Master 1, Energétique, S1

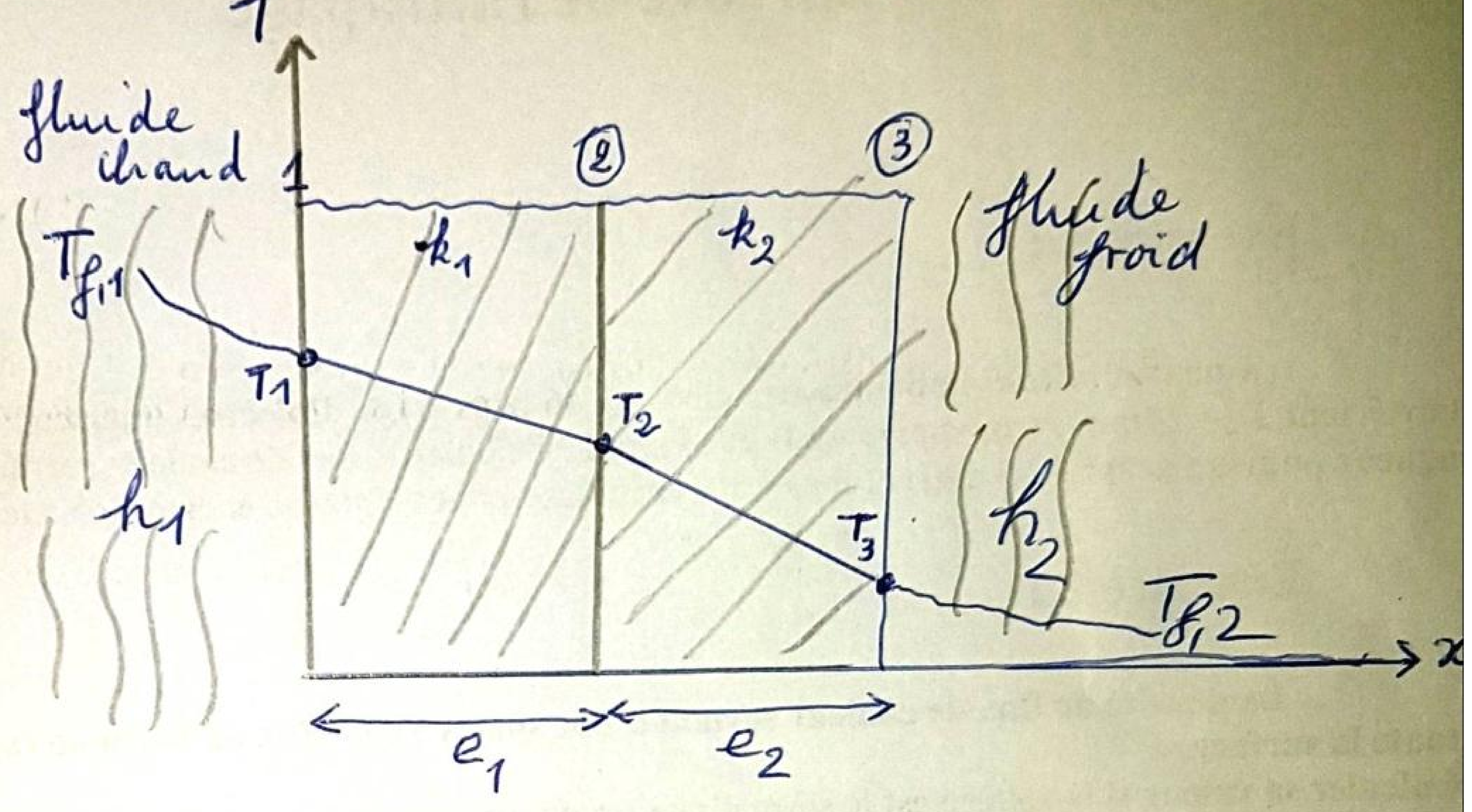
Transfert de chaleur et de masse approfondis

