Devoir 1- EA2000 - Savonicc *Corrigé page* **??**

adapté de E3a 2000

A. Présentation

Comme tout objet de grande consommation, la savonnette est produite industriellement sur des lignes de production où l'intervention humaine consiste à surveiller, contrôler, programmer la production et assurer les tâches de maintenance. A partir des matières d'œuvre d'entrée bondillons (copeaux de savon), parfums, colorants et adjuvants, le processus étudié assure la production de savonnettes de dimensions, masses, couleurs, formes, «marquages» (logos, écritures...) et parfums variables. Tout au long de la fabrication les paramètres d'influence sur les caractéristiques du produit sont contrôlés. régulés et modifiés par l'opérateur ou pilote de ligne de production. Ces savonnettes sont ensuite conditionnées dans des caisses. Un système de palettisation assure l'empilage de ces caisses sur des palettes en vue de leur stockage et transport.

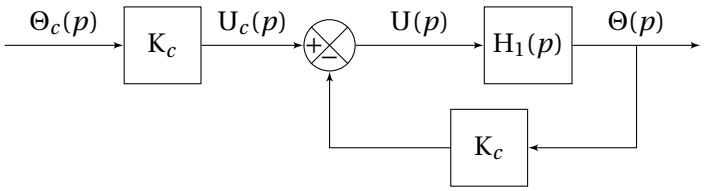
L'expérience des fabricants de savon, montre que le savon est un produit dont le comportement est tributaire de nombreux paramètres comme son taux d'hygrométrie, sa température, la nature de la formule, etc. Parmi les phénomènes constatés celui du collage du savon sur les outillages est le plus préjudiciable à la qualité de la production. En effet un savon trop humide ou trop chaud est pâteux et adhère aux parois métalliques des outillages. Pour ces raisons certaines zones de l'unité de boudinage et de l'unité de formage sont refroidies à une température variant entre $-10\,°C$ et $-15\,°C$. La formation du boudin nécessite par contre une fluidité du savon qui ne peut être obtenue que par une température de l'ordre de $60\,°C$. C'est ainsi que l'outillage situé en sortie de boudineuse est chauffé à celte température-là.

B. Unité de boudinage-Chaîne fonctionnelle de chauffage

La formation du boudin de savon par extrusion à la sortie de l'unité de boudinage nécessite une élévation de sa température jusqu'à $60\,°C$. Cette élévation de température et son maintien quelles que soient les perturbations extérieures (essentiellement des déperditions calorifiques par conduction et convection) justifient l'utilisation d'un dispositif de régulation thermique de la tête d'extrusion. Celle-ci est entourée d'une enceinte contenant un fluide caloporteur qui reçoit une quantité de chaleur de la part de résistances électriques noyées. La chaîne fonctionnelle utilisée pour réaliser cette régulation comprend (voir schéma 1) :

- l'actionneur de chauffe (résistances électriques) ;
- le gradateur qui permet de moduler la commande de chauffe à partir d'une information analogique provenant de la Partie Commande ;
- l'automate programmable (qui matérialise cette dernière) muni de deux modules d'entrées-sorties analogiques ;
- une sonde de température PT100. qui renvoie à l'automate une image (tension analogique) de la température de la tête.

Une console de programmation permet en mode «« Réglage et Mise au point » de communiquer à l'automate la consigne de température et un programme de régulation. En mode « Exploitation », la consigne de température est délivrée par le pilote via le pupitre général. Un enregistreur peut être utilisé pour visualiser l'évolution de la température de l'enceinte de chauffe en fonction du temps. Dans le domaine de Laplace où les fonctions intervenant sont des fonctions complexes de la variable complexe p, la structure du système peut être modélisée par le schéma– blocs ci-dessous.



