

CH 3 Les transferts et l'isolation thermique**Act 1 p138 : une approche de la notion de transfert thermique****1. Température et transfert thermique****1.1 Température**

La **température** d'un corps est liée à l'**agitation à l'échelle microscopique** des particules constituant ce corps (atomes, molécules ions).

La température d'un corps représente la **grandeur physique macroscopique** associée à cette agitation microscopique.

Elle est associée à l'**énergie interne U** de ce corps, exprimée en **joule de symbole J**.

Plus l'agitation microscopique est importante, plus la température est élevée.

La température se mesure avec un thermomètre.

Elle se note **θ** si elle s'exprime en **°Celsius**, et **T** si elle s'exprime en **Kelvin**, selon la relation :

$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$$

L'échelle du degré Celsius est défini par rapport à l'eau (à pression normale).

L'eau solide fond à 0 °C et boue à 100 °C.

L'échelle de température « **absolue** » est exprimée en Kelvin. C'est l'unité internationale de température. Elle est toujours positive.

Exercice d'application :

Calculer la température de fusion de la glace et d'ébullition de l'eau liquide en degré Kelvin.

Que se passe-t-il lorsque la température est de 0 K, soit au niveau du zéro absolu ?

1.2 Transfert thermique Q

Un **transfert thermique Q** (joule J) s'effectue si l'on met en présence deux corps de températures différentes. Un **équilibre thermique** s'établit au sein du système constitué des deux corps.

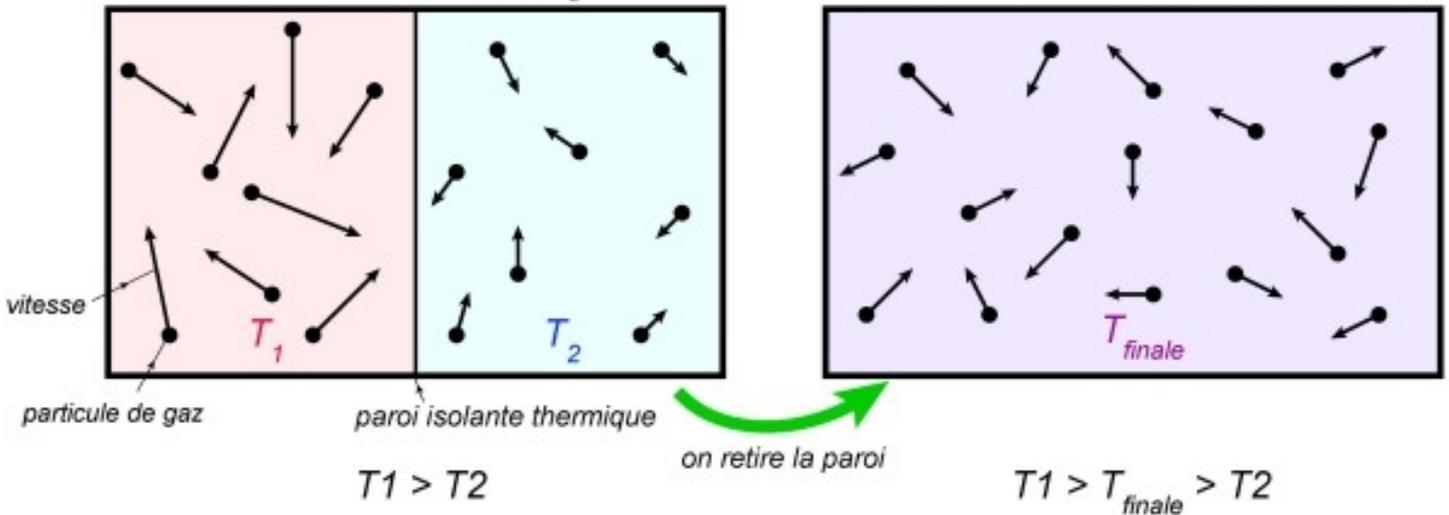
Lorsque l'équilibre est atteint, ces deux corps se retrouvent à une **température intermédiaire identique**.