Complement au Chapitre IV

Echange stationnaire entre deux fluides séparés par une paroi accolée

Echange stationnaire entre deux fluide séparés par une paroi accolée

– Parois planes



Decomposition du transfert de chaleur

1. convection fluide chaud – paroi 1

$$\dot{q} = h_1 (T_{f,1} - T_1) \quad (1)$$

2. Conduction à travers la paroi 1

$$\dot{q} = \frac{k_1}{e_1} (T_1 - T_2) \quad (2)$$

3. Conduction à travers la paroi 2

$$\dot{q} = \frac{k_2}{e_2} (T_2 - T_3) \quad (3)$$

4. Convection paroi 3 – fluide froid

$$\dot{q} = h_2 (T_3 - T_{f,2}) \quad (4)$$

Ce qui donne

$$\frac{\dot{q}}{h_1} = T_{f,1} - T_1$$

$$\dot{q}\,\frac{e_1}{k_1} = T_1 - T_2$$

$$\dot{q}\,\frac{e_2}{k_2} = T_2 - T_3$$

$$\frac{\dot{q}}{h_2} = T_3 - T_{f,2}$$

$$\Rightarrow \quad \dot{q}\left(\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_2}\right) = T_{f,1} - T_{f,2}$$

$$\dot{\varphi} = \dot{q} \cdot S$$

$$\frac{\dot{\varphi}}{S}\left(\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_2}\right) = T_{f,1} - T_{f,2}$$

$$\dot{\varphi}\left(\frac{1}{h_1 S} + \frac{e_1}{k_1 S} + \frac{e_2}{k_2 S} + \frac{1}{h_2 S}\right) = T_{f,1} - T_{f,2}$$

$$\dot{\varphi}\left(R_{h_1} + R_{k_1} + R_{k_2} + R_{h_2}\right) = T_{f,1} - T_{f,2}$$

où $R_{h_1} = \dfrac{1}{h_1 S}$ est la résistance thermique convective

$R_{k_1} = \dfrac{e_1}{k_1 S}$ est la résistance thermique conductive

$R_{k_2} = \dfrac{e_2}{k_2 S}$ est la résistance thermique conductive

$R_{h_2} = \dfrac{1}{h_2 S}$ est la résistance thermique ~~conductive~~ convective

$$\Rightarrow \quad \boxed{\dot{\varphi} = \frac{T_{f,1} - T_{f,2}}{R_{h_1} + R_{k_1} + R_{k_2} + R_{h_2}}}$$

~~Où~~ ~~R_T~~ $\dot{Q} = \dfrac{T_{f,1} - T_{f,2}}{R_T}$

où R_T est la resistance totale

$$R_T = R_{h_1} + R_{k_1} + R_{k_2} + R_{h_2}$$

On définit le coefficient global de transmission (rapporté à l'unité de surface d'echange)

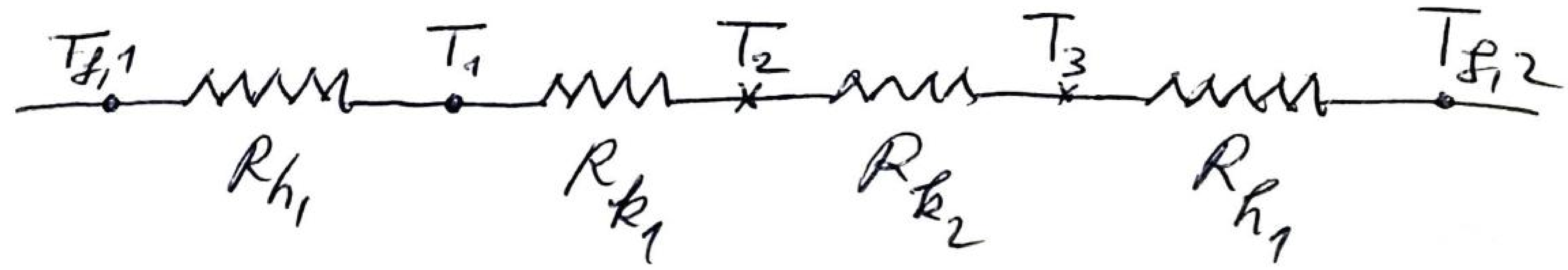
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \sum_j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_2}$$

