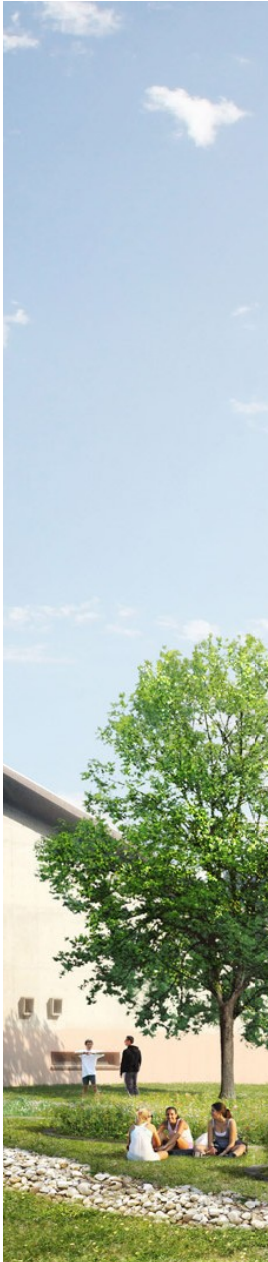


Mélanges

Ex. 7.3 Mélange

- 1) Un débit d'air extérieur $\dot{m}_E = 2.5 \text{ kg}_{as}/\text{s}$ à $\theta_E = 0^\circ\text{C}$ et $\varphi_E = 100\%$ est mélangé au débit d'air recyclé $\dot{m}_R = 2.5 \text{ kg}_{as}/\text{s}$ à $\theta_R = 20^\circ\text{C}$ et $\varphi_R = 40\%$. Donnez toutes les propriétés de l'air extérieur, recyclé et du mélange. Est-ce qu'il y a de condensation ? Si oui, quel est le débit d'eau condensée ?
- 2) Le même problème dans le cas où l'air recyclé a l'humidité égale à 90%.



Ce cas est l'illustration typique du cas de la figure ci-dessous, sur laquelle de l'air intérieur recyclé est mélangé avec de l'air "neuf" extérieur ("neuf" car très généralement moins "pollué" que l'air intérieur, voir cours de THB) :