Ce transfert thermique est **spontané** et **irréversible**.

Exemple du mélange de deux gaz de températures différentes.

Les particules sont plus agitées dans le compartiment chaud, de température T_1 , que dans le froid, de température T_2 .

Par des chocs entre particules rapides et lentes, les vitesses tendent à s'uniformiser au sein de l'enceinte; ce qui mène à un état d'équilibre.



Act. 2 p 139 : Modes de transfert de chaleur

Réponses :

1 : conduction ; 2 : convection ; 3 : rayonnement

2. Modes de transfert de l'énergie interne

L'énergie interne U d'un corps et donc sa température peuvent varier si ce corps subit un transfert thermique.

Ce transfert thermique Q peut se faire selon trois modes.

2.1 La conduction

Le transfert thermique se fait de proche en proche, par contact, dans les milieux matériels.

Ce type de transfert est efficace entre des milieux denses comme les métaux.

A l'inverse, ce type de transfert est plus difficile dans les milieux moins denses comme l'air, la laine ou le polystyrène. C'est pourquoi on les utilise comme isolants thermiques.

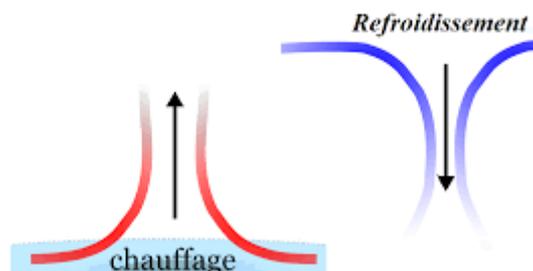


Exemples : une casserole d'eau qui se réchauffe au contact d'une plaque chauffante, la neige qui fond lorsque que l'on y pose une tasse chaude,...

2.2 La convection

La convection est due aux écarts de température entre différentes parties d'un fluide (liquide ou gaz). Le transfert thermique s'accompagne d'un transport de matière.

Le fluide chaud remonte et le fluide froid redescend (car les fluides chauds sont moins denses).



Exemples : le mouvement du magma sous terre, les courants d'air froid/chaud dans l'atmosphère, la « lava lampe »

2.3 Le rayonnement

Un corps chaud émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique caractérisé par un spectre d'émission continu.

Réciproquement, lorsque ce rayonnement est reçu par un corps, il a pour effet d'augmenter la température de ce corps.

Ce mode de transfert thermique se fait sans transport de matière et peut s'établir dans le vide.

Nb : On peut mesurer la température d'un corps via son rayonnement infrarouge.

Exemples : le rayonnement du Soleil qui parvient sur Terre, les parasols chauffants « infrarouge », ...

Exercices : 2, 3, 4 p 157-158

3. Variation d'énergie interne d'un système

3.1 Variation d'énergie interne et transfert thermique

Un corps qui subit un transfert thermique peut :

- **se réchauffer**, sa température augmente.

La variation de température est positive : $\Delta\theta = \theta_{\text{final}} - \theta_{\text{initial}} > 0$

Le transfert thermique Q reçu est compté comme positif : $Q > 0$.

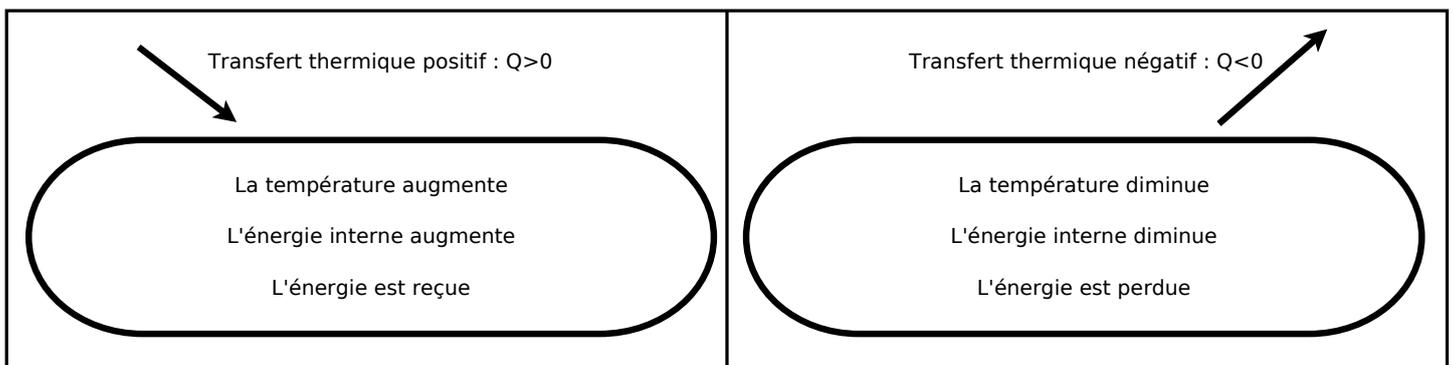
L'énergie interne du corps augmente, l'énergie est stockée.

