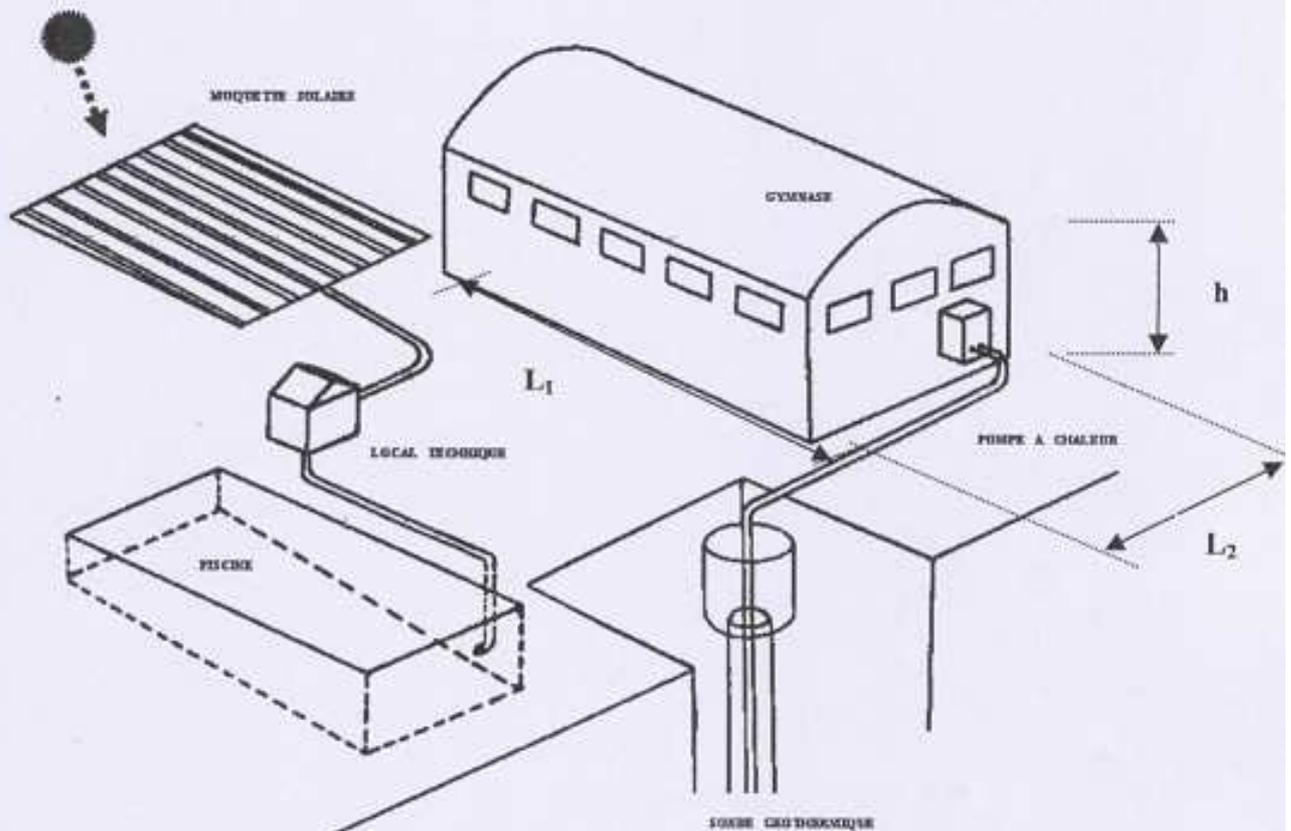


## CHAUFFAGE MIXTE D'UN COMPLEXE SPORTIF

On étudie certains des aspects thermiques d'un complexe sportif municipal comportant notamment une piscine extérieure utilisée à la belle saison et un gymnase. Voici le schéma d'implantation de l'ensemble :



Le volume de l'eau contenue dans la piscine est  $V = 870 \text{ m}^3$ . Les normes nationales fixent la température de confort des eaux de baignade pour les piscines publiques à  $27^\circ\text{C}$ .

Pour atteindre cette température,  $200 \text{ m}^2$  de capteurs souples et vitrés appelés moquette solaire réchauffent l'eau grâce à un échangeur à plaques à co-courant, sans stockage et sans appoint.