Donc $\dot{q} = K\,(T_{f,1} - T_{f,2})$

L'unité de K etant $\underline{W.m^{-2}.K^{-1}}$

Une fois $\dot{q}$ obtenu, on peut calculer les temperatures intermediaires (T_1, T_2, T_3) au moyen des relations (1) ..... (4)

Le schéma analogique



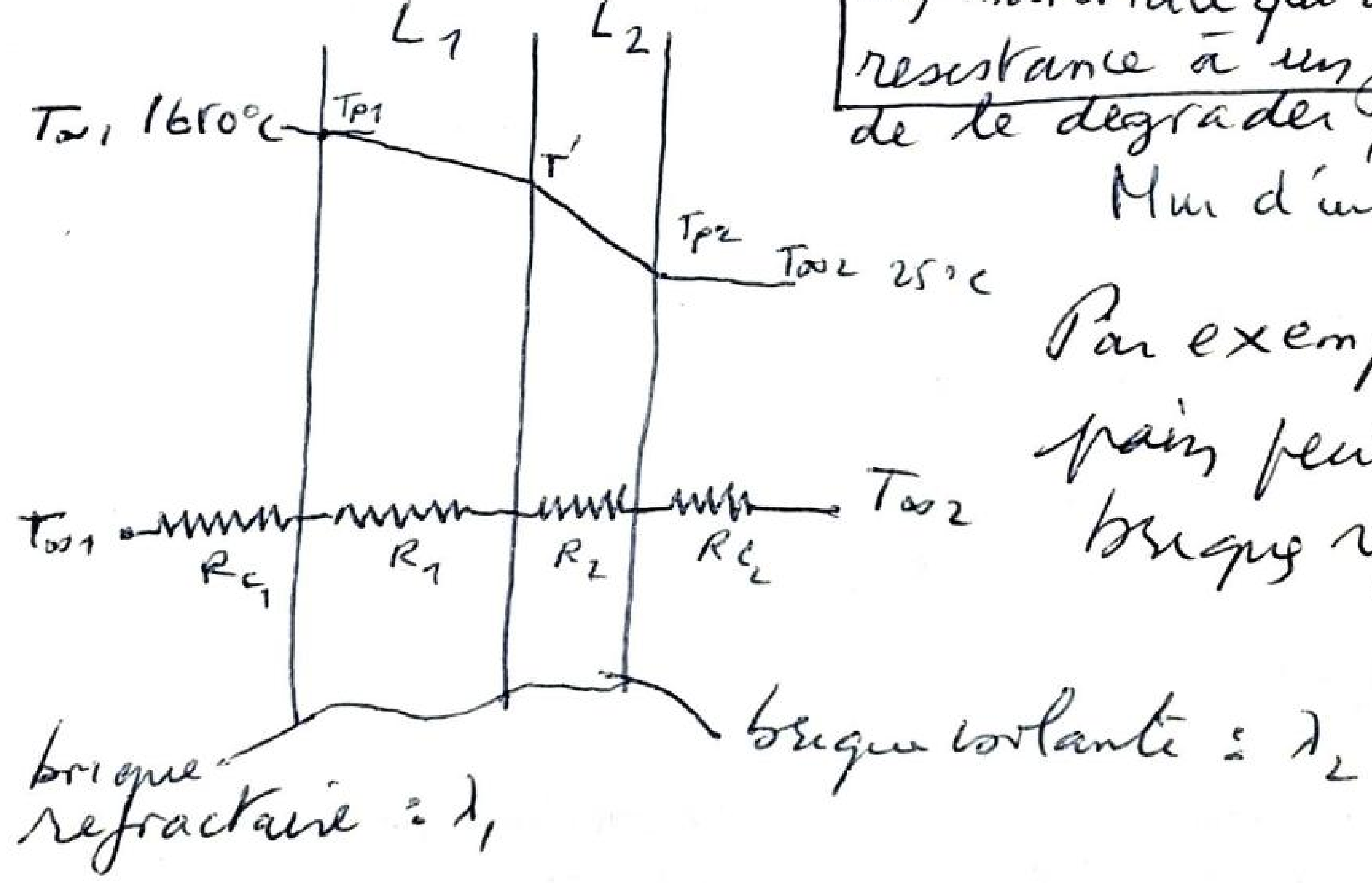
Exercice

Le mur d'un four est composé de deux couches. La première est en brique réfractaire : épaisseur $L_1 = 0{,}20\,m$, conductivité $\lambda_1 = 1{,}38\ W/m.°C$, la deuxième est en brique isolante : épaisseur $L_2 = 0{,}10\,m$, conductivité $\lambda_2 = 0{,}17\ W/m°C$.

La température à l'intérieur du four, $T_{\infty 1}$ est de 1650°C et le coefficient d'échange h_1 sur la paroi intérieure vaut $70\ W/m^2 °C$. La température de l'air ambiant $T_{\infty 2}$ est de 25°C et le coefficient d'échange h_2 sur la paroi extérieure vaut $10\ W/m^2 °C$

Calculer les pertes de chaleur par m^2 de surface du mur, les températures des faces ~~int~~érieure et extérieure, celle de l'interface des deux couches de briques et déterminer la pente des droites $T(x)$.

Un materiau refractaire est un materiau qui a une forte resistance à un facteur susceptible de le degrader, le plus souvent de la chaleur.



Mur d'un four

Par exemple, un four à pain peut être fait de brique refractaire.

Les pertes sont données par la relation

