

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL et  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

E-3 SCIENCES PHYSIQUES

**U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES**

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2,5*

	Durée conseillée
Chimie industrielle	45 minutes
Physique industrielle	1 h 15

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.*

- *Chimie industrielle* : page 2 à page 5
- *Physique industrielle* : page 6 à page 12

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

***Aucun document autorisé.***  
***Calculatrice réglementaire autorisée.***  
***Tout autre matériel est interdit.***

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

**ATTENTION :**

- ◆ **Partie CHIMIE : LES ANNEXES 1 et 2 (pages 4 et 5)**
- ◆ **Partie PHYSIQUE : L'ANNEXE B (pages 11 et 12)**

**SONT FOURNIES en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.**

# CHIMIE INDUSTRIELLE

## Exercice 1 : Étude d'une pile

On associe les demi-piles ci-dessous pour constituer une pile :

- Pt/MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Mn<sup>2+</sup> demi-pile 1
- Pt/Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup> demi-pile 2

*Les questions 1 et 2 sont indépendantes.*

### 1) Diagramme E = f(pH)

- a) Écrire la demi-équation électronique relative à la demi-pile 1.
- b) Déterminer le potentiel de la demi-pile 1 en fonction du pH.
- c) Écrire la demi-équation électronique relative à la demi-pile 2.
- d) Déterminer la valeur du potentiel de la demi-pile 2.
- e) À partir du graphique représenté page 4 Annexe 1, déterminer la valeur du pH pour laquelle la pile ne pourra pas fonctionner.

### 2) Maintenant on pose E<sub>1</sub> = 0,91V et E<sub>2</sub> = 0,71V (pH = 6,25)

- a) Faire une représentation de la pile.
- b) Indiquer les polarités. **Justifier votre réponse.**
- c) Indiquer le sens de déplacement des électrons lorsque la pile débite du courant. **Justifier votre réponse.**
- d) Indiquer alors les réactions au niveau de chaque électrode. **Justifier votre réponse.**
- e) Donner la valeur de la f.e.m. de la pile au début de son fonctionnement.
- f) Donner l'équation globale de la pile en fonctionnement.

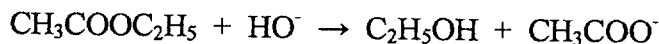
**Données :** C<sub>MnO<sub>4</sub><sup>-</sup></sub> = 1 mol.L<sup>-1</sup> ; C<sub>Mn<sup>2+</sup></sub> = 1 mol.L<sup>-1</sup> ; C<sub>Fe<sup>2+</sup></sub> = 10<sup>-2</sup> mol.L<sup>-1</sup> ; C<sub>Fe<sup>3+</sup></sub> = 10<sup>-3</sup> mol.L<sup>-1</sup>

On prendra  $\frac{RT}{F} \ln(x) = 0,06 \text{ Log}(x)$  (On travaille à 25°C)

E°(MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Mn<sup>2+</sup>) = 1,51 V et E°(Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>) = 0,77 V

**Exercice 2 : Cinétique d'une saponification**

La réaction de saponification de l'acétate d'éthyle par la soude est une réaction totale, lente, dont le bilan s'écrit :



En solution aqueuse à 80°C, pour un mélange initial équimolaire  $[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] = [\text{HO}^-] = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ , on obtient les résultats suivants par dosage des ions hydroxydes :

t (min)	0	10	20	30	40	50
$[\text{HO}^-] (\text{mol.L}^{-1})$	0,10	0,071	0,055	0,045	0,038	0,033

