



UFR EEA

RAPPORT ANALYSE ET PERFORMANCES DES  
SYSTÈMES LINÉAIRES

---

# ASSERVISSEMENT D'UN SYSTÈME À TROIS BACS D'EAU

---



KHERBICHE ALI  
HALIMI AMINE  
*Promotion :*  
2018-2019

*Encadreur et Responsable de  
la Formation M1  
ISTR-RODECO : M.  
FRÉDÉRIC  
GOUAISBAUT*

*Novembre 2018*

# Remerciements

Nous tenons à remercier notre encadreur et professeur de cours, M.Frédéric GOUAIS-BAUT pour nous avoir guidé tout au long des deux séances de travaux pratiques, nous tenons aussi à lui reconnaître le temps qu'il nous a consacré car il nous a accompagnés tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie.

On pense ici à notre professeur M.Sylvain DUROLA, On le remercie d'avoir été toujours présent durant toutes les séances de travaux dirigés, on le remercie encore de nous avoir donné beaucoup de connaissances techniques et des idées sur le monde du travail.

Enfin nous voudrions adresser ici nos remerciements spéciaux à toute l'équipe pédagogique d'automatique de l'université de Toulouse III qui nous a donné l'occasion de faire nos TP dans d'excellentes conditions.

On a trouvé ce bureau d'étude très intéressant et enrichissant, puisqu'il s'agissait pour nous d'un domaine qu'on aurait souhaité exercer dans le futur.

# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>1</b>
<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>Problématique</b>	<b>6</b>
<b>1 Analyse d'une commande proportionnelle intégrale</b>	<b>8</b>
1.1 Le schéma bloc du système bouclé . . . . .	8
1.2 La validité de L'hypothèse . . . . .	8
1.3 Le diagramme asymptotique de $K(p) = k \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p}$ . . . . .	8
1.4 Les spécifications satisfaites . . . . .	8
1.5 Détermination de la contrainte sur le gabarit de $\xi_p$ et $\xi_v$ pour $S(p)$ .	9
1.5.1 Construction du gabarit de l'erreur de position . . . . .	9
1.5.2 Contruction du gabarit de l'erreur de vitesse . . . . .	10
1.6 La bande passante de $S(p)$ . . . . .	11
1.7 Construction du gabarit de la vitesse de convergence pour $S(p)$ . . . .	13
1.8 Construction du gabarit de la convergence sans oscillations pour $S(p)$	13
1.9 Construction du gabarit du rejet du bruit de mesure pour $S(p)$ . . . . .	15
1.10 Calcul de l'erreur de vitesse . . . . .	17
1.11 Tracé de Black - Nichols . . . . .	17
1.12 Détermination de $k$ et de $\tau_i$ , Niyquist . . . . .	18
1.12.1 Détermination de $k$ et de $\tau_i$ . . . . .	18
1.12.2 Vérification de la stabilité par le critère de Nyquist . . . . .	18
1.13 Tracés et calcul de la marge de module de $S(p)$ et de $T(p)$ . . . . .	18
1.13.1 Tracés de $S(p)$ et de $T(p)$ . . . . .	18
1.13.2 Calcul de la marge de module de $S(p)$ et de $T(p)$ . . . . .	19
1.14 Tracé de la réponse indicielle et de la réponse à un échelon de pertur-	
bation . . . . .	19
1.14.1 Tracé de la réponse indicielle . . . . .	19
1.14.2 Tracé de la réponse à un échelon de perturbation . . . . .	19
<b>Conclusion</b>	<b>21</b>

# Table des figures

1	<i>Procédé trois bacs [Gou16]</i>	6
1.1	<i>Schéma bloc de l'asservissement</i>	8
1.2	<i>Diagramme de Bode (gain et phase) de <math>K(j\omega)</math></i>	8
1.3	<i>Diagramme illustrant le gabarit de l'erreur de position</i>	10
1.4	<i>Diagramme illustrant le gabarit de l'erreur de vitesse</i>	11
1.5	<i>Diagramme illustrant le gabarit de la vitesse de convergence pour <math>S(p)</math></i>	13
1.6	<i>Diagramme illustrant le gabarit de la convergence sans oscillations pour <math>S(p)</math></i>	14
1.7	<i>Fonctions de transfert du second ordre [Kri11]</i>	14
1.8	<i>Diagramme illustrant le gabarit de la convergence sans oscillations pour <math>S(p)</math></i>	14
1.9	<i>Diagramme illustrant le gabarit du rejet de bruit de mesure pour <math>S(p)</math></i>	16
1.10	<i>Diagramme illustrant tous les gabarits pour <math>S(p)</math></i>	17
1.11	<i>Tracé de Black de la boucle ouverte</i>	17
1.12	<i>Tracés de <math>S(p)</math> pour différentes valeurs de <math>k</math> et de <math>\tau_i</math></i>	18
1.13	<i>Tracé de <math>S(p)</math> pour <math>k = 0.335</math> et <math>\tau_i = 0.905505</math></i>	18
1.14	<i>Vérification que <math>S(p)</math> ne franchit pas les zones rouges</i>	18
1.15	<i>Tracé de Nyquist du <math>S(p)</math></i>	18
1.16	<i>Feedback de <math>T(p)</math></i>	18
1.17	<i>Feedback de <math>S(p)</math></i>	19
1.18	<i>Reponse indicielle</i>	19
1.19	<i>Reponse à un échelon</i>	19

