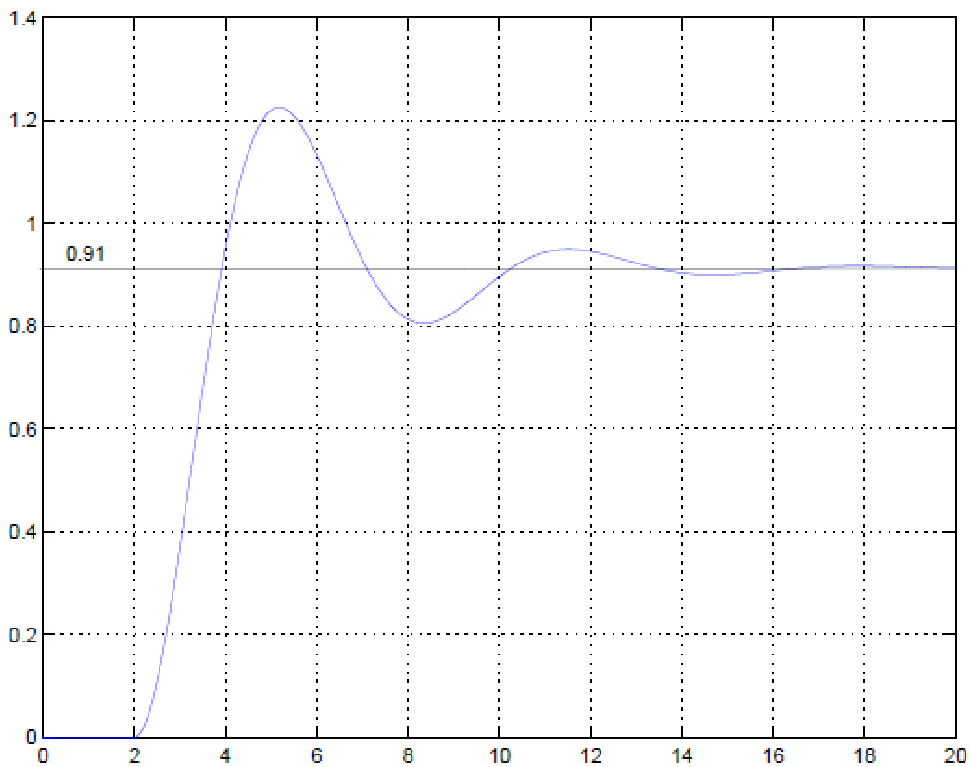
Régulation industrielle

A . Meghebbar.

Série 01 Méthodes d'Identification classiques (Régulation).

Exercice 1.

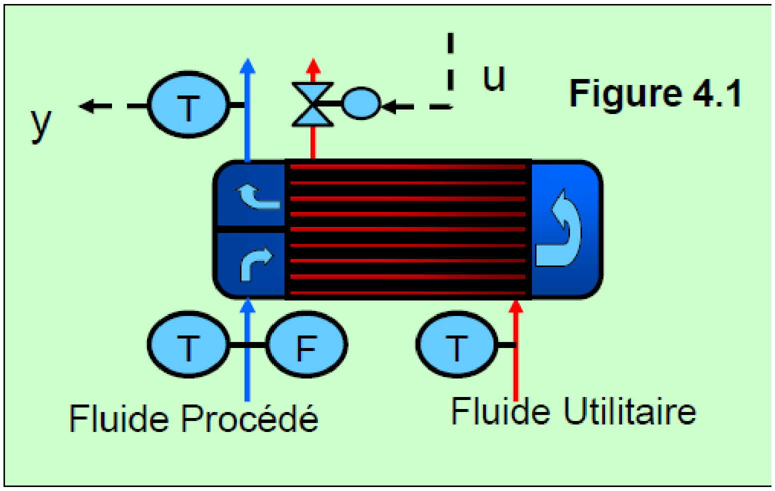
La réponse à un échelon en boucle ouverte d'un système est donnée par :



Donner la forme générale de la fonction de transfert de ce système et donner les valeurs numériques des différents coefficients du modèle.

Exercice 2.

On cherche à identifier la fonction de transfert réglante d'un échangeur thermique (ci-dessous).



Une variation de la commande u de 44% à 60%, appliquée à l'actionneur (ici la vanne automatique), a permis d'obtenir la réponse indicielle y(t) mesure de la température

