

I - Loi des gaz parfaits

1. Description d'un gaz

À l'échelle macroscopique, l'état d'un gaz est décrit par trois grandeurs d'état :

- **P** – la pression (Pa)
- **T** – la température thermodynamique (K)
- **p** – la masse volumique ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

À l'échelle **microscopique**, ces grandeurs sont liées au mouvement désordonné des molécules : la pression traduit les chocs des molécules sur les parois, la température est reliée à l'agitation thermique (énergie cinétique moyenne).

2. Le modèle du gaz parfait

Un gaz parfait est un modèle idéalisé dans lequel on suppose :

- **Absence d'interactions** entre les molécules (sauf lors des chocs)
- **Volume propre négligeable** des molécules devant le volume du gaz
- Chocs parfaitement **élastiques**

Équation d'état du gaz parfait :

$$p \times V = n \times R \times T$$

Symbole	Grandeur	Unité	Symbole unité
P	Pression	Pascal	Pa
V	Volume	mètre cube	m³
n	Quantité de matière	mole	mol
R	Constante des gaz parfaits (= 8,314)	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
T	Température thermodynamique	Kelvin	K

À RETENIR

- La constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ est à connaître.
- La température doit toujours être exprimée en Kelvin : $T (\text{K}) = \theta (^\circ\text{C}) + 273,15$
-

3. Limites du modèle

Le modèle du gaz parfait est valable lorsque :

- La pression est faible (quelques bars) → les molécules sont très éloignées les unes des autres
- La température est élevée → l'agitation thermique domine sur les interactions moléculaires

À **haute pression** ou **basse température**, les interactions intermoléculaires ne sont plus négligeables et le modèle du gaz parfait ne s'applique plus. On parle alors de **gaz réel** (modèle de Van der Waals par exemple).

4. Exploitation de l'équation d'état

a. Loi de Mariotte (transformation isotherme)

Lorsque la température et la quantité de matière sont constantes, l'équation d'état devient :

$$p \times V = \text{constante}$$

Ainsi, si un gaz passe d'un état (p_1, V_1) à un état (p_2, V_2) à T constante :

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

b. Loi d'Avogadro-Ampère

« Dans les mêmes conditions de température et de pression, tous les gaz ont le même volume molaire. »

$$V_m = \frac{V}{n} = \frac{R \times T}{P}$$

Exemple : Dans les conditions habituelles ($20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$ et $p = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$) :

$$V_m = \frac{8,314 \times 293,15}{1,0 \times 10^5} = 2,4 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Exercices : 24 p.446 ; 36 et 37 p.447



CONSEIL MÉTHODOLOGIQUE

- Pour utiliser l'équation d'état, vérifiez toujours les unités : p en Pa, V en m^3 , T en K.
- Si une transformation conserve T et n, utiliser la loi de Mariotte ($p \cdot V = \text{cste}$).
- Si une transformation conserve p et n, le rapport V/T est constant (loi de Gay-Lussac).

II – Bilan d'énergie thermique

1. Premier principe de la thermodynamique

a. Énergie interne

L'énergie interne U d'un système est la somme de toutes les énergies microscopiques de ses constituants :

- **Énergies cinétiques microscopiques** (agitation thermique des molécules)
- **Énergies potentielles d'interaction** entre les molécules

L'énergie interne **n'est pas directement calculable**, mais on peut déterminer sa **variation ΔU** (en Joules).

b. Énergie totale d'un système

$$E_{\text{tot}} = E_C + E_{\text{pp}} + U$$

Pour un système au repos à l'échelle macroscopique ($E_C = 0$, $E_{\text{pp}} = \text{cste}$) :

$$\Delta U = \Delta E_{\text{tot}}$$

c. Premier principe de la thermodynamique

Pour un système fermé au repos, la variation d'énergie interne est égale à la somme des transferts d'énergie reçus de l'extérieur :

$$\Delta U = W + Q$$

W : travail reçu (J) | Q : transfert thermique reçu (J)

$\Delta U > 0$	$\Delta U < 0$
Le système gagne de l'énergie interne	Le système perd de l'énergie interne

