

Les changements d'état de la matière

Support pédagogique complet · Physique-Chimie · Lycée

Ce support couvre l'intégralité du programme relatif aux changements d'état : théorie illustrée, vision microscopique, diagramme de phases, applications dans la vie courante et exercices de calcul entièrement résolus avec commentaires.

1. Les états de la matière et leurs transformations

État	Arrangement des particules	Forme / Volume
Solide	Réseau cristallin ordonné ; vibrations autour de positions fixes	Fixes
Liquide	Proches mais mobiles ; ordre local à court terme seulement	Volume fixe, forme variable
Gazeux	Très éloignées, mouvements chaotiques et indépendants	Variables

Les six transformations et leurs noms

Transformation	Nom	Énergie
Solide → Liquide	Fusion	Absorbée (+ Q)
Liquide → Solide	Solidification	Dégagée (− Q)
Liquide → Gazeux	Vaporisation / Ébullition	Absorbée (+ Q)
Gazeux → Liquide	Condensation	Dégagée (− Q)
Solide → Gazeux	Sublimation	Absorbée (+ Q)
Gazeux → Solide	Condensation solide	Dégagée (− Q)

Principe fondamental — Conservation de l'énergie

L'énergie nécessaire à un changement d'état doit toujours provenir de quelque part. Lorsqu'on plonge des glaçons dans une boisson, l'énergie est transférée de la boisson vers la glace — la boisson se refroidit en conséquence.

2. La chaleur latente

Lors d'un changement d'état, la température de la substance **ne varie pas**, même si on lui apporte ou retire de la chaleur. L'énergie est utilisée pour modifier les liaisons entre particules, et non pour augmenter leur énergie cinétique (= la température).

Convention de notation

- **Chaleur latente totale** (pour une masse m) : symboles L_f (fusion) et L_v (vaporisation) — en majuscules.
- **Chaleur latente massique** (par kilogramme) : symboles l_f et l_v — en minuscules. Relation :

$$L_f = m \cdot l_f.$$

- **Température** : t en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) ; T uniquement pour la température thermodynamique en kelvins (K).
- **Capacité thermique totale** du récipient : symbole C (en J/K).

$$L_f = m \cdot l_f$$

Fusion / Solidification

L_f : chaleur latente totale [J]

m : masse [kg]

l_f : chaleur latente massique de fusion [J/kg]

$$L_v = m \cdot l_v$$

Vaporisation / Condensation

L_v : chaleur latente totale [J]

m : masse [kg]

l_v : chaleur latente massique de vaporisation [J/kg]

