

Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

Examen 2018-2019

Exercice n°1 : Dimensionnement d'une VMC (10 points)

On se propose d'étudier un échangeur permettant de transférer de la chaleur entre de l'air extrait d'un local à 20°C et de l'air neuf introduit à -5°C, les débits volumiques d'entrée et de sortie sont égaux et valent 3600 m³/h. Les tables de l'air sont données en annexe. La relation efficacité NUT pour les échangeurs à courant croisé non brassé y est également rappelée.

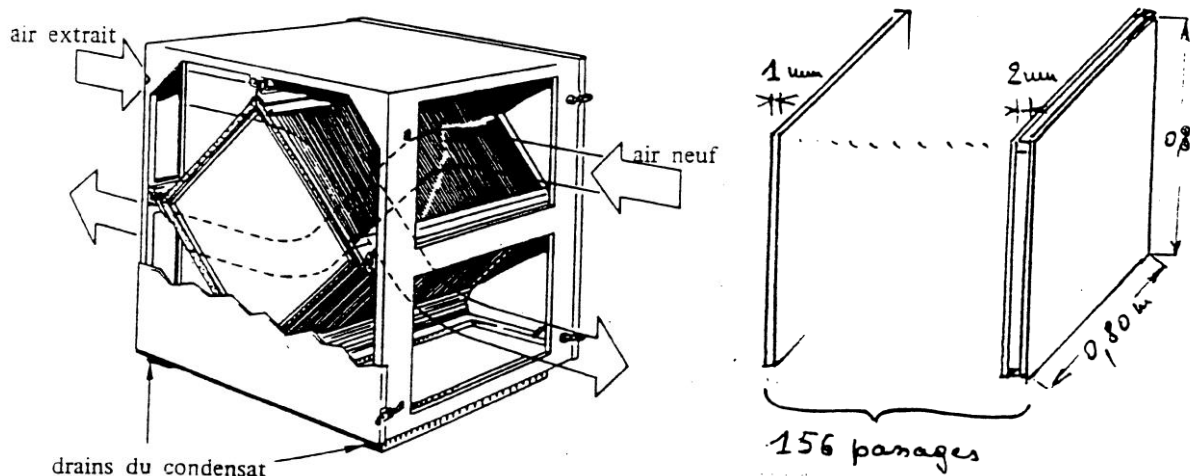


Figure 1: VMC

Le dispositif proposé est représenté figure 1, il est constitué de 157 plaques de verre d'épaisseur $e = 1$ mm et de dimension 80 cm x 80 cm, espacés d'une entretoise $\delta = 2$ mm laissant ainsi 78 espaces pour l'air chaud et 78 espaces pour l'air froid (alternativement). Le coefficient de conduction thermique du verre vaut $\lambda_{\text{verre}} = 0,81$ W/m/K. On négligera l'encrassement des plaques.

1. Calculer l'ordre de grandeur des températures de sortie de l'air (ou pourra supposer par exemple que le coefficient d'échange par convection h est de l'ordre de 100 W/m²/K).
2. Déterminer les caractéristiques de l'air aux températures moyennes (arithmétiques) de l'air entre l'entrée et la sortie pour l'air neuf froid T_{mf} et l'air extrait chaud T_{mc} .
3. Montrer que l'utilisation d'une température de film ne modifiera pas beaucoup les résultats (on ne les utilisera donc pas par la suite)
4. Evaluer les coefficients d'échange h_c et h_f coté air chaud et air froid en utilisant la relation de Chilton-Colburn.
5. En déduire le coefficient d'échange global K .
6. Par application de la méthode NUT, déterminer l'efficacité ε de l'échangeur puis calculer les températures de sortie de l'air extrait chaud T_{sc} et de l'air neuf froid T_{sf} .
7. En déduire la puissance totale échangée ϕ .
8. Commentaire sur l'estimation initiale et le dispositif.

Exercice n°2 : Dimensionnement du condenseur de la centrale de Cattenom (5 points)

Il s'agit dans cette exercice d'avoir un ordre de grandeur de la taille du condenseur d'une tranche de la centrale nucléaire de Cattenom. Le schéma de principe de fonctionnement est donné sur la figure 2. Le débit du générateur de vapeur est $Q_{mv} = 1934$ tonnes/h. Après passage dans les turbines (on néglige la condensation dans cette partie), la vapeur est introduite dans le condenseur maintenu à une pression $P_{cond} = 0,0521$ bar. A cette pression la température saturante est $T_{sat} = 35^\circ\text{C}$. On suppose que tout le débit de vapeur est condensé dans le condenseur. Le débit de refroidissement en provenance de la Moselle est $Q_{vl} = 46,5$ m³/s et la température de l'eau froide à l'entrée du condenseur est $T_{fe} = 18^\circ\text{C}$. A $T_{sat} = 35^\circ\text{C}$, la chaleur latente est $L_v = 2412$ kJ/kg.