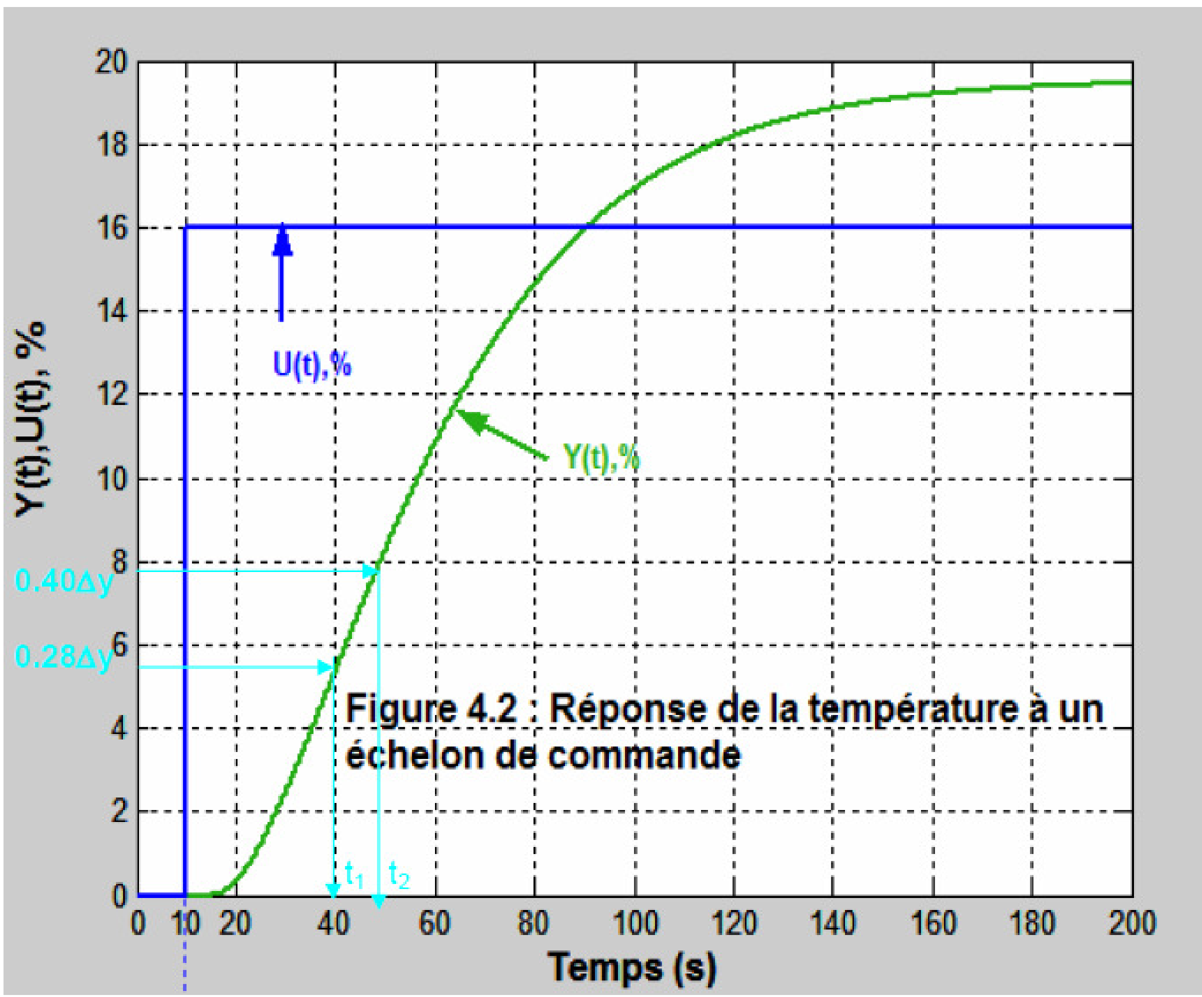


Figure 4.2 : Réponse de la température à un échelon de commande

1. Donner la fonction de transfert réglante représentative de cet échangeur de chaleur en appliquant la méthode de Broida.
2. Donner la fonction de transfert réglante représentative de cet échangeur de chaleur en appliquant la méthode de Streijc.

Exercice 3.

1. La réponse à un échelon du système suivant en boucle ouverte est donnée par la figure 1. En faisant l'hypothèse que le système est un premier ordre avec un retard pur, donner les valeurs numériques d'un tel modèle.
2. Toujours sur cette même figure appliquer la méthode de Strejc afin d'obtenir un modèle plus précis.

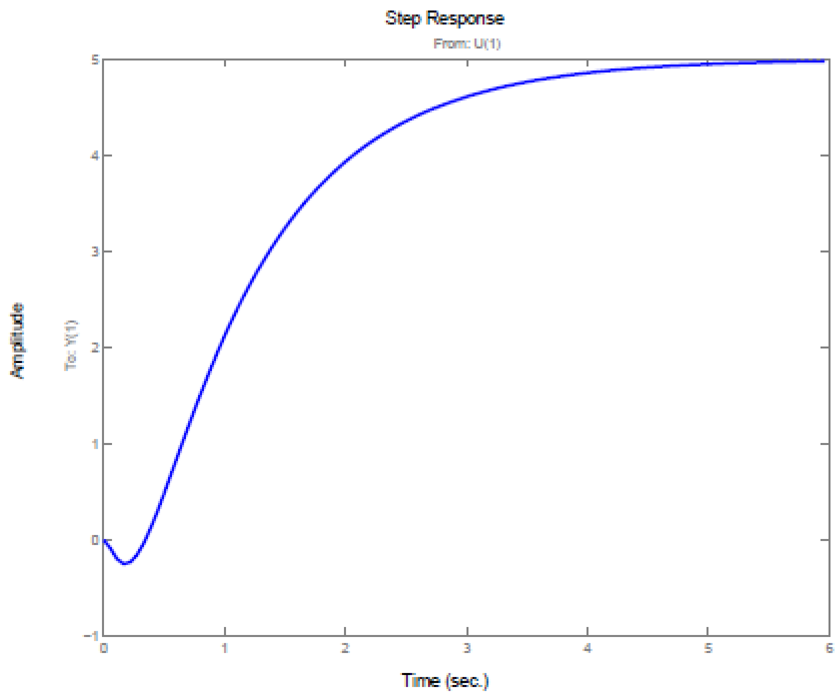
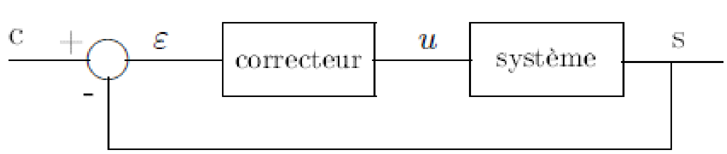


Figure 1 : réponse indicielle en B.O.

On donne :

n	Tu/Ta	Tu/τ	Ta/τ
1	0	0	1
2	0.104	0.282	2.718
3	0.218	0.805	3.695
4	0.319	1.425	4.465
5	0.410	2.100	5.119
6	0.493	2.811	5.699
7	0.570	3.549	6.226
8	0.642	4.307	6.711
9	0.709	5.081	7.164
10	0.773	5.869	7.590