Valeurs numériques importantes pour l'eau

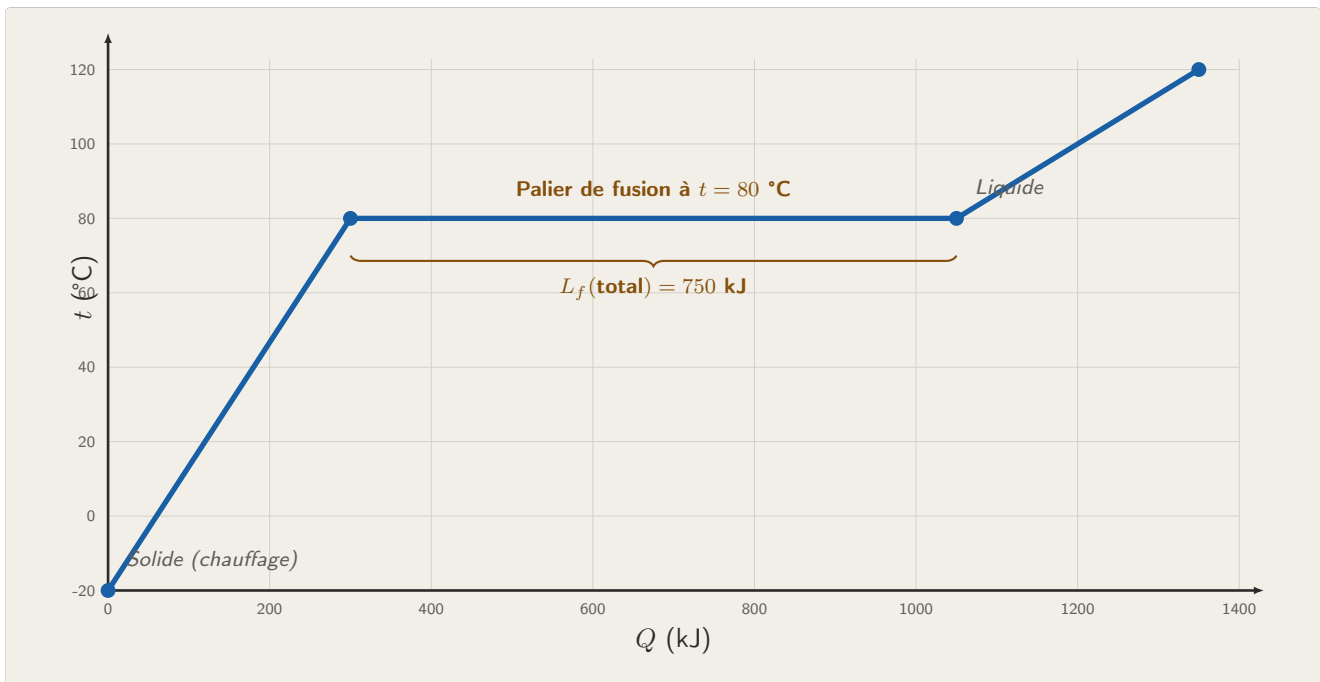
Grandeur	Symbole	Valeur
Température de fusion / solidification	t_f	0 $^{\circ}\text{C}$ (pression normale)
Température d'ébullition	$t_{\text{éb}}$	100 $^{\circ}\text{C}$ (pression normale)
Chaleur latente massique de fusion de la glace	l_f	334 kJ/kg
Chaleur latente massique de vaporisation de l'eau	l_v	2 260 kJ/kg
Capacité thermique massique de la glace	c_{gl}	2 100 J/(kg·K)
Capacité thermique massique de l'eau liquide	c_{eau}	4 180 J/(kg·K)

Attention !

La chaleur latente massique de vaporisation de l'eau ($l_v = 2\,260$ kJ/kg) est environ **6,8 fois plus grande** que la chaleur latente massique de fusion ($l_f = 334$ kJ/kg). C'est pourquoi une brûlure par la vapeur d'eau est si dangereuse : en se condensant sur la peau, la vapeur libère une quantité d'énergie considérable, bien supérieure à celle libérée par l'eau liquide à la même température initiale.

3. Graphique de chauffage d'un corps cristallin

Le graphique $t = f(Q)$ d'un corps cristallin présente des **paliers horizontaux** qui correspondent aux changements d'état. Ces paliers sont la signature visuelle de la chaleur latente. (Graphique issu du questionnaire : $m = 2,5$ kg d'une substance cristalline inconnue.)



Lecture : palier de fusion entre $Q = 300 \text{ kJ}$ et $Q = 1050 \text{ kJ}$, à $t = 80 \text{ °C}$.

Comment lire ce graphique ?

- 1 **Segment 1 ($Q : 0 \rightarrow 300 \text{ kJ}$)**
La température t monte de -20 °C à 80 °C . La substance est à l'état **solide** et se réchauffe. La pente est liée à la capacité thermique massique de la phase solide.
- 2 **Segment 2 ($Q : 300 \rightarrow 1050 \text{ kJ}$) — FUSION (palier)**
La température reste **constante** à $t = 80 \text{ °C}$ malgré l'apport d'énergie. L'énergie rompt les liaisons du réseau cristallin (énergie potentielle \uparrow) sans augmenter l'énergie cinétique. La longueur du palier donne la chaleur latente totale : $L_f(\text{total}) = 1050 - 300 = 750 \text{ kJ}$.
- 3 **Segment 3 ($Q : 1050 \rightarrow 1350 \text{ kJ}$)**
La température t monte de 80 °C à 120 °C . La substance est à l'état **liquide**. La pente différente traduit la capacité thermique massique différente du liquide.