# Introduction

## Performance

**Définition :** Le modèle de performance de Gilbert (1980) décrit la performance dans une relation ternaire entre les objectifs visés (cibles, estimations, projections), les moyens pour les réaliser (les ressources humaines, matérielles, financières ou informationnelles) et les résultats obtenus (biens, produits, services, etc.). Cette définition de la performance s'applique à tout système ordonné (individu, organisation, système, etc.) qui produit des résultats à partir de ressources de base.[\[Ano18b\]](#)

**Définition en automatique :** Plusieurs paramètres caractérisent les performances d'un asservissement :

- ♦ La rapidité définit par la vitesse à laquelle une valeur stable en sortie est atteinte. C'est le temps de réponse.
- ♦ La stabilité. Pour une entrée constante, un système est stable si la sortie tend vers une valeur finie. Si elle oscille ou diverge, l'asservissement est instable.
- ♦ Le dépassement de la consigne, souvent exprimé en pourcentage d'erreur. Même lorsqu'un système est stable, il arrive que la sortie dépasse la consigne avant de se stabiliser, ce qui n'est pas nécessairement une anomalie.
- ♦ La précision, c'est-à-dire la capacité de l'asservissement à atteindre la consigne avec précision le plus rapidement possible.[\[Ano18a\]](#)

## Robustesse

**Définition :** Force, vigueur en parlant d'une personne. Solidité, en parlant d'une chose.[\[Ano17\]](#)

**Définition en automatique :** En ingénierie, la robustesse d'un système se définit comme la « stabilité de sa performance ». Les systèmes performants robustes, qui restent performants malgré des conditions externes présentant de larges variations d'amplitude (exemple : variation de température, d'adhérence au sol, dispersion d'usage...)

- ♦ Réseau Internet (performance = croissance rapide des interconnexions machines - robustesse = communication inter-machines maintenue en cas d'attaque nucléaire).

- ◆ Train TGV (performance = train rapide - robustesse = haute stabilité de la trajectoire en cas de déraillement).
- ◆ Avion Airbus A320 (performance = communauté de la cabine de pilotage 318-321, commandes électriques de vol - robustesse = vol possible avec un réacteur en panne).
- ◆ Fusée Ariane 4. [\[Ano18c\]](#)

## Objectif

Le but de cette manipulation est d'illustrer la commande robuste d'un système non linéaire linéarisé autour d'un point de fonctionnement et de mettre en oeuvre les techniques d'analyse et de synthèse de lois de commande robuste comme le loop-shapping.

# Problématique

Le système représenté sur ci-dessous est composé de trois bacs cylindriques en plexiglas de section  $S$ . Ces trois bacs sont disposés en série (de gauche à droite, on trouve les bacs 1, 3 et 2) et sont reliés par des tuyaux d'écoulement de section  $S_n$ . Le dernier bac (2) se vide par un cylindre – également de section  $S_n$  – dans un réservoir situé sous les bacs. Deux pompes de débit  $Q_1(t)$  et  $Q_2(t)$  permettent de remplir respectivement les bacs 1 et 2 avec l'eau récupérée dans le réservoir, le système fonctionnant en circuit fermé. Lors de cette manipulation, nous allons nous intéresser à la régulation de niveau d'eau dans les bacs. Les niveaux, notés  $H_1(t)$ ,  $H_3(t)$  et  $H_2(t)$  ne peuvent excéder la valeur de  $0.6m$ . Les valeurs données par le constructeur sont :  $S = 0.0154m^2$  et  $S_n = 5.10^{-5}m^2$ . Une armoire de commande, reliée au procédé, permet de commander (en tension) les deux pompes et de mesurer (en tension) les trois hauteurs d'eau dans les bacs par l'intermédiaire de capteurs de niveau ; ces capteurs sont basés sur la mesure de la pression dans les bacs.

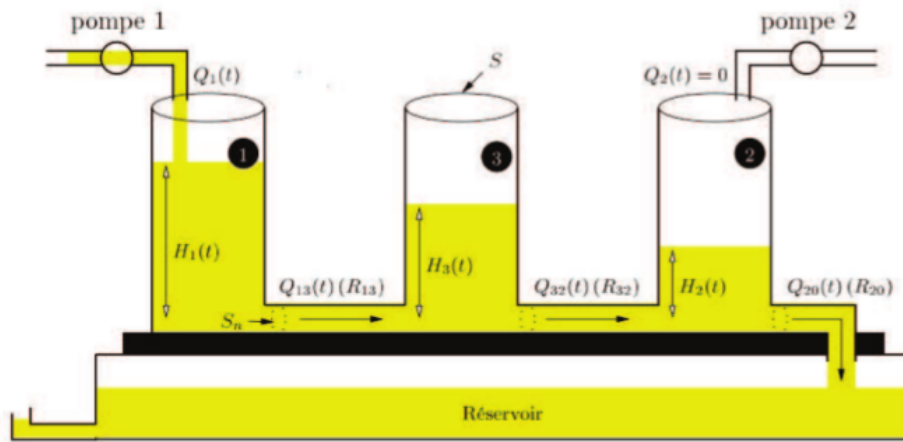


FIGURE 1 – Procédé trois bacs [Gou16]

