

Plusieurs groupes d'élèves décident de reproduire en laboratoire la situation pour vérifier cette condition. Pour cela, un demi-cylindre rempli d'eau est éclairé avec un angle d'incidence égal à 53° comme dans le **document-réponse 3 page 14/14**, à rendre avec la copie. Le tableau de valeurs obtenues est donné ci-dessous :

Mesure	1	2	3	4	5	6	7
Angle réfracté r_B ($^\circ$)	39	37	38	39	40	39	39

23. Déterminer la valeur moyenne \bar{r}_B de l'angle réfracté et son écart-type expérimental.

On rappelle la relation donnant l'incertitude-type sur la valeur moyenne d'une série de n mesures : $u(\text{moyenne}) = \frac{\text{écart-type expérimental}}{\sqrt{n}}$.

24. Calculer la valeur de l'incertitude-type sur la valeur moyenne \bar{r}_B de l'angle réfracté.

Dans ces conditions expérimentales, la valeur de référence de l'angle réfracté, calculée à partir de la valeur théorique de l'angle de Brewster, est de $36,9^\circ$.

25. Discuter de la validité du résultat expérimental, en s'appuyant sur le rapport suivant :

$$\frac{|\text{moyenne} - \text{valeur de référence}|}{u(\text{moyenne})}$$

PARTIE C : le centre aquatique olympique (6,5 points)

Les technologies numériques nécessitent la création de centres de données (appelés data center) de plus en plus performants. Ces infrastructures, capables de stocker de grandes quantités de données, sont très énergivores et ont l'inconvénient de dégager dans l'atmosphère une grande partie de l'énergie thermique produite par les appareils.

Les épreuves de water-polo, de plongeon et de natation synchronisée auront lieu dans la piscine du futur centre aquatique olympique de Saint-Denis, situé en région parisienne. Un géant mondial de l'hébergement informatique s'engage à fournir gratuitement au réseau de chauffage de la piscine l'énergie thermique produite par son nouveau data center.

L'énergie thermique cédée par le data center permettra de produire de l'eau chaude à une température de 65°C qui sera ensuite envoyée dans un échangeur thermique afin de maintenir constante la température de l'eau de la piscine.

Étude de l'échangeur thermique

On se place dans la situation où l'eau de la piscine entre dans l'échangeur à une température de 24°C et en ressort à la température de 35°C .

L'eau provenant du data center (à la température de 65°C) sort de l'échangeur thermique à la température de 50°C .

La puissance de cet échangeur thermique est de 270 kW.

26. En exploitant les données correspondant à la situation étudiée, indiquer sur le schéma du **document-réponse 4 page 14/14**, à rendre avec la copie, les valeurs des températures T_{F1} , T_{F2} , T_{C1} et T_{C2} .
27. Citer le mode de transfert thermique permettant l'échange d'énergie thermique à travers la paroi de l'échangeur thermique.

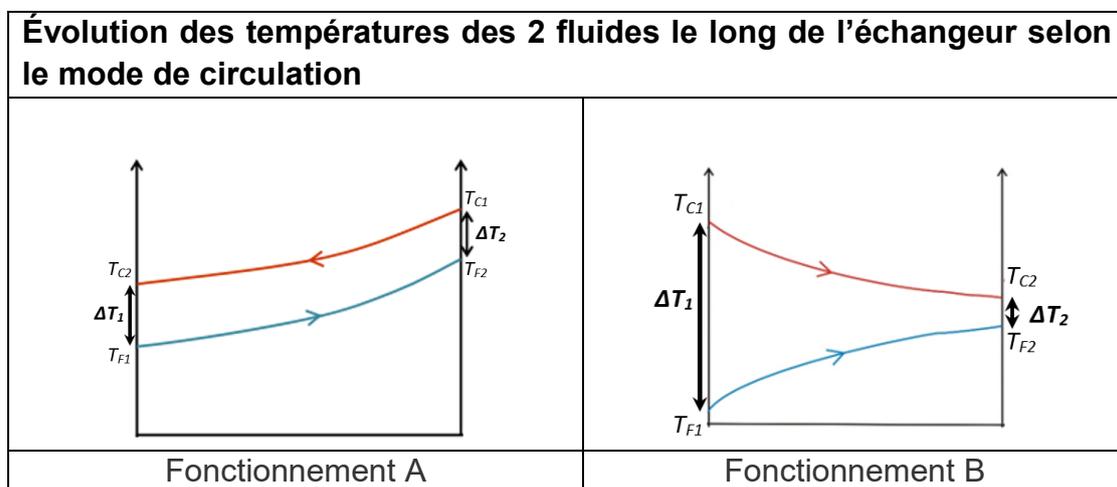
Données : conductivités thermiques λ de différents matériaux à 20°C

Matériau	λ en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Titane	20
Acier inoxydable	26
Aluminium	237

28. D'après les valeurs de conductivité thermique, identifier, en justifiant, le matériau à privilégier pour l'échangeur.

