

TRANSFERT ET STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Table des matières

1. Conservation de l'énergie.....	2
2. Transfert d'énergie.....	2
3. Transferts thermiques :.....	2
1. Description des types d'échanges.....	2
a) Transfert thermique par conduction.....	2
b) Transfert thermique par convection.....	3
c) Transfert thermique par rayonnement.....	3
2. Flux thermique à travers une paroi.....	3
3. Rayonnement, température et thermographie.....	4
4. Les conversions et le stockage de l'énergie.....	5
a) Stockage de combustible.....	5
b) Stockage électrochimique.....	5
c) Stockage de calories.....	5
d) Stockage mécanique.....	6
5. Puissance.....	6

1. CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

L'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais transférée seulement d'un système à un autre et transformée d'une forme à une autre.

Exemple:

- Moteur électrique: l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique et en énergie thermique (les pertes).
- Panneau solaire: l'énergie rayonnée reçue par le panneau est transformée en énergie électrique et en énergie thermique qui chauffe le panneau.

Conservation de l'énergie pour un système isolé :

L'énergie totale d'un système isolé se conserve, elle est constante ; elle peut subir des transformations, désirées ou non. Un système est isolé si aucun transfert d'énergie n'est possible entre le système et le milieu extérieur.

Considérons un système isolé S :

- Au temps t_1 , il possède l'énergie U_1 ; au temps t_2 , il possède l'énergie U_2
- La variation d'énergie du système entre les instants t_1 et t_2 se note : $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$.
- Remarque : il peut se produire des transferts d'énergie à l'intérieur du système isolé, mais l'énergie totale du système reste la même.

Exemple : chute libre d'une bille dans l'air (frottements négligés) ; le système : la bille.

Au départ, l'énergie mécanique de la bille est entièrement sous forme potentielle. On lâche la bille, l'énergie potentielle se convertit en énergie cinétique. Juste avant le que la bille ne touche le sol, toute l'énergie potentielle a été convertie en énergie cinétique.

2. TRANSFERT D'ÉNERGIE

Le **transfert** d'énergie à un système ne peut se faire que sous forme de **travail** et de **chaleur**.

$$\Delta E_s = E_2 - E_1 = Q + W$$

- Tout transfert d'énergie reçu par le système est compté positivement.
- Tout transfert d'énergie cédé par le système est compté négativement.

Le **travail** est un transfert ordonné d'énergie entre un système et le milieu extérieur. Le travail peut provenir du travail des forces de pression, du travail électrique ou des forces conservatives (poids).

Le **transfert thermique**, appelé aussi chaleur, est un transfert désordonné d'énergie entre le système et le milieu extérieur.

3. TRANSFERTS THERMIQUES :

1. DESCRIPTION DES TYPES D'ÉCHANGES

A) TRANSFERT THERMIQUE PAR CONDUCTION.

Ce transfert a lieu principalement dans des corps à l'état solide. L'agitation thermique des molécules se transmet de proche en proche dans la matière de la partie chaude vers la partie froide sans déplacement macroscopique de matière.

Exemple : Une barre métallique (queue de casserole) dont l'une des extrémités est placée au-dessus d'une flamme ne peut pas être tenue longtemps par l'autre bout à main nue : la conduction thermique entraîne une élévation de la température de toute la barre.

B) TRANSFERT THERMIQUE PAR CONVECTION

Elle se produit dans un fluide (corps à l'état liquide ou à l'état gazeux).

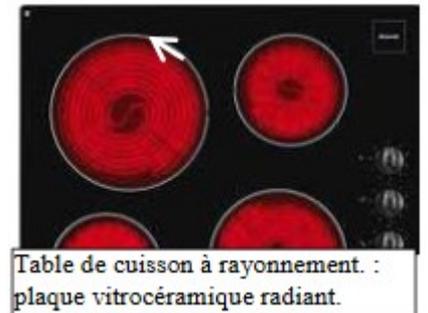
Dans la matière, l'agitation thermique modifie la masse volumique du fluide : la zone chaude s'élève et laisse la place au fluide plus froid. Au contraire de la conduction, la convection correspond à un déplacement macroscopique de la matière.

Exemple : Dans la casserole, l'eau près de la flamme chauffe, elle va monter ; de l'eau froide prend sa place pour se réchauffer à son tour. Il y a mouvement de fluide, il s'agit d'un transfert thermique par convection.



C) TRANSFERT THERMIQUE PAR RAYONNEMENT

Tout corps, en raison de sa température, émet des rayonnements thermiques ; il en absorbe également. Le rayonnement est le transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Ce mode de transfert d'énergie ne nécessite donc pas de milieu matériel, car les ondes électromagnétiques peuvent se déplacer dans le vide.



Exemple : la plaque vitrocéramique génère des transferts thermiques par rayonnement.

2. FLUX THERMIQUE À TRAVERS UNE PAROI

Lorsque l'on coupe le chauffage d'une habitation en hiver, la température intérieure va décroître d'autant plus vite que la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur est importante et que les murs sont mal isolés.

Le flux thermique Φ est l'énergie transférée à travers une paroi par unité de temps, elle est aussi appelée «puissance thermique».

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \text{ avec } \Phi \text{ en watt (W), l'énergie thermique } Q \text{ en joule (J) et la durée } \Delta t \text{ en seconde (s).}$$

Ce transfert se fait spontanément de la source chaude vers la source froide; il est naturellement irréversible. Une transformation est qualifiée d'irréversible si elle ne peut pas repasser naturellement de l'état final à l'état initial.

Le flux thermique dépend du matériau utilisé et de la différence de température ΔT entre 2 faces de la paroi.

$$\Phi = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{TH}}$$

Unités : T_1 et T_2 en K ou en $^{\circ}\text{C}$; $T_1 > T_2$

R_{th} : résistance thermique de la paroi en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ou $^{\circ}\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$.