L'armoire de commande est à son tour pilotée par une carte DSPACE (type DS1102) équipée de Convertisseurs Analogique-Numérique et Numérique-Analogique, ainsi que de processeurs DSP (*Digital Signal Processing*) ; cette carte est interfacée avec SIMULINK. D'autre part, nous souhaitons travailler sur des faibles variations autour du point d'équilibre  $H_0$  ; nous noterons par des lettres minuscules les variations des signaux autour de ce point de telle sorte que :

$$\begin{cases} Q_1(t) &= q_1(t) + Q_{10} \\ H_1(t) &= h_1(t) + H_{10} \\ H_2(t) &= h_2(t) + H_{20} \\ H_3(t) &= h_3(t) + H_{30} \end{cases}$$

La fonction de transfert entre le débit d'entrée  $q_e(t)$  et la sortie  $h_1(t)$  est alors donnée par :

$$\frac{q_e(t)}{h_1(t)} = \frac{16p+20}{p^3+7p^2+12.75p+6.75}$$

Notre système est soumis à des perturbations exogènes suivants :

1. Un débit de fuite constante au niveau du bac numéro 1.
2. Un bruit de mesure sur le capteur permettant la mesure de  $h_1(t)$ .

Nous désirons alors effectuer un asservissement permettant d'assurer les spécifications suivantes :

- (a) La stabilité du système en boucle fermée,
- (b) Une erreur de position nulle,
- (c) Une erreur de vitesse limitée à 1 i.e. lorsque l'entrée de consigne est une rampe de pente 1.
- (d) Une convergence vers la consigne en moins de 3 sec, sans oscillation, ni dépassement,
- (e) Un rejet de la perturbation de fuite,
- (f) Un rejet du bruit de mesure au delà de 100Hz d'au moins 60dB par décade.



# Chapitre 1

## Analyse d'une commande proportionnelle intégrale

### 1.1 Le schéma bloc du système bouclé

Après l'ajout du correcteur PI  $K(p) = k \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p}$  à notre système, voici à quoi ressemble le schéma bloc de l'asservissement :

FIGURE 1.1 – Schéma bloc de l'asservissement

On voit clairement que le signal du débit de fuite  $W_u(p)$  du bac numéro 1 est relié au signal de commande  $U(p)$  et le signal du bruit de mesure  $b(p)$  est relié au signal de sortie  $h_1(p)$ .

### 1.2 La validité de l'hypothèse

Vu que l'eau est un liquide incompressible, notre supposition du débit de fuite constant tient la route.

### 1.3 Le diagramme asymptotique de $K(p) = k \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p}$

FIGURE 1.2 – Diagramme de Bode (gain et phase) de  $K(j\omega)$

**Nota :** Le correcteur a une allure d'un filtre passe bas.

### 1.4 Les spécifications satisfaites

- ♦ Sans connaître les valeurs numériques du gain  $k$  ou celle de la constante de temps  $\tau_i$  utilisées dans le correcteur  $K(p)$ , on pourra déjà satisfaire la spécification ( $b$ ) car un intégrateur  $\frac{1}{p}$  ce que contient notre correcteur élimine l'erreur de position.

## 1.5 Détermination de la contrainte sur le gabarit de $\xi_p$ et $\xi_v$ pour $S(p)$

### 1.5.1 Construction du gabarit de l'erreur de position

On dispose de la loi suivante :  $\xi_p = \lim_{p \rightarrow 0} p\xi(p)$

On sait que :  $\xi(p) = S(p)R(p)$

Avec la consigne qui est égale à :  $R(p) = \frac{1}{p}$

Donc :  $\xi_p = \lim_{p \rightarrow 0} S(p) = S(0)$

Si on choisit la fonction de pondération  $W_1(p) = \frac{\alpha}{p}$  tel que  $|W_1(p)S(p)| < 1$ , alors  $|S(p)| < \alpha p$ ,  $\alpha \in \mathbb{R}^*$

On obtient au final :  $\|S(jw)\|_{H\infty} < \alpha jw$ ,  $\alpha \in \mathbb{R}^*$ . Pour valider le choix il suffit de calculer  $S(p)$  quand  $p \rightarrow 0$  qui est égal à 0, donc  $\forall w \in \mathbb{R} \quad \xi_p = 0$

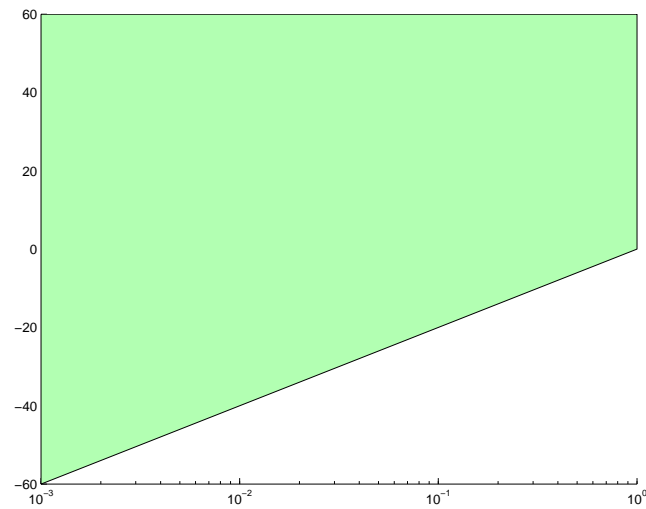


FIGURE 1.3 – Diagramme illustrant le gabarit de l'erreur de position

Dans notre cas  $\alpha$  équivaut à 1.

