

Thermodynamique et Mécanique des fluides (durée conseillée : 1h15) 6 points

L'objet du problème est l'étude, dans la première partie, du contrôle de l'humidité de l'air et, dans la deuxième partie, du système d'alimentation en air sec dans un atelier de fabrication de tapis synthétiques. L'humidité doit être maintenue constante pour assurer la régularité de la fabrication. L'installation est schématisée sur la figure 1 ci-dessous.

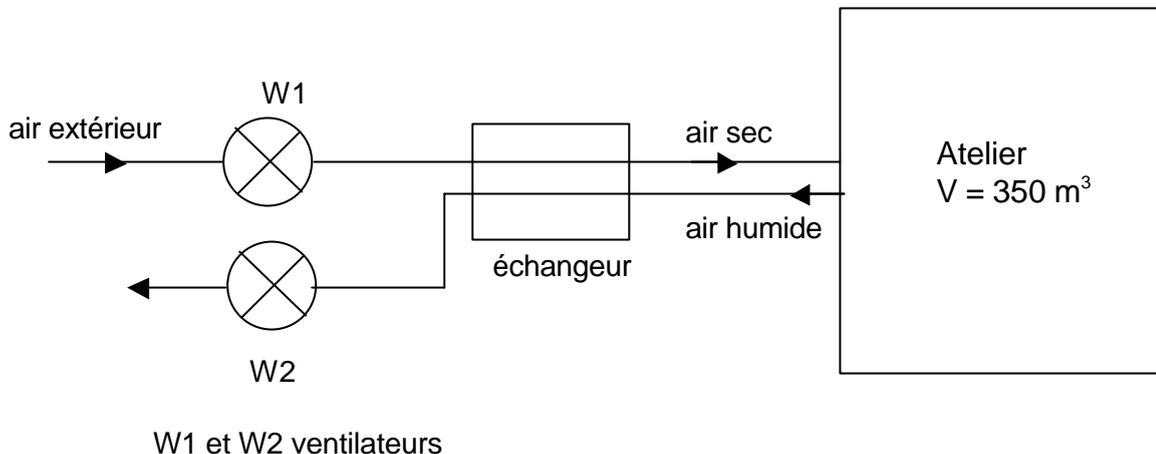


Figure 1

Les parties I et II sont indépendantes.

On prendra $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (constante des gaz parfaits).

I - Étude de l'humidité de l'air

Dans cette partie on étudie l'hygrométrie de l'air contenu dans l'atelier, de volume $V = 350 \text{ m}^3$.

1 - Quels sont les deux principaux gaz entrant dans la composition de l'air sec ?

Dans la suite du problème ce mélange est considéré comme un corps pur de masse molaire $M_{\text{air}} = 29 \text{ g.mol}^{-1}$.

2 - A l'intérieur de l'atelier la température de $\theta_1 = 21^\circ\text{C}$, la pression est $P = 101,3 \text{ kPa}$.

2.1 - Dans un premier temps on suppose que l'atmosphère de l'atelier ne contient que de l'air sec, considéré comme un gaz parfait.

Donner l'expression littérale et numérique de la masse m_{sec} de cet air.

2.2 - Dans un deuxième temps on tient compte de l'humidité.

L'air humide est considéré comme un mélange idéal de gaz parfaits, le premier est l'air sec de masse molaire M_{air} et le deuxième est la vapeur d'eau de masse molaire $M_{\text{eau}} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$.

On définit l'humidité relative H_r (ou degré hygrométrique) par :

$$H_r = \frac{p_v}{p_s} \quad \text{où } p_v \text{ est la pression partielle de la vapeur d'eau dans le mélange et } p_s \text{ la pression de vapeur saturante de l'eau à la même température.}$$

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau à 21°C : $p_s = 2,505 \text{ kPa}$.

Sachant que l'humidité relative de l'atelier est $H_r = 0,4$, calculer littéralement puis numériquement :

2.2.1 - Les pressions partielles de la vapeur d'eau p_v et de l'air sec p_a .

2.2.2 - Les masses de vapeur d'eau m_v et d'air sec m_a .

2.2.3 - La masse d'air humide m_{humide} dans l'atelier.

3 - Durant la nuit, l'atelier n'étant plus chauffé, la température intérieure descend à $\theta_2 = 5^\circ\text{C}$, la pression restant constante.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau à 5°C : $p'_s = 0,8721 \text{ kPa}$.

3.1 - Si toute l'eau restait sous forme de vapeur, quelle serait la pression p'_v de la vapeur ?

3.2 - En réalité la pression partielle de la vapeur d'eau ne peut pas dépasser la valeur p'_s et il y a donc condensation. Calculer la masse d'eau condensée m_e .

3.3 - Quelle est alors l'humidité relative de l'atmosphère de l'atelier à cette température ?

II - Alimentation de l'atelier en air sec

La présence de personnel dans l'atelier pendant la journée augmente le taux d'humidité de l'atmosphère, et la ventilation se déclenche quand l'humidité relative atteint une valeur seuil.

Pour déshumidifier l'atmosphère il faut apporter de l'air sec et extraire de l'air humide.

L'air sec pris à l'extérieur est filtré et canalisé jusqu'au ventilateur W1, comme l'indique le schéma de la figure 1.

Dans la suite on s'intéresse à la conduite d'aspiration de l'air extérieur, supposée horizontale, schématisée sur la figure 2.

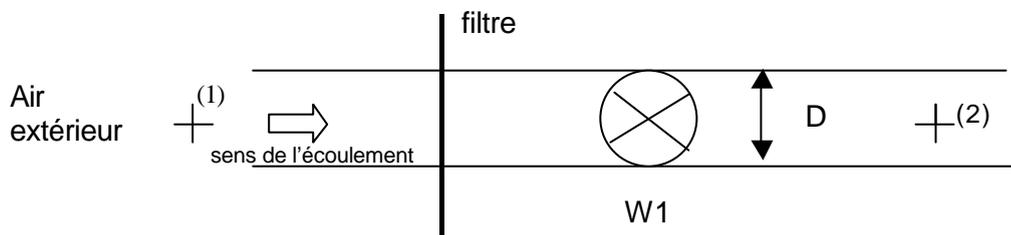


Figure 2

L'air sec est considéré comme un fluide incompressible, de masse volumique ρ constante dans les conditions de fonctionnement de l'installation ($\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$).

Le débit d'air est $Q = 0,85 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, le diamètre de la canalisation $D = 12 \text{ cm}$.

Le ventilateur W1 met le fluide en mouvement et compense les pertes de charge ΔP_c dans le filtre. On donne $\Delta P_c = 300 \text{ Pa}$. On cherche à calculer la puissance du ventilateur de façon à avoir $p_1 = p_2$, avec p_1 et p_2 pressions respectives aux points (1) et (2).

1 - Calculer la vitesse de l'air au point (2) dans la canalisation.

2 - Ecrire le théorème de Bernouilli entre les points (1) et (2) en tenant compte des pertes de charge et de la présence du ventilateur.

3 - En considérant comme nulle la vitesse en (1), calculer l'énergie E fournie à l'air par le ventilateur par kg de fluide.

4 - En déduire la puissance P_r reçue par l'air.

5 - Le rendement du ventilateur étant $r = 0,7$ calculer sa puissance électrique absorbée P_a .