

Stockage et transferts

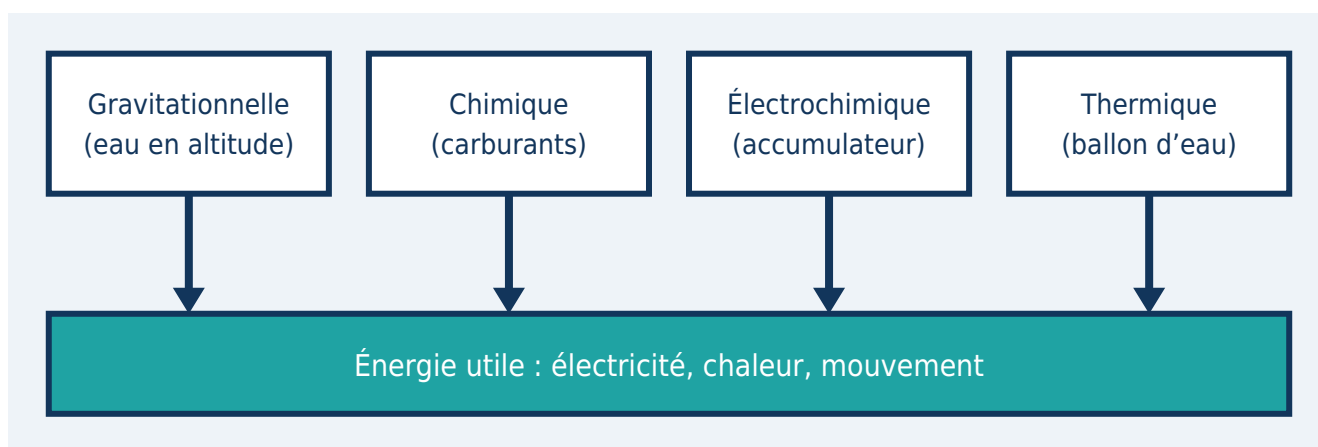
Cours de sciences physiques - niveau 1re

*Un ballon d'eau chaude garde sa chaleur toute la nuit, un accumulateur alimente un téléphone pendant des heures, un barrage sert de réserve d'énergie à un pays entier. Ce chapitre sur le **stockage et les transferts d'énergie** apprend à calculer l'énergie emmagasinée, la façon dont elle se déplace, et la vitesse à laquelle un système la perd.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Stockage et transferts : où et comment stocker l'énergie ?

Stocker de l'énergie, c'est la conserver sous une forme qui pourra être convertie plus tard en énergie utile. Il existe plusieurs formes de stockage, choisies selon la quantité d'énergie, la durée et la rapidité de restitution recherchées.



Quatre formes de stockage de l'énergie, restituée à la demande sous forme utile.

Moyen de stockage	Énergie massique approximative	Remarque
Eau retenue à 300 m de hauteur	$2,9 \times 10^3$ J/kg (0,8 Wh/kg)	Très grandes quantités, réponse rapide
Accumulateur au plomb	$1,3 \times 10^5$ J/kg (35 Wh/kg)	Peu coûteux, lourd
Accumulateur lithium-ion	7×10^5 J/kg (200 Wh/kg)	Léger, rechargeable
Essence	$4,6 \times 10^7$ J/kg (12 800 Wh/kg)	Très dense, mais conversion à faible rendement

DÉFINITION

Un **transfert d'énergie** est un échange d'énergie entre un système et son environnement, par travail, par transfert thermique ou par rayonnement. Un **stockage** est une augmentation de l'énergie d'un système, conservée pour un usage ultérieur.

Énergie interne et capacité thermique

Un corps est constitué d'un très grand nombre de particules en agitation permanente. Son **énergie interne** U est la somme des énergies microscopiques de ces particules (agitation thermique, interactions). Quand on chauffe un corps sans changement d'état, son énergie interne augmente et sa température monte.