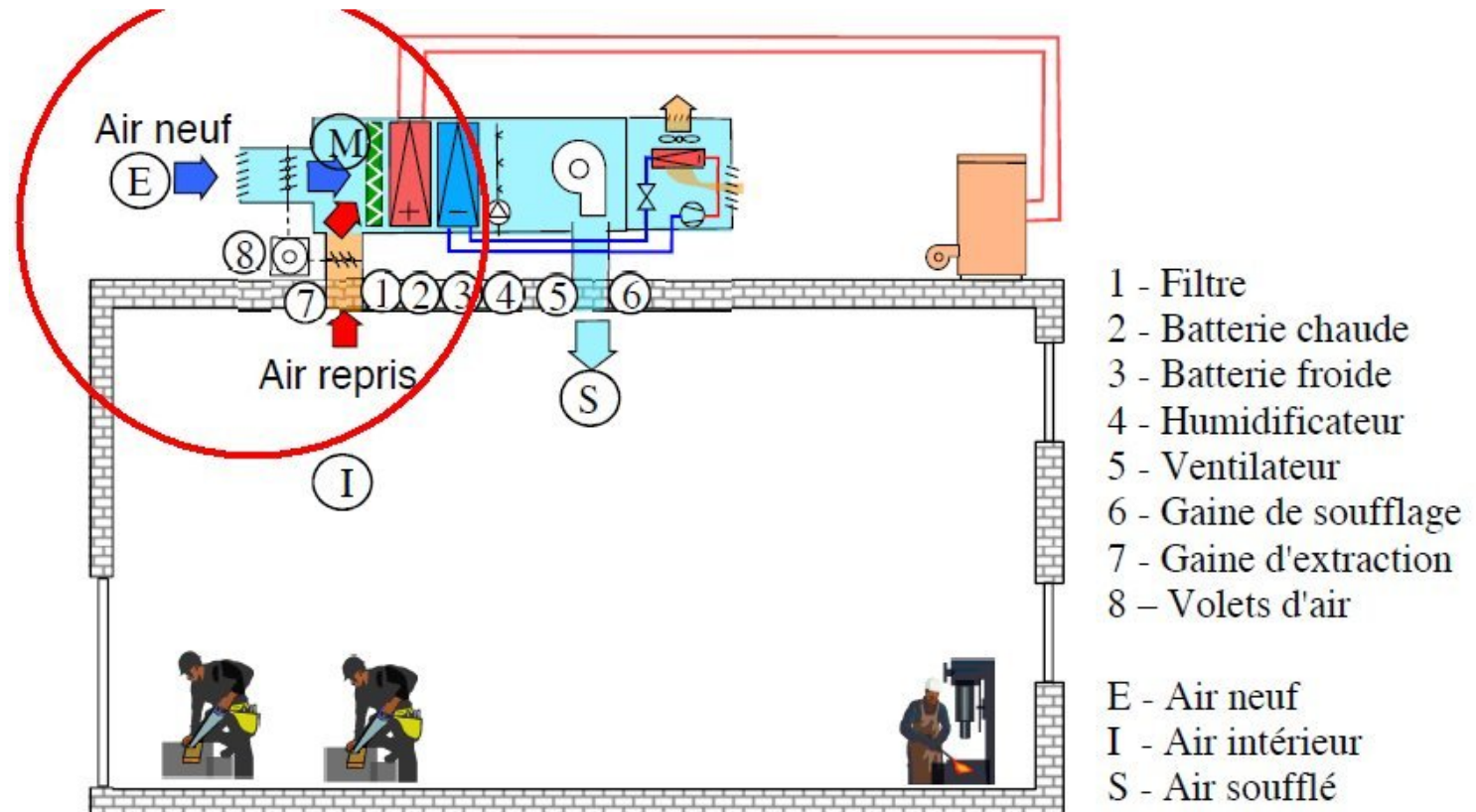
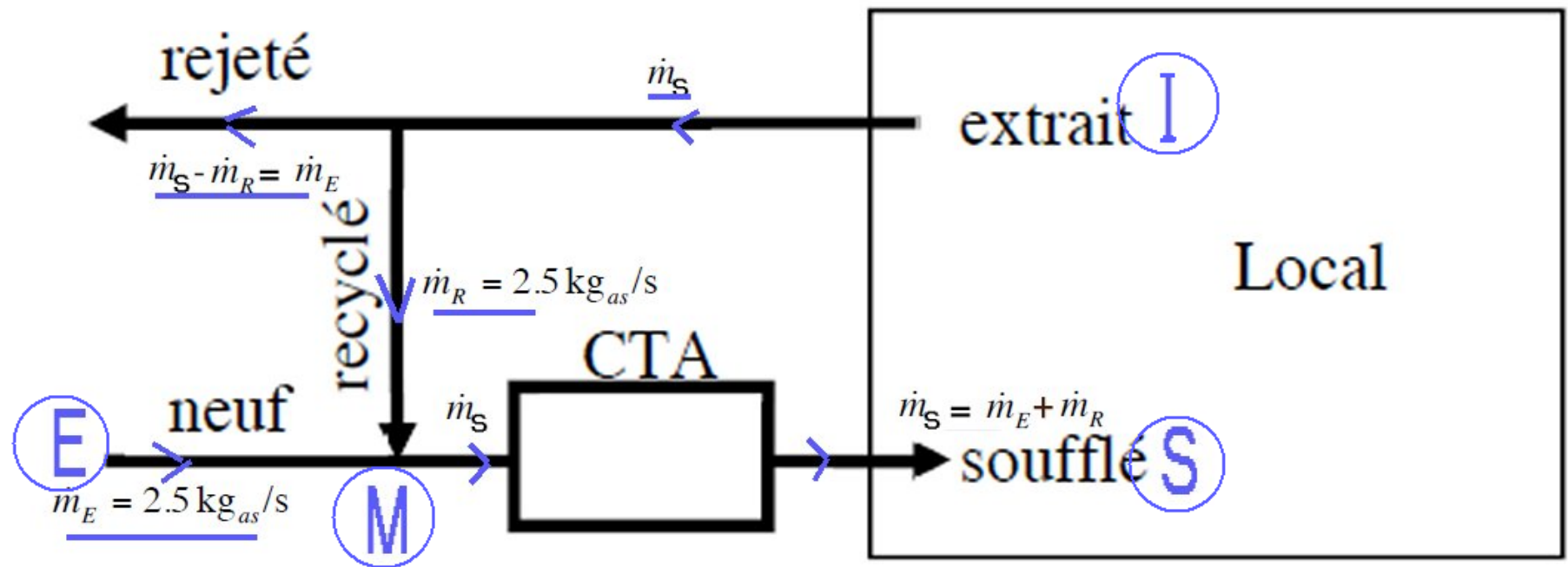
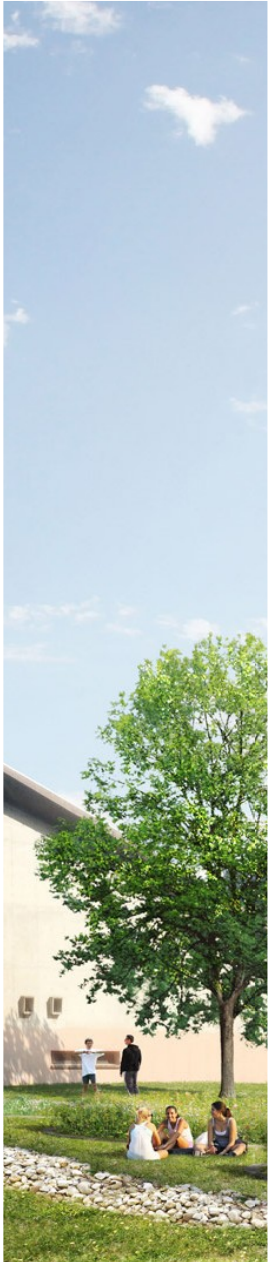