*Les parties A et B sont indépendantes et pour chacune d'elles, les sous parties I et II peuvent être traitées séparément.*

## PARTIE A – ÉTUDE DE LA PISCINE

**Données :**  $C_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$  ;  $\varphi_{\text{S}} = 340 \text{ W.m}^{-2}$

**Formulaire (loi de Stefan) :**  $\varphi = \sigma T^4$  avec :

$\sigma$  : constante de Stefan :  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ .

$T$  : température du corps

$\varphi$  : densité de flux thermique rayonnée par le corps

### I - Moquette solaire

1. Calculer la quantité de chaleur  $Q$  reçue par l'eau de la piscine lorsque sa température augmente de  $1^\circ\text{C}$ .
2. La moquette solaire et la vitre qui la recouvre sont assimilées à des **corps noirs**. On rappelle que pour un corps noir, à l'équilibre thermique, la densité de flux thermique reçue est égale à la densité de flux thermique émise.

On suppose que la vitre laisse passer tout le rayonnement provenant du Soleil mais qu'elle absorbe tout le rayonnement provenant de la moquette solaire. On note :

$\varphi_{\text{S}}$ , densité de flux thermique due au Soleil en  $\text{W.m}^{-2}$

$\varphi_{\text{M}}$ , densité de flux thermique rayonnée par la moquette en  $\text{W.m}^{-2}$

$\varphi_{\text{V}}$ , densité de flux thermique rayonnée par la vitre en  $\text{W.m}^{-2}$

Les seuls transferts thermiques à considérer se font par rayonnement entre le soleil, la vitre et la moquette solaire. Tout autre transfert thermique est considéré comme nul (*Voir schéma 2 – Annexe A – page 10*).

- a) Traduire la propriété du corps noir pour la moquette solaire et la vitre, à l'équilibre thermique. En déduire les valeurs de  $\varphi_{\text{M}}$  et  $\varphi_{\text{V}}$ .
- b) Calculer la température de la moquette  $T_{\text{M}}$ .

### II - Échangeur à co-courant

On définit les deux fluides intervenants dans cet échangeur :

- **Fluide chaud** : eau provenant de la moquette solaire ( $\theta_{\text{Ce}}$  : température d'entrée,  $\theta_{\text{Cs}}$  : température de sortie)
- **Fluide froid** : eau prélevée dans la piscine et y retournant ( $\theta_{\text{Fe}}$  : température d'entrée,  $\theta_{\text{Fs}}$  : température de sortie).

On admet que l'eau sort de la moquette solaire à la température de  $58^\circ\text{C}$  avec un débit de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . Elle entre dans un échangeur à plaques à co-courant, parfaitement calorifugé, d'où elle sort à  $37^\circ\text{C}$ . On considère qu'en une heure,  $40 \text{ m}^3$  d'eau de la piscine, prélevés à  $27^\circ\text{C}$ , ont été chauffés à une température  $\theta_{\text{Fs}}$ . Cette eau retourne ensuite au bassin.

1. Calculer la quantité de chaleur échangée par le fluide chaud en une heure et la puissance thermique de l'échangeur.
2. Déterminer la température  $\theta_{Fs}$ .
3. Exprimer et calculer la différence de température moyenne logarithmique  $\Delta\theta_{ml} = (\Delta\theta_e - \Delta\theta_s) / \ln(\Delta\theta_e/\Delta\theta_s)$  dans l'échangeur à plaques. On rappelle que  $\Delta\theta_e = (\theta_{Ce} - \theta_{Fe})$  et  $\Delta\theta_s = (\theta_{Cs} - \theta_{Fs})$ . En déduire le nombre de plaques équipant l'échangeur à contre-courant.