Exercices : 29 et 30 p.446

2. Transferts et flux thermiques

a. Capacité thermique et transfert thermique

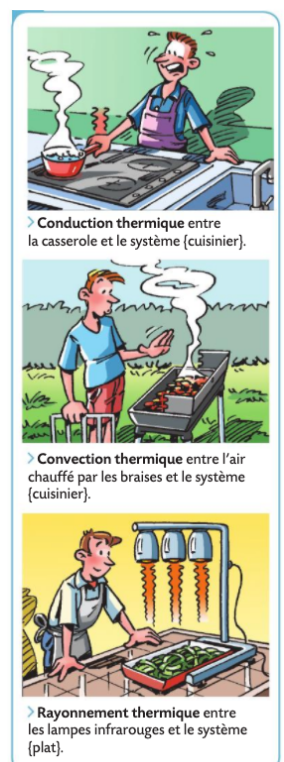
La capacité thermique C d'un système (en $J \cdot K^{-1}$) est l'énergie à lui transférer pour augmenter sa température de 1 K.

$$Q = C \times \Delta T = m \times c \times \Delta T$$

Symbole	Grandeur	Unité	Symbole unité
Q	Transfert thermique	Joule	J
C	Capacité thermique	Joule par Kelvin	$J \cdot K^{-1}$
c	Capacité thermique massique	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
ΔT	Variation de température	Kelvin	K
m	Masse du système	kilogramme	kg

b. Modes de transferts thermiques

Mode	Description
Conduction	Transfert par contact direct entre deux corps à des températures différentes. Exemple : chauffer une casserole sur une plaque.
Convection	Transfert par mouvement de matière (fluide en mouvement). Exemple : air chaud qui monte dans une pièce.
Rayonnement	Échange de photons (ondes électromagnétiques) entre deux corps. Seul mode possible dans le vide. Exemple : chaleur du Soleil.



Sens du transfert thermique : Le transfert thermique se fait toujours de la source chaude vers la source froide, jusqu'à l'équilibre thermique (égalité des températures).

3. Flux thermique et résistance thermique

Flux thermique Φ (W) = énergie transférée par unité de temps

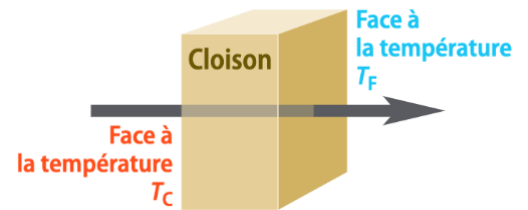
$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Flux en fonction de la résistance thermique R_{th}

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{Th}} = \frac{T_c - T_f}{R_{th}}$$

Résistance thermique d'une paroi plane

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$



Symbole	Grandeur	Unité	Symbole unité
Φ	Flux thermique	Watt	W
R_{th}	Résistance thermique	Kelvin par Watt	$K \cdot W^{-1}$
e	Épaisseur de la paroi	mètre	m
λ	Conductivité thermique de la paroi	$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$	$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$
S	Aire de la paroi	mètre carré	m^2

Exercices : 27 et 28 p.446 ; 31 et 32 p.446 ; 43 p.448

3. Deux lois thermiques

a. Loi de Stefan-Boltzmann

Tout corps à température T non nulle émet un rayonnement thermique. Pour un corps noir idéal (absorbant et émettant toute radiation), le flux thermique rayonné est :

Loi de Stefan-Boltzmann	sous forme de flux surfacique
$\Phi = \sigma \times T^4 \times S$	$\phi = \frac{\Phi}{S} = \sigma \times T^4$

Symbole	Grandeur	Unité	Symbole unité
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$)	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
T	Température absolue du corps	Kelvin	K
S	Surface du corps	m^2	m^2
ϕ	Flux thermique surfacique	$W \cdot m^{-2}$	$W \cdot m^{-2}$

Bilan thermique Terre-Atmosphère

- Flux solaire moyen reçu par la Terre : $\varphi = \Phi/S = 340 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Albédo $\alpha \approx 30\%$: fraction du rayonnement solaire réfléchi sans absorption.
- Sans effet de serre, la température terrestre serait $\approx -18^\circ\text{C}$ (bien inférieure à la réalité).
- L'effet de serre est dû à l'absorption du rayonnement infrarouge par H_2O et CO_2 .