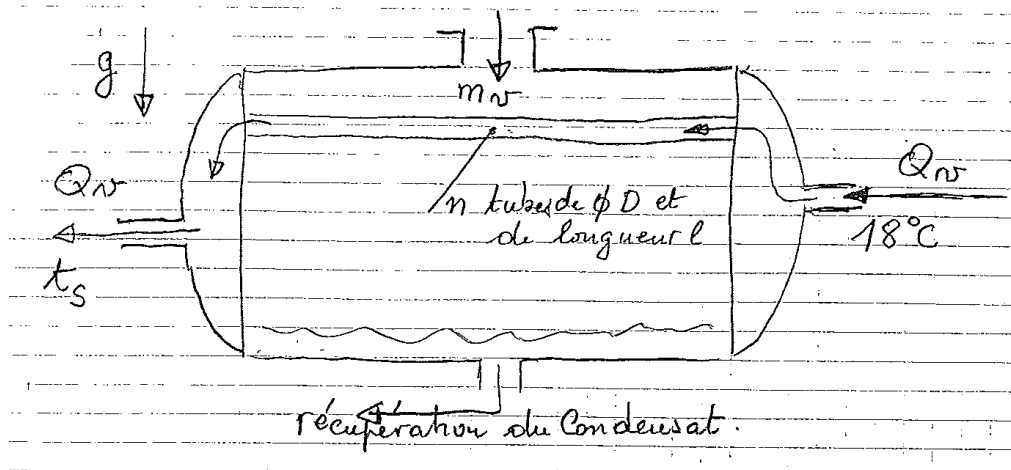


Figure 2: principe du condenseur de Cattenom

1. En effectuant un bilan global, déterminer la température de sortie T_{fs} de l'eau de refroidissement. Calculer $T_{fs} - T_{fe}$ et donner vos conclusions sachant qu'un échauffement de 3°C est autorisé au maximum pour les rejets en aval. Dans une eau cyprinicole et ne doit en aucun cas dépasser 25°C .

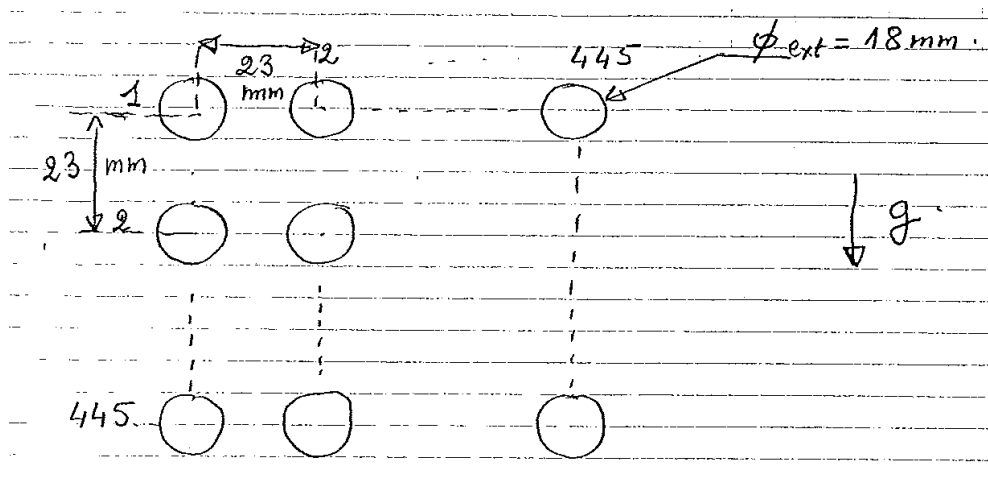


Figure 3: disposition des tubes dans le condenseur

2. Les tubes utilisés sont en laiton d'épaisseur $e = 1$ mm et de diamètre extérieur $D_{ext} = 18$ mm. La conductivité thermique du laiton est $\lambda_{laiton} = 97,5$ W/m/K. Dans un premier temps, on suppose que la température des parois extérieures des tubes est

$T_p^0 = (T_{fe} + T_{fs}) / 2$ est la température moyenne de l'eau de refroidissement. Les propriétés physiques du côté condensat sont :

$\rho_l = 994 \text{ kg/m}^3$, $C_{pl} = 4167 \text{ J/kg/K}$, $\mu_l = 0,681 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$, $\lambda_l = 0,620 \text{ W/m/K}$ et $L'_v = 2451 \text{ kJ/kg}$.

