

SECHOIR SOLAIRE A ABRICOTS

Ce problème étudie le fonctionnement d'un séchoir à fruits mis au point au C.D.E.R (Centre de Développement des Energies Renouvelables) de Marrakech. Le principe du séchage est celui du sèche-cheveux : de l'air chaud soufflé sur un corps humide emporte avec lui une partie de l'humidité.

Le séchoir est composé de deux compartiments, le premier est le capteur solaire où l'air est chauffé et le deuxième est le sécheur où les fruits sont disposés en contact avec l'air chaud produit dans le capteur.

Le capteur est un parallélépipède de longueur 10 m, de largeur 2 m et d'épaisseur 10 cm, la face supérieure (horizontale) d'aire $S=10 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ est constituée d'une vitre, la face supérieure est calorifugée et peinte en noire pour une absorption optimale du rayonnement solaire.

En tête du capteur est disposé un ventilateur qui donne à l'air un débit massique D_m dans toute l'installation.

Le sécheur qui prolonge le capteur a la même section (10 m x 2 cm). Il est calorifugé sur quatre faces, les deux autres faces étant la face de sortie en contact avec l'atmosphère et la face d'entrée qui est celle de sortie du capteur.

La pression moyenne dans toute l'installation est sensiblement égale à la pression atmosphérique P_a . L'écoulement de l'air est considéré quasi permanent.

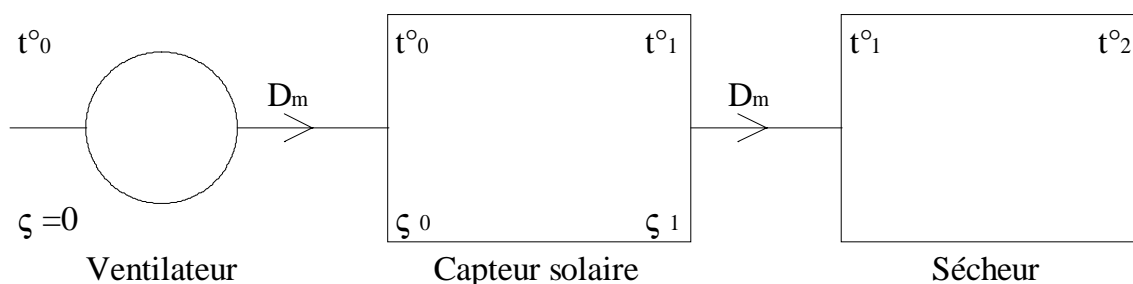


Fig.1 : Principe de l'installation

Données et notations :

$M_e=18 \text{ g.mol}^{-1}$: masse molaire de l'eau,

$M_a=29 \text{ g.mol}^{-1}$: masse molaire de l'air,

$C_a=1 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$: chaleur massique de l'air à pression constante,

$C_e=1,6 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$: chaleur massique de la vapeur d'eau à pression constante,

$L_v=2,4 \text{ kJ.g}^{-1}$ chaleur latente de vaporisation de l'eau,

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

$P_a=10^5 \text{ Pa}$: pression atmosphérique.

LES DIFFERENTES PARTIES SONT LARGEMENT INDEPENDANTES.

1 ÈRE PARTIE : ETUDE DU VENTILATEUR

Le ventilateur prend l'air, de masse volumique ρ , à une vitesse négligeable à l'entrée et communique à cet air une vitesse V à l'entrée du capteur, de section s_0 . L'écoulement est supposé incompressible, en régime permanent. L'air est assimilé à un fluide parfait.

1. Exprimer le débit massique D_m en fonction de ρ , s_0 et V . On supposera que ζ est uniforme sur la face d'entrée du capteur et perpendiculaire à sa section droite.
2. Déterminer, par un bilan énergétique, sur un système que l'on précisera la puissance P que fournit le ventilateur.
3. Déterminer, par un bilan de quantité de mouvement (théorème d'EULER), sur un système que l'on précisera, la force F qu'exerce l'hélice sur l'air ?
4. A.N. : Calculer P et F ; on donne $D_m=1000 \text{ kg.h}^{-1}$; $\rho=1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ et $s_0=0,2 \text{ m}^2$.

