

Thème : L'énergie

Chapitre : L'énergie interne

Objectifs :

- Associer qualitativement la température d'un corps à l'agitation interne de ses constituants microscopiques.
- Citer les deux échelles de températures et les unités correspondantes (degrés Celsius et Kelvin).
- Convertir en Kelvin, une température exprimée en degré Celsius et réciproquement.
- Citer plusieurs exemples de thermomètres et identifier leurs principes de fonctionnement.
- Mesurer des températures
- Relier l'énergie interne d'un système à des contributions d'origine microscopique.
- Exprimer et calculer la variation d'énergie interne d'un solide ou d'un liquide lors d'une variation de température.
- Définir et exploiter la capacité thermique massique et l'énergie massique de changement d'état d'une espèce chimique.
- Prévoir le sens d'un transfert thermique entre deux systèmes pour déterminer leur état final.
- Décrire qualitativement les trois modes de transferts thermiques en citant des exemples.
- Réaliser expérimentalement le bilan thermique d'une enceinte en régime stationnaire.

Sommaire

1. Cours	2	2. Activité 1 : Température, transfert thermique et énergie interne	5
1.1 Les changements d'état	2		
1.2 La température	2	3. Activité 2 : Détermination de la capacité thermique massique d'un solide	6
1.3 Transfert thermique	3		
1.4 L'énergie interne	3	4. Activité 3 : Énergie et changements d'état	8
1.5 Capacité thermique massique	4		
1.6 Énergie massique de changement d'état	4	5. Exercices	10

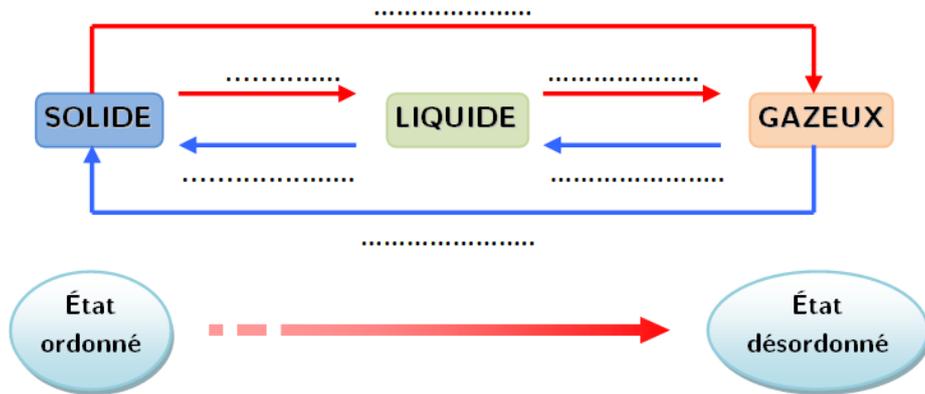
1. Cours

1.1 Les changements d'état

Définir la notion de **changement d'état** :

.....

Compléter le schéma suivant :

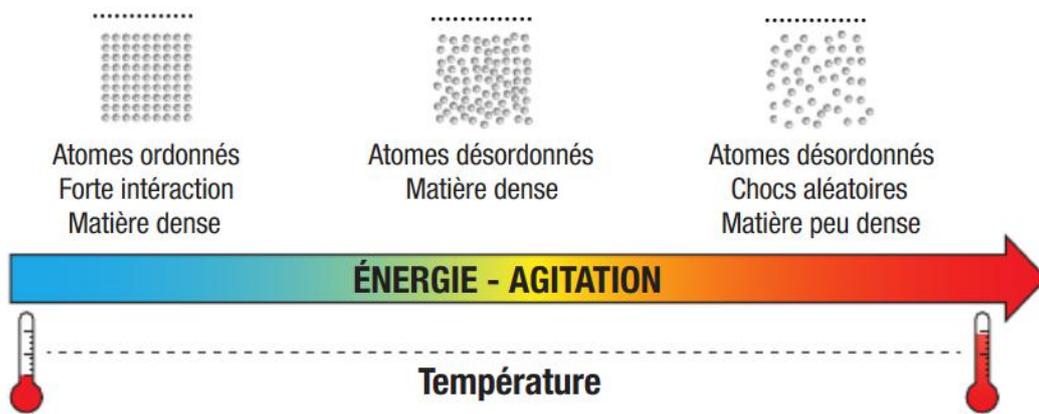


1.2 La température

Quelle est l'origine microscopique de la température ?