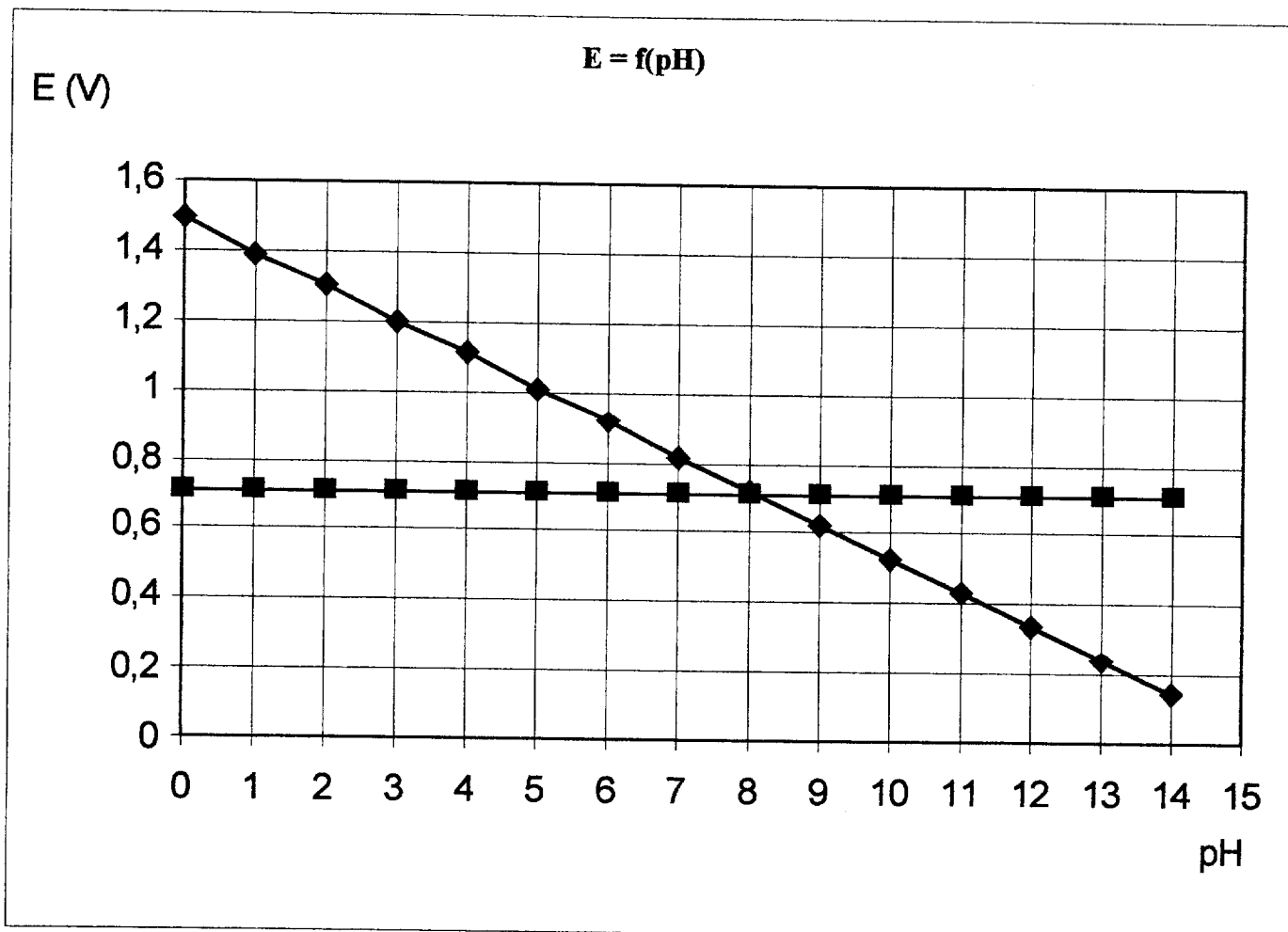
1. Donner l'expression de la vitesse de réaction  $v$  en fonction de la concentration en ions hydroxydes.
2. La réaction est d'ordre global 2, soit des ordres partiels égaux à 1 pour chaque réactif.
  - 2.1. Donner l'expression de  $v$  en fonction de la constante de vitesse  $k$  et des concentrations.
  - 2.2. Dans le cas étudié ici (mélange initial équimolaire), montrer qu'à chaque instant  $[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] = [\text{HO}^-]$ . En déduire une expression de  $v$  en fonction de  $k$  et de  $[\text{HO}^-]$ .
  - 2.3. Montrer que dans ce cas, la concentration en ions hydroxydes varie au cours du temps selon la relation :