Exercices : 33 et 34 p.446

b. Loi phénoménologique de Newton

Un thermostat est un système dont la température T_{th} reste constante. La loi de Newton décrit le refroidissement (ou l'échauffement) d'un système en contact avec un thermostat :

Flux conducto-convectif échangé avec le thermostat :

$$P_{th,cc} = h \times S \times (T_{th} - T)$$

En appliquant le premier principe et en passant à la limite ($\Delta t \rightarrow 0$) :

$$\Phi = P_{th,cc} = \frac{Q}{\Delta t} ; \Phi = P_{th,cc} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{C \times \Delta T}{\Delta t} ; C \times \frac{dT}{dt} = h \times S \times (T_{th} - T)$$

on peut noter τ , la constante homogène à une durée $\tau = \frac{C}{h \times S}$ alors $\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{\tau}(T - T_{th})$

La loi de Newton est une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec second membre : $\frac{dT}{dt} + \frac{1}{\tau}T = \frac{1}{\tau}T_{th}$

La résolution de cette équation admet une solution du type : $T(t) = (T_0 - T_{th}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{th}$
 T_0 : température du système à $t = 0$

Symbole	Grandeur	Unité	Symbole unité
$T(t)$	Température du système à l'instant t	Kelvin	K
T_{th}	Température du thermostat	Kelvin	K
T_0	Température initiale du système ($t=0$)	Kelvin	K
τ	Temps caractéristique ($= C/(hS)$)	seconde	s
h	Coefficient de transfert conducto-convectif	$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^2$	$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^2$
S	Aire de la surface d'échange	m^2	m^2

Exercices : 35 p.446 ; 44 p.448 ; 56 p.451 ; Exercice 22 p.441 (corrigé)

!! attention

- Attention à l'exercice 44 p.448 : l'expression correcte est $P_{th,cc} = hS(\theta_{th} - \theta(t))$.
- Pour l'exercice 56 p.451 : prendre $h = 250 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^2$.

22 De la thermodynamique dans le jeu de tennis

Les joueurs de tennis utilisent les poches de leur short pour y loger les balles et les casquettes pour protéger leur front et leurs yeux du Soleil.

Données

- Loi de Stefan-Boltzmann : la puissance rayonnée par une paroi de température thermodynamique T , d'aire S vaut $P_{\text{th,ray}} = \sigma T^4 S$ avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.
- Puissance du transfert thermique conducto-convectif entre une paroi d'aire S à la température θ et un fluide à la température θ_{th} loin de la paroi :

$$P_{\text{th,cc}} = hS(\theta - \theta_{\text{th}})$$
- Coefficient de transfert conducto-convectif de l'air : $h = 5,0 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
- Front humain : rectangle d'aire $S_{\text{front}} = 80 \text{ cm}^2$



Le joueur de tennis autrichien Dominic Thiem.

- a** Un joueur de tennis est tête nue face au Soleil. Par quel mode de transfert son front reçoit-il de l'énergie thermique de la part du Soleil ? Pourquoi la visière de la casquette limite-t-elle ce transfert ?
- b** Ce joueur finit sa partie sans casquette et est victime d'une insolation, provoquant une fièvre qui fait monter la température de surface de son front à $\theta_{\text{front}} = 39^\circ \text{C}$. Calculer la puissance thermique rayonnée par son front. Calculer l'énergie thermique Q_{ray} perdue par le joueur en une nuit de 7 heures.
- c** Le lendemain, le joueur, guéri, s'entraîne tête nue, alors que la température de l'air vaut $\theta_{\text{th}} = 12^\circ \text{C}$. La température de son front vaut $\theta_{\text{front}} = 33^\circ \text{C}$. Calculer la puissance thermique cédée par son front à l'air ambiant par transfert conducto-convectif et l'énergie thermique Q_{cc} dépensée en 4 heures d'entraînement.
- d** À la date $t = 0 \text{ s}$, une balle d'aire $S_{\text{balle}} = 137 \text{ cm}^2$ et de capacité thermique $C = 80 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ tombe de sa poche où elle était à la température $\theta_0 = 31^\circ \text{C}$. Sa température à la date t vaut :

$$\theta(t) = \theta_{\text{th}} + (\theta_0 - \theta_{\text{th}})e^{-t/\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{C}{hS_{\text{balle}}}$$

 À quelle date la température de la balle vaut-elle $\theta_1 = 15^\circ \text{C}$?