3. Ce même système est bouclé par un retour unitaire et un gain de 0.1 en guise de correcteur :



Sa réponse indicielle est indiqué en figure 2

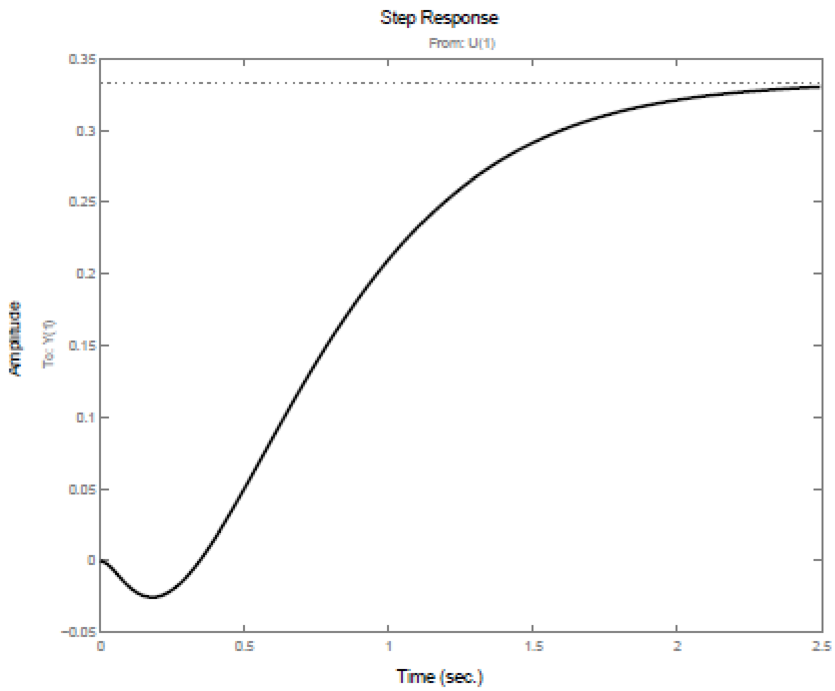


Figure 2 : réponse indicielle en B.F.

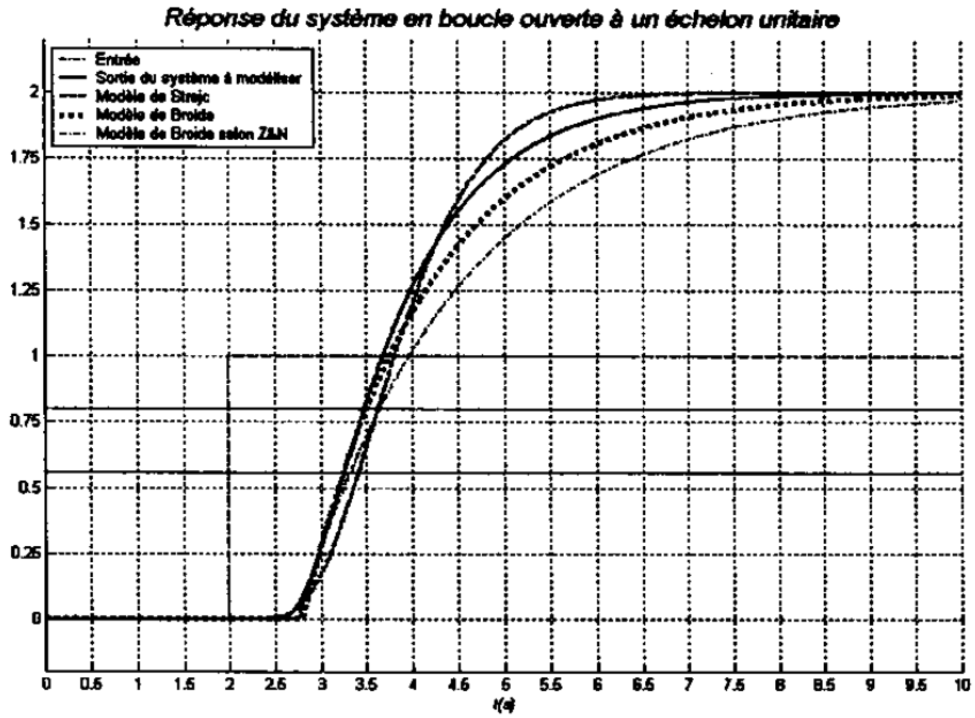
3.1 Déterminer un modèle du système en BF, méthode de Strejc toujours.

3.2 En négligeant le retard pur, déduisez-en un modèle en BO. Le système est-il stable ?

4. Reprendre le modèle obtenu en B.O. et proposer un modèle à 3 constantes de temps

Exercice 4.

La courbe fournie représente la réponse en boucle ouverte d'un système à un échelon unitaire.



1. Appliquer la méthode de Strejc pour identifier ce système selon une fonction de transfert en boucle ouverte de la forme : $T_1(p) = \dfrac{Ke^{-rp}}{(1+\tau p)^n}$
2. Appliquer la méthode de Broida pour identifier ce système selon une FTBO de la forme :
   $T_2(p) = \dfrac{Ke^{-rp}}{(1+\tau p)}$
3. Appliquer la méthode de Ziegler et Nichols pour identifier le système selon une FTBO de la même forme que la précédente.
4. Faire une étude harmonique (un tableau) comparant les 3 modèles précédents avec la FTBO réelle : $T(p) = \dfrac{40e^{-0.5p}}{(p+1(p+4(p+5)))}$

Sur le plan stabilité en boucle fermée, quels modèles sont plus favorables que le système réel ?

5. Déterminer le correcteur **PI** à partir du modèle T_3

<u>Exercice 5</u> : Identification d'un procédé en BF : dégazeur thermique.