.....

Indiquer les états physiques dans le schéma ci-dessous :



Quelles sont les échelles de température ?

.....

Exemple : Convertir 37,0 °C en K et 354,0 K en °C.

.....

Compléter la formule de conversion :

$$T(K) = T(^{\circ}C) + \dots\dots\dots \tag{1}$$

1.3 Transfert thermique

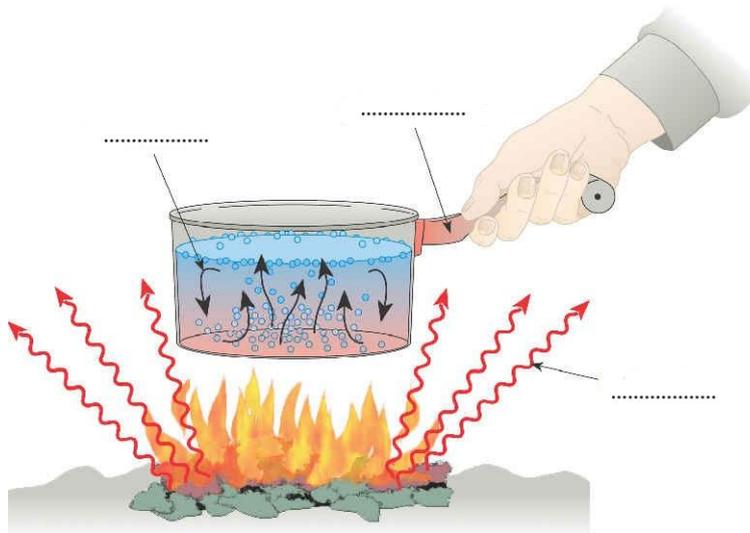
Définir la notion de **transfert thermique** :

.....

.....



Indiquer les modes de transferts thermiques sur le schéma :



- **Conduction thermique** : l'agitation thermique se transmet de proche en proche, sans déplacement d'ensemble de matière.
- **Convection** : l'agitation thermique se transmet de proche en proche, avec déplacement de matière.
- **Rayonnement** : le corps chaud émet une onde électromagnétique qui se propage même dans le vide.

1.4 L'énergie interne

Définir l'**énergie interne** d'un système :

.....

.....

Comment calculer la **variation d'énergie interne** d'un système ?

.....

.....

Remarques :

- L'énergie reçue par un système du milieu extérieur est **positive** ;
- L'énergie cédée au milieu extérieur par un système est **négative**.

1.5 Capacité thermique massique

Définir la capacité thermique massique :

.....

	Solide			Liquide		
Matériau	Glace	Verre	Cuivre	Eau	Éthanol	Mercure
$c \text{ (J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$	2 060	700,0	384,5	4 180	2 424	138,0

FIGURE 1 – Quelques exemples.

1.6 Énergie massique de changement d'état

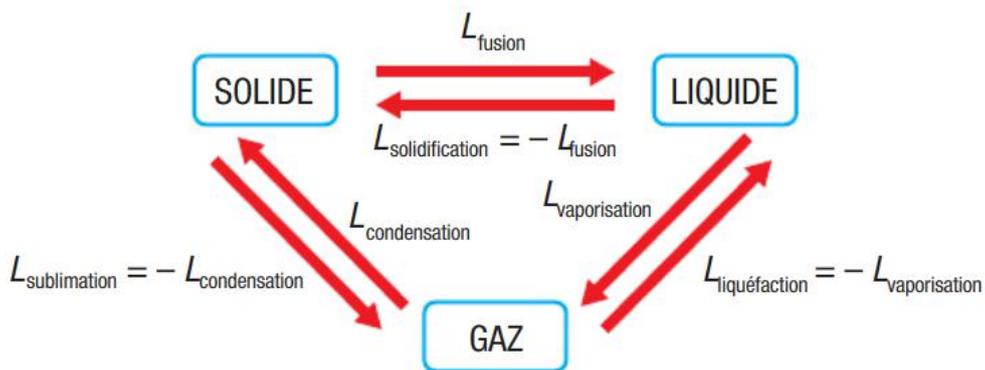
Définir la notion d'énergie massique de changement d'état :