Figure 5.1 Principe d'un système de climatisation

La représentation schématique du cas ci-dessus (en excluant pour l'instant la représentation des différents appareils 1 à 5 regroupés dans "CTA") est donné ci-dessous :



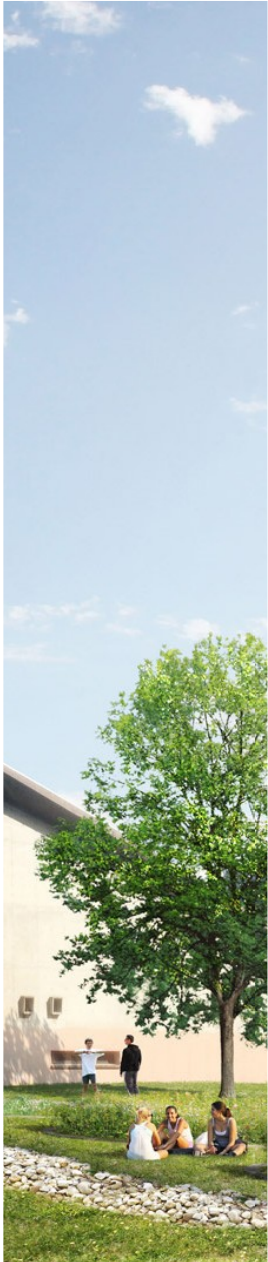


Ce sont, par convention, les débits massiques d'air sec qui sont représentés sur le schéma.

Ce sont ces débits que nous utiliserons sur le diagramme de l'air humide sur lequel tout est représenté pour $1 \text{ kg d'air sec} = 1 \text{ kgas}$

Il y a bien évidemment Conservation de la masse d'air sec tout le long du circuit de l'Air Humide dans les gaines (à vérifier par vous même).