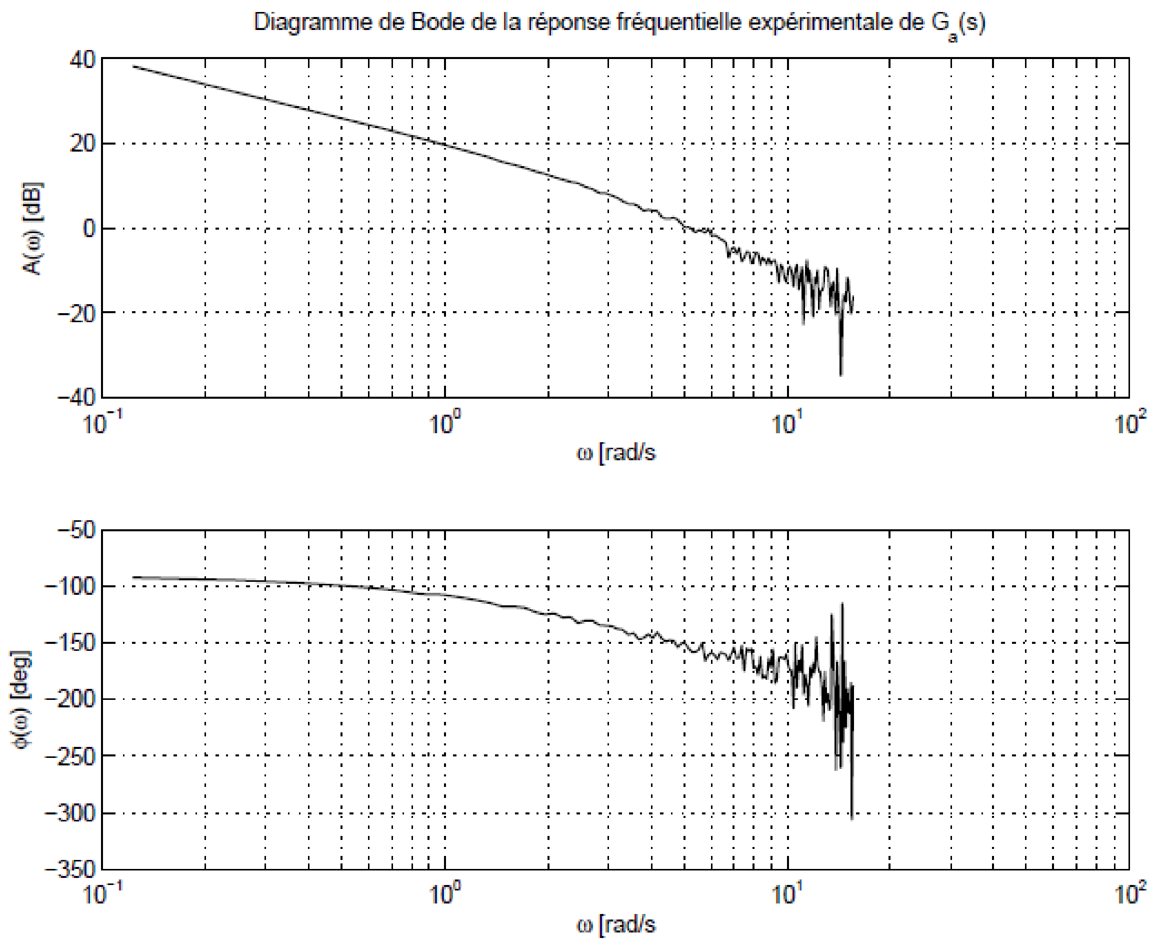
La fonction de transfert réglante de niveau d'eau d'un dégazeur thermique a été identifiée en boucle fermée selon la méthode de pompage .Lorsque le procédé est mis en oscillation juste entretenues, on note $K_{OSC} = 5$ et $T_{OSC} = 23.88\ \text{min}$

Calculer cette fonction de transfert réglante en l'exprimant par :

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{K}{p(1+Tp)^2}$$

Exercice 6 : **Identification de la réponse fréquentielle d'un système à régler.**

La réponse fréquentielle expérimentale d'un système à régler analogique est donnée ci-dessous :



Déterminer la fonction de transfert notée $G_a(p)$

.

Série 02. **Réglage des Correcteurs 1.**

Exercice 1.

Méthode d'oscillations Zeigler-Nichols.

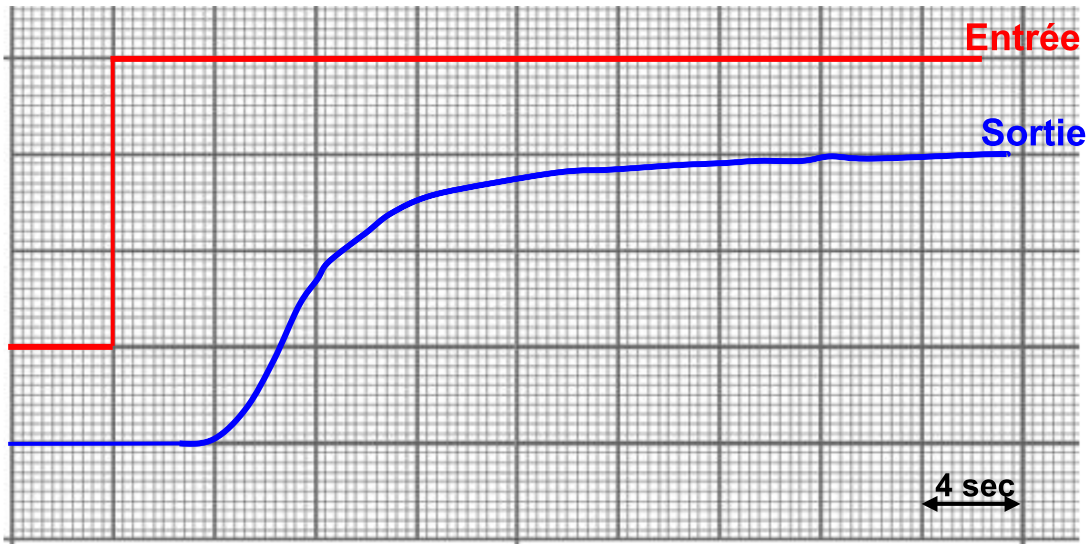
Soit un système ayant la fonction de transfert :

