

PREMIERE PARTIE Les transferts d'énergie
ETUDE DE L'ÉCHANGEUR PROCESS

1.1 Calcul de la puissance de l'échangeur et du débit d'eau sur le primaire

On applique la relation classique :

$$P = Q_m \cdot C \cdot \Delta\theta$$

d'où l'application numérique :

$$P = \frac{1300 \times 995,6 \times 4185 \times (50 - 10)}{3600 \times 1000} = 60184 \text{ [W]}$$

Rq : les tables de vapeur donnent $\rho_{30^\circ\text{C}} = 995,6 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$

1.2 Débit d'eau sur le primaire :

On fait l'hypothèse que $\eta_{\text{therm.}} = 1$ (échangeur bien isolé)

$$\text{On a donc : } Q_m = \frac{P}{C \cdot \Delta\theta} = \frac{60184}{4185 \times (90 - 70)} = 0,719 \text{ [kg/s]}$$

$$\text{Ou } Q_v = \frac{0,719}{971,8} \times 3600 \times 1000 = 2663,5 \text{ [l/h]}$$

Rq : les tables de vapeur donnent $\rho_{80^\circ\text{C}} = 971,8 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$

1.3 Etude de l'échange

1.3.1. Recherche du coefficient KD de l'échangeur.

On utilise la relation :

$$\frac{1}{KD} = \frac{1}{h_i \cdot D_i} + \frac{1}{h_{Di} \cdot D_i} + \frac{e_i}{\lambda_i \cdot D_{mlt}} + \frac{1}{h_{Da} \cdot D_e} + \frac{1}{h_e \cdot D_e}$$

avec en unités (SI) :

$$h_i = h_e = 10000$$

$$h_{D_e} = 5000$$

$$h_{D_i} = 8000$$

$$\lambda_t = 45$$

$$D_{mlt} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{\ln\left(\frac{33,7}{27,9}\right)} = 30,7 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{mlt} = \frac{D_e - D_i}{\ln \frac{D_e}{D_i}}$$

$$D_m = \frac{D_i + D_e}{2} = \frac{0,0337 + 0,0299}{2} = 0,0308 \text{ [m]}$$

Application numérique :

$$\frac{1}{KD} = \frac{1}{10000 \times 27,9 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{8000 \times 27,9 \cdot 10^{-3}} + \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{45 \times 30,7 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{5000 \times 33,7 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{10000 \times 33,7 \cdot 10^{-3}}$$

d'où la valeur de KD :

$$KD = 52,46 \text{ [W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}]$$

$$K = \frac{52,46}{0,0337} = \frac{52,46}{0,0337} = 1556,6 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

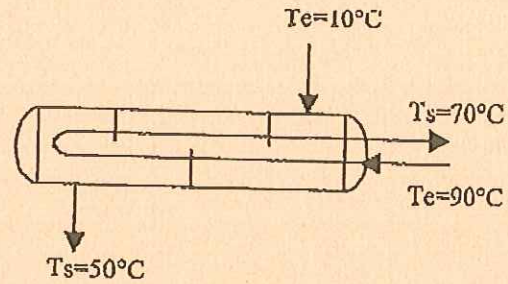
1.3.2. Détermination de la longueur de tube et de la surface de l'échangeur.

On a :

$$P = F \cdot KD \cdot \Pi \cdot \ell \cdot DTLM = F \cdot K \cdot S \cdot DTLM$$

• Détermination de F :

$$\begin{cases} P = \frac{ts - te}{Te - te} \\ R' = \frac{Te - Ts}{ts - te} \end{cases}$$



D'où

$$\begin{cases} P = \frac{70 - 90}{10 - 90} = 0,25 \\ R' = \frac{10 - 50}{70 - 90} = 2 \end{cases}$$

la lecture sur l'abaque donne F = 0,925

- Le calcul de DTLM : (correspond à un échangeur pur à contre-courant)

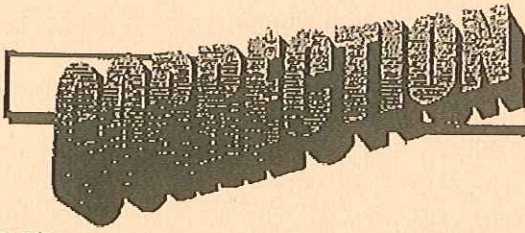
$$DTLM = \frac{(70 - 10) - (90 - 50)}{\ln\left(\frac{70 - 10}{90 - 50}\right)} = \frac{20}{0,405} = 49,3 \text{ [°C]}$$