.....

À pression constante, l'énergie de changement d'état Q (en J) d'un corps est le produit de la masse m (en kg) du corps par l'énergie massique de changement d'état L (en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$) :

$$Q = m \times L \tag{2}$$

Remarque : L'énergie massique de changement d'état est aussi appelée « **chaleur latente de changement d'état** ».



Exemple : Déterminer la quantité d'énergie pour faire passer 100 g d'eau (à 100 °C) de l'état liquide à l'état gazeux. ($L_{\text{vap}} = 2260 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).

.....

2. Activité 1 : Température, transfert thermique et énergie interne

Objectif :

- Associer qualitativement la température d'un corps à l'agitation interne de ses constituants microscopiques.
- Relier l'énergie interne d'un système à des contributions d'origine microscopique.
- Décrire qualitativement les trois modes de transferts thermiques en citant des exemples.

Température et transfert thermique

À partir de la vidéo suivant : <https://youtu.be/bqMX1gUZCVw>

1. **Donner** l'origine microscopique de la température. Comment distingue-t-on les trois phases de l'eau à cette échelle ?
2. **Indiquer** les trois modes de transferts thermiques. Qu'est ce qui les distingue ?

Énergie interne

L'énergie interne d'un système constitué de particules, molécules ou atomes, peut être décomposée en deux catégories :

- les **énergies cinétiques**, correspondant au mouvement du système dans son ensemble ainsi qu'aux mouvements des particules qui le constituent ;
- les **énergies potentielles**, dues aux interactions du système avec le milieu extérieur par l'intermédiaire de champs gravitationnel, électriques ou magnétiques, mais aussi dues aux interactions entre les molécules, ions, atomes, électrons, noyaux, nucléons, ... qui constituent ce système

Rejoindre le site suivant : <http://acver.fr/jtq>

3. **Indiquer**, pour chaque état de la matière, si vous pouvez facilement compter leur nombre sur la simulation présentée.
4. Les molécules ou atomes se déplacent-ils ? Si oui, **indiquer** s'ils se déplacent tous à la même vitesse.
5. **Rappeler** l'expression de l'énergie cinétique d'un corps de masse m animé d'une vitesse v .
6. À partir de la vidéo, **indiquer** si une particule isolée est animée d'une vitesse constante. Comment varie son énergie cinétique ?
7. **Suivre** le mouvement d'une particule. Comment se comporte-elle par rapport aux autres particules ?
8. Peut-on facilement et à chaque instant calculer l'énergie de la particule que l'on suit ? (Il existe des formules pour calculer l'énergie cinétique et l'énergie d'interaction entre particules).
9. Le raisonnement que vous avez fait avec une particule peut-il s'étendre à l'ensemble des particules du système et à chaque instant ?
10. Selon vous, combien de molécules d'eau comporte 1 L d'eau :
 - (a) Une dizaine
 - (b) Des millions
 - (c) Des milliards de milliards
 - (d) Des centaines de milliards de milliards
11. Peut-on raisonnablement envisager de déterminer l'énergie de chaque particule d'un échantillon de matière pour en déduire l'énergie globale de cet échantillon ?