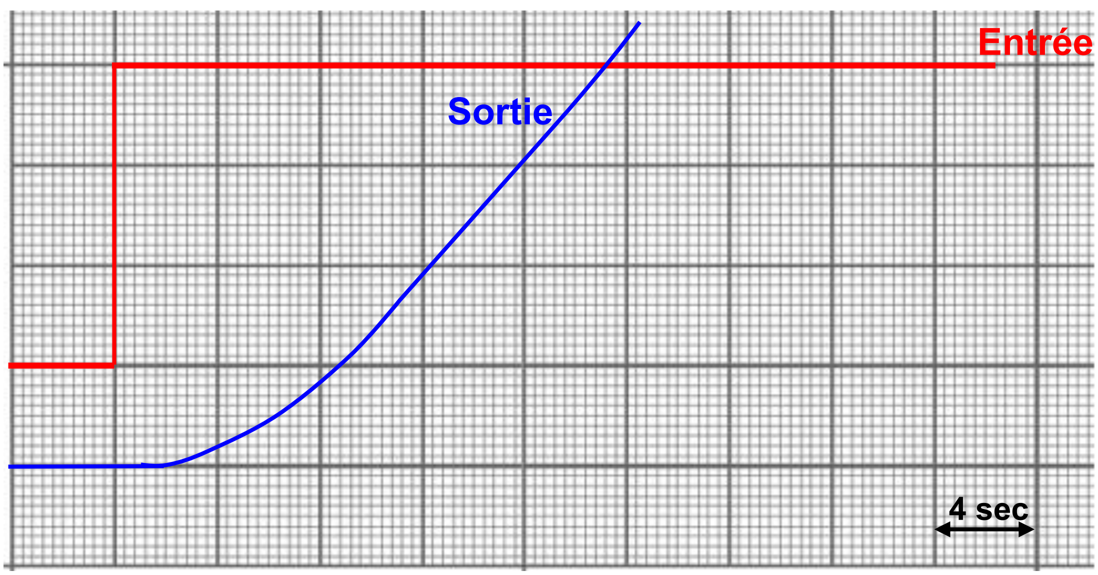
$$G(p) = \frac{3}{(p+1)(p+2)(p+3)}$$

1. Calculer la valeur des composantes pour réaliser un contrôleur PID.

Exercice 2.

Identifier les systèmes dont les réponses indicielles sont données par les figures suivantes ,et calculer les actions pour un PID série en utilisant la méthode de Broïda. Simuler la réponse obtenue sous Matlab.



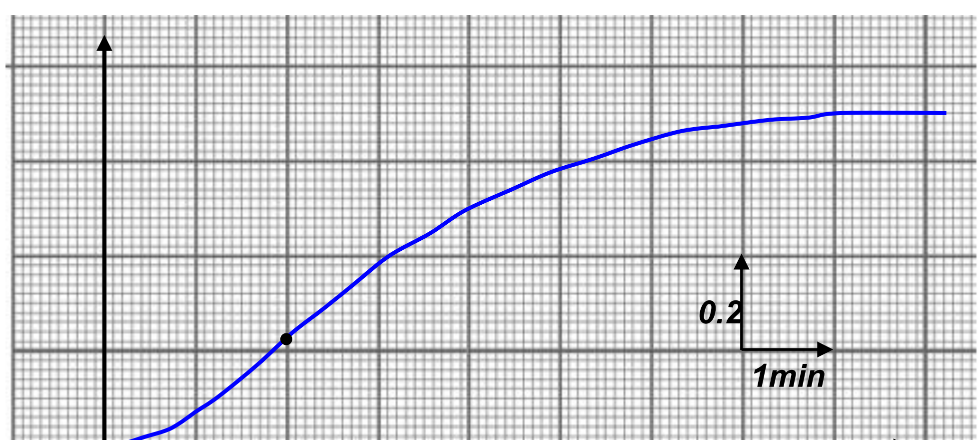


Exercice 3.

La réponse indicielle d'un procédé industrielle pour une entrée échelon ***e(t)=1*** est donnée par :

Identifier le système et calculer les actions du P, PI et PID par la méthode Z&N en BO.

Simuler sous Matlab/simulink les réponses obtenues et optimiser les si nécessaire.

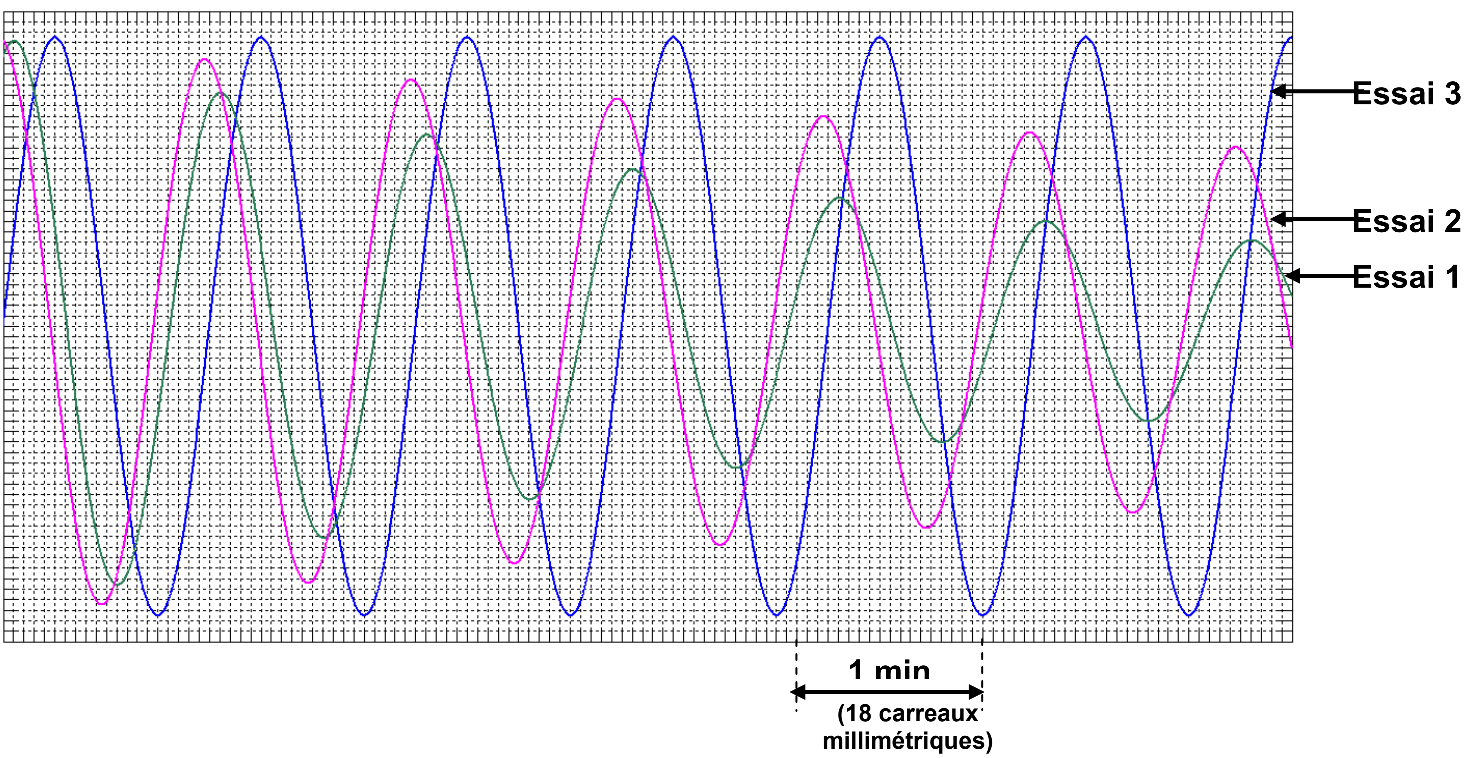


Exercice 4.

