

**CONDENSEUR :**

1 - La température est  $T_e$  car il y a équilibre de vaporisation sous la pression  $P_e$ , aussi bien pour l'eau douce condensée dans le condenseur qu'à la sortie.

2 -  $dH_m = D_m dt (h_B - h_A)$  donc :  $dH_m = D_m dt c (T_B - T_A)$ , car l'état de l'eau salée est invariable entre A et B. (bilan classique sur un système ouvert).

Eau qui se condense pendant  $dt$  :  $dH_e = D_e dt (-L(T_e))$

L'ensembl

térieur,

donc :  $dH_m$

$$\frac{D_e L T_e}{D_m c}$$

3 - La relation locale de conservation de l'énergie pour la diffusion s'écrit : INCORPORER

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\mathbf{j})$$

Equation.3

donc en régime permanent : INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\mathbf{j})$$

, le flux de INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\mathbf{j})$$

est bien

conservatif. Justifier : INCORPORER Equation.3

? Je ne vois pas d'autre

argument que « cela permet de simplifier le problème » car l'eau salée a une température qui varie entre A et B cf. question 5), donc il en est de même pour la température du tube. En fait, dans la suite, la relation sera utilisée sur un élément de longueur, ce qui justifie bien de ne pas tenir compte de la coordonnée le long du tube. L'auteur aurait pu postuler INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\mathbf{j})$$

puisque le but de la question est simplement d'obtenir la résistance thermique du

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\mathbf{j})$$

tube. Si INCORPORER Equation.3

ne dépend que de  $r$  alors la loi de Fourier

montre qu'il en est de même pour  $T$ . Soit le cylindre de rayon  $r$  ( $a < r < a+e$ ), de longueur  $l$ , fermé aux deux extrémités par des disques perpendiculaires à l'axe ; le flux de INCORPORER Equation.3

$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  est conservatif à travers cette surface donc : INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  d'où  $j_r$ ). INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  d'où INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  ou : INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$   
INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  or la définition de la résistance est :  
INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  pour l'unité de longueur donc INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  et INCORPORER Equation.3  $4 - p' > 0$   
correspond à un transfert thermique de l'eau douce vers le tube. l'eau salée à l'intérieur du tube est plus froide que l'eau douce à l'extérieur) Soit le cylindre de rayon  $a+e$ , de longueur  $l$  : la puissance qui le traverse est on pose  $P'$  la puissance linéique) :  $P' l = p' 2 (a+e) l = h (T_e - T_{a+e}) 2 (a+e) l$ . Par  
unité de longueur :  $P' R_{cc} = T_e - T_{a+e}$ ) donc INCORPORER Equation.3 De  
l'eau douce extérieure à la surface interne du tube le flux thermique conservatif) par unité de longueur est tel que :  $T_e - T_a = T_e - T_{a+e} + T_{a+e} - T_a = P' R_{cc} - p R_0$  avec  $P' = -p$  car le flux est conservatif signe - car  $p$  est compté positivement vers l'extérieur du tube) donc :  $T_e - T_a = P' (R_{cc} + R_0)$ , ce qui définit la résistance thermique  $R_t = R_{cc} + R_0$  INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  donc  $R_t = R_{cc} + R_0$ 5 - Remarque : dans cette question on néglige implicitement la diffusion de la chaleur dans l'eau salée, il aurait fallu le préciser, même si cela est sans doute très légitime. On fait un bilan d'enthalpie pendant  $dt$  sur le système ouvert d'épaisseur  $dx$  suivant la technique habituelle :  $dH = D_m dt (c T_{x+dx} - T_x) = Q$ . L'échange thermique se fait latéralement à travers la paroi du tube, avec la résistance thermique  $R_t$  donc :  $Q = P' dt dx = (T_e - T_x) R_t^{-1} dx dt$   
soit : INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  ou INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  soit en intégrant : INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  pour  $x = d$   
on a  $T(d) = T_B$  donc INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  = INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  INCORPORER Equation.3  
 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  6 - C'est le bilan du 2 - : la variation d'enthalpie de l'eau de mer est, par unité de  
temps : INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  en transformant l'expression de  $P_m$  avec =  
 $D_m c R_t$  et INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \vec{j}$  il vient : INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

on a bien le bilan attendu : INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad 7 -$$