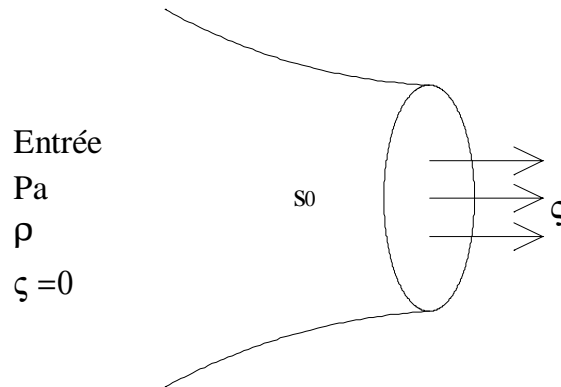


Fig. 2

2 ÈME PARTIE : ETUDE DU THERMOSTAT

Pour maintenir l'air du capteur à une température voisine de $t^{\circ}_{ref}=60^{\circ}\text{C}$, la mise en route du ventilateur est commandée comme suit :

- * si $t^{\circ} < 55^{\circ}\text{C}$: le ventilateur est arrêté ; l'air ne circulant pas dans le capteur, sa température augmente.
- * si $t^{\circ} > 65^{\circ}\text{C}$: le ventilateur tourne ; l'air circulant dans le capteur, sa température diminue.

Le montage de la figure 2 commande l'interrupteur du circuit du ventilateur. Il comprend :

- un pont de 4 résistances dont l'une, noté R_t est une thermistance fonction de la température t° selon $R_t=R_0[1 + a(t^{\circ} - t^{\circ}_{ref})]$ où $t^{\circ}_{ref}=60^{\circ}\text{C}$, $a=4.10^{-4} \text{ K}^{-1}$ et $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$.
- deux montages à amplificateurs opérationnels : le premier fonctionnant en régime linéaire, le deuxième en régime saturé : $U_2 = \pm V_{sat}$.

La thermistance est placée dans le capteur à la température t° .

On pose $m = R/R_0$.

Le montage commande l'ouverture et la fermeture d'un interrupteur K :

- si $U_2 = +V_{sat} = +12 \text{ V}$ alors K est fermé : le ventilateur tourne.
- si $U_2 = -V_{sat} = -12 \text{ V}$ alors K est ouvert : le ventilateur est arrêté.

1. Montrer que la tension de sortie U_1 est, au voisinage de t°_0 , de la forme approchée : $U_1 = E f(m) a(t^{\circ} - t^{\circ}_{ref})$ où $f(m)$ est fonction de m uniquement que l'on déterminera. On fera l'approximation $a\Delta t^{\circ} \ll 1$.
2. Analyser le fonctionnement du 2ème A.O. Expliquer pourquoi il fonctionne en régime saturé.
Pour quelles valeurs de U_1 a-t-on $U_2 = +12 \text{ V}$?
Pour quelles valeurs de U_1 a-t-on $U_2 = -12 \text{ V}$?
Tracer le diagramme de transfert $U_2 = f(U_1)$ et indiquer le sens de parcours du cycle pour U_1 passant de $+2 \text{ V}$ à -2 V , puis en sens inverse.