FORMULE À RETENIR

$$\Delta U = m \times c \times \Delta T$$

ΔU (ou Q , l'énergie transférée) en joules (J), m en kilogrammes (kg), c capacité thermique massique en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, ΔT en kelvins (K). Un écart de température est identique en kelvins et en degrés Celsius : $1\text{ K} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour un écart.

Substance	$c\text{ (J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$
Eau liquide	4 180
Glace	2 100
Aluminium	900
Cuivre	385

APPLICATION NUMÉRIQUE

On chauffe $m = 2,0\text{ kg}$ d'eau de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. $\Delta T = 50\text{ K}$. $Q = 2,0 \times 4\,180 \times 50 = 418\,000\text{ J} \approx \mathbf{4,2 \times 10^5\text{ J}}$, soit 116 Wh environ.

L'eau possède une capacité thermique massique exceptionnelle : elle stocke beaucoup d'énergie par kilogramme et par kelvin, ce qui explique son usage dans les ballons d'eau chaude et les circuits de chauffage.

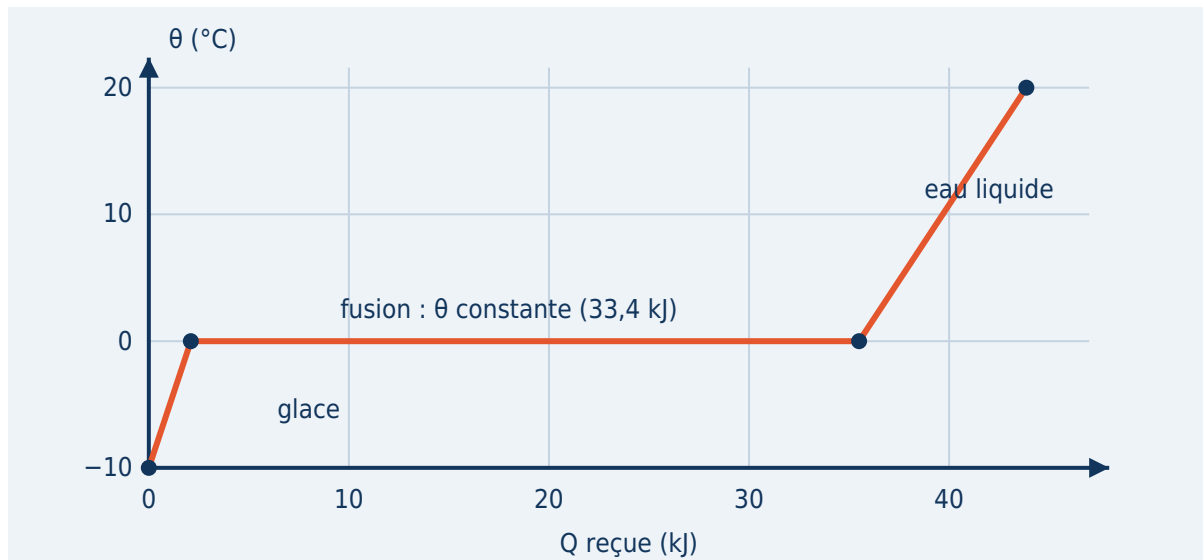
Changement d'état et énergie échangée

Pendant un changement d'état d'un corps pur, la température reste constante alors que le système reçoit ou cède de l'énergie. L'énergie échangée est proportionnelle à la masse qui change d'état.

FORMULE À RETENIR

$$Q = m \times L$$

Q en J, m en kg, L énergie massique de changement d'état en J/kg. Pour l'eau : $L_{\text{fusion}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J/kg}$; $L_{\text{vaporisation}} = 2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$.