$$\frac{1}{[\text{HO}^-]_{(t)}} - \frac{1}{[\text{HO}^-]_{(t=0)}} = kt$$

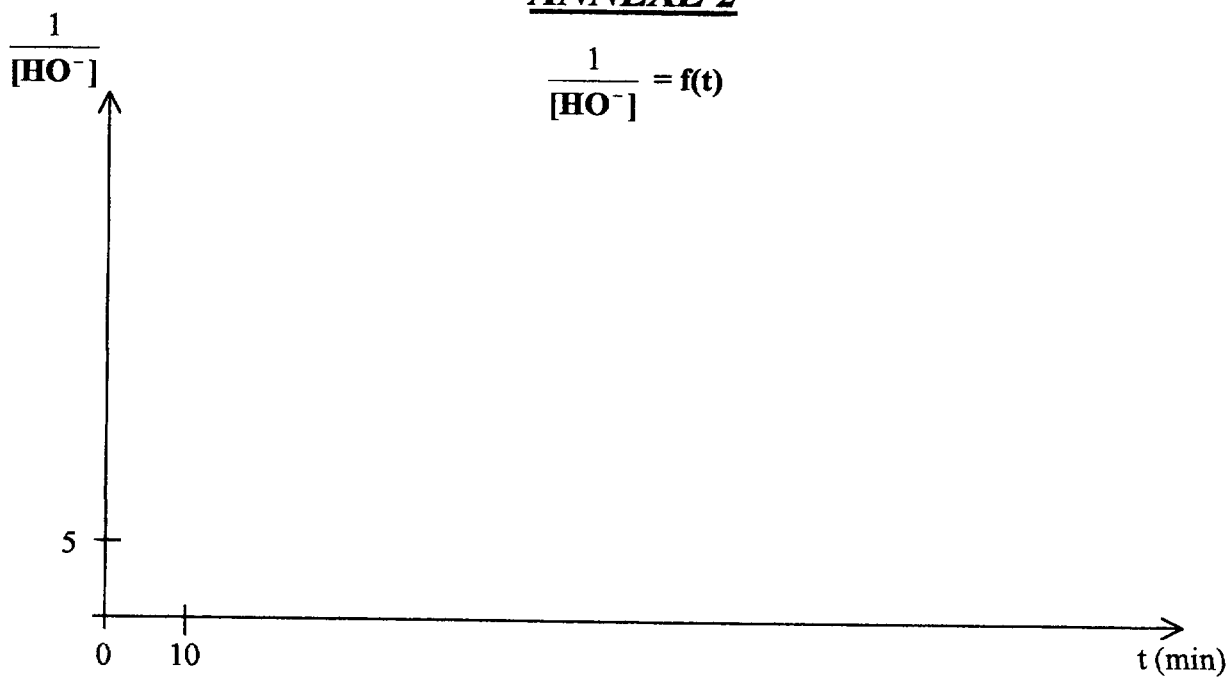
- 2.4. Tracer le graphique représentant les variations de  $1/[\text{HO}^-]$  en fonction de  $t$ , préciser l'unité de  $1/[\text{HO}^-]$  ; en déduire que la réaction est bien d'ordre 2. (*Voir annexe 2, page 5*)
- 2.5. Déterminer graphiquement la constante de vitesse  $k$ .