A.N. : puisque  $P_e = P_a$  on connaît la température  $T_e = 373 \text{ K}$  ( $T_e = h\nu - h_l$ ) donc il suffit d'utiliser la relation du 2 -, on calcule ainsi  $T_B = 336,7 \text{ K}$  La cellule complète : 8 - La conservation de la masse impose :  $D_m = D_e + D_S$  la température de la saumure est  $T_e$ . 9 - La cellule complète reçoit la puissance  $P_t$  et pas de travail autre que celui des forces de pression. Le bilan d'enthalpie est : INCORPORER

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

Equation.3 . En régime permanent, pendant  $dt$ , la transformation se réduit à remplacer la masse  $D_m dt$  qui entre à  $T_A$  par une masse  $D_e dt$  qui sort à  $T_e$  et une masse  $D_S dt$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

qui sort à  $T_e$ . Or  $D_m = D_e + D_S$  donc INCORPORER Equation.3 10 - En conservant le même rapport 10 entre  $D_m$  et  $D_e$ , la masse d'eau salée utilisée est de  $10 \text{ kg} = D_m t$  d'où  $W = P_m t = 10 c (T_e - T_A) = 3780 \text{ kJ.kg eau douce}$ -1 Pompage de l'eau de mer : 11 - Variation

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

d'énergie de la masse  $dm$  d'eau puisée : INCORPORER Equation.3 , avec  $dm = D_m dt$ . Il faut donc fournir un travail au moins égal à cette variation d'énergie :  $W = dE$ . Par unité de

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

temps : INCORPORER Equation.3 or INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

où  $S$  est la section du tube d'où : INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

12 - On sait que par aspiration l'eau ne peut pas monter au delà de 10 m. Donc si  $h > 10 \text{ m}$  il faut utiliser une pompe refoulante, sinon une pompe par aspiration suffit. Vaporisation sous vide réduit : 13 - En prenant  $P_s = P_l$  on peut lire sur la courbe ou calculer par dichotomie :  $T_1 = 337$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

KDémonstration du cours : INCORPORER Equation.3 où  $V$  et  $L$  sont les volumes massiques respectifs de la vapeur et du liquide. En négligeant le volume massique du liquide devant celui de la vapeur et en assimilant la vapeur à un gaz parfait il vient : INCORPORER

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

Equation.3 d'où INCORPORER Equation.3 donc :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

INCORPORER Equation.3 ; qui est bien de la forme proposée avec

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

INCORPORER Equation.3 On calcule alors  $L(T_1) = 2,335.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$  Avec les mêmes approximations l'équation de Clapeyron donne : INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

soit en intégrant : INCORPORER Equation.3 On calcule comme en 7-  $T_B = 338,6 \text{ K}$  la variation de cette température est très faible, les deux courbes sont très voisines. Le compresseur : 14 - Bilan habituel sur un système ouvert, adiabatique : INCORPORER

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

Equation.3 15 - Adiabatique réversible d'un gaz parfait : INCORPORER

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

Equation.3 or INCORPORER Equation.3 G.P.) donc :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{soit} \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{Equation.3}$$

or TE = T1 donc : INCORPORER Equation.3

A.N. : INCORPORER Equation.3 , on calcule PsTF) à l'aide de la loi de Dupré-Bertrand, on trouve : PsTF) = 0,763 bar > PF = 0,35 bar donc l'eau est bien sous forme de vapeur sèche en F , après le compresseur. 17 - G = H - T S dg = - s dT + dP soit :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{et} \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

INCORPORER Equation.3

en effectuant les calculs on obtient : INCORPORER Equation.3

Equation.3 On remarque que l'expression de s(T,P) est la même que pour le gaz parfait, et que, dans l'équation d'état, la seule différence avec le gaz parfait est l'apparition du covolume b , c'est à dire que l'on ne considère plus les molécules comme ponctuelles.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{on voit que, contrairement au cas du G.P.,}$$

INCORPORER Equation.3

l'enthalpie dépend de la pression. INCORPORER Equation.3 or

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{donc, en identifiant les termes en dT dans les deux}$$

