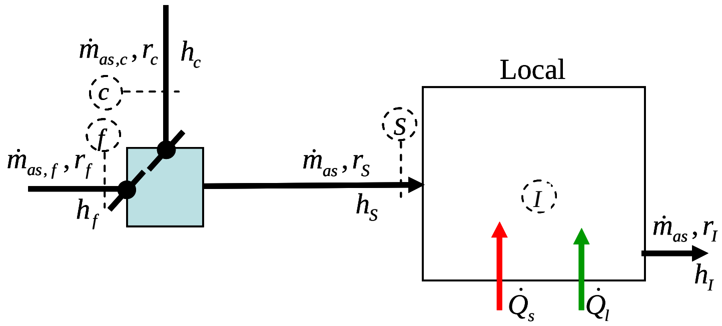
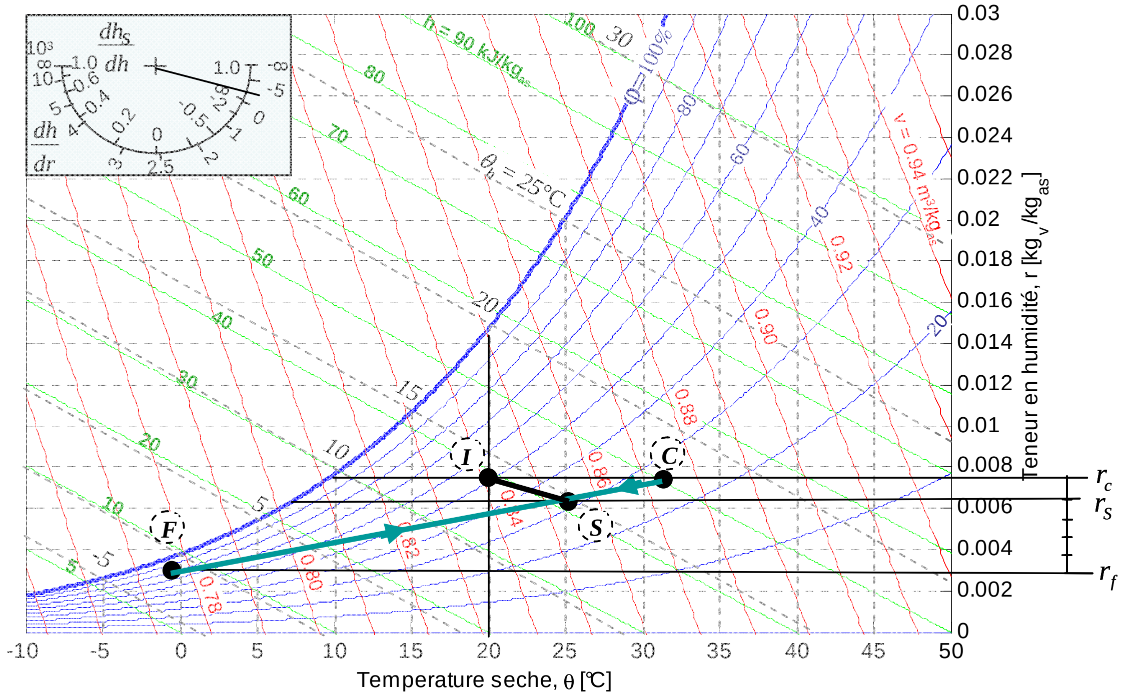
CLI 4CGU Ex. 7.5 Problèmes inverses

Problème 1





Note :

Charge sensible $\dot{Q}_s < 0$, chauffage ;

Charge latente $\dot{Q}_l > 0$, déshumidification.