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON

ANNEXE 1

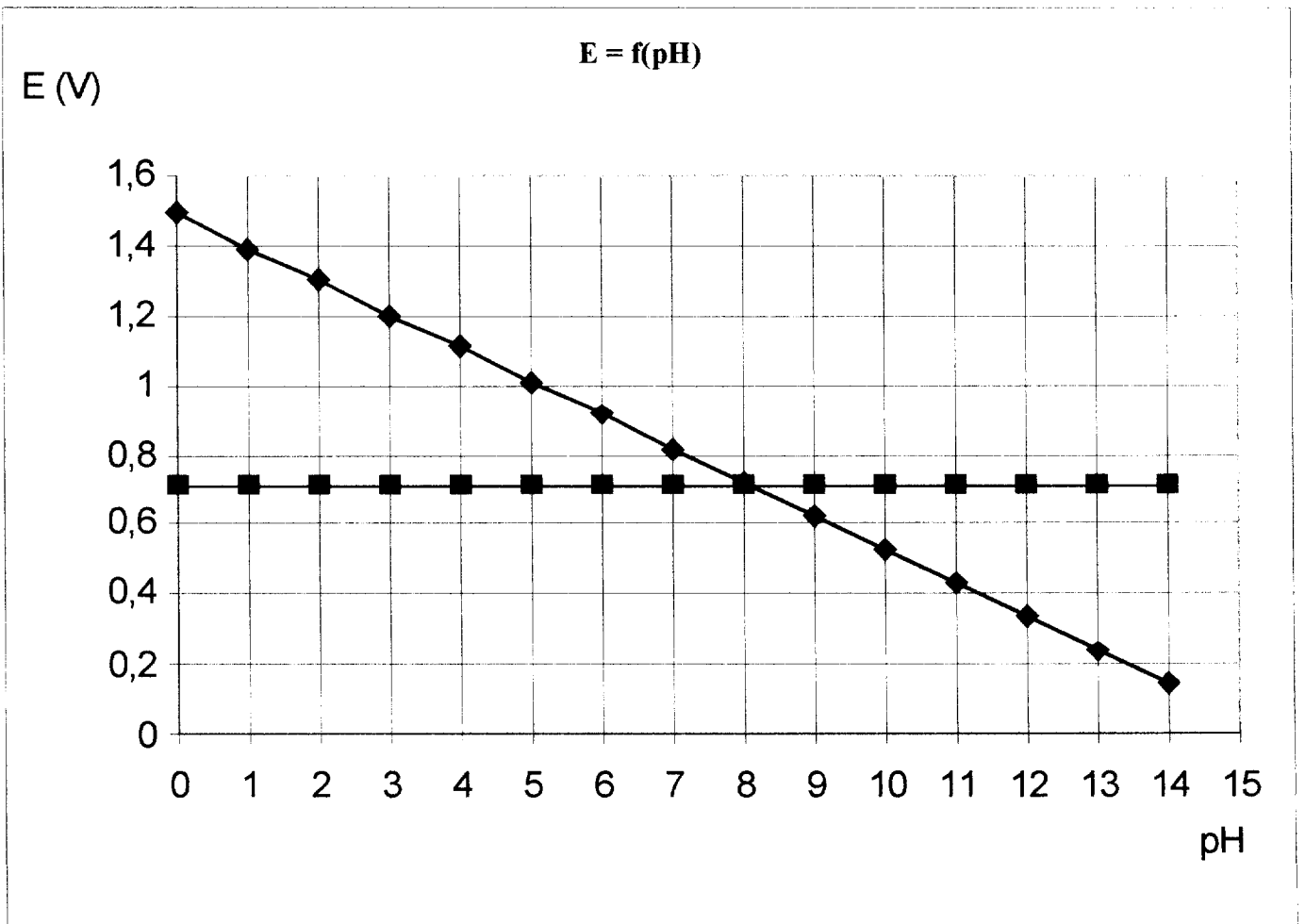


ANNEXE 2

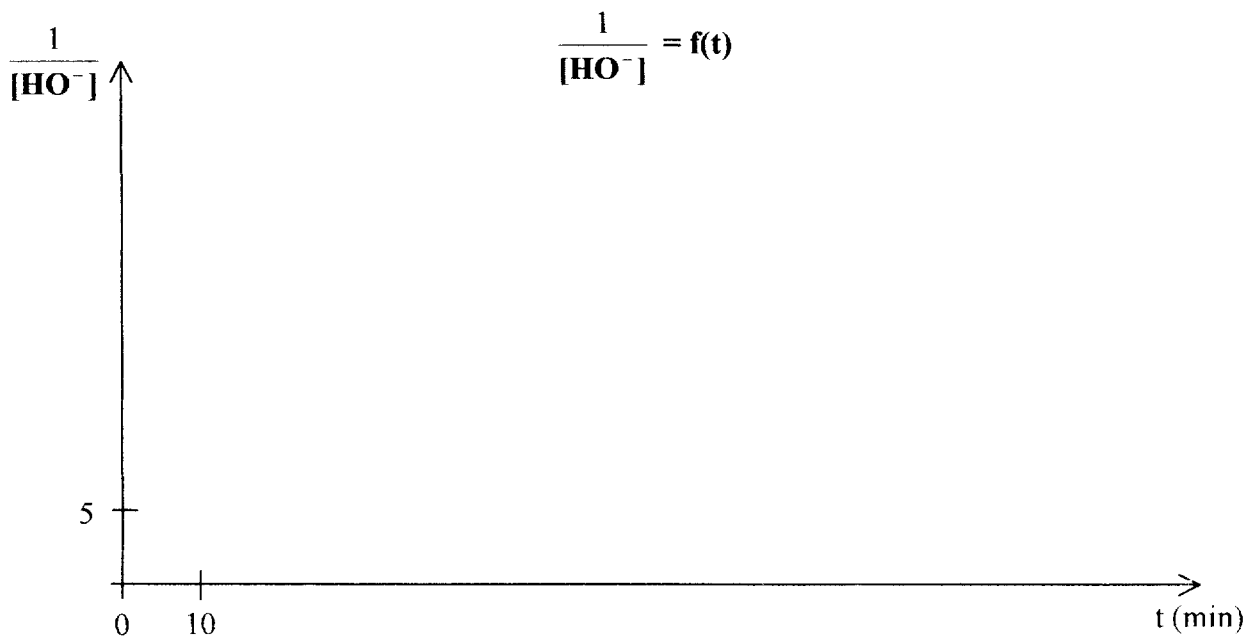


EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE 1



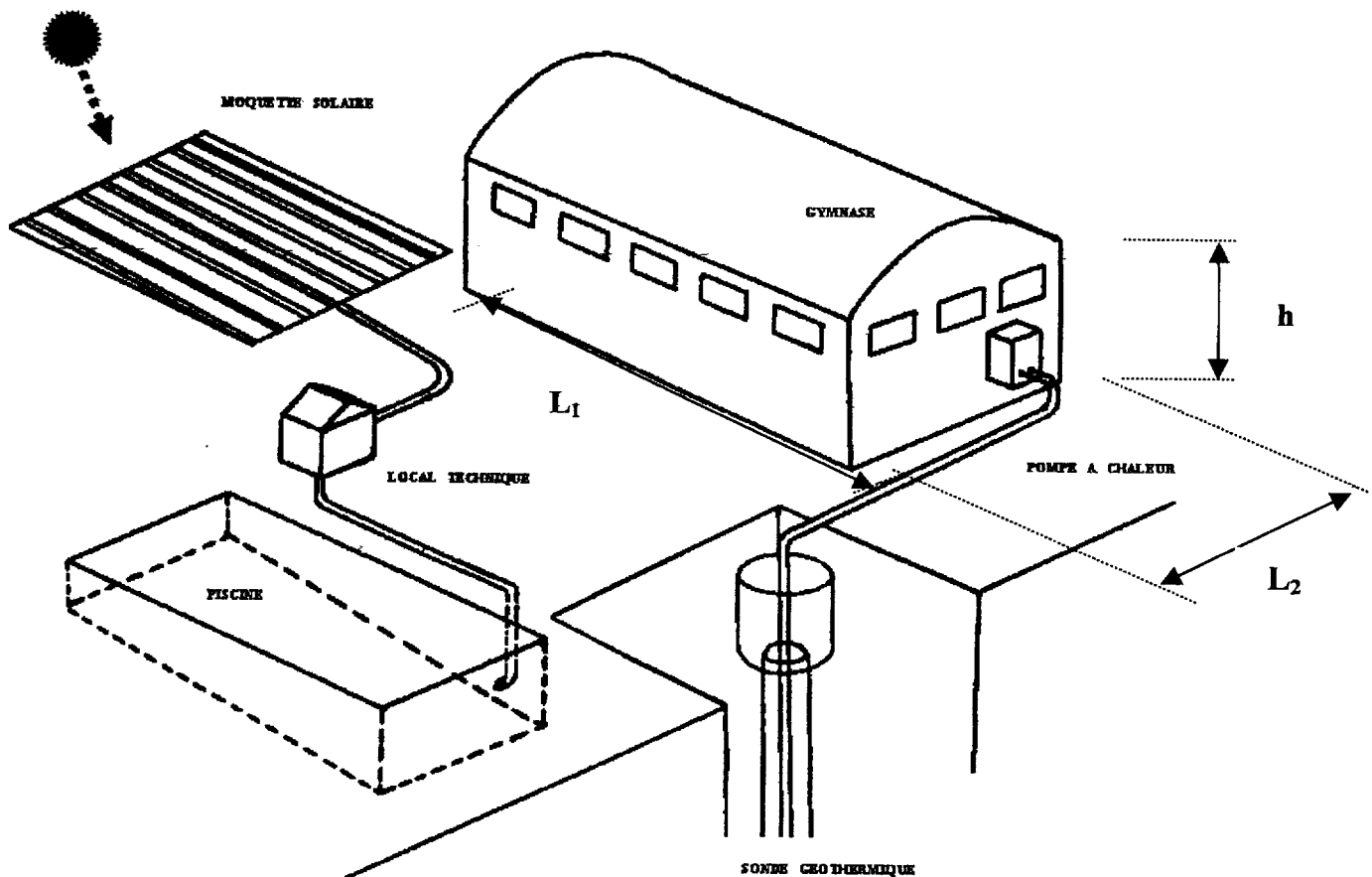
ANNEXE 2



# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