Les fluides circulent à contre-courant dans l'échangeur thermique.

29. Citer le nom de l'autre sens de circulation possible. Donner parmi les fonctionnements A et B représentés ci-dessous, celui correspondant à une circulation des fluides à contre-courant.



DOCUMENT 2 : grandeurs caractéristiques dans un échangeur

Tout au long de l'échangeur, l'échange thermique a lieu entre les deux liquides dont les températures varient selon la position considérée le long de l'échangeur.

Les températures d'entrée et de sortie du fluide froid sont respectivement notées T_{F1} et T_{F2} .

Les températures d'entrée et de sortie du fluide chaud sont respectivement notées T_{C1} et T_{C2} .

Comme la différence de températures entre les liquides n'est pas constante, on définit l'écart de température logarithmique moyen ΔT_m entre les deux fluides.

Écart de température logarithmique moyen entre deux fluides

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

avec :

ΔT_1 : différence de température entre les deux fluides à l'extrémité 1 de l'échangeur

ΔT_2 : différence de température entre les deux fluides à l'extrémité 2 de l'échangeur

Puissance transférée dans un échangeur

La puissance transférée entre les deux fluides est proportionnelle à la surface d'échange de l'échangeur :

$$P = U \times S \times \Delta T_m$$

P : puissance transférée (W)

U : coefficient global d'échange thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)

S : surface d'échange (m^2)

Puissance thermique reçue par le fluide froid :

$$P = Q_m \times C \times (T_{F2} - T_{F1})$$

Q_m : débit massique du fluide froid ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)

C : capacité thermique massique du fluide froid ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

Données :

- masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- capacité thermique massique de l'eau : $C = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

30. En exploitant la relation de la puissance transférée dans un échangeur donnée dans le **document 2**, montrer que pour obtenir la puissance thermique annoncée (270 kW), le débit de l'eau livrée à la piscine à 35°C doit être égal à 5,9 $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

31. A l'aide du **document 2** et du schéma complété du **document-réponse 4 page 14/14**, calculer ΔT_1 et ΔT_2 , puis montrer que la moyenne logarithmique des différences de température entre les deux fluides ΔT_m est de 28°C .
32. En déduire la surface de l'échangeur à choisir, sachant que le coefficient global d'échange thermique U est égal à $4,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Simulation du procédé de régulation de température de l'eau de la piscine

Le cahier des charges impose de réguler la température de l'eau de piscine sortant de l'échangeur à 35°C . Pour respecter cette consigne, on agit sur le débit d'eau provenant du data center et entrant dans l'échangeur thermique.

33. Parmi les termes ci-dessous, identifier la grandeur réglée (X), la grandeur réglante (Y) et une grandeur perturbatrice (Z) de cette régulation :
- débit d'eau provenant du data center ;
 - température de l'eau de piscine en sortie de l'échangeur ;
 - température de l'eau de piscine en entrée de l'échangeur.

Pour simuler la régulation en laboratoire, on propose d'utiliser un montage avec un microcontrôleur. Ce montage est constitué :

- d'un capteur de température TMP 36 ;
- d'une pompe pilotée par le microcontrôleur.

Le débit d'eau est directement lié à la vitesse de rotation de la pompe.

Le programme de régulation est donné dans le **document 3 page suivante**.

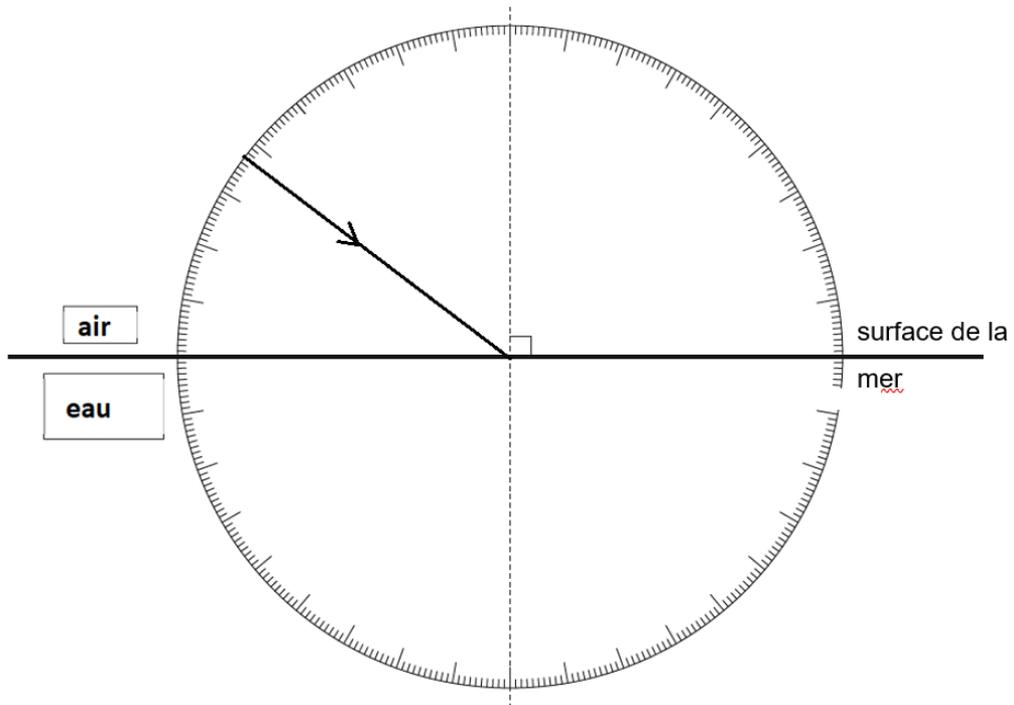
34. Repérer la ligne qui permet de piloter le port de la sortie analogique du microcontrôleur, commandant la vitesse de la pompe.
35. Indiquer, en justifiant, si la régulation utilisée dans ce programme est discontinue ou continue.
36. En prenant pour hypothèse que la température mesurée est égale à 37°C , expliquer l'utilité de la ligne 34.
37. Afin d'améliorer les performances de cette régulation, préciser le type de correction à apporter pour annuler l'écart statique.