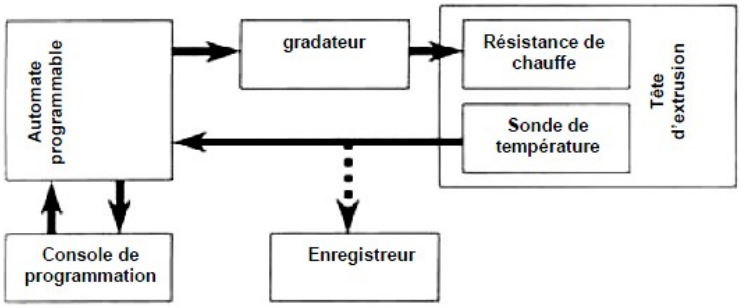


FIGURE 1: Structure de la chaîne fonctionnelle de chauffage

$\Theta_c(p)$ est la transformée de Laplace de la consigne de température, $\Theta(p)$ est la transformée de Laplace de la température réelle de l'enceinte de chauffe. K_c est la transmittance de la sonde de température.

B.1. identification du processus de chauffe

L'identification permet la modélisation du procédé et a pour but à partir d'une expérimentation :

- de quantifier les paramètre physiques de la régulation ;
- de choisir l'algorithme ce commande le mieux adapté à son comportement en regard du cahier des charges.

La configuration du système étudié utilisée pour cette opération est représentée sur le schéma 2. On y remarque que la boucle de retour en température est débranchée.

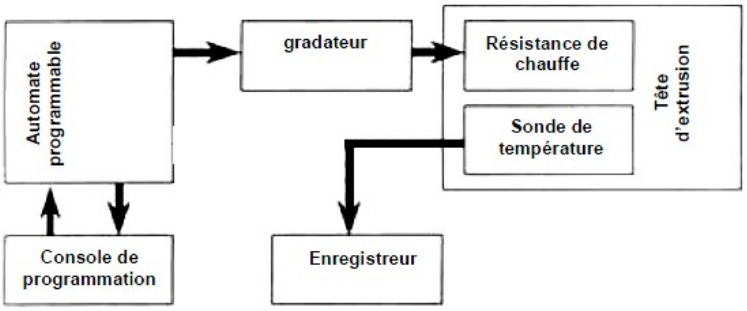
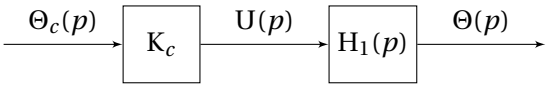


FIGURE 2: Structure de la chaîne fonctionnelle de chauffage en boucle ouverte

Le schéma-blocs représentant le système est alors :



Partant de la température ambiante de 20 °C. on soumet le système à une entrée en échelon de consigne d'amplitude de 75°C. La figure 3 représente un enregistrement de la mesure obtenue c'est-à-dire de la température réelle de l'enceinte de chauffe de la tète d'extrusion. Cette courbe représente donc la réponse indicielle du système en « boucle ouverte ».L'allure de la réponse précédente conduit à choisir un modèle de fonction de transfert de la forme :

L'allure de la réponse précédente conduit à choisir un modèle de fonction de transfert de la forme :

$$H_2(p) = \frac{\Theta(p)}{\Theta_c(p)} = \frac{K}{(1+T_1 \cdot p)\cdot(1+T_2 \cdot p)}$$