$$\varphi = \frac{\phi}{S} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{Rc_1 + R_1 + R_2 + Rc_2} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{1/h_1 + L_1/\lambda_1 + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_2}}.$$

$$\text{Soit } \varphi = \frac{1650 - 25}{0{,}0143 + 0{,}1449 + 0{,}5882 + 0{,}100} = 1916\ W m^{-2}$$

On observe la faible contribution des résistances de convection à la résistance totale. Par contre la brique isolante, dont l'épaisseur est le tiers de l'épaisseur totale, représente les trois quarts de la résistance thermique totale.

. La température de la paroi interne est fournie par la relation $T_{\infty_1} - T_{p_1} = \frac{1}{h_1}\varphi = 0{,}0143 \times 1916 = 27{,}4°C$

Soit $T_{p_1} = 1622{,}6°C \sim T_{\infty_1}$

Cette température est peu différente de celle du fluide interne

. La température de l'interface entre les deux couches de briques est obtenue de la même façon

$T_{p_1} - T' = \frac{L_1}{\lambda_1}\varphi$ soit $T' = 1344{,}6°C$

. La température de la paroi externe vaut

$T_{p_2} = T_{\infty_2} + \frac{1}{h_2}\varphi = 216{,}6°C$

. Les pentes des droites $T(x)$ sont données par

$$\frac{T_{p_1} - T'}{L_1} = \frac{\varphi}{\lambda_1} = 1388°C/m \; ; \quad \frac{T' - T_{p_2}}{L_2} = \frac{\varphi}{\lambda_2} = 11270°C/m$$

Elles sont inversement proportionnelles à la conductivité du milieu. Ainsi pour la brique réfractaire, $\lambda_1 = 1{,}38$, la pente est environ 8 fois plus faible que pour la brique isolante ($\lambda_2 = 0{,}17$)