Les réponses d'un procédé à partir de 3 essais par la méthode de pompage sont données par :

Essai 1 :G_{r1} =5, Essai 2 : G_{r2} =5.5, Essai 3 : G_{r3} =5.7

Calculer les actions du régulateur PID série.



Exercice 5 : Synthèse fréquentielle d'un régulateur.

Un système à régler a pour fonction de transfert :

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{K_a}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)} \qquad \text{Avec : } \begin{cases} K_a = 10 \\ \tau_1 = 10s \\ \tau_2 = 1s \end{cases}$$

Cahier de charges :-

- Erreur de position nulle,
- Marge de phase de 45°.
- Réponse indicielle en boucle fermée doit être oscillante optimale.

Choisir et faire la synthèse d'un correcteur permettant de satisfaire le cahier de charge. Quelle est la durée de réglage approximative?

<u>Exercice 6</u> : <u>Synthèse fréquentielle d'un régulateur.</u>

Un système à régler a pour fonction de transfert :

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{K_a}{p(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)} \qquad \text{Avec : } \begin{cases} K_a = 10 \\ \tau_1 = 10s \\ \tau_2 = 1s \end{cases}$$

Cahier de charges :-

- Marge de phase de 45°.
- Réponse indicielle en boucle fermée doit être oscillante optimale.

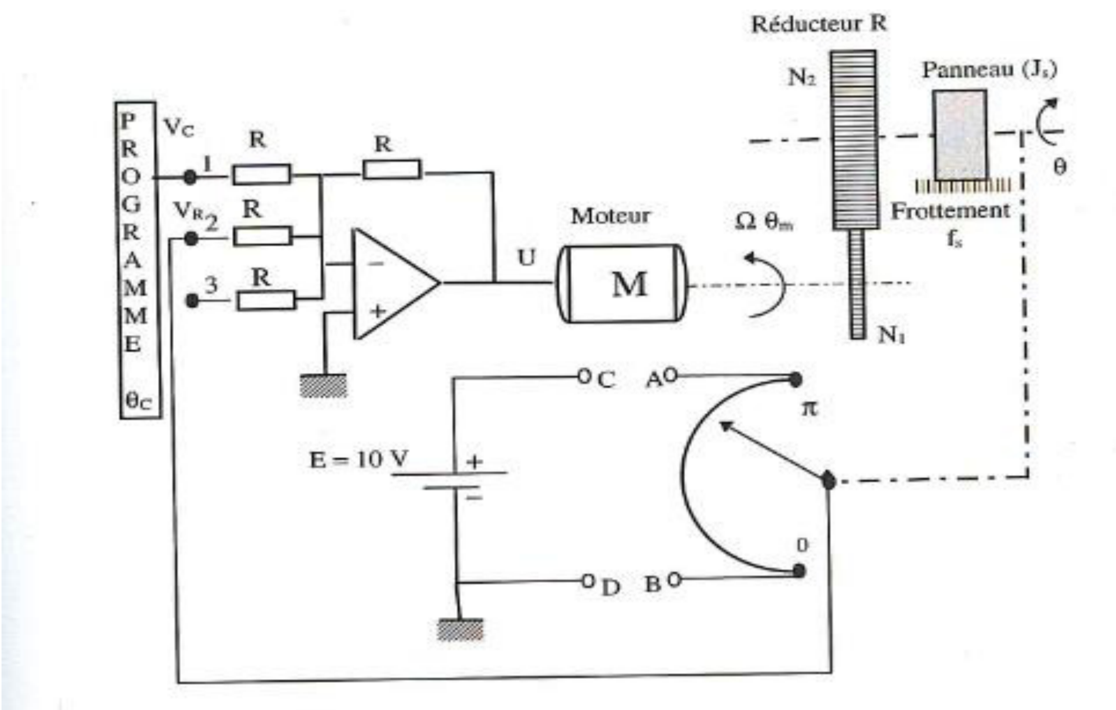
Choisir et faire la synthèse d'un correcteur permettant de satisfaire le cahier de charge. Quelle est la durée de réglage approximative?

Série 3. **Problèmes de régulation industrielle.**

Problème 01.

Problème1 : **Positionnement d'un panneau solaire**.

Pour augmenter le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque il est important de l'orienter convenablement face au soleil. Pour cela il est parfois recommandé de réaliser une poursuite du soleil, ceci est d'autant plus vrai quand il s'agit de panneaux avec des cellules à concentration. On se propose d'étudier ici un dispositif permettant d'asservir la position angulaire du panneau à celle du soleil. Le schéma du dispositif étudié est donné sur la figure suivante :



1. Elaboration de la consigne.

Pour élaborer la consigne, on peut procéder de plusieurs façons. On peut par exemple grâce à un dispositif préprogrammé disposer de la trajectoire du soleil en fonction des heures de la journée. On choisit de programmer six positions journalières correspondant à six valeurs différentes de la consigne.

1.1 En supposant que les six positions sont équivalentes et que la trajectoire décrite par le soleil est un demi cercle gradué de 0 à 180°, donner les différentes valeurs de la consigne ϑ_C (on tiendra compte de deux valeurs extrêmes 0 et 180°).

1.2 Le dispositif considéré nous livre une tension de consigne V_C variant de -10 à 0 Volt. Donner les six valeurs de consigne V_C.