Il y a également, bien évidemment, Conservation de la masse d'eau et de de l'Energie



Nous allons écrire tous ces bilans au niveau du point de mélange M

(les masses d'air sec seront notées m_{as} et pour simplifier l'écriture dans moodle les débits massiques d'air sec seront notés $\dot{m}_a$):

- Conservation de la masse d'air sec en M $\gg$ entre t et t+ Δt ($\Delta t=1s$)

$$\dot{m}_{asM}/\Delta t = \dot{m}_{asR}/\Delta t + \dot{m}_{asE}/\Delta t \quad \gg \quad \dot{m}_a M = \dot{m}_a R + \dot{m}_a E$$

- Conservation de la masse d'eau en M ($r = kg_{\text{eau}}/kg_{\text{as}}$) $\gg$ entre t et t+ Δt , $\Delta t=1s$

$$\dot{m}_a M r_M = \dot{m}_a R r_R + \dot{m}_a E r_E = (\dot{m}_a R + \dot{m}_a E) r_M \gg \gg$$

$$r_M = (\dot{m}_a R r_R + \dot{m}_a E r_E) / (\dot{m}_a R + \dot{m}_a E)$$

- Conservation de l' Energie en M ($h = J/kg_{\text{as}}$) $\gg$ entre t et t+ Δt , $\Delta t=1s$

$$\dot{m}_a M h_M = \dot{m}_a R h_R + \dot{m}_a E h_E = (\dot{m}_a R + \dot{m}_a E) h_M \gg \gg$$

$$h_M = (\dot{m}_a R h_R + \dot{m}_a E h_E) / (\dot{m}_a R + \dot{m}_a E)$$

Le point M apparaît donc comme le barycentre des points A et B, les coefficients de pondération étant les débits massiques d'air sec respectifs : sur le diagramme, M se trouve donc entre A et B sur le segment joignant A et B. Il suffit de calculer une des quantités h ou r pour pouvoir positionner le point M sur le diagramme.



Peux-t-on faire le barycentre en "température" ? En toute rigueur, non :

$$\begin{aligned} m_M \times \theta_M &= m_M [1.\theta_M + r_M (2495 + 1.96 \theta_M)] \\ &= m_R [1.\theta_R + r_R (2495 + 1.96 \theta_R)] + m_E [1.\theta_E + r_E (2495 + 1.96 \theta_E)] \end{aligned}$$

Dans l'expression de θ_M en fonction de "A" et de "B" il apparaît des termes non-linéaires : produit $r \cdot \theta$

θ_M n'est donc pas une combinaison linéaire de "A" et de "B".

Mais $2495 \ll 1.96 \theta_M$ quelque soit θ_M et donc si l'on admet
 $2495 + 1.96 \theta_R \sim 2500 \gg m_M \theta_M = m_R [\theta_R + r_R 2500] + m_E [\theta_E + r_E 2500]$

Peux-t-on faire le barycentre en "température" ?

si l'on accepte la simplification $2495 + 1.96 \theta_R \sim 2500 \gg$
 $\theta_M \sim$ une combinaison linéaire de "A" et de "B".



Cas particulier ou le point M se trouve au dessus de la courbe de saturation (HR=100%) :

Nous travaillons sur l'air humide (AH), mélange d'air sec(gaz) et de vapeur d'eau (si de l'eau liquide apparaît, cette quantité d'eau ne fait pas partie de l'AH (on doit de toute façon éviter que cela se produise et par ailleurs les gouttelettes d'eau chutent par gravité dans les gaines du réseau)

>>> Le point M calculé avec les équations "barycentriques" ne représente donc pas l'AH : de l'eau liquide est apparue