- Calcul de la longueur :

$$\ell = \frac{P}{F \times KD \times \Pi \times DTLM} = \frac{60184}{0,925 \times 52,46 \times 49,3 \times \Pi} = 8,00 \text{ [m]}$$

- Calcul de la surface :

$$S = \Pi \times D \times \ell = \Pi \times 33,7 \cdot 10^{-3} \times 8 = 0,847 \text{ [m}^2\text{]}$$

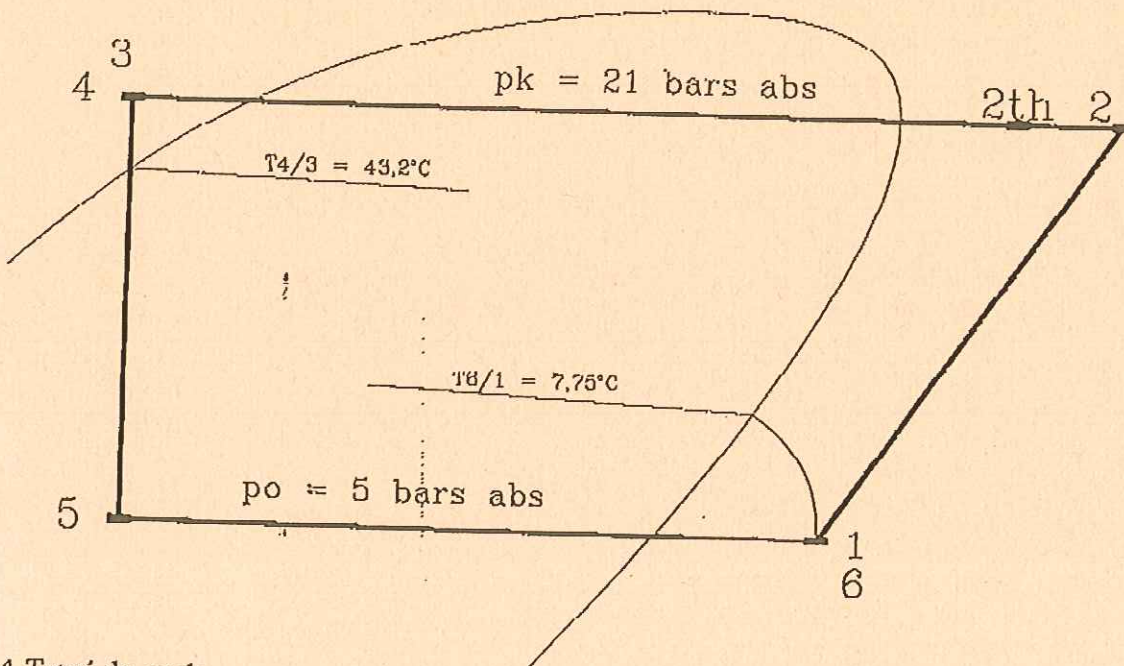
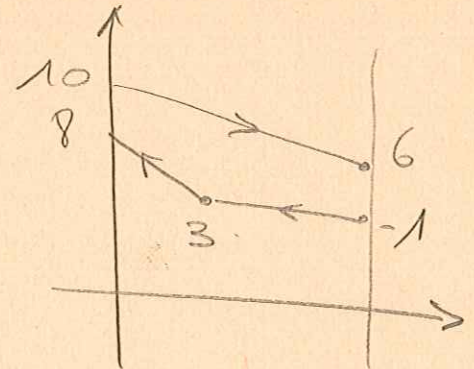
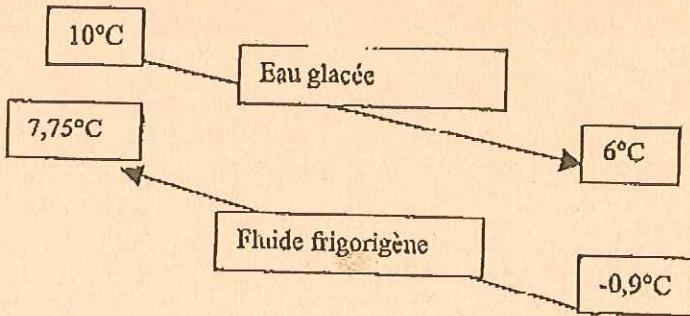
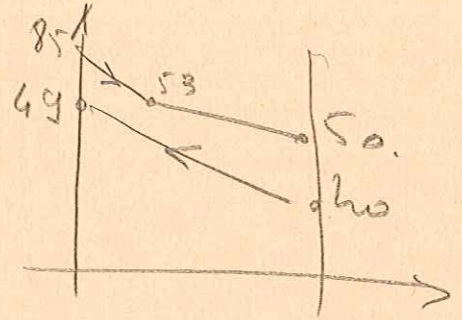
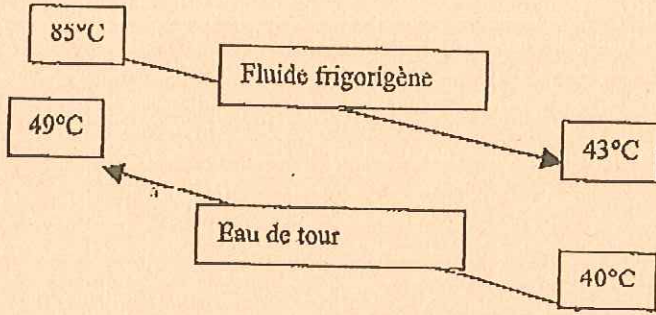