- a** Le seul mode de transfert possible dans le vide qui sépare le Soleil de la Terre est le transfert par rayonnement. La visière est opaque au rayonnement solaire, elle empêche les photons solaires de frapper le front du joueur.

- b** Dans la loi de Stefan-Boltzmann, la température du front doit être exprimée en kelvins. On doit donc faire la conversion : $T_{\text{front}} = 273 + \theta_{\text{front}} = 312 \text{ K}$
 On en déduit :

$$P_{\text{th,ray}} = \sigma T_{\text{front}}^4 S = 5,67 \times 10^{-8} \times 312^4 \times 80 \times 10^{-4} = 4,3 \text{ W}$$

L'énergie thermique cédée par rayonnement pendant 7 heures vaut :

$$Q_{\text{ray}} = P_{\text{th,ray}} \times \Delta t = 4,3 \times 7 \times 3600 = 1,1 \times 10^5 \text{ J}$$

- c** La puissance thermique cédée par le front à l'air ambiant vaut :

$$P_{\text{th,cc}} = hS_{\text{front}}(\theta_{\text{front}} - \theta_{\text{th}}) = 5,0 \times 80 \times 10^{-4} \times (33 - 12) = 0,84 \text{ W}$$

L'énergie thermique cédée par conducto-convection pendant 4 heures vaut :

$$Q_{\text{cc}} = P_{\text{th,cc}} \times \Delta t = 0,84 \times 4 \times 3600 = 1,2 \times 10^4 \text{ J}$$

- d** On calcule la valeur du temps caractéristique :

$$\tau = \frac{C}{hS_{\text{balle}}} = \frac{80}{5,0 \times 137 \times 10^{-4}} = 1,2 \times 10^3 \text{ s}$$

On doit résoudre l'équation $\theta_{\text{th}} + (\theta_0 - \theta_{\text{th}})e^{-t/\tau} = \theta_1$ soit $e^{-t/\tau} = \frac{\theta_1 - \theta_{\text{th}}}{\theta_0 - \theta_{\text{th}}}$,

soit, en composant avec la fonction logarithme népérien :

$$-\frac{t}{\tau} = \ln\left(\frac{\theta_1 - \theta_{\text{th}}}{\theta_0 - \theta_{\text{th}}}\right) \quad \text{donc} \quad t = -\tau \ln\left(\frac{\theta_1 - \theta_{\text{th}}}{\theta_0 - \theta_{\text{th}}}\right) = 2,2 \times 10^3 \text{ s} = 37 \text{ min}$$

Aide n° 1

Dans la loi de Stefan-Boltzmann, la température doit être exprimée en kelvins. Dans les formules utilisant une différence de température, on peut les laisser toutes deux en degrés Celsius.

► Cours 5 p. 438

Aide n° 2

Dans cette formule utilisant une différence de température, on peut les laisser toutes deux en degrés Celsius.

► Cours 6 p. 439

Aide n° 3

On doit résoudre une équation comportant une exponentielle pour calculer la date.

► Fonctions exponentielle et logarithme népérien p. 22 à 25

À votre tour

► Exercice 51 p. 449

24 Recopier et compléter le tableau suivant, pour un système formé d'un gaz parfait.

	a.	b.	c.	d.
Pression		200 Pa	1,4 bar	$1,01 \times 10^5$ Pa
Volume	2,5 L	305 m ³	5,1 m ³	
Quantité de matière	0,010 mol		210 mol	1,00 mol
Température	30 °C	120 K		298 K

27 Pour chauffer une cuve pleine d'eau, de capacité thermique $C = 100 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}$, on fait brûler dans le dioxygène en excès une masse $m = 150 \text{ g}$ d'éthanol, de pouvoir calorifique $PC = 29 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

■ Calculer l'énergie thermique Q reçue par la cuve et son élévation de température ΔT .

28 Une brique indéformable et immobile, de capacité thermique $C = 900 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ a une température qui diminue de 420 °C après sa cuisson.

■ Quelle énergie thermique cède-t-elle à l'extérieur ?

29  Un système reçoit un travail de 100 joules et cède une énergie thermique de 200 joules.

■ Calculer la variation de son énergie interne.

30 Un système formé de $m = 100 \text{ g}$ d'eau reçoit, par mouvement de brassage, un travail $W = 250 \text{ J}$. Pourtant, sa température baisse de 5 °C .