Point de soufflage

Teneur en humidité du point de soufflage :

$$r_S = \frac{\frac{\dot{m}_{as,c}}{\dot{m}_{as,f}} r_c + r_f}{\frac{\dot{m}_{as,c}}{\dot{m}_{as,f}} + 1}$$

$$= \frac{4 \times 0.0075 + 0.003}{4+1}$$

$$= 0.0066 \text{ kg/kg}_{as}$$

Le bilan d'énergie du local en régime stationnaire est :

$$\dot{Q}_s + \dot{m}_{as} \cdot \Delta h_s = 0$$

ou

$$\dot{Q}_s + \dot{m}_{as} c_{as} (\theta_S - \theta_I) = 0$$

Il en résulte

$$\theta_S = \theta_I - \frac{\dot{Q}_s}{\dot{m}_{as} c_{as}}$$

$$= 20 - \frac{-7.875}{1.5 \cdot 1}$$

$$= 25.25\,°\text{C}$$

Température sèche de l'air chaud

$$\theta_S = \frac{\frac{\dot{m}_{as,c}}{\dot{m}_{as,f}}\theta_c + \theta_f}{\frac{\dot{m}_{as,c}}{\dot{m}_{as,f}} + 1}$$

d'où :

$$\theta_c = \frac{\left(\frac{\dot{m}_{as,c}}{\dot{m}_{as,f}} + 1\right)\theta_S - \theta_f}{\frac{\dot{m}_{as,c}}{\dot{m}_{as,f}}}$$

$$= \frac{(4+1)\times 25.25 - 0.5}{4}$$

$$= 31.44\ °\mathrm{C}$$

Degré hygrométrique de la pièce

Bilan de chaleur latente en régime stationnaire :

$$\dot{Q}_l + \dot{m}_{as} \cdot \Delta h_l = 0$$

ou

$$\dot{Q}_l + \dot{m}_{as} \mathrm{l}_v (r_S - r_I) = 0$$

D'où :

$$r_I = r_S + \frac{\dot{Q}_l}{\dot{m}_{as}\mathrm{l}_v}$$

$$= 0.0066 + \frac{3.375}{1.5\times 2495}$$

$$= 0.0075\ \mathrm{kg/kg}_{as}$$

Solution en écrivant les équations pour la boîte de mélange et pour le local :

Bilan d’enthalpie pour le local :

$$\dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_I \\ r_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Q}_s \\ \dot{Q}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La 1ère équation $\Rightarrow\ \dot{m}_{as}c_{as}\theta_S - \dot{m}_{as}c_{as}\theta_I + \dot{Q}_s = 0\ \Rightarrow$

$$\theta_S = \theta_I - \frac{\dot{Q}_s}{\dot{m}_{as}c_{as}} = 20 - \frac{-7.875}{1.5\cdot 1} = 25.25\ °\mathrm{C}$$

La 2ème équation $\Rightarrow\ \dot{m}_{as}l_v r_S - \dot{m}_{as}l_v r_I + \dot{Q}_l = 0$

$$r_I = r_S + \frac{\dot{Q}_l}{\dot{m}_{as}\mathrm{l}_v} = 0.0066 + \frac{3.375}{1.5\times 2495} = 0.0075\ \mathrm{kg/kg}_{as}$$

Bilan d’enthalpie pour la boîte de mélange :

$$\dot{m}_F\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_F \\ r_F \end{bmatrix} + \dot{m}_C\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_C \\ r_C \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

en tenant compte que $\dot{m}_C = 4\dot{m}_F$ et que $\dot{m}_F + \dot{m}_C = \dot{m}_{as}\ \Rightarrow\ 5\dot{m}_F = \dot{m}_{as}$

$$\begin{bmatrix} \theta_F \\ r_F \end{bmatrix} + 4\begin{bmatrix} \theta_C \\ r_C \end{bmatrix} - 5\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La 1e équation $\Rightarrow\ \theta_C = \frac{5\theta_S - \theta_F}{4} = \frac{5\times 25.25 - 0.5}{4} = 31.44\ °\mathrm{C}$

La 2e équation $\Rightarrow\ r_S = \frac{r_F + 4r_C}{5} = 0.0066\ \mathrm{kg/kg}_{as}$