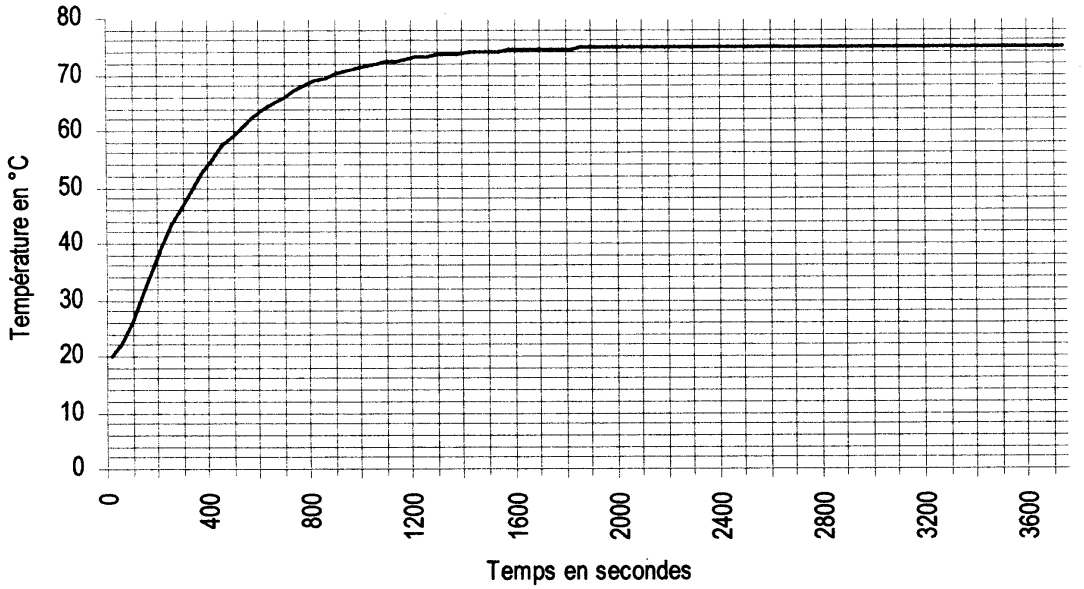


FIGURE 3: Enregistrement de la mesure - Réponse indicielle en « boucle ouverte »

Q1. Expliquer quels sont les critères graphiques qui, visibles sur le tracé de la figure 3, justifient un tel choix.

On rappelle que la réponse à un échelon d'amplitude θ_c d'un système ainsi modélisé est de la forme :

$$\theta(t) = \theta_c \cdot \mathrm{K}\left[1 + \frac{1}{\mathrm{T}_2 - \mathrm{T}_1} \cdot \left(\mathrm{T}_1 \cdot e^{\frac{-t}{\mathrm{T}_1}} - \mathrm{T}_2 \cdot e^{\frac{-t}{\mathrm{T}_2}}\right)\right] \cdot u(t)$$

où : $u(t) = 0$ si $t < 0$ et $u(t) = 1$ si $t \geq 0$.

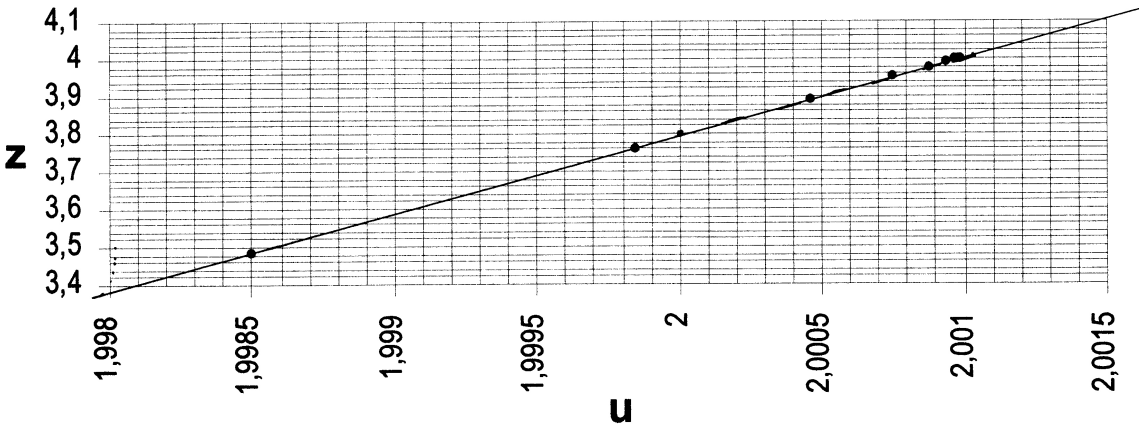


FIGURE 4: Courbe $z = f(u)$ tracée pour T = 240 s

On montre que, pour un intervalle de temps donné noté T, si on pose $y(t) = \mathrm{K} - \theta(t)$:

$$y(t - 2 \cdot \mathrm{T}) + a_1 \cdot y(t - \mathrm{T}) + a_2 \cdot y(t) = 0$$

avec $a_1 = -\left(e^{\frac{T}{T_1}} + e^{\frac{T}{T_2}}\right)$ et $a_2 = e^{\frac{T}{T_1}} \cdot e^{\frac{T}{T_2}}$.

La figure 4 représente, tracée pour un intervalle de temps T = 240 s la courbe $z = f(u)$ où $z = \dfrac{y(t-2\cdot T)}{y(t)}$ et $u = \dfrac{y(t-T)}{y(t)}$.

Q2.

Q2a. En utilisant cette courbe calculer T_1 et T_2.

Q2b. En déduire $H_2(p)$.

B.2. Étude de la dynamique de chauffe

À partie de ce point, la fonction de transfert $H_2(p)$ sera $H_2(p) = \dfrac{1}{(1+400\cdot p)\cdot(1+60\cdot p)}$.

Le cahier des charges définit les performances à obtenir, à savoir :

- Un écart statique nul, afin de maîtriser les conditions d'élaboration du boudin ;
- Un temps de réponse à 5% de moins de 15 minutes, afin d'inscrire la mise en température de la boudineuse dans les contraintes temporelles et organisationnelles de la production.

La réponse indicielle $\theta(t)$ d'un tel système, pour un échelon de consigne d'amplitude $\theta_c = 75\,°C$, avec comme conditions initiales $\theta(0) = 20\,°C$, est représentée sur la figure 5.

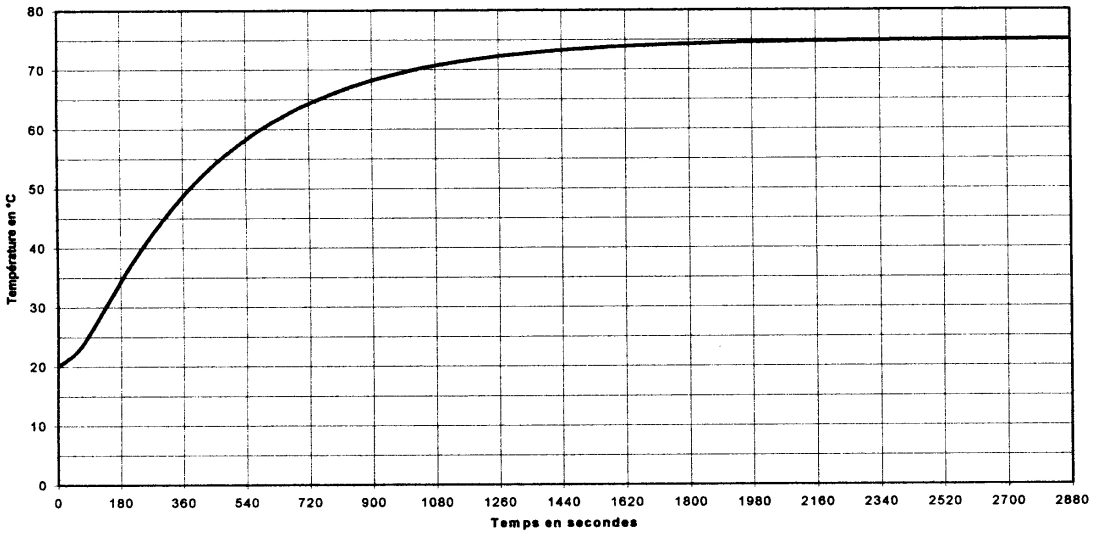
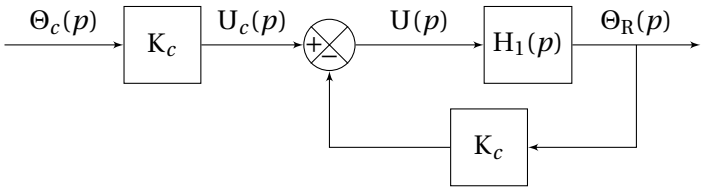