Calcul de la chaleur latente massique de fusion : $l_f = L_f(\text{total})/m = 750\,000 \text{ J}/2,5 \text{ kg} = 300 \text{ kJ/kg}$

4. Vision microscopique — que se passe-t-il au niveau des particules ?

Fusion

L'énergie fournie n'augmente **pas l'énergie cinétique** (donc pas la température t), mais l'**énergie potentielle** en rompant les liaisons du réseau cristallin. t reste constante ($= t_f$) jusqu'à transformation complète.

Évaporation en surface

Distribution de Maxwell-Boltzmann des vitesses : seules les molécules les plus rapides en surface possèdent assez d'énergie cinétique pour quitter le liquide. L'énergie cinétique moyenne des molécules restantes diminue \rightarrow **le liquide se refroidit**.

Ébullition

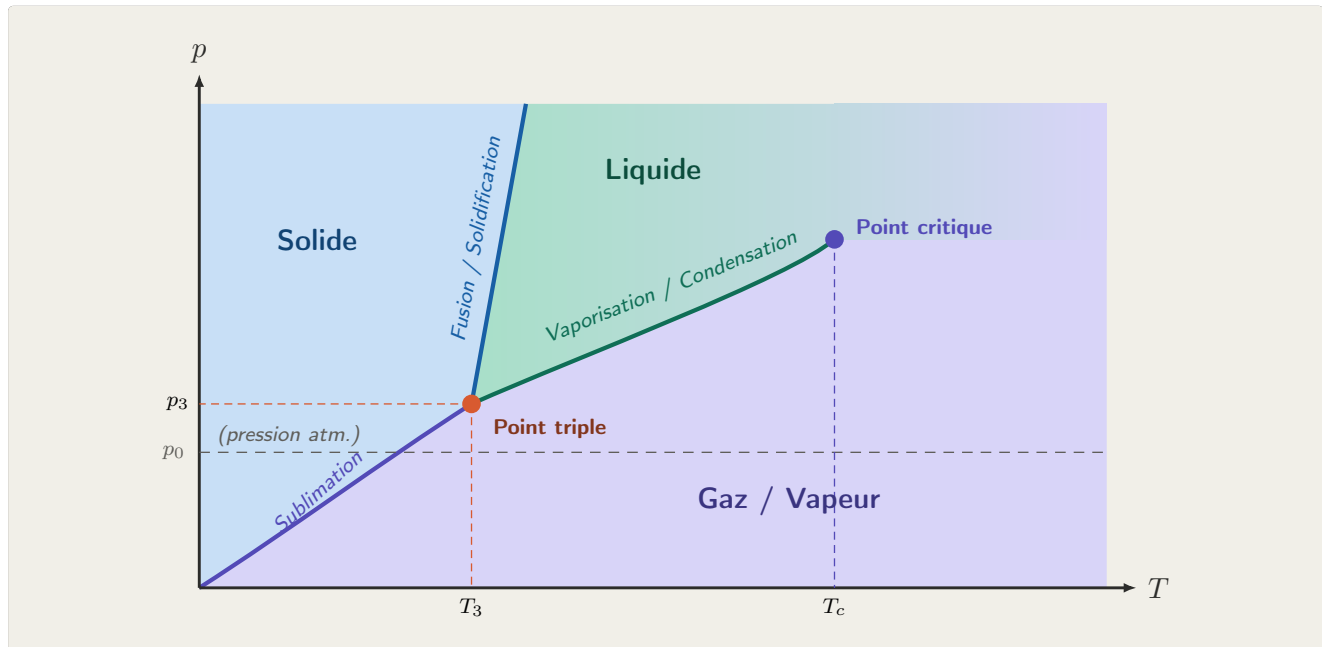
À la température d'ébullition, la **pression de vapeur saturante** égale la pression extérieure. Des bulles de vapeur se forment dans tout le volume, grossissent et remontent. $t_{éb}$ dépend de la pression atmosphérique : basse pression $\rightarrow t_{éb}$ basse.