DOCUMENT REPONSE

2.1)

QUESTION 1	P en bars abs	T liquide saturé en °C	T vapeur saturée en °C
Pression de condensation	21	48,2	53

2.2)



4-Tracé du cycle

QUESTION 5	Point	T en °C	P en bars abs	h en kJ.kg ⁻¹	s en kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹	v en m ³ .kg ⁻¹
Bulbe détenteur	6	7,75	5	421,4		
Aspiration	1	7,75	5	421,4	1,81	49,3 10 ⁻³
Refoulement	2	85	21	472,3	1,85	
Sortie condenseur	3	43,2	21	267,3		
Entrée détenteur	4	43,2	21	267,3		
Sortie détenteur	5	-0,92	5	267,3		

6-Débit masse

$$Q_m = 30 / (421,4 - 267,31) = 0,1947 \text{ kg/s}$$

7-Débit volume aspiré

$$Q_v = 0,1947 \times 49,3 \cdot 10^{-3} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \text{ soit } 34,55 \text{ m}^3/\text{h}$$

TROISIEME ETUDE : Conditionnement d'air

31 - Logique de fonctionnement :

	HIVER		ETE	
	Séchage après livraison	Maintien d'ambiance	Séchage après livraison	Maintien d'ambiance
Charges enthalpiques totales kW	-25	-22	11	8
Charges hydriques kg/h	0	-7	6	3
Batterie à eau chaude	marche	marche	marche (process uniquement)	marche (process uniquement)
Batterie à eau glacée	arrêt	arrêt	marche	marche
Batterie chaude électrique	arrêt	arrêt	marche	marche
Humidificateur vapeur	marche	marche	arrêt	arrêt
Réseau de chauffage	marche	marche	arrêt	arrêt

3.2 - Dimensionnement d'éléments de la centrale de traitement d'air :

3.2.1- Situation d'hiver :

L'évolution dans l'humidificateur vapeur est assimilée à une isotherme.

Les valeurs en caractères gras indiquent le couple de caractéristiques ayant servi à la détermination du point.

