

## Etude de système/Modélisation BTS 2

### SYSTEME: Enceinte thermique

Durée : 4  
Séquences

Etablissement de la fonction de  
transfert



#### Domaine électrotechnique :

- Mise en œuvre des essais

#### Domaine Physique appliquée :

- Modélisation de l'échange thermique du four avec l'extérieur.
- Etablissement de la fonction de transfert
- Validation du modèle avec les relevés expérimentaux.

# Structure du TP

Elaboration de la fonction de transfert du four

Validation du modèle

Simulation du modèle

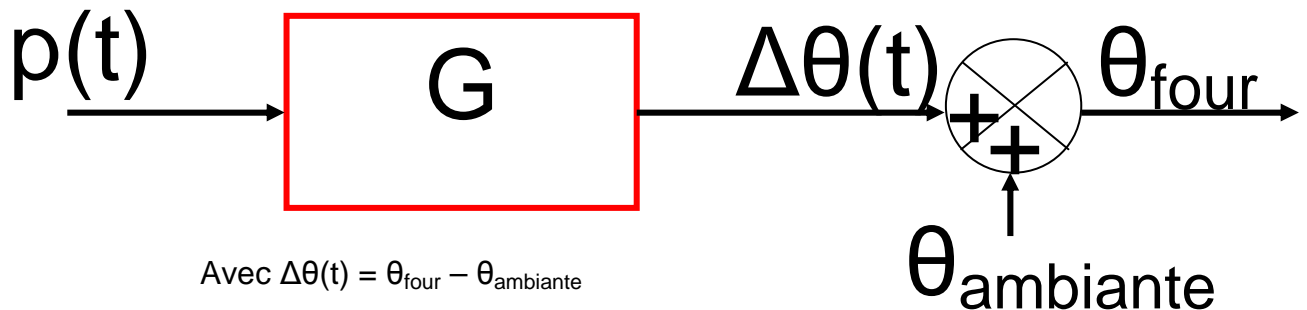
Détermination de la fonction de transfert

Etablissement de l'équation différentielle du four

Détermination des éléments du modèle équivalent

Mise en situation :

Afin de déterminer les valeurs du correcteur permettant de réaliser une régulation de température, il est nécessaire de déterminer en premier lieu la fonction de transfert.



### 1. Détermination des éléments du schéma équivalent :

On donne les dimensions du four et on détermine les valeurs des différentes résistances thermiques afin de trouver le modèle équivalent :