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

## CAE3CI

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 GYMNASE

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

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

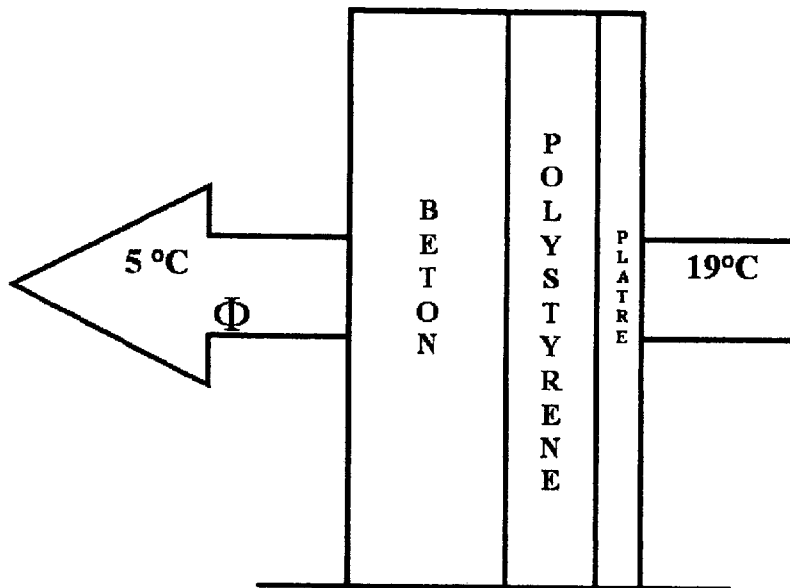
1. Calculer la résistance thermique des murs  $R_M$ .