- **se refroidir**, sa température diminue.

La variation de température est négative : $\Delta\theta = \theta_{\text{final}} - \theta_{\text{initial}} < 0$

Le transfert thermique Q perdu est compté comme négatif : $Q < 0$.

L'énergie interne du corps diminue, l'énergie est perdue.



3.2 Transfert thermique et variation de température

Le transfert thermique Q (ou variation d'énergie interne ΔU) nécessaire pour faire passer un corps de masse m d'une température initiale θ_i à une température finale θ_f , possédant une capacité thermique c , sans qu'il ne subisse de changement d'état est : $Q = \Delta U = m \times c \times (\theta_f - \theta_i) = m \times c \times \Delta \theta$

- m : masse du corps (kg)
- c : capacité thermique massique ($\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ou $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Q : transfert thermique (J)

3.3 Capacité thermique massique

La capacité thermique massique c d'une substance représente l'énergie (J) nécessaire pour permettre l'élévation de 1°C (ou K) d'une masse de 1 kg de cette substance.

Exemple de capacité thermique massique :

Solides	c ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	Liquides	c ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	Gaz	c ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
Eau (glace)	2100	Eau	4180	Eau (vapeur)	1960
Cuivre	385	Éthanol	2450	Air	1000
Plomb	130	Huile	2000	Dioxygène	920

Nb : la forte capacité thermique massique de l'eau liquide lui confère des propriétés particulières. Ainsi, elle joue un véritable **rôle de régulateur thermique sur Terre** car elle est capable d'absorber de grand transfert thermique sans varier beaucoup de température.

C'est aussi pourquoi elle est utilisée dans les réseaux d'eau chaude pour le chauffage central ou dans les centrales nucléaires. On parle alors de fluide caloporteur (porteur de chaleur/calorie).

3.4 Puissance échangée

La puissance échangée P (en watt W) pendant un transfert thermique est égale au quotient du transfert thermique Q (en joule J) par la durée du transfert (en seconde s).

$$P = \frac{Q}{t}$$

Exercice d'application :

- Exprimer puis calculer la variation d'énergie interne (ou transfert thermique) d'un volume de 150L d'eau liquide après avoir été chauffée dans un chauffe-eau électrique pendant 4 heures, sa température passant de 12°C à 65°C .
Calculer la puissance de ce chauffe-eau.

- Exprimer puis calculer la température finale d'une masse de 500 g de cuivre solide, initialement à la température de 500 °C, après avoir subi un transfert thermique de $Q = -77000$ J.

Exercices : 12, 13, 14, 16 p 162 ...

4. Flux thermique et résistance thermique

4.1 Flux thermique entre deux milieux séparés par une paroi

On considère deux milieux chaud et froid de température respectives θ_{chaud} et θ_{froid} .

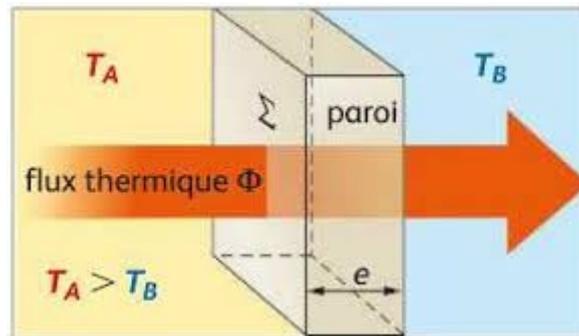
Ces deux milieux sont séparés par une paroi fixe.