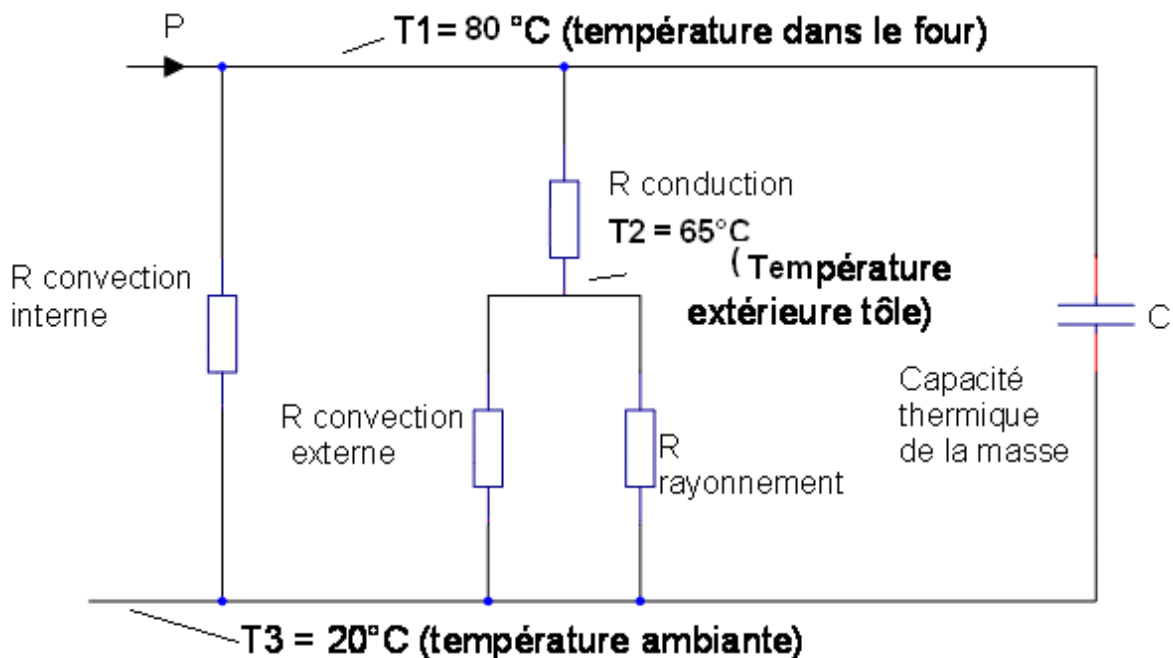
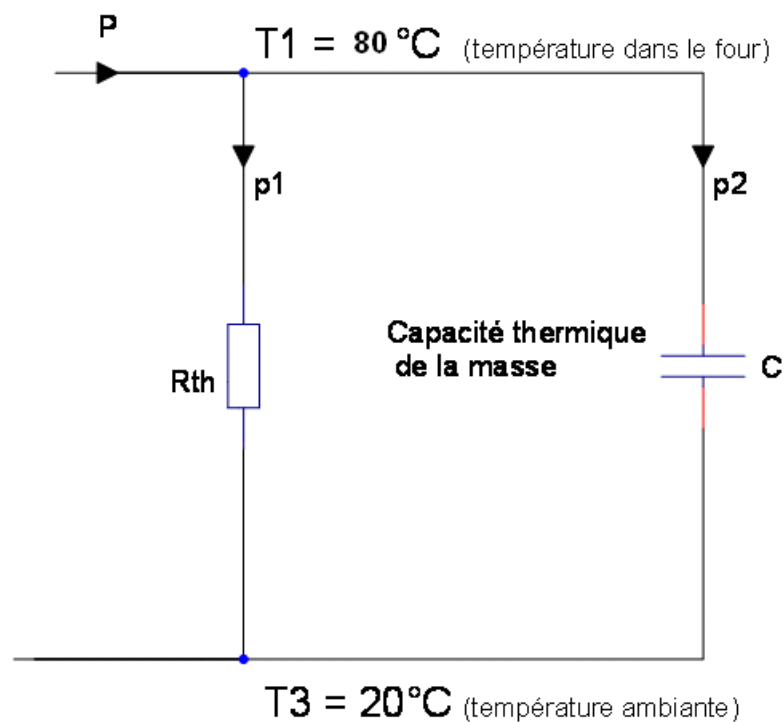


Figure 1

On donne :

- Épaisseur de tôle en acier recouverte d'une peinture : 1 mm
- Dimensions : 400x20x20 (en mm)
- Conductivité thermique par conduction de la tôle recouverte de peinture :  $\lambda=0,027\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- coefficient d'échange surfacique par convection de la tôle :  $h=2\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- coefficient d'échange surfacique par convection de la grille :  $h=10\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Coefficient d'émissivité :  $\varepsilon = 0,8$
- Constante de Stephan :  $\sigma = 5,67\cdot 10^{-8}$
- Chaleur massique du fer :  $C_m = 444\text{J} / \text{Kg}^\circ\text{K}$
- Masse volumique du fer :  $\rho = 7874\text{Kg} / \text{m}^3$

- 1.1. Mettre en œuvre le four mis à votre disposition et mettre sous tension la résistance de chauffe.
- 1.2. Calculer la valeur de la surface  $S$  d'échange du four avec l'extérieur et  $S_1$  de la grille.
- 1.3. Calculer la valeur de la résistance thermique  $R_{\text{conduction}}$ .
- 1.4. Calculer la valeur de la résistance thermique par convection interne à cause de la grille perforée  $R_{\text{convection interne}}$ .
- 1.5. Calculer la valeur de la résistance thermique par convection externe à cause de la surface d'échange  $S$  :  $R_{\text{convection externe}}$ .
- 1.6. En notant bien la température de  $T_2$ , calculer la valeur de la résistance thermique par rayonnement  $R_{\text{rayonnement}}$ .
- 1.7. Calculer la valeur de  $R_{\text{th}}$  afin de mettre le schéma équivalent sous la forme suivante :



**Figure 2**

- 1.8. Calculer le volume de la tôle qui échange de la chaleur avec l'extérieur.
- 1.9. Calculer alors la masse de cette tôle.
- 1.10. Calculer alors la valeur de la capacité thermique  $C$  du four.