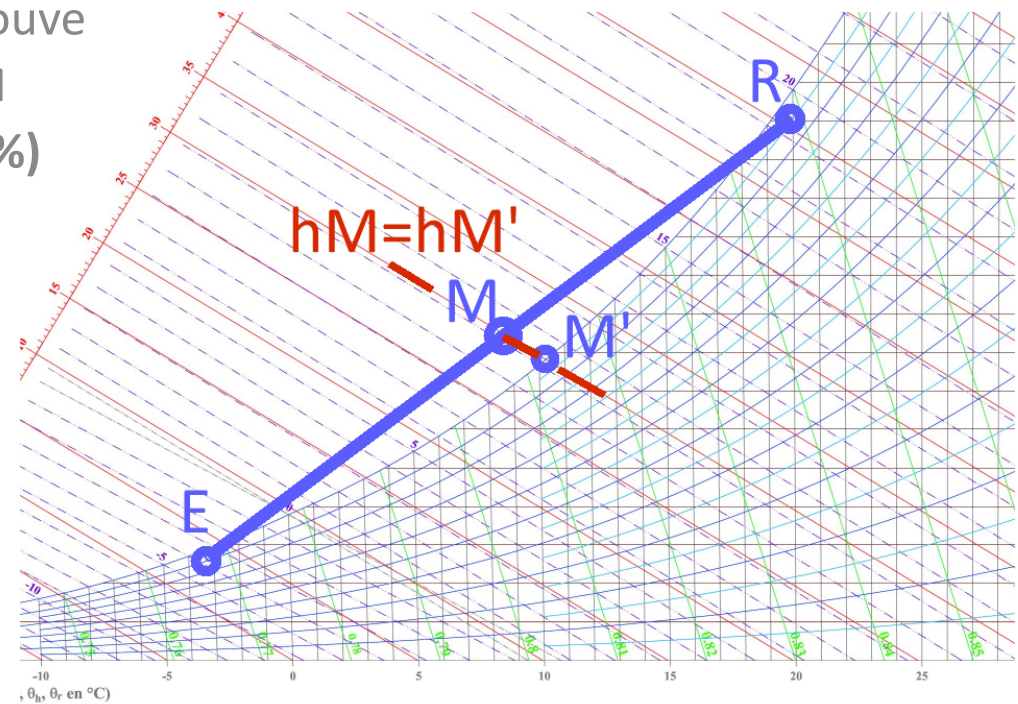
Où se trouve donc le point M' caractéristique du mélange ne contenant que de l'air sec et de la vapeur d'eau ?

Faisons l'**hypothèse** que l'enthalpie de l'eau liquide qui apparaît est négligeable devant l'enthalpie de l'AH :

>>> le point M' se trouve donc sur l'isenthalpe $h_{M'} \sim h_M$

Puisqu'il est apparu de l'eau liquide >>>> **l'AH est un mélange à saturation**

Le point M' caractéristique de l'AH se trouve donc à l'**intersection de l'isenthalpe h_M et de la courbe de saturation (HR=100%)**



>>> on peut lire sur le diagramme toutes les caractéristiques du point mélange M' dans ce cas particulier.

Remarque :

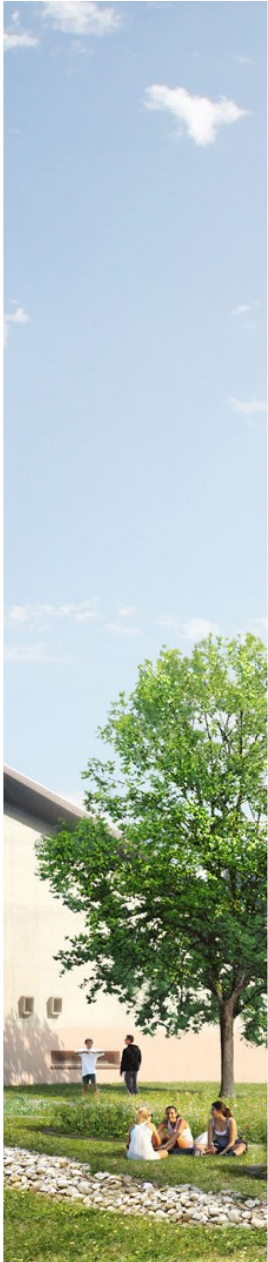
$$\begin{aligned} (m_{\text{aM}} r_M - m_{\text{aM}} r_{M'}) &= m_{\text{aM}} (r_M - r_{M'}) \\ &= m_{\text{aM}} (m_{vM} / m_{\text{aM}} - m_{vM'} / m_{\text{aM}}) \\ &= m_{vM} - m_{vM'} = \text{masse d'eau condensée/s} \end{aligned}$$