3. Activité 2 : Détermination de la capacité thermique massique d'un solide

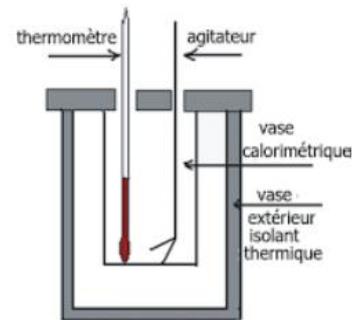
Objectif :

- Mesurer des températures
- Définir et exploiter la capacité thermique massique.
- Prévoir le sens d'un transfert thermique entre deux systèmes pour déterminer leur état final.
- Réaliser expérimentalement le bilan thermique d'une enceinte en régime stationnaire.

Détermination de la capacité massique du calorimètre

Le calorimètre est un appareil destiné à mesurer les échanges de chaleur. Cet échange peut se produire entre plusieurs corps, mettre en jeu des changements d'état ou des réactions chimiques. Le calorimètre constitue un système isolé, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'échange de matière et d'énergie avec le milieu extérieur. Néanmoins, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas des transferts de chaleur entre les différentes parties de l'ensemble calorimétrique.

→ Ainsi la **somme des énergies échangées en son sein est nulle**.



- **Peser** le calorimètre avec ses accessoires. On notera la masse m_{cal}
- **Verser** environ 300 mL d'eau dans un bécher et déterminer la masse d'eau correspondante, notée m_1 .
- **Verser** le contenu du bécher dans le calorimètre. **Placer** le couvercle et le thermomètre.
- **Agiter** quelques instants puis attendre que la température de l'eau dans le calorimètre se stabilise. **Noter** la valeur de température, θ_1 .
- **Tarer** le bécher de 250 mL vide et **appeler** le professeur afin que celui-ci verse environ 200 mL d'eau chaude dans le bécher.
- **Déterminer** la masse d'eau chaude contenue dans le bécher, m_2 .
- Juste avant de verser le contenu du bécher dans le calorimètre, **mesurer** la température de l'eau chaude, θ_2 .
- **Verser** rapidement dans le calorimètre. **Mettre** le capot en plastique sur le calorimètre et **agiter** jusqu'à atteindre la température d'équilibre du mélange eau chaude/eau froide. **Noter** sa température θ_{finale}

FIGURE 1 – Protocole expérimental

1. **Exprimer** puis **calculer** l'énergie échangée par l'eau froide, Q_1 , en fonction de c_{eau} .
2. **Exprimer** puis **calculer** l'énergie échangée par l'eau chaude, Q_2 , en fonction de c_{eau} .
3. Pourquoi Q_1 et Q_2 sont de signe différent ?
4. **Faire** un bilan d'énergie pour **relier** Q_{cal} , Q_1 et Q_2 . **Isoler** Q_{cal} .
5. **En déduire** la capacité thermique massique c_{cal} du calorimètre et de ses accessoires avec les valeurs expérimentales relevées.

Donnée : $c_{eau} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Détermination de la capacité massique d'un solide

6. Différents solides constitués de différents matériaux sont à votre disposition. En vous inspirant de la première partie, **proposer** un protocole expérimental permettant de déterminer expérimentalement la capacité thermique massique du matériau. **Le faire valider** par le professeur avant de procéder à l'expérience.

7. En vous aidant de la partie 1, **faire** un bilan énergétique et **montrer** que la capacité thermique massique du solide est donnée par la relation :

$$c_{sol} = \frac{(m_{cal} \times c_{cal} + m_1 \times c_{eau}) \times (\theta_{finale} - \theta_1)}{m_{sol} \times (\theta_{finale} - \theta_{sol})} \quad (3)$$

8. **Calculer** la capacité thermique massique du solide.

9. **Comparer** à la valeur théorique.