2. Etude de la motorisation.

Le moteur M utilisé est à courant continu, à excitation séparée, de fonction de transfert :

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{1}{1+T_m p}$$

Où :

Ω est la vitesse de l'arbre angulaire du moteur,

U est la tension de commande,

T_m est sa constante de temps mécanique donnée par $V_C\ T_m = J / f$ avec J le moment d'inertie total ramené à l'arbre du moteur, et f le coefficient de frottement supposé visqueux également ramené à l'arbre du moteur.

Le panneau solaire d'inertie J_s est entrainé par l'arbre de sortie du réducteur R dont le rapport de réduction est $n = N_2 / N_1$ .On prendra $n = 10$ et $J_S = 100\, Kgm^2$

2.1 Ecrire la relation entre la position angulaire ϑ du panneau et celle du moteur ϑ_m

2.2 Donner le moment d'inertie J de la charge ramené à la charge du moteur,

2.3 Donner le coefficient de frottement f ramené à l'arbre du moteur si l'ensemble des frottements auxquels est soumis le panneau est égal à $f_S = 1Nm/s$

2.4 Monter alors que $T_m = 100\, s$

3. **Capteur et comparateur**.

Le capteur est constitué d'un potentiomètre rotatif, la course utile étant égale à 180°.

3.1 Comment faut-il brancher la source de tension E pour avoir l'asservissement de position. Faut-il lier (A à C et B à D), ou (B à C et A à D) ?

3.2 Ecrire la relation entre la tension de sortie du capteur V_R et la position ϑ du panneau solaire.

3.3 Le comparateur est constitué d'un amplificateur opérationnel monté en sommateur inverseur. Donner l'expression de U en fonction des entrées V_C et V_R.

4. **Etude de l'asservissement**

4.1 Faire le schéma fonctionnel de l'ensemble d'entrée ϑ_C et de sortie ϑ

4.2 Calculer pour le système bouclé le coefficient d'amortissement ξ la pulsation propre ω_O, et le dépassement D.

5. Contre-réaction tachymétrique.

Pour améliorer les performances du système, on dispose sur l'arbre du moteur d'une dynamo tachymétrique qui délivre une tension proportionnelle à la vitesse Ω, soit $V_d = K\Omega$ .Cette tension est reliée à l'entrée 3 de l'étage sommateur inverseur.

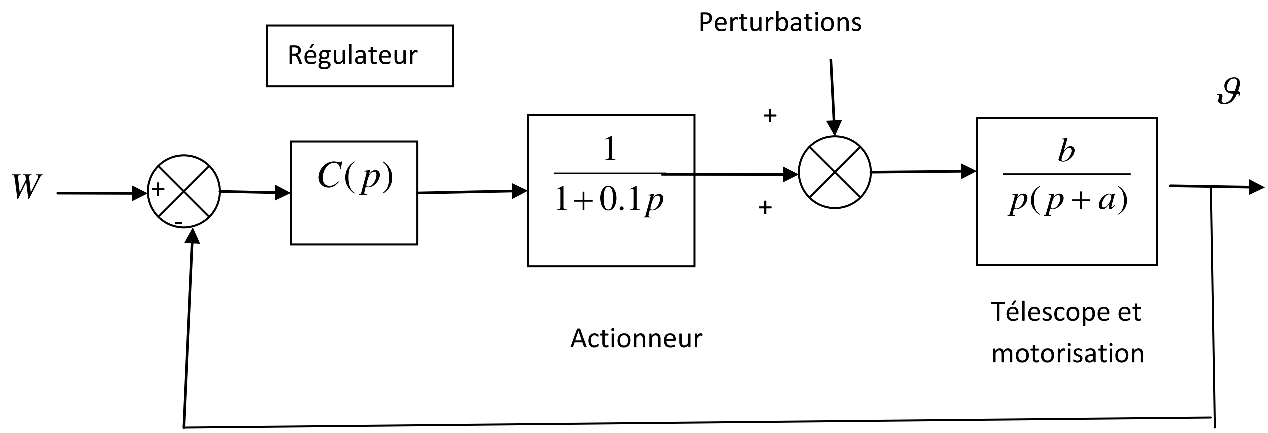
5.1 Faire le schéma fonctionnel de l'asservissement avec contre-réaction tachymétrique.

5.2 Calculer K pour avoir un dépassement de 20%

5.3 Comparer les résultats.

Problème 2.**Positionnement d'un télescope**.

Un télé scope monté sur un socle peut être positionné grâce à une motorisation suivant la position angulaire θ. Le schéma fonctionnel de la figure suivante représente l'asservissement de position réalisé.



Les paramètres a et b de la transmit tance du moteur dépendent de la charge et sont donnés pour trois points de fonctionnement définis dans le tableau ci-dessous :

Ponts de fonctionnement	b	a
1	0.2	10
2	0.3	8
3	0.45	3.5

1. $C(p) = K$

Calculer les gains critiques et donner la condition de stabilité valable pour tous les points de fonctionnement.

2. Déterminer la période des oscillations à la limite de stabilité pour les trois points de fonctionnement.
3. On remplace maintenant le régulateur proportionnel par un régulateur PID :

   $$C(p) = 60(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p}) \qquad T_d = 0.4s$$

   En utilisant un critère de stabilité, calculer la valeur de T_i pour que le système soit stable au point de fonctionnement 1.
4. Calculer les valeurs optimales des paramètres du régulateur PI $C(p) = K(1 + 1/T_i p)$

pour le point de fonctionnement 1 avec le critère de Naslin $(\alpha = 2)$ .Calculer le temps de pic.

