} \cdot a_{k+1}} \quad ; \quad \forall k \in [1 : n - 1] \quad (2.3)$$

Pour un système d'ordre deux ou trois, dans le cas où le numérateur est un gain, si tous les  $\alpha_k$  sont égaux à deux, il a été montré de manière empirique que la réponse indicielle du système bouclé aura un dépassement de 5%.

Pour le procédé étudié, nous avons choisis d'utiliser la méthode de Sterjc pour son identification. Ainsi :

$$FTBO(p) = \frac{K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p\right)}{1 + T \cdot p} \quad (2.4)$$

$$FTBF(p) = \frac{FTBO(p)}{1 + FTBO(p)}$$

$$FTBF(p) = \frac{K_p \cdot (1 + T_i \cdot p + T_i \cdot T_d \cdot p^2)}{K_p \cdot (1 + T_i \cdot p + T_i \cdot T_d \cdot p^2) + T_i \cdot p \cdot (1 + T \cdot p)}$$

$$FTBF(p) = \frac{1 + T_i \cdot p + T_i \cdot T_d \cdot p^2}{1 + T_i \cdot \frac{K_p + 1}{K_p} \cdot p + T_i \cdot \left(T_d + \frac{T}{K_p}\right) \cdot p^2}$$

Puis, par identification :

$$\begin{cases} a_0 = 1 \\ a_1 = T_i \cdot \frac{K_p + 1}{K_p} \\ a_2 = T_i \cdot (T_d + \frac{T}{K_p}) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha_1 = \frac{T_i \cdot (1 + K_p)^2}{K_p \cdot (K_p \cdot T_d + T)} \\ \omega_{eq}^2 = \frac{1}{(T_d + \frac{T}{K_p}) \cdot T_i} \end{cases} \quad (2.5)$$

où  $\omega_{eq}$  est une sorte de pulsation équivalente du système bouclé. Posons :  $T_{eq} = \frac{1}{\omega_{eq}}$ . En ayant préalablement choisi la valeur de  $T_{eq}$  et de  $\alpha_1$ , il en résulte un système de deux équations à trois inconnus. Il existe donc un degré de liberté. Arbitrairement, la constante  $K_p$  est fixé. On en déduit alors :

$$\alpha_1 = T_i^2 \cdot \frac{(1 + K_p)^2}{K_p^2} \cdot \omega_0^2 \quad \Rightarrow \quad T_i = \frac{K_p \cdot \sqrt{\alpha_1}}{\omega_{eq} \cdot (1 + K_p)}$$

Puis :

$$\omega_{eq}^2 \cdot \alpha_1 = \frac{(1 + K_p)^2}{(T_d \cdot K_p + T)^2} \quad \Rightarrow \quad T_d = \frac{1}{K_p} \cdot \left( \frac{1 + K_p}{\omega_{eq} \cdot \sqrt{\alpha_1}} - T \right)$$

Dans le cas d'une fonction de transfert du second ordre avec numérateur constant, le régime optimale est obtenu pour  $\alpha_1 = 2$ . La loi suivante exprime le dépassement de la réponse unitaire d'une telle fonction de transfert :

$$\log_{10}(D\%) = 4,8 - 2 \cdot \alpha_1 \quad (2.6)$$

Ceci correspond à un dépassement de 0,8 pourcent dans le cas optimal. Avec un numérateur du second ordre, d'autres paramètres sont utilisés :

$$\begin{cases} a'_0 = 1 \\ a'_1 = T_i \\ a'_2 = T_i \cdot T_d \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega'_0 = \frac{a'_0}{a'_1} \\ 4 \cdot \xi'^2 = \frac{a'_1{}^2}{a'_0 \cdot a'_2} \\ \omega_0 = \frac{a_0}{a_1} \end{cases} \quad (2.7)$$

Ainsi la valeur de  $\alpha_1$  devient  $\alpha_e$  :

$$\alpha_e = 1,5 + \frac{1}{16 \cdot \xi'^3} \cdot \frac{\omega_0'^2}{\omega_0^2} \cdot (\alpha_1 - 1,5) \quad (2.8)$$

$\alpha_e =$

En considérant  $T_{eq}$  égale au tiers de  $T$ , ces équations imposent  $K_p \geq 3\sqrt{\alpha_e} - 1$ , le choix  $K_p = 6$  et  $\alpha_1 = 4$  sont retenus arbitrairement :

$$\left\{ \begin{array}{l} K_p = 6 \\ T_d = \frac{T}{81} = 15 \mu s \\ T_i = \frac{9T}{10} = 1100 \mu s \end{array} \right. \quad (2.9)$$

# Conclusion

Le choix du type de correcteur employé dépend des contraintes imposées par le cahier des charges. Si elles sont fortes, le correcteur PID reste le plus adapté par rapport aux P et PI.

Par contre, les méthodes utilisés pour calculer les paramètres des correcteurs dépendent exclusivement du procédé corrigé. En effet, il n'est pas prévisible de savoir si le système aura plus ou moins de dépassement, par exemple, selon la méthode. Ainsi, toutes ces méthodes permettent seulement de donner un point de départ pour la détermination du correcteur.

De plus, une remarque est à relever, la méthode de Ziegler-Nichols en boucle ouverte est basé sur l'étude de la boucle ouverte, il n'est donc pas impossible que le système en boucle fermé soit instable.





# Annexe

Réglage de Ziegler-Nichols à partir de la réponse indicielle en boucle ouverte.

Correcteur	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T_a}{K.T_u}$	X	X
PI	$0,9 \cdot \frac{T_a}{K.T_u}$	$3,3.T_u$	X
PID	$1,2 \cdot \frac{T_a}{K.T_u}$	$2.T_u$	$0,5.T_u$

Réglage de Ziegler-Nichols avec la méthode de pompage (oscillations limites).

Correcteur	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5.K_0$	X	X
PI	$0,5.K_0$	$0,83.T_0$	X
PID	$0,6.K_0$	$0,5.T_0$	$0,125.T_0$