Solution en écrivant toutes les équations et en résolvant le système d'équations linéaires

$$\dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_I \\ r_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Q}_s \\ \dot{Q}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{m}_F\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_F \\ r_F \end{bmatrix} + 4\dot{m}_F\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_C \\ r_C \end{bmatrix} - 5\dot{m}_F\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{m}_F = \dot{m}_{as} / 5$$

Données : $\dot{m}_{as} = 1.5 kg/kg$;
$\theta_I = 20°C$; $\theta_F = 0.5°C$; $r_F = 0.003 kg/kg$; $r_C = 0.0075 kg/kg$
$\dot{Q}_s = -7.875 kW$; $\dot{Q}_l = 3.375 kW$

Les inconnues sont : $\theta_S, r_S, \theta_C, r_I$

Les quatre équations sont :

$$\begin{cases} \dot{m}_{as}c_{as}\theta_S & & & & = \dot{m}_{as}c_{as}\theta_I - \dot{Q}_s \\ & \dot{m}_{as}l_v r_S & & -\dot{m}_{as}l_v r_I & = -\dot{Q}_l \\ -\theta_S & & (4/5)\theta_C & & = -(1/5)\theta_F \\ & r_S & & & = (1/5)r_F + (4/5)r_C \end{cases}$$

ou, sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} \dot{m}_{as}c_{as} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{m}_{as}l_v & 0 & -\dot{m}_{as}l_v \\ -1 & 0 & 4/5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \\ \theta_C \\ r_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{m}_{as}c_{as}\theta_I - \dot{Q}_s \\ -\dot{Q}_l \\ -(1/5)\theta_F \\ (1/5)r_F + (4/5)r_C \end{bmatrix}$$

En introduisant les valeurs numériques :

$$\begin{bmatrix} 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3750 & 0 & -3750 \\ -1 & 0 & 4/5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \\ \theta_C \\ r_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 37.875 \\ -3.3 \\ -0.1 \\ 0.0066 \end{bmatrix}$$

La solution est

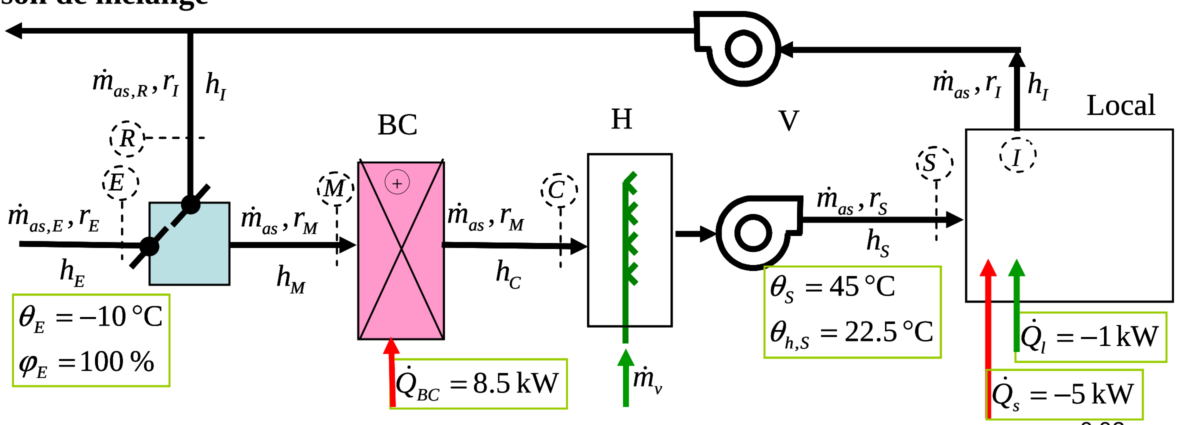
$$\begin{bmatrix}\theta_S\\ r_S\\ \theta_C\\ r_I\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}15 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 3750 & 0 & -3750\\ -1 & 0 & 4/5 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}37.875\\ -3.3\\ -0.1\\ 0.0066\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}25.25\\ 0.0066\\ 31.44\\ 0.0075\end{bmatrix}\text{ c. à d. }\begin{matrix}\theta_S=25.25\ °\text{C}\\ r_S=0.0066\text{ kg/kg}_{as}\\ \theta_C=31.44\ °\text{C}\\ r_I=0.0075\text{kg/kg}_{as}\end{matrix}$$