**Données :** Coefficient global d'échange :  $K = 4000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$   
Aire d'une plaque :  $S = 0,45 \text{ m}^2$

## PARTIE B – ÉTUDE DU GYMNASÉ

### I - Pertes thermiques par conduction et convection (Voir schéma 1 – Annexe A – page 10)

On considérera pour le gymnase que les quatre murs extérieurs et porteurs sont rectangulaires. Les dimensions du bâtiment sont les suivantes : longueur  $L_1 = 44 \text{ m}$ , largeur  $L_2 = 24 \text{ m}$ , hauteur des murs  $h = 7 \text{ m}$ . La surface totale de vitrages disposés verticalement sur les murs et permettant l'éclairage naturel de la construction est de  $176 \text{ m}^2$ . Les murs sont constitués de 3 épaisseurs superposées : des parpaings de béton d'épaisseur  $e_1 = 20 \text{ cm}$ , du polystyrène d'épaisseur  $e_2 = 10 \text{ cm}$  et une finition de plâtre d'épaisseur  $e_3 = 1 \text{ cm}$  (Voir schéma 1 – Annexe A – page 10).

On néglige dans cette partie tout transfert de chaleur par rayonnement.

**Formulaire :** flux thermique traversant une paroi :  $\Phi = \frac{\Delta T}{R}$

avec :  $\Phi$  : flux thermique (en W)

$\Delta T$  :  $T_i - T_e$

$R$  : résistance thermique de la paroi

**Données :**

Température intérieure  $T_i = 19 \text{ }^\circ\text{C}$

Température extérieure  $T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Conductivité thermique du parpaing de béton :  $\lambda_1 = 1,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Conductivité thermique du polystyrène :  $\lambda_2 = 0,039 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

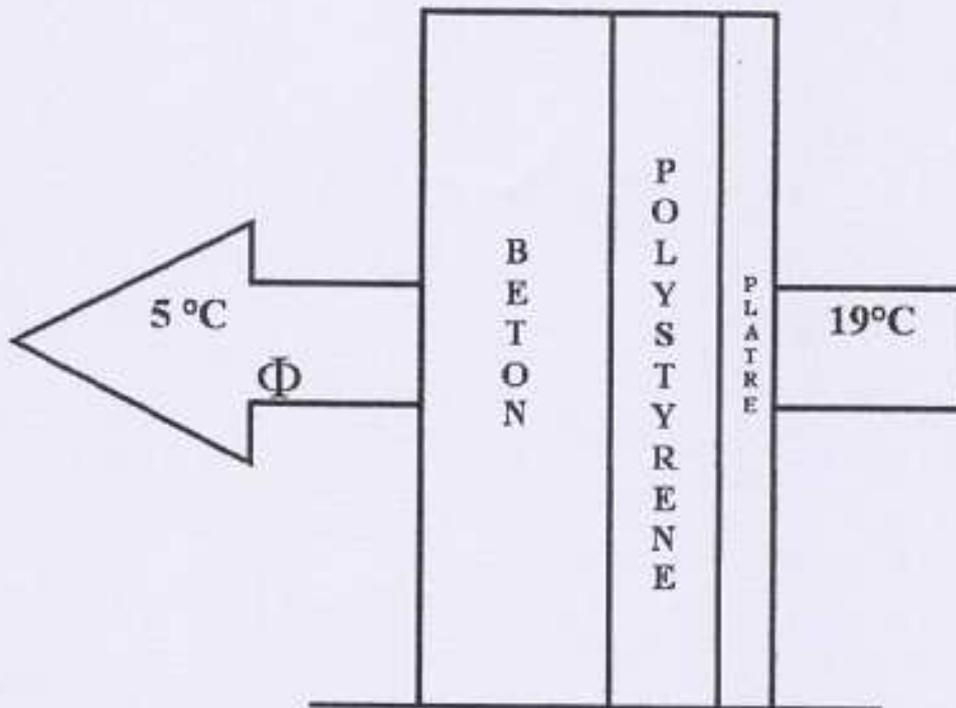
Conductivité thermique du plâtre :  $\lambda_3 = 0,35 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Résistance thermique superficielle interne :  $1/h_i = r_i = 0,11 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$