### 1.5.2 Construction du gabarit de l'erreur de vitesse

Cette fois pour calculer l'erreur de vitesse  $\xi_v$  le signal de consigne équivaut à  $R(p) = \frac{1}{p^2}$

$$\text{Donc : } \xi_v = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{S(p)}{p}$$

Si on choisit la fonction de pondération  $W_2(p) = \frac{\beta}{p}$  tel que  $|W_2(p)S(p)| < 1$ , alors  $|S(p)| < \beta p, \beta \in ]0, 1]$

On obtient au final :  $\|S(jw)\|_{H\infty} < \beta jw, \beta \in ]0, 1]$ . Pour valider le choix il suffit de calculer  $S(p)$  quand  $p \rightarrow 0$  qui est égal à  $\beta$ , donc  $\forall w \in \mathbb{R} \quad \xi_v = \beta$

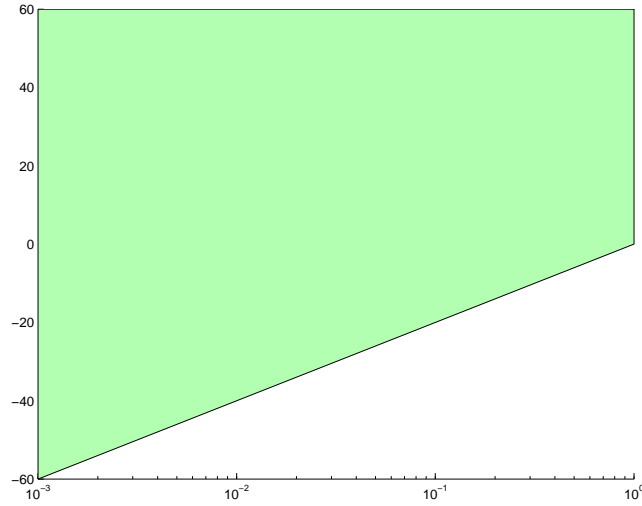


FIGURE 1.4 – Diagramme illustrant le gabarit de l'erreur de vitesse

**Nota :** Les deux gabarits vu précédemment sont soit colinéaires soit l'un est comporté ou et inclut dans l'autre. Dans notre cas  $\alpha = \beta = 1$ , ainsi  $W_1(p) = W_2(p)$ .

## 1.6 La bande passante de $S(p)$

On dispose de la relation de la bande passante sur  $T(jw)$  :  $|T(jw)|_{dB} - |T(0)|_{dB} > 3dB$ ,  $\forall w \in [0, w_c]$ ,  $w_c$  : pulsation de coupure, on trouvera sa valeur plus tard dans le rapport.

Après développement on obtient :  $\frac{|T(jw)|}{|T(0)|} > \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow |T(jw)| > \frac{1}{\sqrt{2}}$ ,  $w \in [0, w_c]$  qui est la condition nécessaire qu'il faut satisfaire afin de créer le gabarit équivalent à la spécification sur la vitesse de convergence.

Si on choisit la suivante condition sur  $S(jw)$  :  $|S(jw)| < 1 - \frac{1}{\sqrt{2}}$  c'est à dire  $\|S(jw)\|_{H\infty} < 1 - \frac{1}{\sqrt{2}}$  où  $w \in [0, w_c]$

$$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} < 1 - |S(jw)| \dots\dots\dots (1)$$

Or on sait que :  $|T(jw)| + |S(jw)| \geq 1$

$$\text{Ainsi : } 1 - |S(jw)| \leq |T(jw)| \dots\dots\dots (2)$$

De (1) et (2) on obtient :  $\frac{1}{\sqrt{2}} < 1 - |S(jw)| \leq |T(jw)|$

Il ne reste qu'à dire que pour  $\forall w \in [0, w_c], \quad \frac{1}{\sqrt{2}} < |T(jw)|$

Au final la fonction de pondération  $W_3(jw) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}-1}$  s'obtient en validant la condition  $|W_3(jw)S(jw)| < 1$ . De cette manière la condition sur  $T(jw)$  est respectée, maintenant voyons ce que va donner l'interprétation graphique du gabarit.