INCORPORER Equation.3

expressions de ds il vient : INCORPORER Equation.3 qui correspond à

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{et} \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$$

INCORPORER Equation.3

l'expression donnée. INCORPORER Equation.3

Equation.3 donc INCORPORER Equation.3 comme pour le G.P. La transformation dans le compresseur est considérée comme adiabatique et réversible donc : s(T1,PE) = s(TF,PF), ce qui donne la même relation que pour le G.P. puisque l'expression de

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{INCORPORER Equation.3}$$

s(T,P) est la même. INCORPORER Equation.3

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0 \quad \text{la différence avec l'expression}$$

INCORPORER Equation.3

du 16 - est dans le terme INCORPORER Equation.3 = b\*104 qu'il convient

de comparer à INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  = 51,7.103. Comme  $b < 10^{-3}$  u.s.i. on voit qu'à mieux que un millièmè près, l'expression de  $P_c$  pour le gaz parfait permet de traiter correctement ce problème.18 - Puissance consommée : INCORPORER Equation.3

$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  et INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  avec INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  d'où INCORPORER Equation.3 19 - Pour calculer la variation d'enthalpie massique on considère la suite de transformations : eau vapeur sèche ( $T_F = 364,2$  K,  $P_F = 0,35$  bar)  $\rightarrow$  eau vapeur sèche saturée ( $T_1 = 337$  K,  $P_1$ )  $\rightarrow$  eau liquide ( $T_1 = 337$  K,  $P_1$ )  $\rightarrow$  eau liquide ( $T_1 = 337$  K,  $P_F$ )  $h_d = h_1 + h_2 + h_3 = c_p(T_1 - T_F) + b(P_1 - P_F) - L(T_1) + 0$  Le terme en  $b(P_1 - P_F)$  peut être négligé d'après l'étude précédente donc : INCORPORER

Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  20 -  $m' \cdot L(T_1) = -h_d$  on obtient  $m' = 1,02$  kg 1 kg Cellule complète : 21 - On doit avoir  $D_m = D_e + D_v + D_s$  car la masse du dispositif est conservée en régime permanent. Le bilan est : Entrée : débit  $D_m$  d'eau salée à la température  $T_A$  Sortie : eau douce et salée avec le même débit total  $D_m$ , à la température  $T_1$ . En faisant le bilan classique sur le système ouvert

on a : INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  22 -  $D_m = D_e + D_v + D_s$ , le débit total d'eau douce est  $D_t = D_e + D_v$ , et  $D_s = 0,4 D_m$  d'où :  $D_t = D_m (1 - 0,4) = 0,6 D_m$  Le rapport entre  $D_e$  et  $D_m$  est obtenu comme en 2 - :

INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  ; Il y a tout lieu de penser que  $T_B = T_1$  on calcule alors :  $D_e = 0,1 D_m$ , donc  $D_v = 0,5 D_m$ . 23 - INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  or

INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  donc, après calcul :  $W_e = 378$  kJ.kg eau douce)-1 cette valeur est dix fois moins élevée que celle du 10-) 24 - entrée d'eau de mer en A :  $T_A$ ,  $D_{msortie}$  d'eau salée du bouilleur  $T_1$ ,  $D_s = 0,4 D_{msortie}$  d'eau douce en S  $T_1$ ,  $D_e = 0,1 D_{msortie}$  d'eau douce en K  $T_1$ ,  $D_v = 0,5 D_m$  25 - L'eau douce sort à  $T_1$ , en supposant l'échange adiabatique entre eau douce sortante et eau entrant en A la température  $T_A'$  est calculée en écrivant un bilan d'enthalpie :

INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  donc INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  A.N. :  $T_A' = 303$  K La puissance totale INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$

$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  serait moins élevée que celle du 21 - qui fait intervenir  $T_A < T_A'$ . Le rapport INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  serait lui aussi abaissé, pour conserver le même

rapport d'adoucissement INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}) = 0$  il faudrait augmenter

INCORPORER Equation.3  $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\mathbf{j}^r) = 0$ , donc une plus grande partie de l'énergie serait consommée dans le compresseur. Pour la même quantité d'eau douce formée l'énergie dépensée serait moindre, mais cela complique l'installation en imposant d'autres échangeurs.