

A. Questions

1. Les deux définitions suivantes sont équivalentes :

$$HR = \frac{\text{Pression partielle de vapeur d'eau (notée } p_{vap})}{\text{Pression de vapeur saturante à la température considérée (notée } p_{sat})}$$

$$HR = \frac{\text{Humidité absolue (notée } HA)}{\text{Humidité absolue à saturation à la température considérée (notée } HA_{sat})}$$

On le démontre en utilisant la loi des gaz parfaits, comme suit :

$$p_{vap} = HA_{vap} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{H_2O}} \text{ et } p_{sat} = HA_{sat} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{H_2O}}$$

donc : $p_{vap}/p_{sat} = HA_{vap}/HA_{sat}$

2. Considérant un mélange air sec et de vapeur d'eau à teneur donnée, le point de rosée est la température à laquelle il faut refroidir ce mélange pour observer la condensation de l'eau. Aux températures supérieures, l'air peut contenir plus de vapeur ; aux températures inférieures, il ne peut tout contenir et l'excès se condense sur les parois environnantes les plus froides.

On peut mesurer le point de rosée en refroidissant une surface polie, en verre ou en métal par exemple, jusqu'à apparition de la condensation.

3. En pénétrant dans le local chauffé, les lunettes sont initialement à la température extérieure et ne se réchauffent que lentement du fait de leur inertie thermique. Si la température extérieure était inférieure au point de rosée, alors pendant quelques instants le verre des lunettes refroidit l'air proche dont la vapeur d'eau se condense. Les lunettes se couvrent alors de buée.
Pour raccourcir la durée de cette gêne, il est préférable de choisir des verres aussi légers que possible et constitués d'un matériau à faible capacité thermique.

4. On peut construire un psychromètre à partir de deux thermomètres. Le premier n'est pas modifié ; il indique la température de l'air dans le local. Le bulbe du second est entouré d'une gaze humide, puis est soumis à un courant d'air de l'ordre de 2 m/s. **L'évaporation de l'eau** contenue dans la gaze **refroidit** alors le bulbe, la valeur mesurée étant d'autant plus basse que l'humidité relative dans le local est faible.

Le courant d'air a pour but de maintenir le thermomètre à la température humide en compensant les autres effets qui tendent à le réchauffer (p. ex. radiation ou conduction). Le premier thermomètre mesure la température dite « sèche », le second la température dite « humide ». Ces deux paramètres permettent de déterminer l'humidité relative à l'aide du diagramme psychrométrique (cf. annexe A 2.4 et polycopié p. 2.8-2.9).

5. a) Dans le bâtiment, les locaux ne sont jamais parfaitement étanches : portes et fenêtres comportent des fuites au niveau des joints. De ce fait, lorsque la température varie, la pression reste constante, déterminée par les conditions extérieures. D'après la loi des gaz parfaits, la masse volumique de l'air s'écrit :

$$\rho = p \cdot \frac{M_{air}}{R \cdot T}$$

Ainsi, lorsque la température du local augmente, la masse volumique de l'air diminue ; il y a donc moins de molécules d'air dans le local, son volume (noté V) restant fixe.

b) La masse de l'air (noté m) qu'il contient diminue également ($m = \rho \cdot V$).

La pression partielle de la vapeur d'eau ainsi que la teneur sont toutes les deux représentatives des proportions du mélange air sec et vapeur d'eau. Elles sont indépendantes de la température tant que cette dernière reste supérieure au point de rosée.

Dans le cas contraire, ces paramètres sont égaux aux caractéristiques de l'air saturé, dont les valeurs sont indiquées par la courbe de saturation du diagramme psychrométrique (cf. annexe 2.4) ; ils décroissent avec la température.

L'humidité absolue (notée HA) en revanche varie lorsque la température fluctue. Au-dessus du point de rosée, un réchauffement entraîne une diminution de HA car, comme pour le mélange air sec et vapeur d'eau, la masse de vapeur contenue dans le local diminue ($HA = m_{\text{vap}}/V$). En dessous du point de rosée, HA est égal à l'humidité absolue à saturation HA_{sat} , donnée par l'annexe A 2.2 ; elle décroît avec la température.