## 1.7 Construction du gabarit de la vitesse de convergence pour $S(p)$

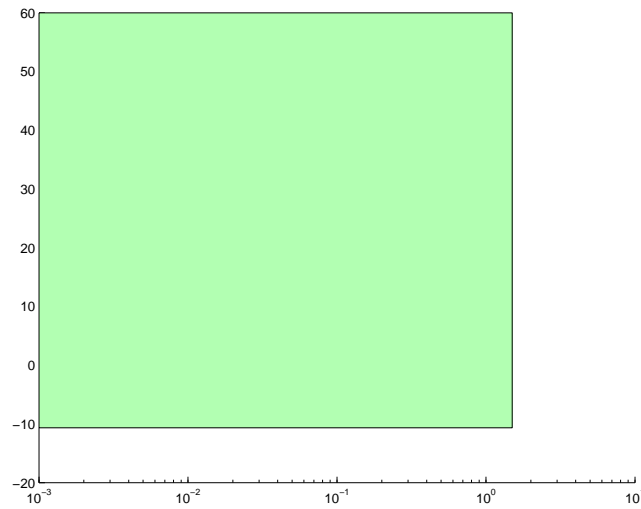


FIGURE 1.5 – *Diagramme illustrant le gabarit de la vitesse de convergence pour  $S(p)$*

Du graphe on constate que  $|S(j\omega)|_{dB} < 20 \log(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}) = -10.66 \text{ dB}, \forall \omega \in [0, \omega_c]$ .

## 1.8 Construction du gabarit de la convergence sans oscillations pour $S(p)$

Afin de satisfaire cette spécification du cahier des charges nous choisissons de démarrer par la définition de la marge de module  $M_m$  qui est inversement proportionnelle à la norme H infinie de la fonction de sensibilité  $S(p)$ , on trouve :  $M_m = \frac{1}{\|S(j\omega)\|_{H\infty}}$

On sait que si  $M_m > 1$  alors l'asservissement n'aura ni oscillations ni dépassements. Essayons de développer cette idée :

$$M_m = \frac{1}{\|S(j\omega)\|_{H_\infty}} > 1, \text{ d'où l'on obtient : } \|S(j\omega)\|_{H_\infty} < 1$$

Si on prend la fonction de pondération suivante :  $W_4(j\omega) = 1$ , donc la relation :  $|S(j\omega)W_4(j\omega)| < 1$  est vérifiée. Graphiquement on aura le gabarit suivant :

FIGURE 1.6 – Diagramme illustrant le gabarit de la convergence sans oscillations pour  $S(p)$

**Conséquence importante :** On constate que le gabarit choisi ne repsecte pas la limitation liée à l'intégrale de Bode car il ne permet pas à la courbe de  $S(j\omega)$  de franchir la partie positive du plan, dans ce cas la réponse temporelle aura forcément des dépassement ou/et des oscillations ce que le cahier des charges nous permet pas de faire.

Disons que notre système est du second ordre ou contient deux modes dominants, sa fonction de transfert est de la sorte :  $H(p) = \frac{K}{\frac{p^2}{w_n^2} + \frac{2\zeta}{w_n}p + 1}$ . Afin d'obtenir un système sans oscillations/dépassements, on choisit un coefficient d'amortissement  $\zeta > 0.7$ , valeur nécessaire pour éviter les oscillations/dépassements.

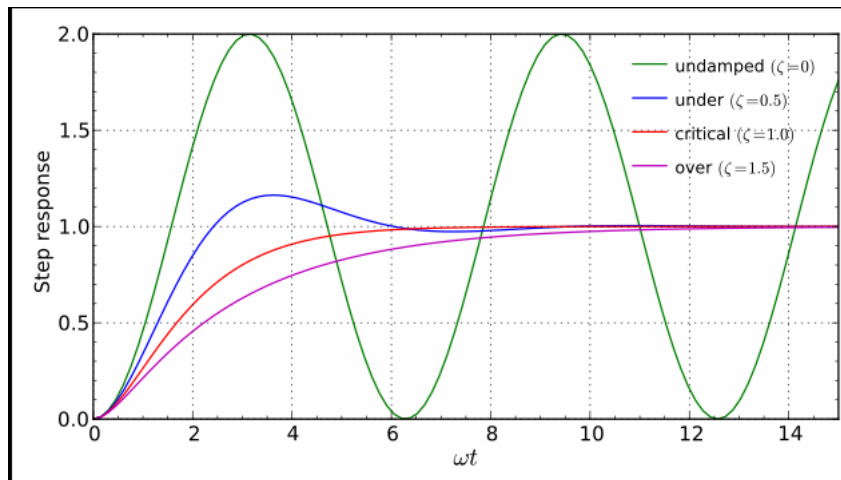


FIGURE 1.7 – Fonctions de transfert du second ordre [Kri11]

Prenons  $\zeta = 0.91$  et calculons la valeur du dépassement  $D$  :

On sait que :  $D_k = 100e^{\frac{-k\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$ ,  $k = 1$  dans notre cas.

Après avoir remplacé la valeur de  $\zeta$  dans la formule précédente et calculé  $D$  puis  $D$  en  $dB$ , il ne reste qu'à affecter  $D_{dB}$  à  $W_4(j\omega)$ . De cette manière on a construit le bon gabarit.