2. Etablissement de l'équation différentielle :

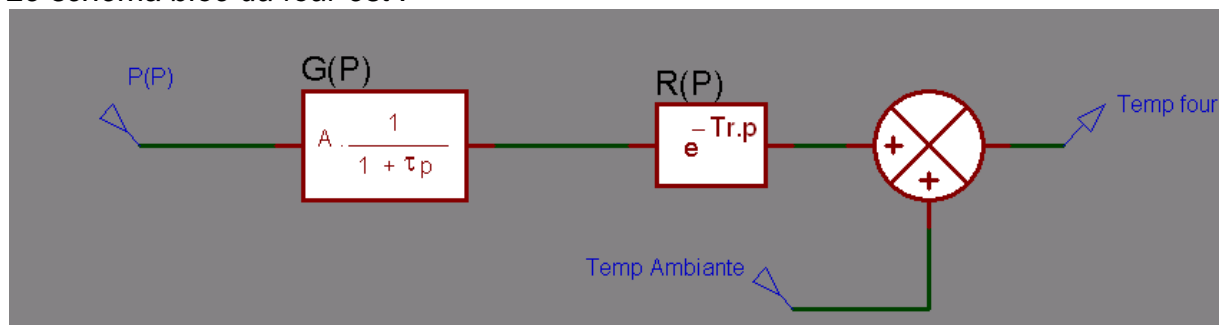
- 2.1. Appliquer la loi d'Ohms entre p1, Rth et  $\Delta\theta(t)$ .
- 2.2. Appliquer la loi d'Ohms généralisée entre p2, C et  $\Delta\theta(t)$ .
- 2.3. Appliquer la loi des nœuds entre P, p1 et p2.
- 2.4. Etablir l'équation différentielle (1) de la variable  $\Delta\theta(t)$ .

3. Etablissement de la fonction de transfert G(p)

On rappelle que la transformée de Laplace d'une dérivée  $\mathcal{L}\left(\frac{dy}{dt}\right) = p \cdot Y(p)$

- 3.1. Ecrire la transformée de Laplace de l'équation différentielle (1).
- 3.2. Mettre sous la forme  $\frac{\Delta\theta(p)}{P(p)} = \frac{K}{1+\tau p}$
- 3.3. Préciser les valeurs numériques de K et de  $\tau$ .

Le schéma bloc du four est :



Le bloc  $R(p)$  correspond au retard introduit par la sonde de température.

- 3.4. En introduisant la sonde de température dans le four noter au bout de combien de seconde la sonde affiche la température interne du four.
- 3.5. On affectera donc la valeur du retard mesurée au paramètre  $Tr$  du bloc  $R(p)$ .
- 3.6. Ouvrir le fichier du schéma bloc sous ISIS et affecter les valeurs numériques trouvées précédemment aux différents paramètres des blocs  $G(p)$  et  $R(p)$ .
- 3.7. Simuler la réponse temporelle à un échelon de puissance  $P(p) = \frac{124}{p}$
- 3.8. Imprimer la courbe en exportant le graphique sous forme pdf.
- 3.9. Faire un relevé de température pour un échelon de puissance de 124W , et placer sur le graphique obtenue les points obtenus pour comparer au modèle obtenu.
- 3.10. Le modèle obtenu vous paraît-il valide ?

# Annexe

## Transfert calorifique par conduction.

$$P = \frac{\lambda \cdot S}{e} \cdot (T_1 - T_2)$$

ou :

P = puissance thermique en Watt

$\lambda$  = Conductivité thermique en W/m°K

S = surface de la paroi en m<sup>2</sup>

E = épaisseur de la paroi.

$\Delta T$  = écart de température entre la température intérieure et extérieure de la paroi  
°C ou K.

## Déperdition calorifique d'une paroi (convection naturelle)

*(pour les calculs d'isolation ou de maintien en température)*

$$P = h \cdot S \cdot \Delta T$$

ou :

P = puissance thermique en Watt

h = Coeff. de convection en W/m<sup>2</sup>

S = surface de la paroi en m<sup>2</sup>

$\Delta T$  = écart de température entre la paroi et l'air en °C ou K

## Transfert de chaleur par rayonnement

$$P = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot S$$

ou :

P = puissance thermique en Watt

$\sigma = 5,675 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>

T1 et T2 = température absolues des 2 surfaces en K

$\varepsilon$  = facteur d'émissivité

**Les points indiquent, les relevés expérimentaux.**

**La courbe, la réponse temporelle.**

**On se rend compte que la correspondance est claire, le modèle est bien valide.**