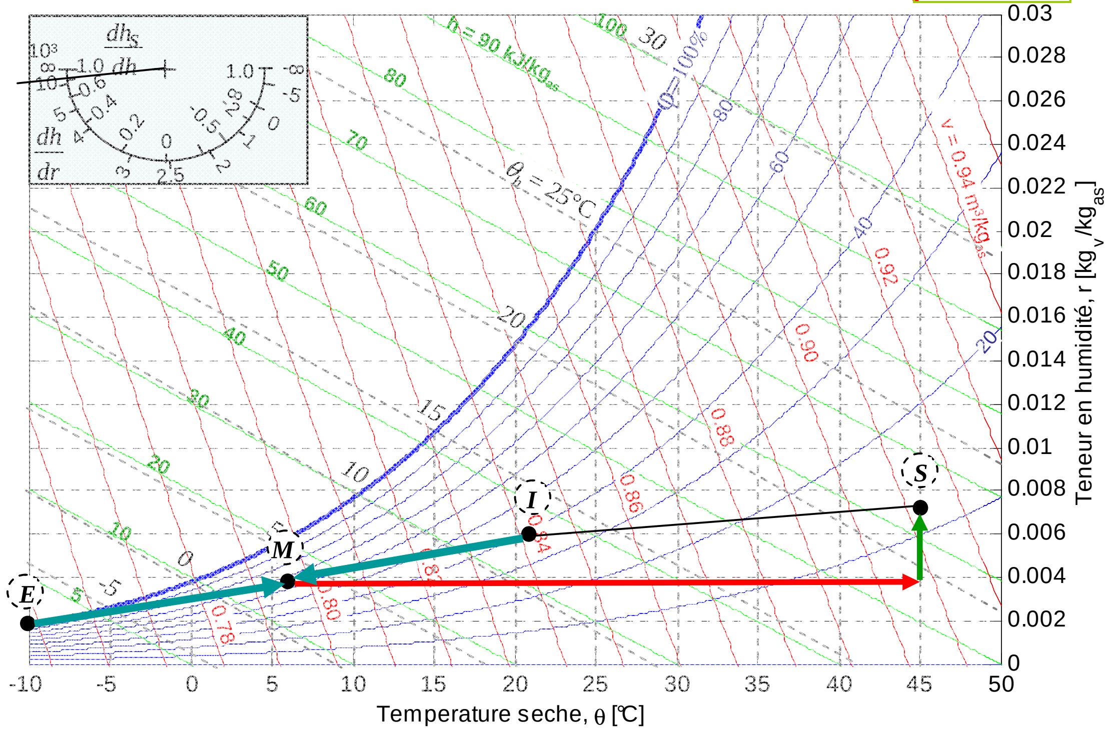
```
cas = 1; lv = 2495; hv = 2500;
mas = 1.5; thI = 20; thF = 0.5; rF = 0.003; rC = 0.0075;
Qs = -7.875; Ql = 3.375;

A = [mas*cas 0       0       0; ...
        0   mas*lv  0   -mas*lv; ...
        -1  0       4/5     0; ...
        0   1       0       0];
b = [mas*cas*thI-Qs  -Ql  -1/5*thF -1/5*rF-4/5*rC]';

x = inv(A)*b
```

Caisson de mélange





1) Conditions du point intérieur

Température sèche de l'air intérieur

En écrivant les bilans de chaleur sensible pour le caisson de mélange, la batterie chaude, et le local, le bilan de masse pour le caisson de mélange, et en tenant compte du rapport de mélange, on obtient,

$$\begin{cases} \dot m_{as,R}\theta_I + \dot m_{as,E}\theta_E = \dot m_{as,M}\theta_M \\ \dot Q_s + \dot m_{as} c_{as}(\theta_S - \theta_I) = 0 \\ \dot Q_{BC} + \dot m_{as} c_{as}(\theta_M - \theta_S) = 0 \\ \dot m_{as,R} + \dot m_{as,E} = \dot m_{as,M} \\ \dfrac{\dot m_{as,R}}{\dot m_{as,E}} = 1 \end{cases}$$

un système de cinq équations avec cinq inconnues :