FIGURE 1.8 – Diagramme illustrant le gabarit de la convergence sans oscillations pour  $S(p)$

## 1.9 Construction du gabarit du rejet du bruit de mesure pour $S(p)$

On doit déterminer un filtre  $W_5(jw)$  de telle sorte que  $\|W_5(jw)T(jw)\|_{H\infty} < 1$ .

**Supposition :** Puisqu'en général  $b(p)$  est un phénomène haute fréquence, alors il faut que  $|T(jw)|$  soit petit pour des pulsation assez grandes. Par conséquent  $|S(jw)| \simeq 1$  pour des pulsations assez grandes.

Afin de respecter notre cahier des charges on pose  $|T(jw)|_{dB} \leq |\frac{1}{W_5(jw)}|_{dB} = -60dB, \forall w > 200\pi$ .

D'autres part :  $|T(jw)| \leq 0.001$ , aussi :  $|T(jw)| = |1 - S(jw)|$ , donc :  $1 - S(jw) \leq 0.001$  d'où :  $|S(jw)| \geq 0.999$  et donc :  $|\frac{1}{W_5(jw)}| = 0.999, \forall w > 200\pi$ .

N'oublions pas que :  $S(jw) = 1 - T(jw) \Rightarrow |S(jw)| = |1 - T(jw)| < 1 + |T(jw)| = 1.001, \forall w > 200\pi$ .

Pour conclure :  $\forall w > 200\pi, 0.999 \leq |S(jw)| < 1.001$  ainsi notre supposition est vérifiée.

Voici l'interprétation graphique de ce qu'on vient de voir :



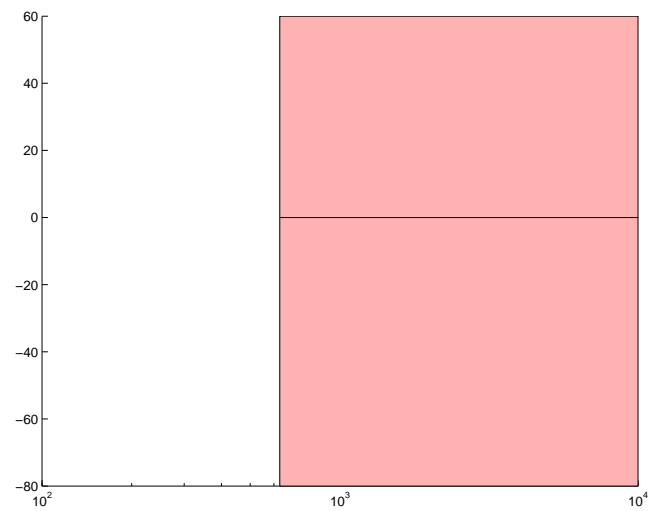
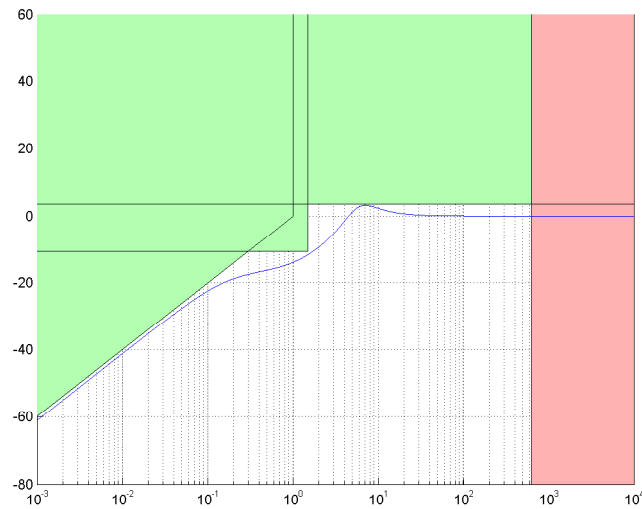


FIGURE 1.9 – *Diagramme illustrant le gabarit du rejet de bruit de mesure pour  $S(p)$*

Arrivés à ce point, on pourra maintenant assembler tous nos gabarits et commencer à traiter les autres spécifications de notre cahier des charges. La figure suivante regroupe tous nos gabarits.


 FIGURE 1.10 – Diagramme illustrant tous les gabarits pour  $S(p)$ 

## 1.10 Calcul de l'erreur de vitesse

On sait que :  $\xi_v = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{S(p)}{p}$  et que :  $S(p) = \frac{1}{1+G(jw)K(jw)}$

On trouve :  $\xi_v = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{\tau_i p^4 + 7\tau_i p^3 + 12.75\tau_i p^2 + 6.75\tau_i p}{4\tau_i p^5 + 7\tau_i p^4 + (16k\tau_i + 12.75\tau_i)p^3 + (6.75\tau_i + 16k + 20k\tau_i)p^2 + 20kp}$

L'équivalent basse fréquence de  $\xi_v$  vaut alors :  $\frac{6.75\tau_i}{20k}$

Or :  $\xi_v \leq 1 \Rightarrow \frac{6.75\tau_i}{20k} \leq 1$

**Conséquence :** Maintenant qu'on a trouvé une relation entre  $k$  et  $\tau_i$ , il nous est beaucoup plus facile de satisfaire nos gabarits.