Facteurs influençant la vitesse d'évaporation

Facteur	Effet	Explication
Température t	$\uparrow t \rightarrow$ évaporation plus rapide	Plus de molécules dépassent le seuil d'énergie nécessaire
Surface libre	\uparrow surface \rightarrow plus rapide	Plus de points d'évasion par unité de temps
Courant d'air (vent)	\uparrow vent \rightarrow plus rapide	Éloigne les vapeurs saturantes, réduit la condensation en retour
Humidité de l'air	Air sec \rightarrow plus rapide	Gradient de concentration de vapeur plus important
Nature du liquide	Liquides volatils \rightarrow plus vite	Interactions intermoléculaires plus faibles
Pression	\downarrow pression \rightarrow plus rapide	Moins de molécules gazeuses au-dessus de la surface

5. Le diagramme de phases (diagramme $p-t$)

Le diagramme de phases indique dans quel état se trouve une substance pour une pression et une température données. Il comporte trois courbes délimitant les domaines d'existence de chaque état, un **point triple** et un **point critique**.



Point triple

Unique point où les trois états coexistent **simultanément en équilibre**. Pour l'eau : $t_3 = 0,01 \text{ °C}$, $p_3 = 611 \text{ Pa}$.

Point critique

Au-delà, la distinction liquide/gaz disparaît → **fluide supercritique**. Pour l'eau : $t_c = 374 \text{ °C}$, $p_c = 22,1 \text{ MPa}$.

La lyophilisation — application du diagramme de phases

La lyophilisation exploite la sublimation pour sécher des aliments et des médicaments sans les dégrader thermiquement :

1. L'aliment est congelé (la glace stabilise la structure cellulaire).
2. La pression est abaissée sous le point triple de l'eau (vide, $p < 611 \text{ Pa}$).
3. La glace sublime directement en vapeur — sans passer par l'état liquide.
4. Résultat : aliment sec, dont la couleur, le goût, les vitamines et la texture sont préservés.

Exemples : café soluble lyophilisé, fruits dans le muesli, rations de montagne, médicaments.

6. Les changements d'état dans la vie courante

Sensation de froid après la baignade

L'eau sur la peau s'évapore. La chaleur latente massique de vaporisation ($l_v = 2\,260$ kJ/kg) est prélevée sur la peau → refroidissement de la peau. Le vent accélère l'évaporation en éloignant la vapeur saturante.

Glaçons dans une boisson

La glace fond en absorbant $l_f = 334$ kJ/kg depuis la boisson → la boisson se refroidit. Les glaçons sont plus efficaces qu'une même masse d'eau très froide car ils absorbent davantage d'énergie lors de la fusion.

Transpiration lors d'un effort physique

Le corps produit de la sueur qui s'évapore à la surface de la peau. La chaleur latente de vaporisation emporte l'excès de chaleur et prévient l'hyperthermie. La régulation de la température corporelle est un phénomène thermodynamique.

Brûlure par la vapeur d'eau à $t = 100$ °C

La vapeur en se condensant libère $l_v \approx 2\,260$ kJ/kg, tandis que l'eau liquide en refroidissant de $t = 100$ °C à $t = 37$ °C ne libère que ≈ 263 kJ/kg. La vapeur cède environ **8,6 fois plus d'énergie** à la peau — d'où la gravité des brûlures par la vapeur.

Cycle de l'eau et météorologie

Évaporation des océans → condensation en altitude (nuages) → précipitations (pluie, neige). La condensation libère de la chaleur latente, qui alimente l'énergie des orages et des ouragans.