$\theta_M, \theta_I, \dot m_{as}, \dot m_{as,R}, \dot m_{as,E}$

En éliminant $\dot m_{as}$ du système d'équation de bilan,

$$\begin{cases} \dot Q_s = -\dot m_{as} c_{as}(\theta_S - \theta_I) \\ \dot Q_{BC} = \dot m_{as} c_{as}(\theta_S - \theta_M) \end{cases}$$

on obtient :

$$-\frac{\dot Q_s}{\dot Q_{BC}} = \frac{\theta_S - \theta_I}{\theta_S - \theta_M} \qquad (*)$$

La température du mélange s'obtient du bilan d'énergie sensible du caisson de mélange,

$$\dot{m}_{as,R}\theta_I + \dot{m}_{as,E}\theta_E = \dot{m}_{as,M}\theta_M$$

en fonction de la température extérieure et intérieure :

$$\theta_M = \frac{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}}\theta_E + \theta_I}{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} + 1}$$

Comme $\dot{m}_{as,R} / \dot{m}_{as,E} = 1$,

$$\theta_M = \frac{\theta_E + \theta_I}{2}$$

En introduisant cette expression dans l'équation (*), on obtient :

$$\theta_I = \frac{2\left(\frac{\dot{Q}_{BC}}{\dot{Q}_S} + 1\right)\theta_S - \theta_E}{1 + 2\frac{\dot{Q}_{BC}}{\dot{Q}_S}}$$

$$= \frac{2\left(\frac{8.5}{-5} + 1\right)45 - (-10)}{1 + 2\frac{8.5}{-5}}$$

$$= 22.083\,°\mathrm{C}$$

Le degré hygrométrique s'obtient du bilan de chaleur latente pour le local :

$$\dot{Q}_l + \dot{m}_{as}\mathrm{l}_v(r_S - r_I) = 0$$

$$\Rightarrow$$

$$r_I = r_S + \frac{\dot{Q}_l}{\dot{m}_{as}\mathrm{l}_v}$$

où le débit massique d'air sec s'obtient du bilan de chaleur sensible :

$$\dot{Q}_s + \dot{m}_{as}\mathrm{c}_{as}(\theta_S - \theta_I) = 0$$

$$\Rightarrow$$

$$\dot{m}_{as} = \frac{\dot{Q}_s}{\mathrm{c}_{as}(\theta_I - \theta_S)}$$

$$= \frac{-5}{1(22.1 - 45)}$$

$$= 0.2183\,\mathrm{kg}_{as}/\mathrm{s}$$

et la teneur en humidité de l'air de soufflage est :

$$r_S\Big|_{\theta=45°C,\theta_h=22.5°C} = 7.61\cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg/kg}_{as}$$

En utilisant les valeurs numériques,

$$r_I = 0.00761 + \frac{-1}{0.2183\times 2945}$$

$$= 0.005773\,\mathrm{kg/kg}_{as}$$

Le point I est caractérisé par les paramètres :

$$\begin{cases}\theta_I = 22.1\,°\mathrm{C}\\ r_I = 0.006\,\mathrm{kg/kg}_{as}\end{cases}$$

2) Débit de vapeur

Le débit massique de vapeur résulte du bilan massique de l'humidificateur :