Repère	I	H	S
θ °C	22	35	35
ϕ %	50	23	28
h kJ/kg _{as}	43.12	56.40	60.54
r g/kg _{as}	8.16	8.26	9.88
v m ³ /kg _{as}	0.847	0.884	0.886

$$q_v = 4000 \text{ m}^3/\text{h} = 1.111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{m_{as}} = q_v / v_H = 1.111 / 0.884 = 1.257 \text{ kg}_{as}/\text{s}$$

$$P_{BC} = q_{m_{as}} * (h_H - h_I) = 1.257 * (56.40 - 43.12) = 16.7 \text{ kW}$$

$$q_{m_{eau\ BC}} = P_{BC} / (C * \Delta\theta) = 16.7 / (4.198 * 20) = 0.198 \text{ kg}/\text{s} = 734 \text{ kg}/\text{h}$$

$$q_{m_{vapeur}} = q_{m_{as}} * (r_S - r_I) = 1.257 * (9.88 - 8.26) = 2 \text{ g}/\text{s} = 7.3 \text{ kg}/\text{h}$$

3.2.2- Situation d'été :

La température de surface de la batterie froide est prise égale à la température moyenne de l'eau glacée, soit 8°C.
Les valeurs en caractères gras indiquent le couple de caractéristiques ayant servi à la détermination du point.

Repère	I	PPF	F	S
θ °C	22	8	10.8	17
ϕ %	50	100	87	58
h kJ/kg _{as}	43.12	24.85	28.55	34.84
r g/kg _{as}	8.16	6.68	7.00	7.00
v m ³ /kg _{as}	0.847	0.805	0.813	0.831

$$q_v = 4000 \text{ m}^3/\text{h} = 1.111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{m_{as}} = q_v / v_S = 1.111 / 0.831 = 1.337 \text{ kg}_{as}/\text{s}$$

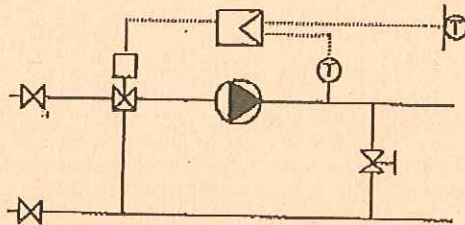
$$P_{BF} = q_{m_{as}} * (h_F - h_I) = 1.337 * (28.55 - 43.12) = -19.5 \text{ kW}$$

$$q_{m_{eau\ condensée}} = q_{m_{as}} * (r_I - r_F) = 1.337 * (8.16 - 7.00) = 1.68 \text{ g}/\text{s} = 6.1 \text{ kg}/\text{h}$$

$$P_{BC} = q_{m_{as}} * (h_S - h_F) = 1.337 * (34.84 - 28.55) = 8.4 \text{ kW}$$

QUATRIEME ETUDE : Régulation et distribution de fluides

4.1 - Régulation du circuit ventilo-convecteur :



4.2 - Distribution des fluides :

4.2.1 - Perte de charge dans une canalisation :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{circuit VC}} &= 8 * P_{\text{unitaire VC}} = 8 * 1140 = 9120 \text{ W} \\
 qm_{\text{eau}} &= P_{\text{circuit VC}} / (C * \Delta\theta) = 9120 / (4198 * 20) = 0.109 \text{ kg/s} \\
 qv_{\text{eau}} &= qm_{\text{eau}} / \rho_{\text{eau}} = 0.109 / 972 = 0.112 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0.403 \text{ m}^3/\text{h} \\
 Di_{\text{canalisation}} &= 21.3 - 2 * 2.6 = 16.1 \text{ mm} = 16.1 * 10^{-3} \text{ m} \\
 Si_{\text{canalisation}} &= \pi * Di^2 / 4 = \pi * (16.1 * 10^{-3})^2 / 4 = 203.6 * 10^{-6} \text{ m}^2 \\
 w &= qv_{\text{eau}} / Si_{\text{canalisation}} = 0.112 * 10^{-3} / 203.6 * 10^{-6} = 0.549 \text{ m/s} \\
 j &= ka * w^{1.87} * Di_{\text{canalisation}}^{-1.27} = 5.13 * 0.549^{1.87} * 0.0161^{-1.27} = 317 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

4.2.2 - Dimensionnement de la vanne trois voies :

autozité - 0.5 donc $\Delta p_v = J_{\text{réseau ou le débit varie sous l'effet de la vanne}} = J_{\text{dilatant}} = 480 \text{ daPa} = 0.048 \text{ bar}$

d'après 4.2.1 $qv = 0.403 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Kv = \frac{qv}{\sqrt{\Delta p_v}} = \frac{0.403}{\sqrt{0.048}} = 1.84$$

4.2.3 - Dimensionnement de la pompe :

d'après 4.2.1 $Qv = 0.403 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Hmt = J_{\text{pompe}} + \Delta p_v + J_{\text{val}} = 480 + 480 + 2100 = 3060 \text{ daPa} = 3.06 \text{ mce}$$

CINQUIEME ETUDE : La transformation des fluides

5.1 Chaînage

Voir annexé X – document réponse.