■ Calculer l'énergie thermique Q qu'il cède à l'extérieur.

31  Un flux thermique $\Phi_{\text{th}} = 5,0 \text{ W}$ traverse une cloison dont les températures des deux faces sont $T_{\text{C}} = 300 \text{ K}$ et $T_{\text{F}} = 200 \text{ K}$.

■ Calculer la résistance thermique R_{th} de la cloison.

32  Deux corps solides identiques, de même capacité thermique C , de températures initiales $\theta_{1i} = 30 \text{ °C}$ et $\theta_{2i} = 70 \text{ °C}$, ne peuvent échanger de l'énergie thermique qu'à travers la cloison qui les sépare, de résistance thermique $R_{\text{th}} = 0,025 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.

a. Calculer la valeur du flux thermique Φ_{th} traversant la cloison à l'instant initial.

b. Comment les températures des deux corps évoluent-elles au cours du temps ?

35 Une météorite de masse $m = 100 \text{ g}$, de capacité thermique massique $c = 790 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, d'aire $S = 20 \text{ cm}^2$, de température initiale $T_0 = 750 \text{ K}$, tombe dans la mer formant un thermostat à la température $T_{\text{th}} = 293 \text{ K}$. Le coefficient de transfert conducto-convectif vaut $h = 100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. La température $T(t)$ de la météorite vérifie l'équation différentielle : $\frac{dT}{dt} + \frac{hS}{mc}T = \frac{hS}{mc}T_{\text{th}}$

■ Calculer le temps caractéristique τ de refroidissement de la météorite.

36 Dilatation d'un gaz parfait

Effectuer un calcul

Un système formé de $n = 100 \text{ mol}$ de gaz parfait est à la pression atmosphérique $P_0 = 1,01 \text{ bar}$ et à la température $\theta_0 = 25,0 \text{ °C}$.

a. Calculer son volume initial V_0 .

b. Sous l'effet du rayonnement solaire, sa température s'élève de $25,0 \text{ °C}$, mais sa pression reste égale à la pression atmosphérique.

Calculer son nouveau volume V_1 .

c. Le coefficient de dilatation du gaz est $\varepsilon = \frac{V_1 - V_0}{V_0}$, il est exprimé en pourcents. Calculer sa valeur.

37 Compression isotherme d'un gaz parfait

Utiliser un modèle

Un système formé de $n \text{ mol}$ de gaz parfait est maintenu à température constante T . Sa pression est multipliée par deux.

a. Par quel coefficient son volume est-il multiplié ?

b. Par quel coefficient sa masse volumique est-elle multipliée ?

43 Eau tiède

Effectuer un calcul

En 10 secondes environ, le mitigeur d'un évier mélange une masse $m_1 = 100 \text{ g}$ d'eau froide à la température $\theta_1 = 10 \text{ °C}$ et une masse $m_2 = 180 \text{ g}$ d'eau chaude à la température $\theta_2 = 60 \text{ °C}$.

■ Calculer la masse totale d'eau et la température de cette eau. On négligera tout transfert thermique et tout travail échangé avec l'extérieur.

44 Démontrer et appliquer le cours

Établir une loi • Exploiter un énoncé

Pour refroidir un verre de limonade, on peut y introduire un glaçon, mais l'eau de fonte du glaçon affadit la boisson. Boire une limonade « on the rocks » signifie qu'on y introduit plutôt un caillou (rock) glacial. Ce caillou est un cube de granite de côté $a = 3,0$ cm. La masse volumique du granite vaut $\rho = 2,64 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et sa capacité thermique massique, $c_{gr} = 790 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.



Pour le refroidir, on le suspend par un fil dans une chambre froide, au contact de l'air à la température $\theta_{th} = -25^\circ\text{C}$. La température du caillou à la date t est notée $\theta(t)$, sa valeur initiale est $\theta(0) = \theta_0 = 15^\circ\text{C}$. La puissance du transfert thermique conducto-convectif cédé par le caillou à l'air extérieur est donné par la loi de Newton :

$$P_{th,cc} = hS(\theta(t) - \theta_{th})$$

où S est l'aire de la surface du glaçon et $h = 10 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

- Calculer l'aire totale des six faces du caillou.
- Calculer le volume du caillou.
- En déduire sa masse et sa capacité thermique $C = mc_{gr}$.
- Effectuer le bilan d'énergie interne entre les dates t et $t + \Delta t$ pour le caillou, solide incompressible.
- En déduire l'équation différentielle vérifiée par $\theta(t)$ qu'on exprimera sous la forme suivante en précisant la valeur du temps caractéristique τ :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{\tau}\theta = \frac{1}{\tau}\theta_{th}$$

- La solution générale de cette équation différentielle est :

$$\theta(t) = \theta_{th} + Ae^{-t/\tau}$$

Déterminer la constante A grâce à la condition initiale.