Tant que l'on reste au-dessus du point de rosée, l'humidité relative (notée HR) augmente lorsque la température du local baisse car la pression de vapeur saturante diminue ($HR = p_{\text{vap}}/p_{\text{sat}}(T)$). En dessous du point de rosée, HR reste égale à 100%.

B. Problèmes

Problème 1

À une humidité relative de 75% et une température de 30 °C correspond le point "1" sur le diagramme i-x page suivante. Le point de rosée est la température T_r à laquelle il faudrait refroidir ce volume d'air pour arriver à saturation, c'est-à-dire à 100 % d'humidité relative, à teneur en vapeur d'eau constante (en suivant sur le diagramme un chemin parallèle à l'axe des ordonnées).

On trouve (point "2") : $T_r = 25,3$ °C (sur l'échelle des températures « sèches » comme sur celle des températures « humides » puisque ce point se trouve à la saturation)

Problème 2

La transformation est illustrée sur le diagramme i-x (ci-dessus) par :

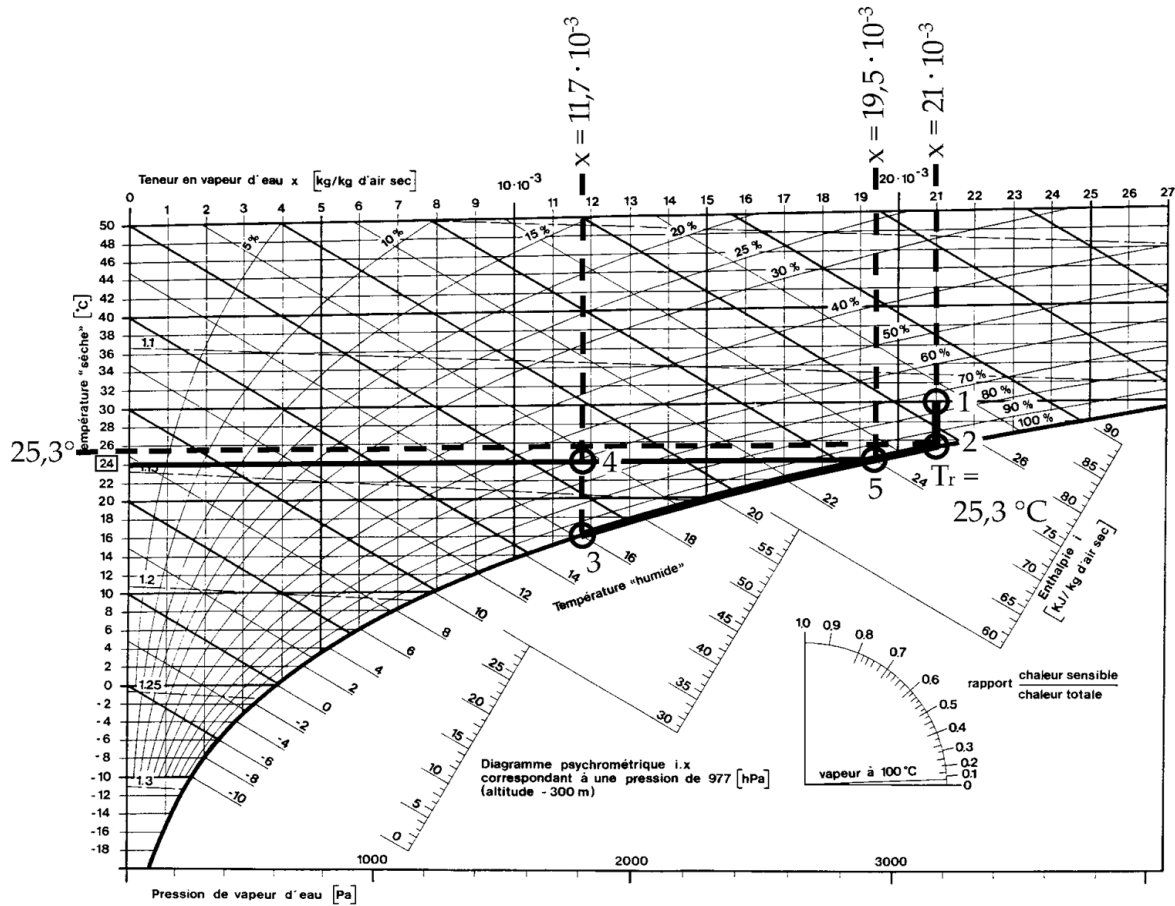
- du point "1" au point "2" : refroidissement à teneur constante (le chemin est parallèle à l'axe des ordonnées),
- du point "2" au point "3" : refroidissement avec condensation (le chemin suit la courbe de saturation).