2. La résistance thermique totale  $R$  du bâtiment (murs, vitrages, toiture, sol) est de  $7,46 \cdot 10^{-4} \text{ K}.\text{W}^{-1}$ . En déduire la puissance thermique totale perdue par le bâtiment.



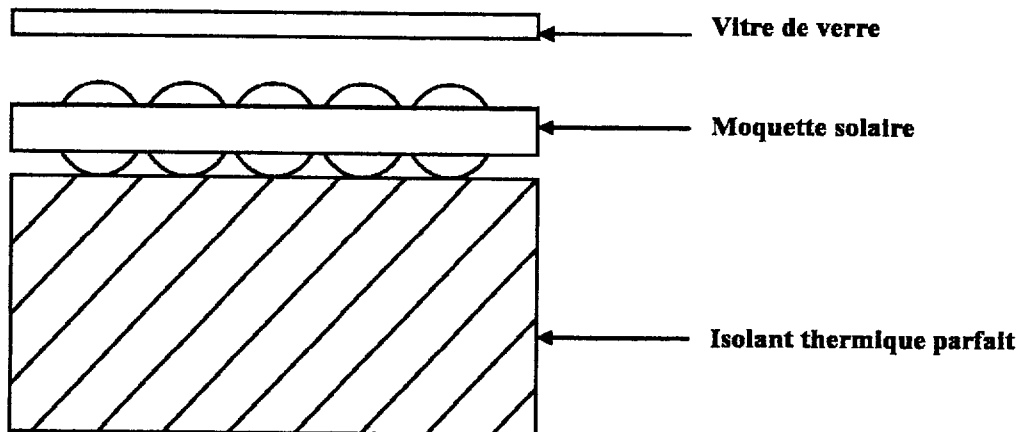
## II - Pompe à chaleur

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 ?