Cuisson en altitude

En altitude, la pression atmosphérique est plus faible → l'eau bout en dessous de $t = 100$ °C (ex. à 5 000 m d'altitude : $t_{éb} \approx 83$ °C). Les aliments mettent plus longtemps à cuire car la température plus basse ralentit les réactions chimiques.

7. Exercices résolus — Calculs thermiques

Les quatre exercices ci-dessous illustrent les différentes situations rencontrées lors des changements d'état. Les données numériques ont été modifiées par rapport au questionnaire original. Chaque solution est détaillée étape par étape avec commentaires pédagogiques et une phrase-réponse finale.

Exercice 1 — Fusion de glace dans de l'eau

Un récipient de capacité thermique totale $C = 120 \text{ J/K}$ contient $m_{\text{eau}} = 1,5 \text{ kg}$ d'eau liquide à la température $t_{\text{eau}} = 25 \text{ °C}$. On y plonge un glaçon de masse $m_{\text{gl}} = 0,4 \text{ kg}$ à la température initiale $t_{\text{gl}} = -8 \text{ °C}$. Le système est thermiquement isolé de l'extérieur. La glace fond-elle entièrement ? Si oui, quelle est la température finale du système ? Si non, quelle masse de glace reste non fondue ?

$C = 120 \text{ J/K}$	$m_{\text{eau}} = 1,5 \text{ kg}$
$t_{\text{eau}} = 25 \text{ °C}$	$m_{\text{gl}} = 0,4 \text{ kg}$
$t_{\text{gl}} = -8 \text{ °C}$	$c_{\text{gl}} = 2100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
$c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$	$l_f = 334000 \text{ J/kg}$

Solution

1 Énergie disponible (eau + récipient se refroidissant jusqu'à 0 °C) :

$$Q_{\text{disp}} = (m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} + C) \cdot (t_{\text{eau}} - 0)$$

$$Q_{\text{disp}} = (1,5 \times 4180 + 120) \times 25 = 6390 \times 25 = 159750 \text{ J}$$

On calcule la chaleur maximale que peut céder le système en se refroidissant jusqu'à 0 °C . Cette valeur sert de référence pour la comparaison.

2 Énergie pour réchauffer la glace de -8 °C à 0 °C :

$$Q_{\text{chauf}} = m_{\text{gl}} \cdot c_{\text{gl}} \cdot \Delta t = 0,4 \times 2100 \times 8 = 6720 \text{ J}$$

$\Delta t = 0 - (-8) = 8 \text{ K}$. Avant de fondre, la glace doit d'abord atteindre 0 °C .

3 Énergie pour fondre toute la glace à 0 °C :

$$L_f = m_{\text{gl}} \cdot l_f = 0,4 \times 334000 = 133600 \text{ J}$$

Chaleur latente totale requise pour la transition solide \rightarrow liquide à température constante.

4 Énergie totale requise par la glace :

$$Q_{\text{gl,tot}} = Q_{\text{chauf}} + L_f = 6720 + 133600 = 140320 \text{ J}$$

Somme : réchauffement de la glace solide + fusion.

5 Comparaison :

$$Q_{\text{disp}} = 159750 \text{ J} > Q_{\text{gl,tot}} = 140320 \text{ J}$$

\rightarrow L'énergie disponible est suffisante : toute la glace fond.

L'énergie restante ($159750 - 140320 = 19430 \text{ J}$) réchauffera le mélange au-delà de 0 °C .

6 Température finale t_f :

$$Q_{\text{reste}} = 159750 - 140320 = 19430 \text{ J}$$

$$m_{\text{tot}} = 1,5 + 0,4 = 1,9 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{reste}} = (m_{\text{tot}} \cdot c_{\text{eau}} + C) \cdot t_f$$

$$19430 = (1,9 \times 4180 + 120) \cdot t_f = 8062 \cdot t_f$$

$$t_f = 19430/8062 \approx 2,4 \text{ °C}$$

On répartit l'énergie restante sur toute la masse d'eau (glace fondue incluse) et le récipient.