H_{el} = L'enthalpie de l'eau liquide

$$H_{\text{el}} = 4.18 m_{\text{aM}} (r_M - r_{M'}) \theta_{\text{eau}} \sim 4.18 m_{\text{aM}} (r_M - r_{M'}) \theta_{M'}$$

Vérifiez avec les résultats de l'exercice que cette quantité est bien négligeable devant $m_{\text{aM}} h_{M'}$ (hypothèse de départ) :

l'enthalpie de l'eau liquide qui apparaît est négligeable devant l'enthalpie de l'AH



1)

Air extérieur

$$\dot{m}_{asE} = 2.5 \text{ kg}_{as}/\text{s}$$

$$\theta_E = 0^\circ\text{C}$$

$$\phi_E = 100\%$$

$$r_E = 3.77 \times 10^{-3} \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$$

$$h_E = 9.43 \text{ kJ/kg}_{as}$$

$$v_E = 0.7781 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

$$\theta_{hE} = 0^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rE} = 0^\circ\text{C}$$

Air recyclé

$$\dot{m}_{asR} = 2.5 \text{ kg}_{as}/\text{s}$$

$$\theta_R = 20^\circ\text{C}$$

$$\phi_R = 40^\circ\text{C}$$

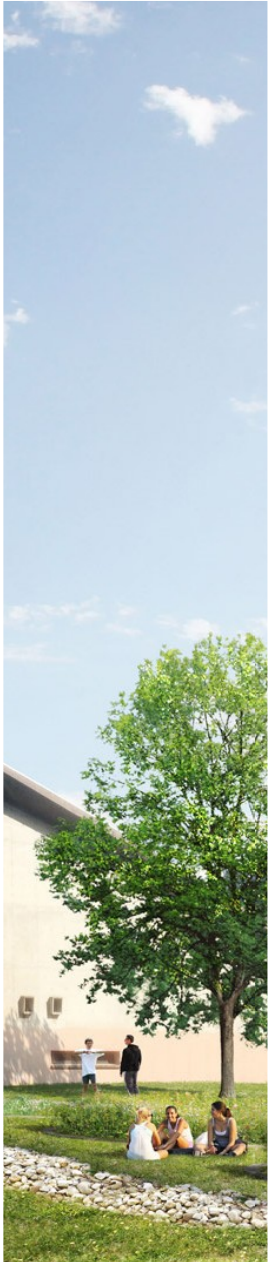
$$r_R = 5.80 \times 10^{-3} \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$$

$$h_R = 34.84 \text{ kJ/kg}_{as}$$

$$v_R = 0.8378 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

$$\theta_{hR} = 12.41^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rR} = 6.01^\circ\text{C}$$