DOCUMENT 3 : programme de commande du système de regulation, à l'aide d'un microcontrôleur

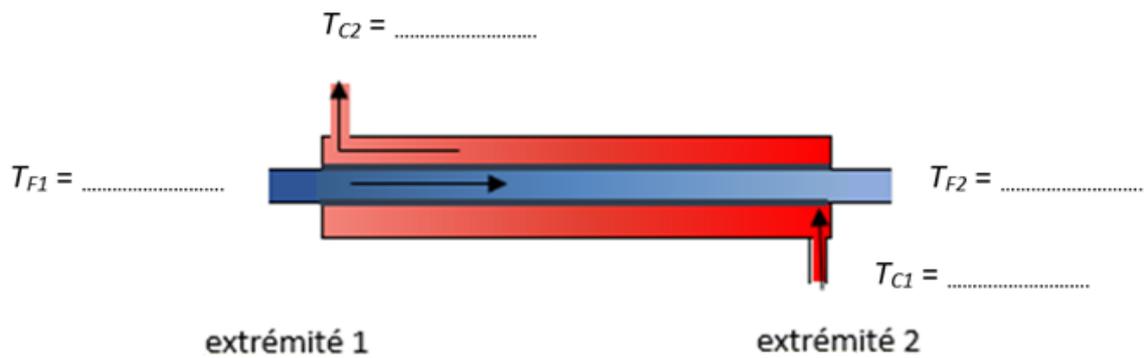
```
1 // déclaration des constantes
2 int portTemp = 0;          // la tension aux bornes de la TMP36 est envoyée
                             // sur le port température : port analogique 0
3
4 int portPompe = 3;        // la commande de la pompe se fait par le port
                             // numérique 3
5 int consigne = 28;        // valeur de la consigne
6 int Kp = 20;              // valeur du coefficient de proportionnalité
7
8 // Définition des variables
9
10 float Temp;              // variable température mesurée par le capteur
11 int commandeVitesse = 0; // pourcentage de la commande de vitesse
                             // de 0 à 100%
12 int N=0;                  // variable nombre N sur le port A0
13
14 void setup()
15 {
16 // initialisation serial port
17 Serial.begin (9600);
18
19 pinMode(portPompe, OUTPUT);
20 }
21
22 void loop()
23 {
24 N = analogRead(PortTemp); // lecture de l'entrée analogique N sur
                             // le port A0
25 float Tension = N*5.0;
26 Tension = Tension / 1024.0; // conversion de la lecture entrée en
                             // tension
27 float Temp = (Tension - 0.5) 100 ; // Conversion de la tension en
                             // temperature
28
29 // génération de la commande en régulation P
30 commandeVitesse = Kp*(consigne-Temp) ; // la commande de vitesse du
                             // moteur de la pompe
31
32 // conditions limites
33 if (commandeVitesse > 100) {commandeVitesse = 100 ;}
34 if (commandeVitesse < 0) {commandeVitesse = 0 ;}
35
36
37 //commande de la vitesse de la pompe
38 analogWrite (portPompe,255*commandeVitesse/100);
39
40
41 Serial.print(consigne);
42 Serial.print(",");
43 Serial.print (Temp);
44 Serial.print(",");
45 Serial.println(commandeVitesse);
46 delay (1000);
47 }
```

Document réponse à rendre avec la copie

DOCUMENT-REPONSE 3



DOCUMENT-REPONSE 4 : Schéma de l'échangeur thermique à contre-courant



Indice « C » pour chaud

Indice « F » pour froid