3. Quelle valeur faut-il donner à m pour que le dispositif ait le fonctionnement souhaité ?

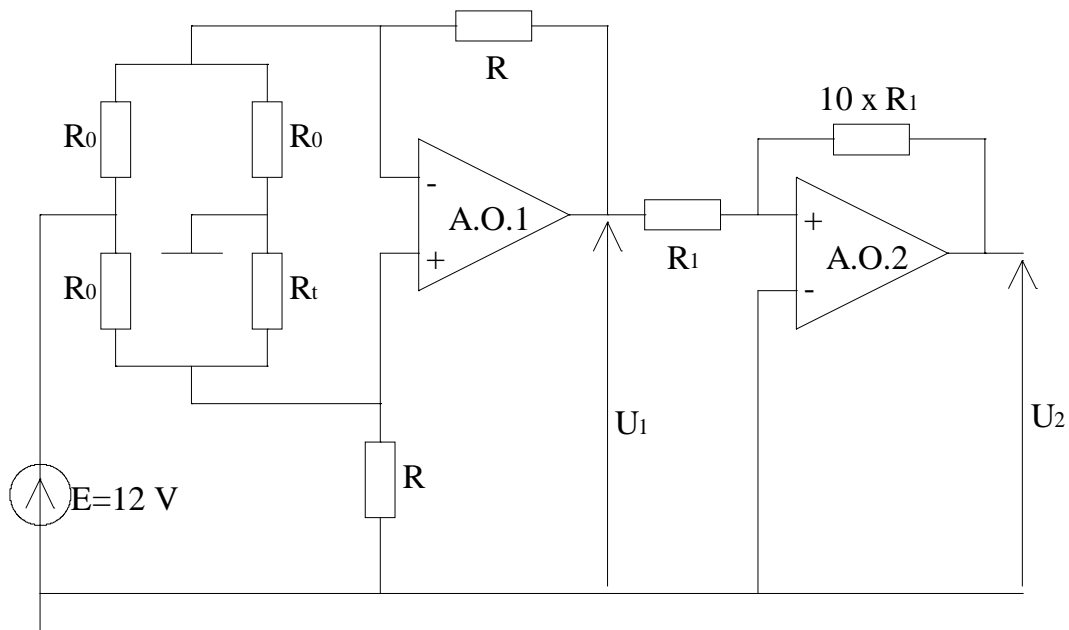


fig. 3 : Schéma de la commande d'interrupteur.

3 ÈME PARTIE : CHAUFFAGE DE L'AIR DANS LE CAPTEUR

L'air, assimilé à un gaz parfait, traverse le capteur, avec un débit massique D_m en régime permanent. Les paramètres masse volumique, vitesse et pression sont ρ_0 , V_0 et P_0 à l'entrée et ρ_1 , V_1 et P_1 à la sortie ; h_0 et h_1 sont les enthalpies massiques à l'entrée et à la sortie du capteur.

1. En appliquant le premier principe de la thermodynamique à un système que l'on précisera, montrer que la puissance calorifique $P_Q = (\delta Q/dt)$ reçue par l'air circulant dans le capteur est donnée par :

$$P_Q = D_m(h_1 - h_0)$$

On négligera l'énergie cinétique macroscopique.

2. Soit E la puissance du rayonnement solaire reçue par unité de surface du capteur, t°_0 la température de l'air à l'entrée et t°_1 à la sortie du capteur.

Donner la relation entre t°_0 , t°_1 , D_m , C_a , E , S et le rendement r du capteur défini par :

$$r = \text{puissance calorifique reçue par l'air} / \text{puissance solaire reçue par le capteur}$$

3. A.N. : Calculer D_m donnant $t^{\circ}_1 = 60^{\circ}\text{C}$. On prendra $E = 950 \text{ W.m}^{-2}$, $t^{\circ}_0 = 20^{\circ}\text{C}$ et $r = 0,585$.