Réponse : la glace fond entièrement. La température finale du système est $t_f \approx 2,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Exercice 2 — Fonte d'un bloc de glace

Un bloc de glace de masse $m = 3 \text{ kg}$ se trouve initialement à la température $t_i = -5 \text{ °C}$. Quelle quantité de chaleur ce bloc doit-il absorber pour se transformer entièrement en eau liquide à la température $t_f = 15 \text{ °C}$? On négligera les échanges thermiques avec le récipient.

$m = 3 \text{ kg}$	$t_i = -5 \text{ °C}$
$t_f = 15 \text{ °C}$	$c_{\text{gl}} = 2\,100 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$l_f = 334\,000 \text{ J}/\text{kg}$	$c_{\text{eau}} = 4\,180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Solution — La transformation se déroule en trois étapes successives.

A Étape A — Réchauffement de la glace de -5 °C à 0 °C :

$$Q_A = m \cdot c_{\text{gl}} \cdot \Delta t = 3 \times 2\,100 \times 5 = 31\,500 \text{ J}$$

$\Delta t = 0 - (-5) = 5 \text{ K}$. La glace reste solide tout au long de cette étape.

B Étape B — Fusion de la glace à 0 °C :

$$L_f = m \cdot l_f = 3 \times 334\,000 = 1\,002\,000 \text{ J}$$

t reste fixée à 0 °C . Toute l'énergie absorbée sert à rompre les liaisons du réseau cristallin. Cette étape représente $\sim 82 \%$ de l'énergie totale.

C Étape C — Réchauffement de l'eau liquide de 0 °C à 15 °C :

$$Q_C = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta t = 3 \times 4\,180 \times 15 = 188\,100 \text{ J}$$

$\Delta t = 15 \text{ K}$. On utilise maintenant c_{eau} , différente de c_{gl} .

D Chaleur totale :

$$Q_{\text{tot}} = Q_A + L_f + Q_C = 31\,500 + 1\,002\,000 + 188\,100 = 1\,221\,600 \text{ J} \approx 1,22 \text{ MJ}$$

La fusion ($L_f = 1\,002\,000 \text{ J}$) représente $\sim 82 \%$ du total : importance des chaleurs latentes.

Réponse : le bloc de glace doit absorber $Q_{\text{tot}} \approx 1\,221\,600 \text{ J} \approx 1,22 \text{ MJ}$ pour se transformer entièrement en eau à $t_f = 15 \text{ °C}$.

Exercice 3 — Calorimètre avec changement d'état

Un calorimètre en cuivre de masse $m_{\text{Cu}} = 0,15 \text{ kg}$ contient $m_{\text{eau}} = 0,8 \text{ kg}$ d'eau liquide à $t_{\text{eau}} = 75 \text{ °C}$. On y plonge simultanément un objet en aluminium de masse $m_{\text{Al}} = 0,3 \text{ kg}$ à $t_{\text{Al}} = 25 \text{ °C}$ et on ajoute $m_{\text{gl}} = 0,12 \text{ kg}$ de glace pilée à $t_{\text{gl}} = 0 \text{ °C}$. Déterminer la température d'équilibre thermique t du système.

$m_{\text{Cu}} = 0,15 \text{ kg}$	$m_{\text{eau}} = 0,8 \text{ kg}, t = 75 \text{ °C}$
$m_{\text{Al}} = 0,3 \text{ kg}, t = 25 \text{ °C}$	$m_{\text{gl}} = 0,12 \text{ kg}, t = 0 \text{ °C}$
$c_{\text{Cu}} = 383 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$c_{\text{Al}} = 896 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$l_f = 334\,000 \text{ J}/\text{kg}$	$c_{\text{eau}} = 4\,180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Solution

1 Vérification préalable : la glace fond-elle entièrement ?

$$Q_{\text{max}} = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot 75 + m_{\text{Cu}} \cdot c_{\text{Cu}} \cdot 75$$

$$Q_{\text{max}} = 0,8 \times 4\,180 \times 75 + 0,15 \times 383 \times 75 = 250\,800 + 4\,309 = 255\,109 \text{ J}$$

$$L_f(\text{gl}) = m_{\text{gl}} \cdot l_f = 0,12 \times 334\,000 = 40\,080 \text{ J}$$

$255\,109 \text{ J} \gg 40\,080 \text{ J} \rightarrow$ la glace fond entièrement.