5. Comparer le régulateur optimal déterminé en question 4 avec le régulateur calculé par les formules empiriques de Zeigler-Nichols suivantes :
Régulateur PI :

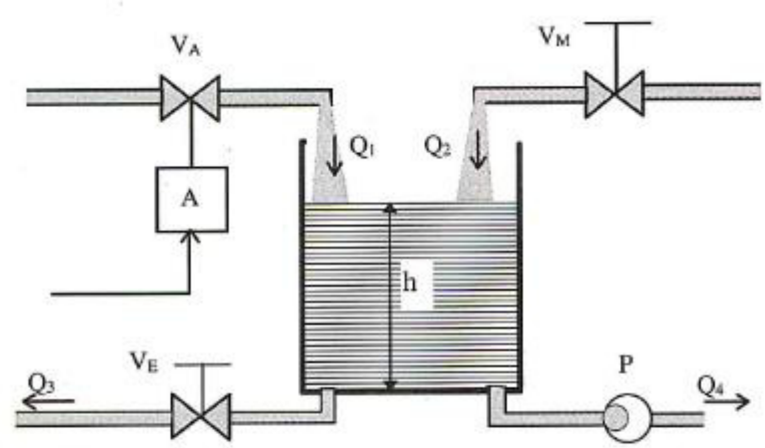
$$\begin{cases} K_{opt} = 0.45K_c \\ T_{opt} = 0.83T_c \end{cases}$$

Etant le gain critique du régulateur proportionnel, calculé en question 1, et étant la période des oscillations à la limite de stabilité, toujours avec le régulateur proportionnel.
Lequel des deux régulateurs vous semble le meilleur pour la stabilité du système en boucle fermée. Justifier votre réponse.

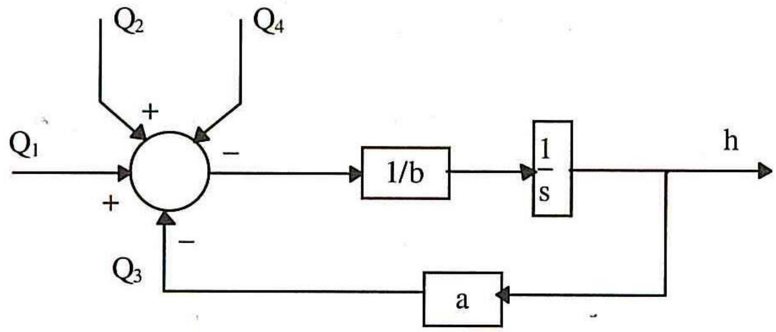
6. Calculer l'erreur en régime permanent si l'entrée est $w(t) = (1 + 2t + 5t^2)\delta(t)$
En supposant le régulateur PI déterminé à la question 4 et le premier point de fonctionnement.

<u>Problème 3</u> : **<u>Régulation de niveau.</u>**

Le processus envisagé est constitué d'un réservoir d'eau alimenté par deux voies distinctes. La première est une alimentation qui fournit un débit Q_1, fonction de la section de vanne automatique, V_A commandée par l'actionneur A. La deuxième est une alimentation manuelle, qui par la manœuvre de la vanne V_M , permet de régler le débit Q_2



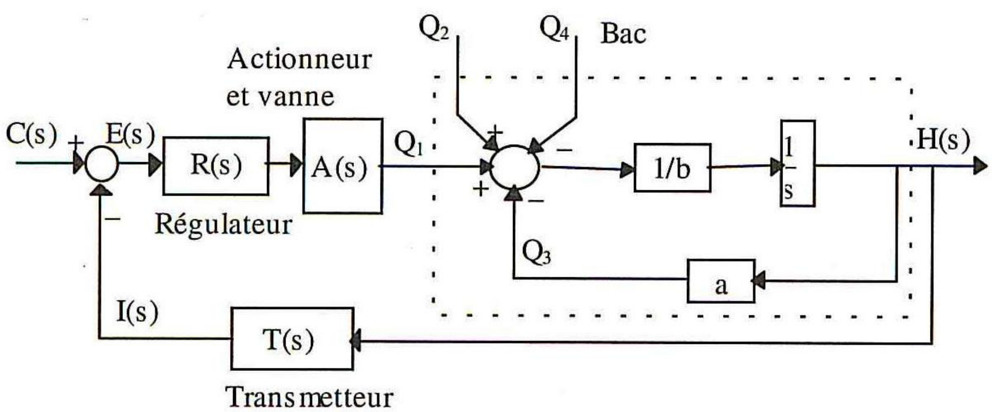
On puise dans ce réservoir par deux voies de sortie. La première est manuelle et permet par l'action sur la vanne V_E , de régler le débit Q_3 , qui est proportionnel à la hauteur h d'eau dans le réservoir. Une pompe électrique suffisamment puissante permet d'extraire un débit Q_4 , proportionnel à sa vitesse de rotation. Un modèle linéaire est proposé pour le processus précédent, autour de trois points de fonctionnement et selon le schéma fonctionnel suivant :



Les valeurs de a et b sont données ci-dessous :

Points de fonctionnement	a	b
1	2	500
2	3	500
3	4	500
4	0	500

On réalise un asservissement comme celui du schéma fonctionnel :



Le niveau $H(p)$ est ramené à l'entrée à l'aide d'un transmetteur de fonction de transfert $T(p)$ et de sortie $I(p)$ qui est retranchée à la consigne $C(p)$. L e signal d'erreur passe à travers un régulateur $R(p)$, puis commande l'actionneur. O n donne : $A(p) = T(p) = \dfrac{1}{1+p}$

1. Soit $Q_2 = Q_4 = 0$

   1.1 Trouver la fonction de transfert du bac
   $B(p) = H(p)/Q_1(p)$

1.2 Déterminer le gain statique g et la constante de temps du bac T_B en fonction de a et b.

1.3 Préciser les valeurs numériques de g et T_B aux trois premiers points de fonctionnement.

2. On suppose le régulateur proportionnel $R(p) = K$. Etudier la stabilité du système au premier point de fonctionnement

3. Dans la suite, on prend $T(p) = 1$ et on remplace le régulateur proportionnel par un PID :

$$R(p) = K(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p)$$

Avec :

$K = 250$ et $T_i / T_d = 0.5$

3.1 Calculer et pour que le système soit du type oscillant au point de fonctionnement 1.

3.2 Déterminer les pôles du système.

4. Dans le cas d'un régulateur PI :

$$R(p) = K\left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$$

4.1 En appliquant le critère d'amortissement de Naslin, calculer les valeurs des paramètres du régulateur pour avoir $r_2 = r_2 = 2$ au point de fonctionnement 1.

4.2 Trouver la valeur du temps de pic.