10. Quelles peuvent être les sources d'erreurs ?

Remarque : Pour comparer une valeur expérimentale à une valeur théorique ou tabulée, on calcule l'écart relatif :

$$\varepsilon = \left| \frac{\text{Valeur expérimentale} - \text{Valeur théorique}}{\text{Valeur théorique}} \right| \quad (4)$$

4. Activité 3 : Énergie et changements d'état

Objectif :

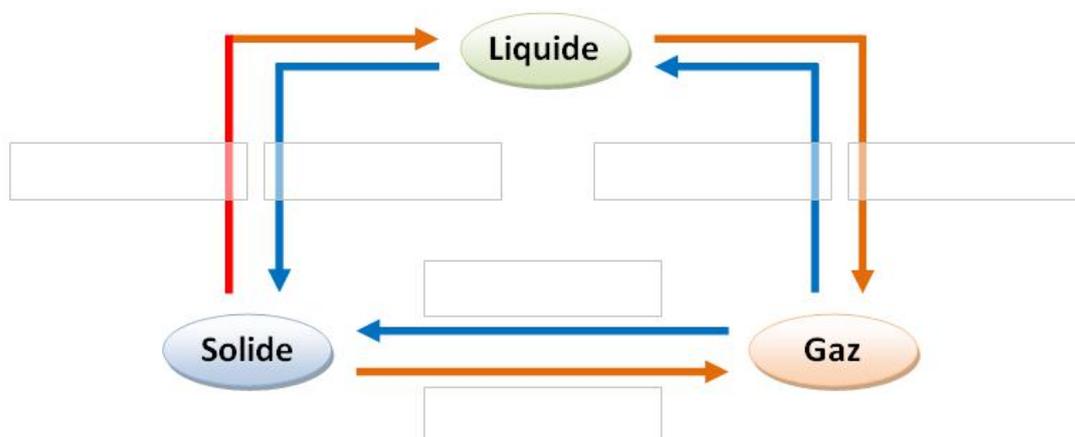
- Mesurer des températures
- Exprimer et calculer la variation d'énergie interne d'un solide ou d'un liquide lors d'une variation de température.
- Définir et exploiter la capacité thermique massique et l'énergie massique de changement d'état d'une espèce chimique.
- Prévoir le sens d'un transfert thermique entre deux systèmes pour déterminer leur état final.
- Réaliser expérimentalement le bilan thermique d'une enceinte en régime stationnaire.

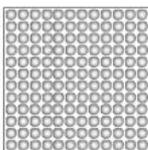
Rappels

Nous connaissons la matière sous trois états physiques principalement : états solide, liquide et gazeux. On trouve également des états plus « exotiques » comme les plasmas, les cristaux liquide, etc.

Un changement d'état est une transformation physique par laquelle un corps passe d'un état physique à un autre. Un changement d'état se fait à température et pression constantes pour un corps pur (ne contenant qu'une seule espèce chimique). À la température de transition, les deux états physiques peuvent coexister.

Compléter les deux documents suivants :



État physique	Solide	Liquide	Gaz
Arrangement des particules	 Compact ordonné		

Mesure d'une énergie de changement d'état

- **Peser** le calorimètre vide avec tous ses accessoires.
- **Verser**, dans le calorimètre, une masse $m_{eau} = 200$ g d'eau à température ambiante. **Placer** le couvercle et le thermomètre ;
- **Agiter** quelques instants puis attendre que la température de l'eau dans le calorimètre se stabilise. **Noter** la valeur θ_{init} de la température atteinte ;
- **Prendre** les 3 ou 4 glaçons à la température de $\theta_{fus} = 0^\circ\text{C}$, puis, très rapidement, **mesurer** leur masse, qu'on notera $m_{glacons}$, et les introduire immédiatement dans le calorimètre ;
- **Agiter** le mélange de temps en temps et **relever**, pendant 20 minutes, la température du mélange : d'abord toutes les 20 s (pendant les 5 premières minutes) puis toutes les minutes. **Reporter** ces valeurs dans un tableau ; noter la valeur θ_{min} de la température la plus basse atteinte par le mélange ;
- **Noter**, au bout de 20 min (fin de l'expérience), la valeur θ_{finale} de la température atteinte par le mélange.