## 1.11 Tracé de Black - Nichols

FIGURE 1.11 – Tracé de Black de la boucle ouverte

## 1.12 Détermination de $k$ et de $\tau_i$ , Niyquist

### 1.12.1 Détermination de $k$ et de $\tau_i$

En sachant qu'il existe une infinité de solutions, sur MATLAB on a commencé à faire varier la valeur du gain  $k$  et de  $\tau_i$  afin de trouver une solution respectant notre cahier des charges. Grâce à notre relation précédente on désormais que le rapport de  $\tau_i$  et de  $k$  doit être inférieur ou égale à la valeur :  $\frac{20}{6.75} \simeq 2.963$ , ce qui nous a fait gagner beaucoup de temps.

FIGURE 1.12 – Tracés de  $S(p)$  pour différentes valeurs de  $k$  et de  $\tau_i$

Arrivés à ce point, on pense que  $k = 0.335$  et  $\tau_i = 0.905505$  sont des solutions qui respectent le cahier des charges, nous allons garder ça pour plus tard. Vérifions maintenant que la courbe de  $S(p)$  ne franchit pas les zones rouges c'est à dire le gabarit du rejet de bruit de mesure issu d'une condition nécessaire. on sait que même si cette courbe franchie les zones vertes ça ne poserait pas problème car leurs gabarits sont issus de conditions suffisantes.

FIGURE 1.13 – Tracé de  $S(p)$  pour  $k = 0.335$  et  $\tau_i = 0.905505$

FIGURE 1.14 – Vérification que  $S(p)$  ne franchit pas les zones rouges

### 1.12.2 Vérification de la stabilité par le critère de Nyquist

Maintenant vérifions que la spécification de stabilité est vérifiée grâce au tracé de Nyquist, nous rappelons que la courbe ne doit strictement pas dépasser la majorité de la partie gauche après la droite verticale au point -1.

FIGURE 1.15 – Tracé de Nyquist du  $S(p)$

## 1.13 Tracés et calcul de la marge de module de $S(p)$ et de $T(p)$

### 1.13.1 Tracés de $S(p)$ et de $T(p)$

FIGURE 1.16 – *Feedback de  $T(p)$*

**Nota :** De cette courbe on obtient directement la valeur du temps de réponse qui vaut :  $2.92s$  c'est à dire moins de  $3s$ , la spécification ( $d$ ) est respectée.

FIGURE 1.17 – *Feedback de  $S(p)$*

### 1.13.2 Calcul de la marge de module de $S(p)$ et de $T(p)$

La marge de module de  $S(p)$  vaut :

La marge de module de  $T(p)$  vaut :

**Conclusion :**

## 1.14 Tracé de la réponse indicielle et de la réponse à un échelon de perturbation

### 1.14.1 Tracé de la réponse indicielle

FIGURE 1.18 – *Reponse indicielle*

### 1.14.2 Tracé de la réponse à un échelon de perturbation

FIGURE 1.19 – *Reponse à un échelon*

**Conclusion générale :**

pour satisfaire cette condition ,il faut que  $S(p)$  soit proche du zéro ,Donc il va falloir que  $1+K(p)*G(p)$  soit grand pour que  $S(p)$  converge vers zéro.  $\forall \omega, |W(p).S(p).G(p)| \leq \alpha \Rightarrow \|W(p).S(p).G(p)\|_{\infty} \leq \alpha$

On utilise le théorème de la valeur finale et on souhaite avoir un débit de fuite constante donc  $W_{\mu}(p) = \frac{1}{p}$  On calcule l'erreur perturbation de commande  $\varepsilon_c$ , on obtient  $G(0)S(0)=0$

Donc :  $\varepsilon_c = 0$

# Conclusion

# Bibliographie

- [Ano17] Anonyme. Robustesse. <https://fr.wiktionary.org/wiki/robustesse>, 2017. [Internet], consulté le [13-11-2018].
- [Ano18a] Anonyme. Asservissement (Automatique). [https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement\\_%28automatique%29](https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement_%28automatique%29), 2018. [Internet], consulté le [13-11-2018].
- [Ano18b] Anonyme. Performance. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Performance>, 2018. [Internet], consulté le [13-11-2018].
- [Ano18c] Anonyme. Robustesse (Ingénierie). [https://fr.wikipedia.org/wiki/Robustesse\\_%28ing%C3%A9nierie%29](https://fr.wikipedia.org/wiki/Robustesse_%28ing%C3%A9nierie%29), 2018. [Internet], consulté le [13-11-2018].
- [Gou16] Gouaisbaut.F Analyse et performances des systèmes linéaires. <http://master-eea.univ-tlse3.fr/wp-content/uploads/2016/11/TP1.pdf>, 2016. [Internet], consulté le [08-11-2018].
- [Kri11] Krishnavedala. Second order transfer function. [https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A7%D7%95%D7%91%D7%A5:Second\\_order\\_transfer\\_function.svg](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A7%D7%95%D7%91%D7%A5:Second_order_transfer_function.svg), 2011. [Internet], consulté le [08-11-2018].