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{as}(r_S - r_M)$$

où

$$r_M = \frac{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} r_E + r_I}{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} + 1}$$

$$= \frac{r_E + r_I}{2}$$

$$= \frac{0.00175 + 0.006}{2}$$

$$= 0.0037615\,\mathrm{kg/kg}_{as}$$

est calculé en fonction de :

$$r_E\Big|_{\theta=-10,\varphi=100\%} = 0.00175\,\mathrm{kg/kg}_{as}$$

Il en résulte :

$$\dot{m}_v = 0.2183\times(0.00761 - 0.0038)$$

$$= 0.832\cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg/s}$$

$$= 2.9952\,\mathrm{kg/h}$$

Solution en résolvant toutes les équations

$$\dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_I \\ r_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Q}_s \\ \dot{Q}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \text{local}$$

$$\frac{\dot{m}_{as}}{2}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_I \\ r_I \end{bmatrix} + \frac{\dot{m}_{as}}{2}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_E \\ r_E \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_M \\ r_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \text{mélange}$$

$$\dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_M \\ r_M \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Q}_{BC} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \text{chauffage}$$

$$\dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_M \end{bmatrix} - \dot{m}_{as}\begin{bmatrix} c_{as} & 0 \\ 0 & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \theta_S \\ r_S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{m}_v l_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \text{humidif. à vapeur}$$

On connaît :

$\mathrm{c}_{as} = 1\ \mathrm{kJ/(kg\cdot K)}$, $\mathrm{l}_v = 2495\ \mathrm{kJ/kg}$,

$\theta_S = 45\ °\mathrm{C}$, $r_S\big|_{\theta=45°C,\theta_h=22.5°C} = 7.61\cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg/kg}_{as}$

$\theta_E = -10\ °\mathrm{C}$, $r_E\big|_{\theta=-10,\varphi=100\%} = 1.75\cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg/kg}_{as}$

$\dot{Q}_s = -5\ \mathrm{kW}$, $\dot{Q}_l = -1\ \mathrm{kW}$, $\dot{Q}_{BC} = 8.5\ \mathrm{kW}$

On a 6 équations (eq. 6 et eq. 7 n'apportent rien) et
6 inconnues : θ_I, r_I, θ_M, r_M, $\dot{m}_v$, $\dot{m}_{as}$

Le système est non-linéaire parce qu'on a les produits $\dot{m}_{as}\theta_I$, $\dot{m}_{as}r_I$, $\dot{m}_{as}\theta_M$, $\dot{m}_{as}r_M$. Les équations devient linéaire si les inconnues sont : $\dot{m}_{as}\theta_I$, $\dot{m}_{as}r_I$, $\dot{m}_{as}\theta_M$, $\dot{m}_{as}r_M$, $\dot{m}_{as}$ et $\dot{m}_v$.
On ne compte pas les équations (6) et (7).

$$\begin{cases} -c_{as}\dot{m}_{as}\theta_I + c_{as}\theta_S\dot{m}_{as} = -\dot{Q}_s \\ -l_v\dot{m}_{as}r_I + l_v r_S\dot{m}_{as} = -\dot{Q}_l \\ 0.5c_{as}\dot{m}_{as}\theta_I - c_{as}\dot{m}_{as}\theta_M + 0.5c_{as}\theta_E\dot{m}_{as} = 0 \\ 0.5l_v\dot{m}_{as}r_I - l_v\dot{m}_{as}r_M + 0.5l_v r_E\dot{m}_{as} = 0 \\ c_{as}\dot{m}_{as}\theta_M - c_{as}\theta_S\dot{m}_{as} = -\dot{Q}_{BC} \\ l_v\dot{m}_{as}r_M - l_v r_S\dot{m}_{as} + l_v\dot{m}_v = 0 \end{cases}$$