FIGURE 1 – *Protocole expérimental*

1. **Réaliser** l'expérience.
2. À l'aide d'un tableur-grapheur, **tracer** la courbe représentant l'évolution de la température du mélange (eau + glaçons) en fonction du temps : $\theta = f(t)$.
3. Décrire rapidement le déroulement de l'expérience (transformations) à l'intérieur du calorimètre.
4. Rechercher les définitions de la capacité thermique, de la capacité thermique massique et de la chaleur latente massique de changement d'état d'un corps.
5. **Commenter** la forme de la courbe $\theta = f(t)$.
6. **Donner** l'expression puis **calculer** la valeur de l'énergie fournie par les 200 g d'eau (initialement présents dans le calorimètre) entre le début de l'expérience et l'instant où la température du mélange prend la valeur θ_{min} .
7. **Donner** l'expression puis **calculer** la valeur de l'énergie fournie par le calorimètre (initialement présents dans le calorimètre) entre le début de l'expérience et l'instant où la température du mélange prend la valeur θ_{min} .
8. **Donner** l'expression de l'énergie nécessaire pour la fusion des glaçons.
9. **Donner** l'expression puis **calculer** l'énergie reçue par l'eau formée par les glaçons entre la fin de la fusion et l'instant où la température du mélange atteint θ_{min} .
10. En considérant que l'énergie se conserve, et en supposant que les transferts thermiques entre l'extérieur et le calorimètre sont négligeables, **déterminer** la valeur de l'énergie thermique massique de fusion de la glace, L_{fus} , en J.g^{-1} puis en J.kg^{-1} .
11. **Commenter** la valeur de la température θ_{finale} .
12. La valeur théorique de l'énergie thermique massique (ou chaleur latente massique) de fusion de la glace est $L_{fus} = 3,3 \times 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$. **Calculer** l'écart relatif (en %) entre la valeur théorique et la valeur expérimentale. **Commenter** le résultat et proposer une amélioration de la précision.

Remarque : Pour comparer une valeur expérimentale à une valeur théorique ou tabulée, on calcule l'écart relatif :

$$\varepsilon = \left| \frac{\text{Valeur expérimentale} - \text{Valeur théorique}}{\text{Valeur théorique}} \right| \quad (5)$$

Donnée : $c_{eau} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; pour c_{cal} on prendra celle trouvée lors de l'activité 2.

5. Exercices

Exercice 1

1. **Déterminer** l'énergie nécessaire pour amener 3,0 L ($m = 3,0$ kg) d'eau de 20°C à 90°C .
2. Une maman souhaite refroidir 300 mL ($m = 309$ g) de lait destiné à son bébé, à 37°C , chauffé de manière excessive à 70°C en posant le bol dans un réfrigérateur de puissance 150 W. **Déterminer** l'énergie échangée lors de ce transfert thermique. Quel est le signe de Q ?
3. Un morceau de plomb ($m = 120$ kg) est amené de la température de $25,0^\circ\text{C}$ à celle de 230°C . Quelle est l'énergie nécessaire pour cette augmentation de la température ?

Données : Capacités thermiques massiques

$$c_{eau} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; c_{lait} = 3800 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; c_{plomb} = 129 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Exercice 2

1. Quelle est l'énergie nécessaire pour transformer $m = 50,0$ g de glace en eau ?
2. Quelle est l'énergie cédée par $m = 0,250$ kg de fer lorsqu'il se solidifie ?
3. Quelle est l'énergie nécessaire à la vaporisation de $m = 2,5$ g d'hélium ?

Données : Énergies massiques de changement d'état

$$L_{fusion}(eau) = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}; L_{fusion}(fer) = 0,247 \text{ kJ.g}^{-1}; L_{vaporisation}(helium) = 20 \text{ J.g}^{-1}$$

Exercice 3

On sort un glaçon de masse $m = 20$ g du congélateur. Il est à une température $\theta_i = -18^\circ\text{C}$. On le laisse à température ambiante, c'est à dire à $\theta_f = 20^\circ\text{C}$.