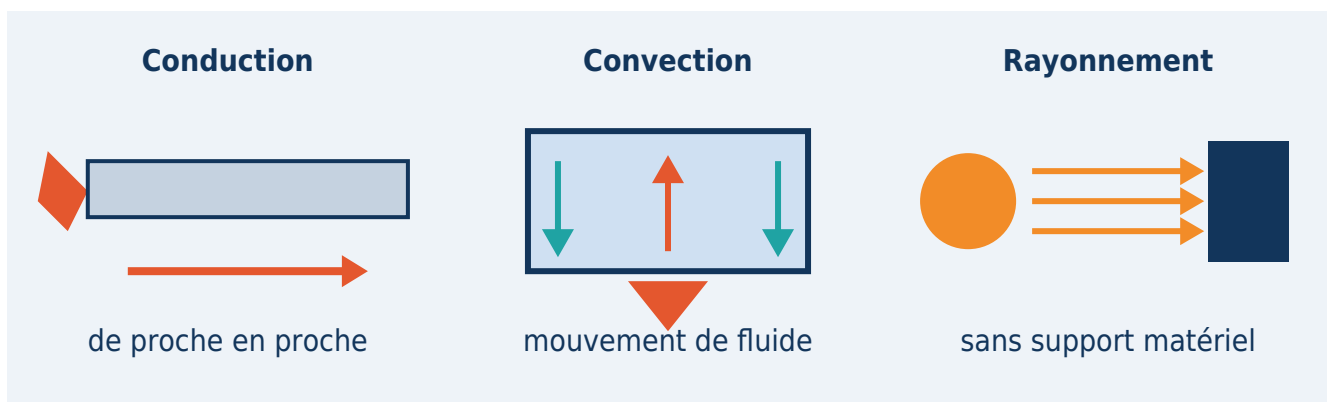
Chauffage de 0,100 kg de glace à -10 °C jusqu'à l'eau liquide à 20 °C : le palier correspond à la fusion.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Pour 0,100 kg de glace : réchauffer de -10 °C à 0 °C demande $0,100 \times 2\,100 \times 10 = 2\,100 \text{ J}$; fondre demande $0,100 \times 3,34 \times 10^5 = 33\,400 \text{ J}$; chauffer l'eau de 0 °C à 20 °C demande $0,100 \times 4\,180 \times 20 = 8\,360 \text{ J}$. Total : **43 860 J $\approx$ 43,9 kJ**.

Les trois modes de transfert thermique

Spontanément, l'énergie se transfère thermiquement du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, jusqu'à l'égalité des températures. Trois mécanismes interviennent.



Conduction, convection et rayonnement : trois façons de transférer de l'énergie thermique.

- **Conduction** : l'agitation se transmet de proche en proche dans un solide, sans déplacement de matière (cuillère dans une soupe chaude).
- **Convection** : dans un fluide, le déplacement de matière transporte l'énergie (l'eau

chaude monte, l'eau froide descend).

- **Rayonnement** : l'énergie est transportée par des ondes électromagnétiques, même dans le vide (lumière du Soleil).