- La vapeur se condense à l'extérieur des tubes horizontaux. En admettant la théorie de Nusselt, calculer le coefficient de transfert $\bar{h}_1^0$ pour un tube isolé
- Le nombre de tubes dans le condenseur est de l'ordre de 198 025 et pour simplifier, on va supposer qu'ils sont disposés selon le schéma à pas carré de la figure 3. En utilisant la relation de Kern, calculer le coefficient de transfert moyen $\bar{h}_N^0$.
- En utilisant les résistances thermiques et une analogie avec un pont diviseur, recalculer la température de paroi extérieure des tubes T_{pe} et en déduire le nouveau coefficient de transfert $\bar{h}_{N1}$. On prendra du côté du liquide de refroidissement les propriétés suivantes :
 $\rho_l = 997 \text{ kg/m}^3$, $C_{pl} = 4172 \text{ J/kg/K}$, $\mu_l = 0,978 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$, $\lambda_l = 0,599 \text{ W/m/K}$, $Pr_l = 6,82$
et on rappellera la relation de Chilton-Colburn :

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{1/3}$$

- En déduire la surface d'échange et la longueur L des tubes.

Exercice n°3 : Analyse exérgétique d'un dispositif de chauffage (5 points)

On désire maintenir un local à une température de $T=19^\circ\text{C}$, alors que la température (hivernale) extérieure est $T_0=-5^\circ\text{C}$.

On envisage trois dispositifs de chauffage et on cherche à déterminer celui dont l'exergie est la meilleure.

- Rappeler la définition et la signification physique de la notion d'exergie
- Rappeler la définition et la signification physique de la notion de rendement exérgétique

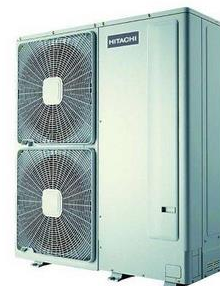
Solution A : on utilise un radiateur électrique dont le rendement électrique.
On notera la puissance électrique injectée W_{el} et la chaleur restituée Q_s .

- Calculer le rendement exérgétique η_{ex} de la solution A.



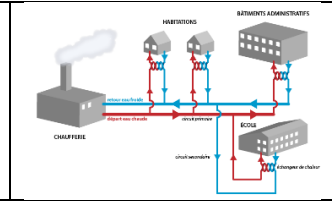
Solution B : on utilise une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est de 3,5 à la température extérieure T_0 . De la même manière, la pompe à chaleur consomme une puissance électrique W_{el} pour son compresseur et restitue une puissance thermique Q_s .

- Ecrire l'expression du coefficient de performance (COP).
- Calculer le rendement exérgétique η_{ex} du système utilisant la pompe à chaleur (solution B).



Solution C : on utilise un réseau de chaleur dont l'eau qui circule est à une température de $T_{res}=55^{\circ}\text{C}$ pour alimenter un radiateur à eau.

- 6- Calculer le rendement exergetique η_{ex} du système utilisant le réseau de chaleur (solution C)



- 7- Comparer les solutions A, B et C puis clairement expliquer vos conclusions.

Annexes

Température (K)	Densité (kg/m ³)	Cp (kJ/kg-K)	Cond. Therm. (mW/m-K)	Viscosité (μPa-s)	Prandtl
268	1,3004	1,0059	23,606	16,998	0,7243
269	1,2956	1,0059	23,681	17,049	0,72414
270	1,2908	1,0059	23,757	17,099	0,72397
271	1,286	1,0059	23,833	17,15	0,72381
272	1,2812	1,0059	23,908	17,2	0,72365
273	1,2765	1,0059	23,984	17,25	0,72349
274	1,2718	1,0059	24,059	17,3	0,72333
275	1,2672	1,0059	24,135	17,35	0,72317
276	1,2626	1,006	24,21	17,4	0,72302
277	1,258	1,006	24,285	17,45	0,72286
278	1,2535	1,006	24,36	17,5	0,72271
279	1,249	1,006	24,435	17,55	0,72256
280	1,2445	1,006	24,51	17,6	0,7224
281	1,2401	1,0061	24,585	17,649	0,72225
282	1,2356	1,0061	24,659	17,699	0,7221
283	1,2313	1,0061	24,734	17,748	0,72196
284	1,2269	1,0061	24,808	17,798	0,72181
285	1,2226	1,0062	24,883	17,847	0,72166
286	1,2183	1,0062	24,957	17,897	0,72152
287	1,2141	1,0062	25,032	17,946	0,72137
288	1,2098	1,0062	25,106	17,995	0,72123
289	1,2056	1,0063	25,18	18,044	0,72109
290	1,2015	1,0063	25,254	18,093	0,72095
291	1,1973	1,0063	25,328	18,142	0,72081
292	1,1932	1,0063	25,402	18,191	0,72067
293	1,1891	1,0064	25,475	18,24	0,72054
294	1,1851	1,0064	25,549	18,288	0,7204
295	1,181	1,0064	25,623	18,337	0,72027

Relation efficacité NUT pour un écoulement à courant croisés non brassés

$$\varepsilon = 1 - \exp\left(\frac{NUT^{0,22}}{R} \left(\exp(-R NUT^{0,78}) - 1\right)\right)$$