On appelle flux thermique, noté Φ , entre ces deux milieux, le transfert thermique qui traverse la paroi pendant une durée t . Il s'exprime en J/s (joule par seconde) ou W (watt).

Le flux thermique est égal à la puissance P transférée thermiquement.

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

Ce transfert se fait toujours du milieu chaud vers le milieu froid jusqu'à égalité des températures.



4.2 Conductivité thermique

La **conductivité thermique** λ correspond au flux thermique traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température de 1 °C (ou 1K) entre les deux faces.

Elle s'exprime en **W/m.°C** ou $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$

La conductivité thermique permet de comparer le pouvoir isolant de matériaux entre eux.

Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant.

	sec	hum.	
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1000 kg/m ³
	0,54	0,75	briques 1000-1600 kg/m ³
	0,90	1,1	briques 1600-2100 kg/m ³
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux		45	acier
		203	aluminium
		384	cuivre

TYPES DE MATÉRIAUX	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (°)
Laine de verre	0,035
Laine de roche	0,037
Laine de lin	0,039
Laine de chanvre	0,042
Ouate de cellulose	0,038
Polystyrène expansé	0,032
Plume de canard	0,038
Laine de mouton	0,040
Liège expansé	0,041

4.3 Résistance thermique

La **résistance thermique R** d'une paroi d'épaisseur e , s'exprime par la relation :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Elle permet de caractériser **le pouvoir isolant des matériaux pour une épaisseur donnée**. Elle s'exprime en **m².K/W**.

Une paroi est d'autant **plus isolante** que sa **résistance thermique est élevée**.

RT 2012 : Pour satisfaire les exigences de la Réglementation Thermique 2012 lors de la construction d'un bâtiment, une résistance thermique minimale est requise en fonction de l'élément à isoler :

- 8 m².K/W pour la toiture
- 4 m².K/W pour les façades et les planchers bas

Pour les rénovations, certaines valeurs minimales sont exigées pour pouvoir bénéficier du crédit d'impôt et des certificats d'économie d'énergie :

- 4,5 m².K/W pour les toitures et les terrasses
- 3,7 m².K/W pour les murs en façade
- 3 m².K/W pour les planchers bas sur vide sanitaire ou sur passage ouvert
- 6 m².k/W pour les plafonds de combles et les rampants de toiture
- 7 m².K/W pour les planchers dans des combles perdus

Exercice d'application :

Exprimer puis calculer l'épaisseur (en cm) de ouate de cellulose minimale qu'il faut répandre pour des combles perdus en rénovation.

Quelle est la résistance thermique d'une épaisseur de 10 cm de laine de verre ?

Est ce suffisant pour isoler un mur de façade en neuf ?

Quelle épaisseur faudrait-il ?

Soit l'étiquette d'un matériau isolant.

Discuter de l'efficacité de ce matériau es tant qu'isolant thermique.

Quelle épaisseur en faudrait-il pour isoler un mur de façade en construction neuve ?

 <p>Nom ou marque distinctive Adresse déposée du fabricant 2 derniers chiffres de l'année d'apposition marquage CE. N° certificat de conformité CE N° EN de cette norme produit Identité du produit</p>			
Organisme notifié n° XXXXX		code de désignation	
Euroclasse A2 S1d0	R m ² .K/W 1,35	λ W/m.K 0,038	épaisseur mm 50
m ² /coils	pièces par coils	longueur mm	largeur mm
3,60	3	1200	1000
NOM PRODUIT XXXXXXXX N° contrôle + usine			
 ACEMI 02/000YYYY93 XXXXXXXX	En option : profil d'usage ISOLE certifié		
AT CSTB N° XX/YY-ZZZZ			
Nom ou marque commerciale			

Exercices : 5, 6, 7 p 158 ...