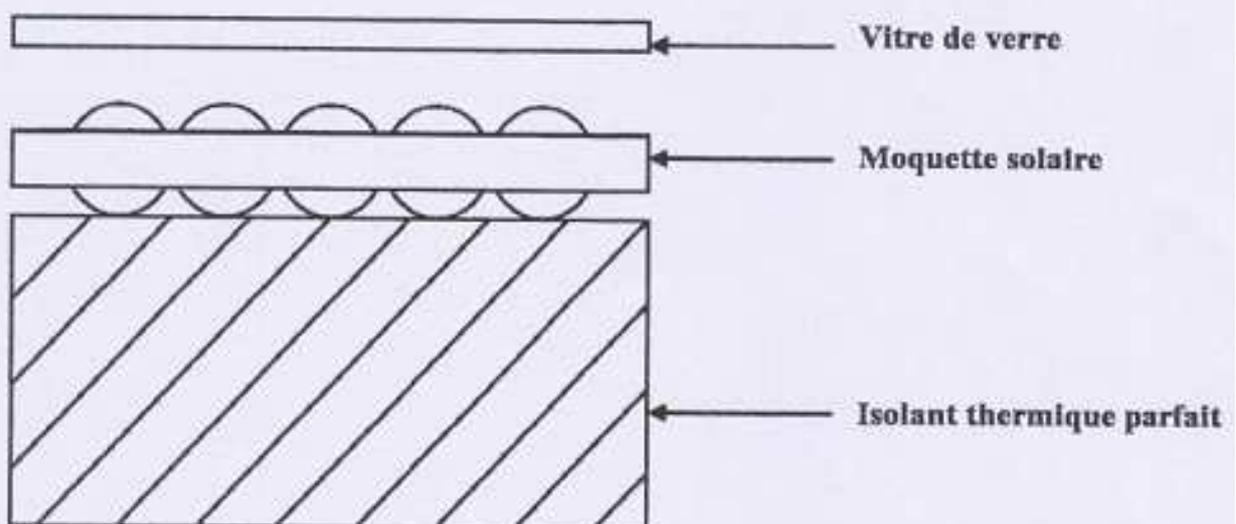
Résistance thermique superficielle externe :  $1/h_e = r_e = 0,06 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$

1. Calculer la résistance thermique des murs  $R_M$ .
2. La résistance thermique totale  $R$  du bâtiment (murs, vitrages, toiture, sol) est de  $7,46 \cdot 10^{-4} \text{ K.W}^{-1}$ . En déduire la puissance thermique totale perdue par le bâtiment.

## ANNEXE A



**Schéma 1** : Flux thermique à travers les murs du gymnase.



**Schéma 2** : Moquette solaire isolée du sol, recouverte d'une vitre.

## II - Pompe à chaleur

La pompe à chaleur (P.A.C.) est à captage vertical. Une sonde géothermique est enterrée à 200 m dans le sol ( $\theta_F = 17^\circ\text{C}$ ). Le circuit d'eau du plancher chauffant du gymnase constitue la source chaude ( $\theta_C = 67^\circ\text{C}$ ). Entre les deux sources, circule le fluide caloporteur. On suppose que la P.A.C. fonctionne de façon réversible selon un cycle de Carnot. On note  $Q_C$  la chaleur échangée par le fluide caloporteur avec la source chaude,  $Q_F$ , la chaleur échangée par le fluide caloporteur avec la source froide.

1. Indiquer sur la fiche réponse – diagramme (T, S) figurant en *Annexe B – page 12* :
  - Le sens de parcours des transformations subies par le fluide caloporteur.
  - Indiquer au niveau de quel segment se trouve la source chaude puis au niveau de quel segment se trouve la source froide.
  - Nommer les quatre transformations que le fluide subit en choisissant parmi *compression adiabatique, détente adiabatique, évaporation isotherme, liquéfaction isotherme*.
2. Exprimer l'efficacité thermique théorique de la pompe notée  $e_{Th}$ .  
Montrer que l'on a :  $e_{Th} = T_C / (T_C - T_F)$  et calculer  $e_{Th}$ .
3. La puissance du compresseur est de 10,3 kW. On suppose que l'efficacité réelle de la P.A.C. vaut  $e_r = 3$ . Calculer la puissance thermique cédée par la P.A.C. au circuit d'eau du plancher chauffant du gymnase. La P.A.C. est-elle suffisante pour chauffer le gymnase si la puissance thermique totale perdue par le bâtiment est de 19 kW ?

EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE B : DIAGRAMME (T, S) - P.A.C.

Sens de rotation pour le cycle :    Trigonométrique     Sens inverse trigonométrique   
Source chaude : segment .....    Source froide : segment .....