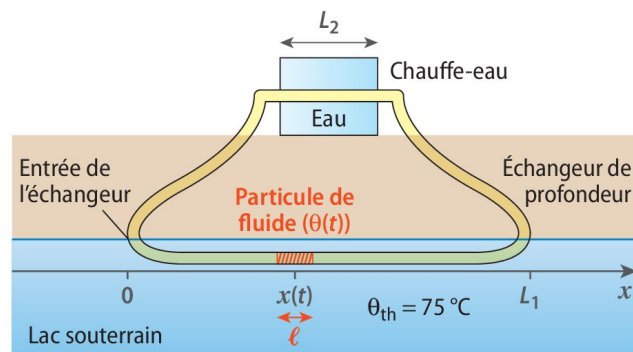
- Déterminer la date à laquelle le caillou devient « glacial », c'est-à-dire que sa température exprimée en degrés Celsius devient négative.

56 Géothermie

Utiliser un modèle • Effectuer un calcul

Un fluide « caloporteur », incompressible, de masse volumique $\rho = 870 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et de capacité thermique massique $c = 1,69 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, circule en boucle dans un tuyau cylindrique de rayon $a = 1,0$ cm, de section $s = \pi a^2$, à la vitesse v_0 . Ce tuyau possède :

- une partie profondément enterrée, l'échangeur de profondeur, de longueur $L_1 = 200$ m, où il est au contact d'un lac formant un thermostat à la température $\theta_{th} = 75^\circ\text{C}$;
- une partie aérienne, le chauffe-eau, de longueur L_2 , où le fluide est au contact d'un réservoir contenant $m_e = 250$ kg d'eau qu'on veut porter de $\theta_i = 15^\circ\text{C}$ à $\theta_f = 45^\circ\text{C}$, pour un usage domestique.



1. Étude de l'échangeur de profondeur

On considère une particule de fluide, c'est-à-dire une petite portion du fluide caloporteur, cylindrique, de section s et de longueur ℓ , petite devant la longueur totale L_1 . Sa température à l'entrée de l'échangeur, à la date $t = 0$, vaut $\theta_e = 45^\circ\text{C}$. Au fur et à mesure de son mouvement dans l'échangeur, au contact du lac, sa température augmente. À la date t , son abscisse le long de l'échangeur est $x(t)$ et sa température $\theta(t)$.

- Exprimer $x(t)$ en fonction de v_0 et t .
- Exprimer la capacité thermique C de la particule de fluide en fonction de ℓ , a , c et ρ .
- Le bilan thermique pour la particule se déplaçant dans le tuyau au contact de l'eau chaude du lac souterrain conduit à l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta}{dt}(t) + \frac{2h}{\rho ca}\theta(t) = \frac{2h}{\rho ca}\theta_{th}$$

Calculer la valeur du temps caractéristique.

- La température de la particule de fluide est pratiquement égale à celle du lac à la date $t = 5\tau$. On veut que la particule de fluide sorte de l'échangeur précisément à cette date. En déduire la valeur de v_0 .

2. Étude du chauffe-eau

La puissance thermique reçue par l'eau de la part du fluide vaut en moyenne $P_{th,ce} = \delta \rho v_0 \pi a^2 c$ où $\delta = 45^\circ\text{C}$ est l'écart moyen entre la température du fluide θ_{fluide} et celle du réservoir θ_{eau} .

- Que représente physiquement la quantité $v_0 \pi a^2$? la quantité $\rho v_0 \pi a^2$? la quantité $\rho v_0 \pi a^2 c$? Vérifier l'homogénéité de l'expression fournie pour $P_{th,ce}$.
- Calculer la durée Δt nécessaire à l'échauffement de la masse d'eau dans le réservoir.