ou, sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} -c_{as} & 0 & 0 & 0 & c_{as}\theta_S & 0 \\ 0 & -l_v & 0 & 0 & l_v r_S & 0 \\ 0.5c_{as} & 0 & -c_{as} & 0 & 0.5c_{as}\theta_E & 0 \\ 0 & 0.5l_v & 0 & -l_v & 0.5l_v r_E & 0 \\ 0 & 0 & c_{as} & 0 & -c_{as}\theta_S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l_v & -l_v r_S & l_v \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{m}_{as}\theta_I \\ \dot{m}_{as}r_I \\ \dot{m}_{as}\theta_M \\ \dot{m}_{as}r_M \\ \dot{m}_{as} \\ \dot{m}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{Q}_s \\ -\dot{Q}_l \\ 0 \\ 0 \\ -\dot{Q}_{BC} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$
\begin{bmatrix} \dot m_{as}\theta_I \\ \dot m_{as} r_I \\ \dot m_{as}\theta_M \\ \dot m_{as} r_M \\ \dot m_{as} \\ \dot m_v \end{bmatrix} =
\begin{bmatrix}
-c_{as} & 0 & 0 & 0 & c_{as}\theta_S & 0 \\
0 & -l_v & 0 & 0 & l_v r_S & 0 \\
0.5c_{as} & 0 & -c_{as} & 0 & 0.5c_{as}\theta_E & 0 \\
0 & 0.5l_v & 0 & -l_v & 0.5l_v r_E & 0 \\
0 & 0 & c_{as} & 0 & -c_{as}\theta_S & 0 \\
0 & 0 & 0 & l_v & -l_v r_S & l_v
\end{bmatrix}^{-1}
\begin{bmatrix} -\dot Q_s \\ -\dot Q_l \\ 0 \\ 0 \\ -\dot Q_{BC} \\ 0 \end{bmatrix} =
\begin{bmatrix} 4.8182 \\ 1.259\cdot 10^{-3} \\ 1.3182 \\ 0.4388\cdot 10^{-3} \\ 0.2182 \\ 1.2215\cdot 10^{-3} \end{bmatrix}
$$

$$
\begin{bmatrix} \dot m_{as}\theta_I \\ \dot m_{as} r_I \\ \dot m_{as}\theta_M \\ \dot m_{as} r_M \\ \dot m_{as} \\ \dot m_v \end{bmatrix} =
\begin{bmatrix}
-1 & 0 & 0 & 0 & 45 & 0 \\
0 & -24595 & 0 & 0 & 18.98 & 0 \\
0.5 & 0 & -1 & 0 & -5 & 0 \\
0 & 1247.5 & 0 & -2495 & 2.18 & 0 \\
0 & 0 & c_{as} & 0 & -45_S & 0 \\
0 & 0 & 0 & 2495 & -18.98 & 2495
\end{bmatrix}^{-1}
\begin{bmatrix} 5 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ -8.5 \\ 0 \end{bmatrix} =
\begin{bmatrix} 4.8182 \\ 1.259\cdot 10^{-3} \\ 1.3182 \\ 0.8207\cdot 10^{-3} \\ 0.2182 \\ 0.8397\cdot 10^{-3} \end{bmatrix}
$$

$\dot m_v = 0.8397\cdot 10^{-3}$ kg/s $= 3.023$ kg/h

$\dot m_{as} = 0.2183\,\text{kg}_{as}/\text{s}$;

$r_M = 0.8207\cdot 10^{-3} / \dot m_{as} = 3.7615\cdot 10^{-3}$ kg/kg$_{as}$

$\theta_M = 1.3182 / \dot m_{as} = 6.04$ °C

$r_I = 1.259\cdot 10^{-3} / \dot m_{as} = 5.773\cdot 10^{-3}$ kg/kg$_{as}$

$\theta_I = 4.8182 / \dot m_{as} = 22.083$ °C

```
cas = 1; lv = 2495;
thS = 45; rS = 7.61e-3;
thE = -10; rE = 1.75e-3;
Qs = -5; Ql = -1; QBC = 8.5;

A = [-cas   0       0       0   cas*thS     0; ...
        0   -lv     0       0   lv*rS       0;...
     cas/2  0       -cas    0   cas*thE/2   0;...
        0   lv/2    0       -lv lv*rE/2     0;...
        0   0       cas     0   -cas*thS     0;...
        0   0       0       lv  -lv*rS      lv]
b = [-Qs -Ql 0 0 -QBC 0]'
x = inv(A)*b

mv = x(6), mas = x(5), rM = x(4)/mas, thM = x(3)/mas, rI = x(2)/mas, thI =
x(1)/mas
```