FIGURE 5: Réponse indicielle en « boucle ouverte » du modèle proposé

La structure du système bouclé de régulation est modélisée par le schéma–blocs ci-dessous.



Q3.

Q3a. Déterminer la fonction de transfert « en boucle fermée » du système : $H_{bf}(p) = \dfrac{\Theta_R(p)}{\Theta_c(p)}$

Q3b. La mettre sous la forme canonique d'une fonction de transfert du second ordre.

Q4.

Q4a. Déterminer la valeur finale de la réponse indicielle « en boucle fermée » du système pour une entrée unitaire.

Q4b. En déduire l'erreur statique

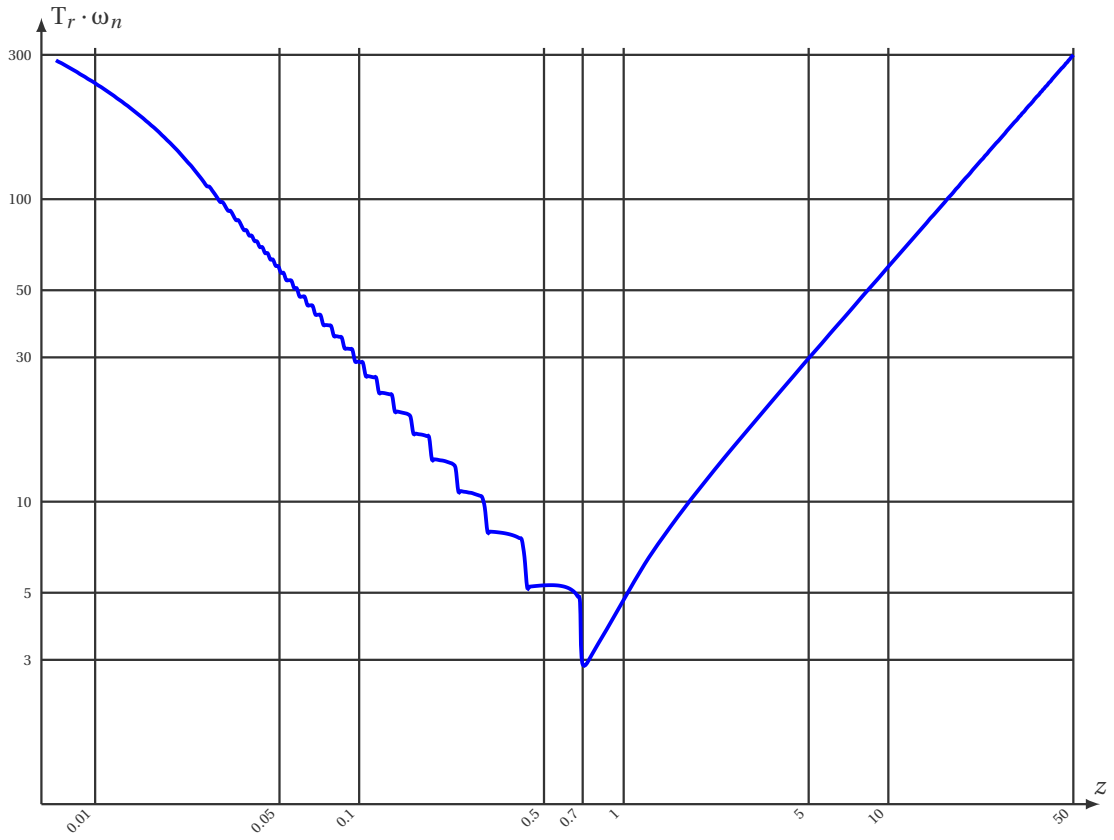


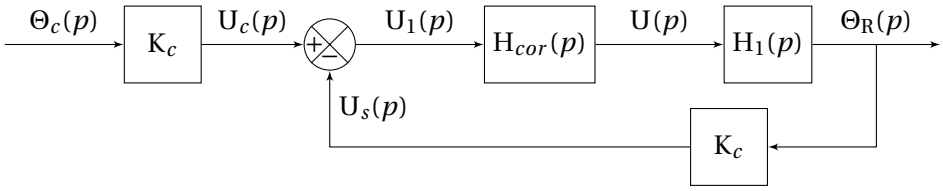
FIGURE 6: Temps de réponse à 5% d'un système du second ordre
en abcisse : le coefficient d'amortissement z
en ordonnée : $\omega_n \cdot T_R$ avec T_R le temps de réponse à 5% et ω_n la pulsation propre.

L'abaque6 permet d'obtenir le temps de réponse à 5% d'un système du deuxième ordre, noté T_R.

Q5. Déterminer celui du système bouclé étudié.

Q6. Comparer les performances du système avec et sans bouclage du point de vue de la rapidité et de la précision (erreur statique). Conclure.

Selon le schéma ci-dessous, le concepteur a inséré dans la chaîne d'action un correcteur de fonction de transfert $H_{cor}(p) = K \cdot \left(1 + \frac{1}{T_c \cdot p}\right)$



Q7. [5/2] Quelle est la nature de ce correcteur et quelles sont les performances qu'il est censé améliorer ?

La technique de correction par compensation d'un pôle consiste à choisir la constante de temps T_c du correcteur égale à l'une des constantes de temps du système à corriger (ici 60 s ou 400 s).

Q8. Montrer alors que la fonction de transfert du système corrigé est de la forme :