Mélange
On calcule

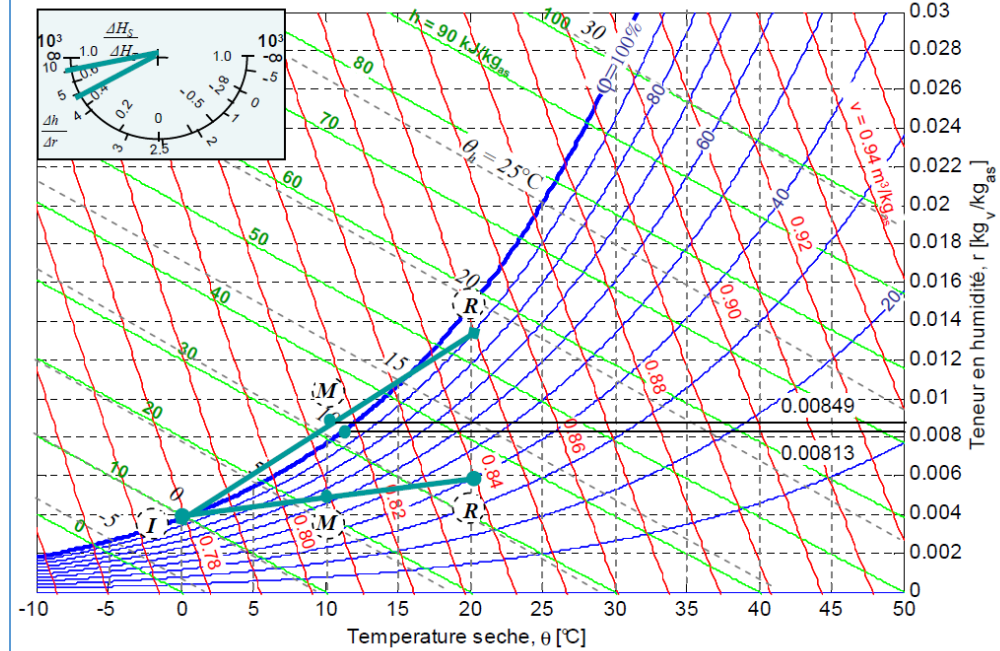
$$\theta_M = \frac{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} \theta_E + \theta_R}{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} + 1} = \frac{0 + 20}{2} = 10^\circ\text{C}$$

$$r_M = \frac{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} r_E + r_R}{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} + 1} = \frac{3.77 + 5.80}{2} \times 10^3$$

$$= 4.785 \times 10^3 \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$$

$$h_M = \frac{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} h_E + h_R}{\frac{\dot{m}_{asE}}{\dot{m}_{asR}} + 1} = \frac{9.43 + 34.84}{2}$$

$$= 22.135 \text{ kJ/kg}_{as}$$



On obtient les autres propriétés du mélange

$$\varphi_M = 63 \%$$

$$v_M = 0.8079 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

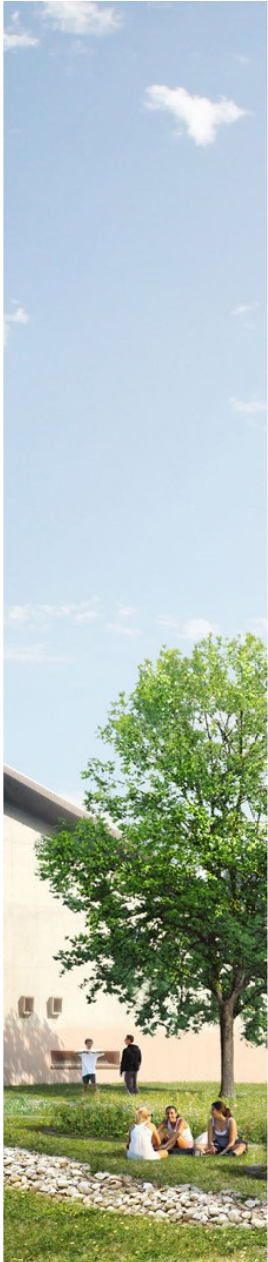
$$\theta_{hM} = 6.80^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rM} = 3.39^\circ\text{C}$$

Le point de mélange se trouve dans la zone
d'air humide :

$$\varphi_M = 63 \% < 100 \%$$

$$\theta_{rM} = 3.39^\circ\text{C} < \theta_M = 10^\circ\text{C}$$



2)

Air extérieur v. §1

Air recyclé

$$\dot{m}_{asR} = 2.5 \text{ kg}_{as}/\text{s}$$

$$\theta_R = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_R = 90\%$$

$$r_R = 13.21 \times 10^{-3} \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$$

$$h_R = 53.64 \text{ kJ/kg}_{as}$$

$$v_R = 0.8477 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

$$\theta_{hR} = 18.86^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rR} = 18.31^\circ\text{C}$$