Vérification indispensable. Si la glace ne fondait pas entièrement, $t_f = 0 \text{ °C}$ et on calculerait la masse fondue. Ici l'énergie disponible est très largement suffisante.

2 Équation calorimétrique (chaleur cédée = chaleur reçue) :

Chaleur cédée (eau chaude + calorimètre Cu de t_{eau} à t) :

$$(m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} + m_{\text{Cu}} \cdot c_{\text{Cu}}) \cdot (75 - t)$$

$$= (0,8 \times 4\,180 + 0,15 \times 383) \cdot (75 - t) = (3\,344 + 57,45) \cdot (75 - t) = 3\,401,45 \cdot (75 - t)$$

Chaleur reçue (glace fond + eau de fonte + Al se réchauffe) :

$$m_{\text{gl}} \cdot l_f + m_{\text{gl}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot t + m_{\text{Al}} \cdot c_{\text{Al}} \cdot (t - 25)$$

$$= 40\,080 + 501,6 \cdot t + 268,8 \cdot (t - 25) = 33\,360 + 770,4 \cdot t$$

Côté gauche : éléments chauds qui cèdent. Côté droit : éléments froids qui reçoivent. L'aluminium (à 25 °C) et l'eau de fonte (depuis 0 °C) se réchauffent jusqu'à t .

3 Résolution :

$$3\,401,45 \cdot (75 - t) = 33\,360 + 770,4 \cdot t$$

$$255\,109 - 3\,401,45 \cdot t = 33\,360 + 770,4 \cdot t$$

$$221\,749 = 4\,171,85 \cdot t$$

$$t \approx 221\,749 / 4\,171,85 \approx 53,2 \text{ °C}$$

Le résultat $t \approx 53,2 \text{ °C}$ est bien compris entre 0 °C et $75 \text{ °C} \rightarrow$ physiquement cohérent.

Réponse : la température d'équilibre thermique du système est $t \approx 53,2 \text{ °C}$.

Exercice 4 — Résistance chauffante et rendement

Une résistance chauffante de puissance nominale $P = 1500 \text{ W}$ et de rendement $\eta = 70 \%$ est placée dans un récipient contenant $m = 1,2 \text{ kg}$ de glace à la température initiale $t_i = -20 \text{ °C}$. Au bout de combien de temps toute la glace sera-t-elle transformée en vapeur d'eau à $t_f = 100 \text{ °C}$?

$P = 1500 \text{ W}$	$\eta = 70 \% = 0,70$
$m = 1,2 \text{ kg}$	$t_i = -20 \text{ °C}$
$t_f = 100 \text{ °C}$ (vapeur)	$c_{\text{gl}} = 2100 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$l_f = 334\,000 \text{ J/kg}$	$c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$l_v = 2\,260\,000 \text{ J/kg}$	

Solution — Quatre étapes successives.

A **Étape A — Réchauffement de la glace de -20 °C à 0 °C :**

$$Q_A = m \cdot c_{\text{gl}} \cdot \Delta t = 1,2 \times 2100 \times 20 = 50\,400 \text{ J}$$

$\Delta t = 20 \text{ K}$. La glace se réchauffe en restant solide.

B **Étape B — Fusion totale de la glace à 0 °C :**

$$L_f = m \cdot l_f = 1,2 \times 334\,000 = 400\,800 \text{ J}$$

Palier sur le graphique $t = f(\text{temps})$: t reste à 0 °C pendant toute la fusion.

C **Étape C — Réchauffement de l'eau liquide de 0 °C à 100 °C :**

$$Q_C = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta t = 1,2 \times 4180 \times 100 = 501\,600 \text{ J}$$

$\Delta t = 100 \text{ K}$. La forte valeur de c_{eau} ($4180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) explique la quantité d'énergie requise.