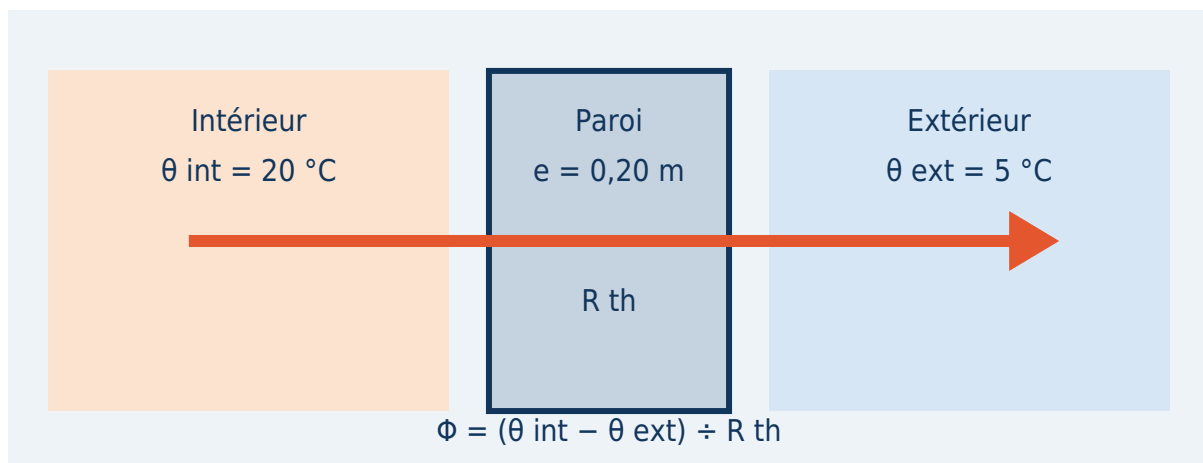
Flux thermique et résistance thermique

La rapidité du transfert se mesure par le **flux thermique** : l'énergie thermique transférée par unité de temps. À travers une paroi séparant deux milieux de températures différentes, le flux dépend de l'écart de température et de la capacité de la paroi à freiner le transfert, caractérisée par sa **résistance thermique**.

FORMULE À RETENIR

$$\Phi = Q \div \Delta t \quad \text{et} \quad \Phi = (\theta_{\text{chaud}} - \theta_{\text{froid}}) \div R_{\text{th}}$$

Φ en watts (W), Q en J, Δt en s, R_{th} en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Pour une paroi plane : $R_{\text{th}} = e \div (\lambda \times S)$, avec e l'épaisseur (m), λ la conductivité thermique ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) et S la surface (m^2).



Le flux thermique traverse la paroi du côté chaud vers le côté froid ; une grande résistance thermique le réduit.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Un mur isolant de $e = 0,20\text{ m}$, de conductivité $\lambda = 0,040\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et de surface $S = 12\text{ m}^2$ a pour résistance $R_{\text{th}} = 0,20 \div (0,040 \times 12) = 0,417\text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$. Pour $\theta_{\text{int}} = 20\text{ °C}$ et $\theta_{\text{ext}} = 5\text{ °C}$: $\Phi = (20 - 5) \div 0,417 = \mathbf{36\text{ W}}$. En 24 h, l'énergie perdue vaut $36 \times 24 = 864\text{ Wh} \approx 0,86\text{ kWh}$.

Stocker de l'énergie électrique et gravitationnelle

Un accumulateur de tension nominale U et de capacité Q (en ampères-heures) stocke l'énergie $E = U \times Q$, exprimée en Wh. Une retenue d'eau de masse m à la hauteur h stocke l'énergie potentielle de pesanteur $E = m \times g \times h$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une batterie de 12 V et de 60 Ah stocke $E = 12 \times 60 = 720 \text{ Wh} = 0,72 \text{ kWh}$. Une retenue d'eau de $1,0 \times 10^6 \text{ kg}$ située 100 m au-dessus de la turbine stocke $E = 1,0 \times 10^6 \times 9,8 \times 100 = 9,8 \times 10^8 \text{ J} \approx 272 \text{ kWh}$.

ERREUR FRÉQUENTE

Il ne faut pas confondre **température** et **énergie interne** : deux corps à 50 °C peuvent stocker des énergies très différentes selon leur masse et leur capacité thermique. De même, la chaleur n'est pas un « contenu » mais un **transfert** d'énergie.

L'essentiel à retenir

- L'énergie se stocke sous forme gravitationnelle, chimique, électrochimique ou thermique ; elle se transfère par travail, transfert thermique ou rayonnement.
- Sans changement d'état : $Q = m \times c \times \Delta T$ ($c_{\text{eau}} = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ; avec changement d'état : $Q = m \times L$, à température constante.
- Le transfert thermique va spontanément du chaud vers le froid par conduction, convection ou rayonnement.
- Flux thermique : $\Phi = Q \div \Delta t = \Delta T \div R_{\text{th}}$ (en W) ; plus R_{th} est grande, plus le flux est faible.
- Stockage : $E = U \times Q$ pour un accumulateur (Wh) et $E = m \times g \times h$ pour l'eau en altitude.