# Annexe

```
clear all
close all

% Trace d'un gabarit generique pour le TP

%% Parametrage :

w1 = 1; % Intersection de l'asymptote basse frequence avec l'axe des abscisses
n1 = 1; % Pente (*20dB/dec) de l'asymptote basse frequence

w2 = 1.37; % bande passante [0;w2] sur T / bande atteneue sur S
a2 = 1-(1/sqrt(2)); % facteur d'attenuation dans la bande atteneue de S

a3 = 100*exp(0.91*pi/(sqrt(1-0.91^2))); % norme Hinfinie maximale sur S//
%a3 = 100*exp(0.8*pi/(sqrt(1-0.8^2)));
w4 = 200*pi; % bande atteneue [w4;inf] sur T / canal de bande passante sur S //
a4_1 = 0.999 ; % minimum d'amplitude dans le canal de bande passante sur S//
a4_2 = 1.001; % maximum d'amplitude dans le canal de bande passante sur S//

%% Trace du gabarit dans le diagramme de bode de S :

wlogmin = -3;
wlogmax = 4;
wmin = 10^wlogmin;
wmax = 10^wlogmax;
Gmin = -80;
Gmax = 60;
w = logspace(wlogmin,wlogmax,2000); % Echantillon de frequences en echelle log
figure(1);
ha = axes;
set(ha,'XScale','log');

hold on
h1=line([wmin w1 w1],[n1*20*log10(wmin/w1) 0 Gmax]);
h2=line([wmin w2 w2],[20*log10(a2) 20*log10(a2) Gmax]);
h3=line([wmin wmax],[20*log10(a3) 20*log10(a3)]);
h4_1=line([w4 w4 wmax],[Gmin 20*log10(a4_1) 20*log10(a4_1)]);
h4_2=line([w4 w4 wmax],[Gmax 20*log10(a4_2) 20*log10(a4_2)]);
```



```

%set([h1;h2;h3],'Color',[0 1 0]);
%set([h4_1;h4_2],'Color',[1 0 0]);

figure(2)
hab = axes;
set(hab,'XScale','log');

hold on
% h1b=patch([wmin w1 w1 wmin],[n1*20*log10(wmin/w1) 0 Gmax Gmax],[0.7 1 0.7]);
% print -dpdf gabarit1
h2b=patch([wmin w2 w2 wmin],[20*log10(a2) 20*log10(a2) Gmax Gmax],[0.7 1 0.7]);
%print -dpdf gabarit2
% h3b=patch([wmin wmax wmax wmin],[20*log10(a3) 20*log10(a3) Gmax Gmax],[0.7 1 0.7]);
% print -dpdf gabarit3
% h4_1b=patch([w4 w4 wmax wmax],[Gmin 20*log10(a4_1) 20*log10(a4_1) Gmin],[1 0.7 0.7]);
% h4_2b=patch([w4 w4 wmax wmax],[Gmax 20*log10(a4_2) 20*log10(a4_2) Gmax],[1 0.7 0.7]);
% print -dpdf gabarit4
grid on
%set([h1b;h2b;h3b],'FaceAlpha',0.2);
%set([h4_1b;h4_2b],'FaceAlpha',0.2);

%% Trace initial du diagramme de Bode de S
%%kk=0.335;
kk=0.3713;
%max 2.3
%a=20/6.75 = 2.963 qu'il ne faut absolument pas dépasser

a=2.703;

%%tt=a*kk;
tt=1.1;
ng=[16 20];
dg=[1 7 12.75 6.75];
nk=[kk*tt kk];
dk=[tt 0];
%%Boucle ouverte
zs=tf(ng,dg)*tf(nk,dk);
%% Sensibilite
ss=1/(1+zs);
%% T
t=zs*ss; % cosensibilite
%S = tf([1 2 0],[1 1 5]);
%GS = 20*log10(squeeze(abs(freqresp(S,w))));
GS = 20*log10(squeeze(abs(freqresp(ss,w))));
hBodeS = plot(w,GS,'b-');
grid on

```

```
%print -djpeg touslesgabarits
```

```
%% Iteration du trace
```

```
%%S = tf([1 2 0],[1 1 5]);
%%GS = 20*log10(squeeze(abs(freqresp(S,w))));
%GS = 20*log10(squeeze(abs(freqresp(ss,w))));
set(hBodeS,'YData',GS);
```

```
%GSS = 20*log10(squeeze(abs(freqresp(t,w))));
```

```
%%Bode de T pour trouver wc pulsation de coupure
figure(3)
bodemag (t);
grid on
%hBodeS = plot(w,GSS,'b-');
```

```
%% Feedback de T question 12
```

```
feed= feedback(t,1);
%feed2= feedback(tf(kk,[1 0]),1);
figure(4)
step(feed);
%hold on
%step(feed2);
grid on
```

```
%%Feedback de S question 12
```

```
feed3= feedback(ss,1);
figure (8)
step(feed3);
```

```
%% Bode asymptotique question 2
```

```
bod=tf(nk,dk);
figure (5)
bode(bod)
grid on
```

```
%% Black boucle ouverte
```

```
figure (6)
nichols(zs);
```

```
%% Nyquist de S pour dire que notre systeme est stable loin du popint -1 question
```

figure (7)  
nyquist(ss);