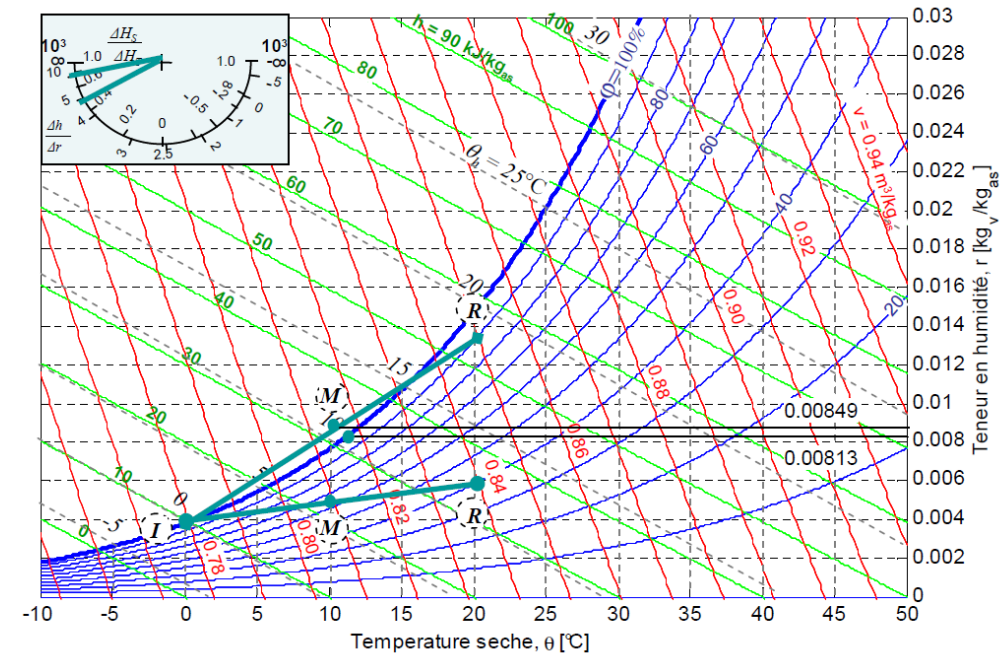
Mélange

On calcule (v. 1))

$$\theta_M = 10^\circ\text{C}$$

$$r_M = 8.49 \times 10^{-3} \text{ kg/kg}_{as}$$

$$h_M = 31.54 \text{ kJ/kg}_{as}$$



On obtient les autres propriétés du mélange

$$\varphi_M = 110\%$$

$$v_M = 0.8129 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

$$\theta_{hM} = 10.92^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rM} = 11.57^\circ\text{C}$$

Le point de mélange se trouve dans la zone de brouillard :

$$\theta_{rM} = 11.57^\circ\text{C} > \theta_M = 10^\circ\text{C}$$

La condensation des vapeurs d'eau se fait sans apport extérieur d'énergie, donc à l'enthalpie constante,

$$h_M = 31.54 \text{ kJ/kg}_{as}.$$

Le point d'équilibre a l'enthalpie h_M et l'humidité relative $\varphi = 100\%$. Il en résulte les autres propriétés à la saturation :

$$\theta_{Ms} = \theta_{hMs} = \theta_{rMs} = 10.9^\circ\text{C}$$

$$r_{Ms} = 8.13 \times 10^{-3} \text{ kg/kg}_{as}$$

$$v_{Ms} = 0.8150 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

Le débit d'eau condensée est :

$$\begin{aligned} \dot{m}_e &= \dot{m}_{as} (r_M - r_{Ms}) \\ &= 5 \times (8.49 - 8.13) \times 10^{-3} . \\ &= 1.8 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$\dot{m}_{as} = \dot{m}_M$: débit massique d'air sec à l'état M

H_{el} = L'enthalpie de l'eau liquide

$$H_{el} = 4.18 \dot{m}_M (r_M - r_{Ms}) \theta_{eau}$$

$$\sim 4.18 \dot{m}_M (r_M - r_{Ms}) \theta_{Ms}$$

$$\sim 4.18 \times 1.8 \times 10^{-3} = 7,524 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

à comparer avec

$$H_M = \dot{m}_M h_M = 5 \times 31.54 = 157,7 \text{ kW}$$

$H_{el} \ll H_M$: hypothèse de départ