D **Étape D — Vaporisation totale de l'eau à 100 °C :**

$$L_v = m \cdot l_v = 1,2 \times 2\,260\,000 = 2\,712\,000 \text{ J}$$

La vaporisation est l'étape la plus coûteuse ($\sim 74 \%$ du total). C'est pourquoi vaporiser de l'eau demande bien plus d'énergie que la porter à ébullition.

E **Énergie totale requise :**

$$Q_{\text{tot}} = Q_A + L_f + Q_C + L_v = 50\,400 + 400\,800 + 501\,600 + 2\,712\,000 = 3\,664\,800 \text{ J}$$

C'est l'énergie thermique utile que la glace doit effectivement recevoir.

F **Puissance utile de la résistance :**

$$P_{\text{utile}} = \eta \cdot P = 0,70 \times 1500 = 1\,050 \text{ W}$$

$\eta = 70 \%$: 30% de la puissance électrique est perdue (rayonnement, conduction...).

G **Durée totale :**

$$Q = P_{\text{utile}} \cdot \tau \implies \tau = Q_{\text{tot}}/P_{\text{utile}}$$

$$\tau = 3\,664\,800/1\,050 \approx 3\,490 \text{ s} \approx 58 \text{ min } 10 \text{ s}$$

Vérification dimensionnelle : $[J] / [W] = [J] / [J\cdot s^{-1}] = [s] \checkmark$

Réponse : il faut environ $\tau \approx 3\,490 \text{ s}$, soit environ 58 minutes, pour que toute la glace se transforme en vapeur d'eau à $t_f = 100 \text{ °C}$.

8. Récapitulatif — Formules et méthode de calcul

Situation	Formule	Remarque
Chauffage/refroidissement (sans changement d'état)	$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$	c : capacité thermique massique de la phase considérée
Fusion / Solidification ($t =$ constante)	$L_f = m \cdot l_f$	l_f (eau) = 334 kJ/kg
Vaporisation / Condensation ($t =$ constante)	$L_v = m \cdot l_v$	l_v (eau) = 2 260 kJ/kg
Énergie délivrée par un appareil électrique	$Q = \eta \cdot P \cdot \tau$	η : rendement, P : puissance [W], τ : durée [s]

Méthode générale pour les problèmes de calorimétrie

- Inventorier tous les corps du système**
Identifier pour chacun : masse, température initiale, état (solide/liquide/gaz) et rôle (cède ou reçoit de la chaleur).
- Vérifier les changements d'état**
Calculer si l'énergie disponible suffit à provoquer un changement d'état complet ou partiel. Cette étape conditionne la structure de l'équation calorimétrique.
- Appliquer la conservation de l'énergie**
Chaleur cédée = Chaleur reçue. Décomposer chaque terme en contributions sensibles ($Q = m \cdot c \cdot \Delta t$) et latentes ($L = m \cdot l$).
- Résoudre et vérifier**
Vérifier la cohérence physique : t finale dans les bornes attendues, signe correct.

Brûlure par la vapeur — question expert

Pourquoi une brûlure par la vapeur à $t = 100 \text{ °C}$ est-elle beaucoup plus grave qu'une brûlure par l'eau liquide à la même température ?

En se condensant sur la peau, 1 kg de vapeur libère : $l_v = 2\,260 \text{ kJ}$ (chaleur latente) + $c_{\text{eau}} \times (100 - 37) \approx 263 \text{ kJ}$ (chaleur sensible) $\approx 2\,523 \text{ kJ}$ au total. En comparaison, 1 kg d'eau liquide à $t = 100 \text{ °C}$ ne libère en refroidissant jusqu'à $t = 37 \text{ °C}$ que $\approx 263 \text{ kJ}$. La vapeur transmet donc environ **9,6 fois plus d'énergie** à la peau que l'eau liquide à la même température initiale.