4. Vérifier que la variation d'énergie cinétique était bien négligeable dans le 1.

4 ÈME PARTIE : ETUDE DU SECHEUR

ETUDE PRELIMINAIRE

1. Donner la relation de Clapeyron liant à l'équilibre, la chaleur massique de vaporisation (ou enthalpie de vaporisation) L_v , les volumes massiques U_1 et U_2 du liquide et de la vapeur, T , et dP_s/dT (P_s désignant la pression de vapeur saturante).
2.
 - a) En faisant l'hypothèse que la chaleur latente massique de vaporisation de l'eau (L_v) varie peu avec la température, donner une expression approchée de P_s en fonction de T (température exprimée en kelvin), R , M_e , T_0 et P_0 deux constantes à préciser. On supposera que la vapeur d'eau obéit à la loi des gaz parfaits et on négligera le volume massique de l'eau liquide devant celui de la vapeur.
 - b) Du tableau de valeurs ci-dessous déduire une valeur numérique de L_v .

$t^\circ(\text{°C})$	10	20	30	40	50	60
$P_s(\text{kPa})$	1,23	2,34	4,25	7,38	12,34	19,93

Par la suite on prendra $L_v = 2400 \text{ kJ/kg}$.

3. On définit l'humidité relative d'un air chargé de vapeur d'eau par le rapport $y = P_e/P_s$ où P_e est la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et P_s la pression de vapeur saturante à la température considérée. A un air saturé d'eau ($P_e = P_s$) correspond donc une humidité relative de 100 %.
On définit l'humidité absolue par le rapport $x = m_e/m_a$ où m_e et m_a sont respectivement la masse d'eau et d'air sec présentes dans un volume d'air humide.
 - a) Exprimer x en fonction de M_e , M_a , P_s , y et P (pression atmosphérique supposée constante).
 - b) Tracer x pour de l'air saturé en fonction de t° dans le domaine $[10 \text{ °C}, 60 \text{ °C}]$.
4. L'absorption d'eau par l'air est un phénomène isenthalpique, la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau étant fournie par l'air. L'air entre dans le sécheur à t°_1 et humidité absolue x_1 et sort à la même pression saturée à t°_2 et x_2 .
 - a) En exprimant la conservation de l'enthalpie établir une relation entre x_1 , x_2 , t°_1 , t°_2 , L_v et C_a (aux températures considérées $P_s/P_a \ll 1$ et $x \ll 1$).

On définit le pouvoir évaporateur d'un air humide de température t°_1 et d'humidité absolue x_0 par $P_{ev} = x - x_0$ où x est l'humidité absolue correspondant à un air saturé à la température t° , température finale lorsque la saturation est réalisée.

- b) Calculer, à 40 °C puis à 60 °C , le pouvoir évaporateur d'un air d'humidité absolue 0,005.

On commencera par déterminer graphiquement la température finale d'absorption. Conclusion ?

ETUDE DU SECHAGE

On prendra pour température de l'air ambiant (donc à l'entrée du capteur) $t^\circ_0 = 20 \text{ °C}$ et pour humidité absolue $x_1 = 0,005$.

Les abricots sont secs quand ils ont perdu 77 % de leur masse initiale.

L'air arrive dans le sécheur avec un débit massique D_m , à une température t°_1 et avec une humidité absolue x_1 correspondant à un pouvoir évaporateur P_{ev} . t°_1 ne doit pas dépasser 65 °C sous peine de détériorer les fruits.

Le débit est suffisamment faible et le séchoir suffisamment long pour que l'air en sortie soit saturé.

5. Exprimer la quantité d'eau évaporée par unité de temps dm_e/dt en fonction de D_m et P_{ev} .
6. Quelle est la durée du séchage de 100 kg d'abricots pour un débit d'air de $1000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ et un pouvoir évaporateur de 0,02.
7. Exprimer dm_e/dt en fonction de t_1° , t_0° , P_{ev} , C_a et I puissance calorifique reçue par l'air dans le capteur.
Comparer pour I donnée les valeurs de dm_e/dt pour $t_1^\circ=60^\circ\text{C}$ et $t_1^\circ=40^\circ\text{C}$ correspondant à deux valeurs du débit et une humidité ambiante absolue $x_0=0,005$.
Conclusion.

FIN DE L'EPREUVE