1. Quelle est l'énergie nécessaire Q_1 pour amener le glaçon à une température de 0°C ?
2. Quelle est l'énergie nécessaire L pour que la glace se transforme en eau ?
3. Quelle est l'énergie nécessaire Q_2 pour que la température de l'eau s'élève jusqu'à 20°C ?
4. **En déduire** l'énergie Q pour que le glaçon passe de la température -18°C à de l'eau à 20°C .

Données :

$$\text{Capacités thermiques massiques } c_{eau} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; \text{ Énergie massique de changement d'état } L_{fusion}(eau) = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Exercice 4

Dans une centrale nucléaire, il est nécessaire de refroidir l'eau du circuit secondaire afin d'évacuer la part d'énergie thermique qui n'a pas été transformée en énergie mécanique puis électrique. Pour cela on prélève l'eau des rivières ou des fleuves.

La température de la vapeur d'eau dans le circuit secondaire est de 130°C . Cette température est abaissée à 60°C . On souhaite calculer la masse m d'eau provenant de la rivière nécessaire pour refroidir 1 kg de vapeur d'eau sachant que l'eau de rivière est à 13°C .

1. **Calculer** l'énergie nécessaire pour abaisser la température d'un kilogramme d'eau vapeur de 130°C à 60°C .
2. **Exprimer** l'énergie reçue par l'eau de la rivière en fonction de m .
3. **En déduire** la masse m d'eau.

Données :

$$\text{Capacités thermiques massiques } c_{eau}(liquide) = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; c_{eau}(gaz) = 1850 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; \text{ Énergie massique de changement d'état } L_{vaporisation}(eau) = 2260 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Exercice 5

Après une période d'absence en hiver, l'air intérieur dans une maison peut descendre jusqu'à $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Au retour, le chauffage est mis pour retrouver une température d'environ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

On considère une maison de surface au sol 43 m^2 et de hauteur sous plafond $2,3\text{ m}$. On donne les données suivantes pour l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et $c_{\text{air}} = 1004\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

1. **Déterminer** la variation d'énergie interne de l'air de la maison passant de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Combien de temps au minimum faudra-t-il pour réchauffer l'appartement avec un radiateur d'une puissance de 900 W .
3. Pourquoi parle-t-on d'un temps minimum dans la question précédente ?

Exercice 6

Une plaque d'aluminium d'épaisseur constante $e = 0,50\text{ }\mu\text{m}$, dont la température initiale est $T_0 = 293\text{ K}$, est déposée horizontalement sur un matériau thermiquement isolant. Elle reçoit, perpendiculairement à sa surface, un faisceau laser homogène de section d'aire $s = 0,20 \times 10^{-6}\text{ m}^2$ et de puissance moyenne P .

On suppose que toute l'énergie du faisceau incident est absorbée par le cylindre d'aluminium d'épaisseur e , de même section s que celle du faisceau et que la température de ce cylindre est uniforme à chaque instant.

1. Quel est le mode de transfert thermique s'effectuant entre le faisceau laser et l'aluminium ?
2. **Montrer** que la masse du cylindre d'aluminium qui reçoit le faisceau vaut $m = 2,70 \times 10^{-10}\text{ kg}$.
3. Quels sont les changements d'état que subit l'aluminium durant le découpage laser ?
4. **Calculer** l'énergie nécessaire pour transformer le cylindre d'aluminium solide en aluminium vapeur.
5. Pour vaporiser le cylindre d'aluminium, il faut une durée $\Delta t = 1,00\text{ ms}$. **Calculer** la puissance P du faisceau laser.

Données :

- Température de fusion : $T_{fus} = 933\text{ K}$
- Température de vaporisation : $T_{vap} = 2740\text{ K}$
- Énergie massique de fusion à 933 K : $L_{fus} = 397\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Énergie massique de vaporisation à 2740 K : $L_{vap} = 10500\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Capacité thermique massique du solide : $c_s = 900\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique du liquide : $c_l = 1090\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Masse volumique du solide : $\rho = 2699\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$