$$Hbf_{cor}(p) = \frac{\Theta_R(p)}{\Theta_c(p)} = \frac{1}{1 + \frac{T_c}{K} \cdot p + \frac{2{,}4 \times 10^4}{K} \dot{p}^2}$$

Pour obtenir le système **le plus rapide** en évitant tout dépassement sur la réponse indicielle, le gain K du correcteur est choisi de façon à se placer en **régime apériodique critique**. Dans le cas où une mauvaise évaluation du gain K conduirait à un régime pseudo périodique, cette réponse indicielle présenterait, avec le modèle retenu, des dépassements.

Q9.

Q9a. À quoi physiquement correspondraient ces dépassements ?

Q9b. Serraient-ils compatibles avec le processus physique mis en œuvre dans ce dispositif ?

On recherche maintenant les valeurs de réglage de T_c et K conduisant au régime apériodique critique.

Q10.

Q10a. Déterminer pour chaque valeur de T (400s et 60s) : le gain K, l'erreur statique ε_s, le temps de réponse à 5%, T_R.

Q10b. Rassembler les résultats dans un tableau de synthèse analogue au tableau suivant.

Q10c. Conclure sur le choix des valeurs à affecter aux paramètres de réglage K et T.

	ε_s	T_R	
Système non corrigé (rappel des résultats)			
$T_c = 60$ s			K =
$T_c = 400$ s			K =

Q11.

Q11a. Tracer les diagrammes de Bode. du système ayant en entrée $U_1(p)$ et en sortie $U_s(p)$ avec les valeurs de K et T_c choisies à la question précédente. Pour cela tracer préalablement sur le diagramme les diagrammes asymptotiques de gain et de phase de $H_{cor}(p)$.

Q11b. Évaluer la marge de phase du système corrigé.

Q11c. 5/2 La « stabilité » du système est-elle menacée par la présence du correcteur ? Justifier votre réponse.