ANNEXE A

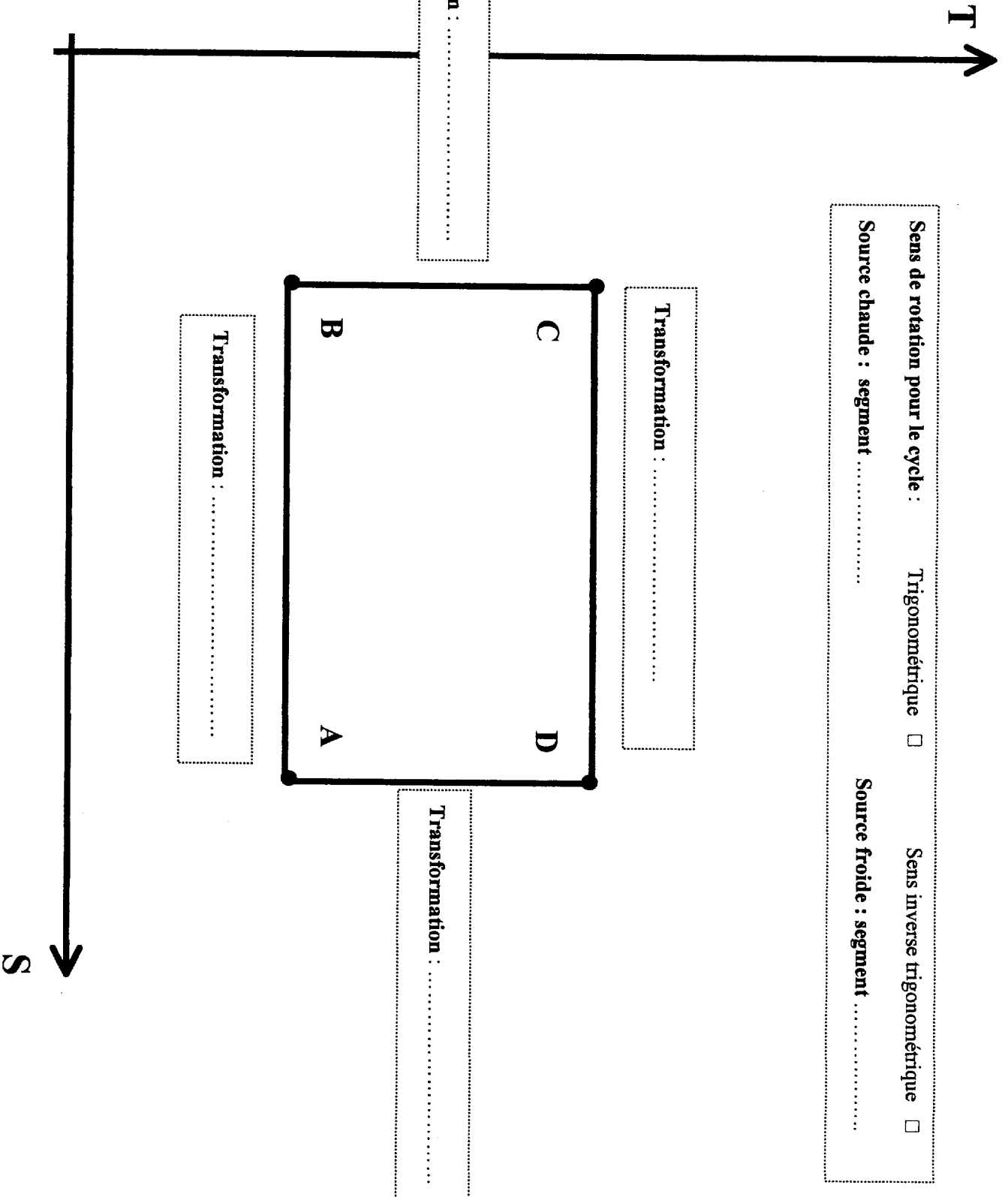
**Schéma 1** : Flux thermique à travers les murs du gymnase.



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

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON

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



EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE B : DIAGRAMME (T, S) – P.A.C.