5.2 Eau brute

5.2.1 Voir annexe X – document réponse.

5.2.2 Electroneutralité = balance ionique

Somme cations = 7.403 [meq.l⁻¹] et somme anions = 7.387 [meq.l⁻¹]

Balance = - 1 % considérée comme OK

Causes possibles : non prise en compte des autres ions présents dans l'eau, qualité et fiabilité de la mesure, précision des calculs (sans intérêt).

5.2.3 Titres

TH = 6.802 [meq.l⁻¹] = 34 [°F] = 340 [ppm CaCO₃]

TA # 0 (OH⁻ en quantité négligeable et CO₃²⁻ idem au vu du pH)

TAC # [HCO₃⁻] = 4.926 [meq.l⁻¹] = 24.6 [°F] = 246 [ppm CaCO₃]

SAF = 2.461 [meq.l⁻¹] = 12.3 [°F] = 123 [ppm CaCO₃]

5.3 Poste d'adoucissement

5.3.1 Performances requises pour une journée d'utilisation.

VEj = débit x nb heures fct = 1,3 . 12 = 15,6 [m³.j⁻¹].

PEGj = (TH_{ep} - TH_{sp}) x VEj = (35 - 10) . 15,6 = 390 [°F.m³.j⁻¹].

PEGj = 78 [eq.j⁻¹]

Vrj = PEGj / PE = 78 / 1 = 78 [l.r⁻¹].

5.3.2 Performances requises par l'adoucisseur.

Equipement adéquat :

PEG requis = PEGj x nb jours fct entre 2 rég = 390 . 5 = 1950 [°F.m³].

Type D

Masse de sel consommée à chaque régénération.

Courbe PEG = f(M_{NaCl}) considérée comme droite dans la fourchette d'utilisation préconisée, d'où interpolation possible

M_{NaCl} = 54.85 # 55 [kg_{NaCl}]

Nr = M_{NaCl} / Vr = 157 [g_{NaCl}.l⁻¹].

Consommation prévisionnelle annuelle de sel.

$$C_{\text{NaCl}} = M_{\text{NaCl}} \times \text{nb rég} \# 2.85 T_{\text{NaCl}}$$

Régénération chronométrique ?

Constance des débits, donc des consommations, répétitivité des phases d'utilisation, non exigence de 0 défaut > les autres modes de rég ne conviennent pas.

Pourcentage de débit passant dans la vanne de cépage : bilan au niveau de la convergence de flux.

$$\text{Bilan massique TH : } (Q_{\text{adou}} \times \text{TH}_{\text{sa}}) + (Q_{\text{bipasse}} \times \text{TH}_{\text{ep}}) = (Q_{\text{poste}} \times \text{TH}_{\text{sp}}) \text{ en } [^{\circ}\text{F} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$$

$\text{TH}_{\text{sa}} = \text{TH}$ sortie adou # 0 (aux fuites ioniques près)

$$Q_{\text{bipasse}} / Q_{\text{poste}} = \text{TH}_{\text{sp}} / \text{TH}_{\text{ep}} = 10 / 35 = 28,6 \%$$

ANNEXE X DOCUMENT REPONSE

Schéma :

Eau brute

Concentrations :

cations					anions				
espèce	[mg.l ⁻¹]	M	v	[meq.l ⁻¹]	espèce	[mg.l ⁻¹]	M	v	[meq.l ⁻¹]
Ca ²⁺	100	40	2	5.000	HCO ₃ ⁻	300.5	61	1	4.926
Mg ²⁺	21.9	24.3	2	1.802	Cl ⁻	46.3	35.5	1	1.304
Na ⁺	12.5	23	1	0.543	NO ₃ ⁻	40.5	62	1	0.653
K ⁺	4.6	39	1	0.118	SO ₄ ²⁻	24.2	98	2	0.504

CORRIGE