Le réchauffement peut se faire de deux manières :

- 1^{ère} solution : (du point "3" au point "4") : réchauffement à teneur constante (le chemin est parallèle à l'axe des ordonnées) ; l'humidité relative est ramenée à environ 61 %.
- 2^{ème} solution : (du point "3" au point "5") : réchauffement avec re-évaporation de l'eau condensée (en suivant la courbe de saturation) ; HR reste égale à 100 %.

$$m_{\text{eau condensée}} = m_{\text{vap '1'}} - m_{\text{vap '4' ou '5'}} = V(HA_{\text{'1'}} - HA_{\text{'4' ou '5'}})$$

$$HA(T, p) = \frac{m_{\text{vap}}}{V} = \frac{m_{\text{vap}}}{m_{\text{air sec}}} \cdot \frac{m_{\text{air sec}}}{V} = x(T, p) \cdot \rho_{\text{air sec}}(T, p)$$



Calcul approché :

On suppose que la masse volumique de l'air sec est indépendante de la température de l'air et de la quantité de vapeur : $\rho_{\text{air sec}} \approx 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (cf. annexe A 2.1)

On mesure sur le diagramme i-x :

$$x(T_1, p_1) = 21 \cdot 10^{-3}; x(T_4, p_4) = 11,7 \cdot 10^{-3}; x(T_5, p_5) = 19,5 \cdot 10^{-3}$$

1^{ère} solution : $m_{\text{eau condensée}} = V_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot \Delta x = 100 \cdot 1,2 \cdot [21 - 11,7] \cdot 10^{-3} = 1,1 \text{ kg}$

2^{ème} solution : $m_{\text{eau condensée}} = 100 \cdot 1,2 \cdot [21 - 19,5] \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ kg}$

Calcul précis :

$$\rho(T, p) = \rho_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \text{ avec } \rho_0 = 1,2929 \text{ kg/m}^3 \text{ et Températures en Kelvin (cf. annexe A 2.1 + polycopié p. 2.3)}$$

$p = p_{\text{atm}} - p_{\text{vap.eau}}$ et $p_{\text{vap.eau}}$ se lit sur l'axe horizontal bas du diagramme i-x

$$\rho_1 = 1,2929 \cdot \frac{(97700 - 3'200) \cdot 273}{101'325 \cdot (273 + 30)} = 1,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_4 = 1,2929 \cdot \frac{(97700 - 1'800) \cdot 273}{101'325 \cdot (273 + 24)} = 1,12 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_5 = 1,2929 \cdot \frac{(97700 - 2'900) \cdot 273}{101'325 \cdot (273 + 24)} = 1,11 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

1^{ère} solution : $m_{\text{eau condensée}} = 100 \cdot [21 \cdot 1,09 - 11,7 \cdot 1,12] \cdot 10^{-3} = 0,98 \text{ kg}$

2^{ème} solution : $m_{\text{eau condensée}} = 100 \cdot [21 \cdot 1,09 - 19,5 \cdot 1,11] \cdot 10^{-3} = 0,12 \text{ kg}$

Problème 3

Pour un psychromètre, la baisse de température humide (en anglais Wet Bulb Temperature = WTB) est due à une évaporation où l'énergie totale du système (enthalpie) est conservée. L'enthalpie est la somme des énergies sensibles et latentes, elle reste constante si de la chaleur sensible est transformée en chaleur latente et inversement. Pour trouver l'humidité relative à partir des températures humide (WTB) et sèche (Dry Bulb Temperature = DBT) on procède de la manière suivante (cf. diagramme i-x).

On part de la température humide "1" (respectivement "3") et on suit une direction parallèle aux droites d'enthalpie constante jusqu'à ce qu'on croise la ligne horizontale définissant la température sèche "2" (respectivement "4").

On lit alors facilement les humidités relatives des points d'intersection que l'on a trouvé :