Plus la résistance thermique de la paroi est grande, plus le flux thermique est faible (bon isolant thermique.)

Remarques: La résistance thermique d'une paroi dépend principalement de son épaisseur et des matériaux qui le constituent.

R_{th} d'une paroi plane dépend de la conductivité thermique λ du matériau, de son épaisseur e et

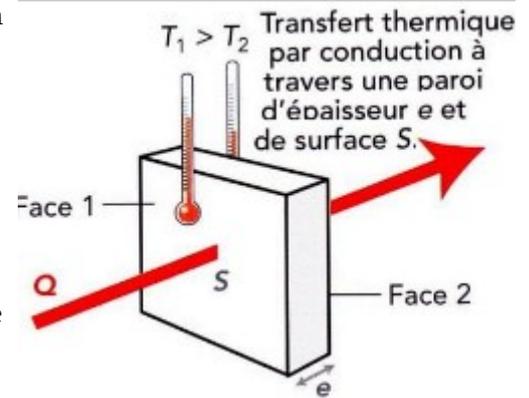
de la surface S traversée par le flux. $R_{th} = \frac{e}{(\lambda S)}$.

La conductivité thermique λ caractérise un matériau. (voir tableau ci-contre).

Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi.

On peut écrire : $R_{th\text{tot}} = R_{th1} + R_{th2} + R_{th3} + \dots$

Les fabricants d'isolant indiquent en général la valeur de la résistance thermique ramenée à une surface de 1 m^2 ; elle est alors notée R et exprimée en $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.



Matériau	λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Cuivre	400
Aluminium	250
Verre	≈ 1
Béton	≈ 1
Bois	$\approx 0,1$

Conductivité thermique λ de quelques matériaux, à la température ambiante

3. RAYONNEMENT, TEMPÉRATURE ET THERMOGRAPHIE

Le rayonnement, parfois dit thermique, est un rayonnement électromagnétique. Quelle que soit sa température, un corps émet un rayonnement plus ou moins intense selon cette température. La longueur d'onde à laquelle est émise ce rayonnement dépend aussi de cette température.

Ainsi, le rayonnement thermique émis par le Soleil est situé principalement dans le visible. Des corps plus froids comme les mammifères émettent quant à eux dans l'infrarouge.

Un corps émet de l'énergie selon la loi de Stefan-Boltzmann :

$$P = \epsilon \sigma S T^4$$

avec P : puissance en Watt

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,670 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$);

ϵ : émissivité, indice valant 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau (sans dimension);

T : température du corps (K).

S : surface

4. LES CONVERSIONS ET LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Le stockage est la **constitution d'une réserve d'énergie** à partir d'énergie dont on n'a pas l'usage immédiat, pour en disposer ultérieurement, quand la demande sera plus importante.

Le stockage d'énergie répond à trois motivations principales :

- sécurisation de l'approvisionnement en énergie d'un pays ou d'un groupe de pays ;
- ajustement de la production d'énergie en fonction de la demande ;
- compensation de l'irrégularité de la production des énergies dites intermittentes.

La nature stocke naturellement de l'énergie, par exemple avec la biomasse, le cycle climatique de la Terre (pluie, neige...)... Certains stockages naturels de combustibles fossiles s'épuisent, ces ressources sont considérées comme non renouvelables.

Technologiquement, on utilise le

A) STOCKAGE DE COMBUSTIBLE

La combustion restant le processus énergétique le plus courant, le stockage de combustible est le plus développé. La plupart des États disposent de réserves stratégiques de pétrole et/ou de charbon. Ces combustibles fossiles sont complétés par le bois (énergie dont on fait des stocks pour l'hiver) et les agrocarburants.

La quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un composé dépend de son pouvoir calorifique, exprimé dans la pratique sous forme d'énergie dégagée par unité de masse.

Le tableau suivant donne, exprimé en MJ/kg, le « pouvoir calorifique inférieur » (PCI) de quelques combustibles d'origine fossile ou issus de la biomasse.

Charbon	Gaz naturel	Essence	Fioul	Méthane	Bois	Éthanol	Huile de tournesol
33 MJ/kg	38-50 MJ/kg	42 MJ/kg	42 MJ/kg	55 MJ/kg	20 MJ/kg	25 MJ/kg	40 MJ/kg

B) STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

À plus faible échelle, le stockage d'énergie issu de l'énergie d'origine solaire et éolienne consiste principalement en stockage électrochimique (piles et batteries) et électrique (condensateurs).

Stockage d'énergie dans une pile : $E \text{ (Wh)} = Q \text{ (Ah)} * U \text{ (V)}$

Stockage d'énergie dans un condensateur : $E \text{ (J)} = \frac{1}{2} * C * U^2$ avec U en V

C) STOCKAGE DE CALORIES

Le stockage de chaleur peut se faire sous forme de cumulus :

Le stockage de calories dans un système thermodynamique permet par exemple déjà (en 2015) de décaler (de 4 ou 5 heures) le pic de consommation ; les cumulus d'eau chaude de France (3 GW de puissance) constituent ainsi une réserve de 28 TWh, ce qui correspond à 10 % de l'ensemble des consommations énergétique des bâtiments du pays. Au-delà de cette fonction du cumulus, des habitations de grande inertie thermique (murs épais, bonne isolation) permettent de lisser et diminuer les besoins de chauffage et de rafraîchissement, permettant des économies directes.

Stockage dans un fluide par élévation de température : $E = mc \Delta T$

Stockage par chaleur latente $E = m L$

D) STOCKAGE MÉCANIQUE

Stockage sous forme d'énergie potentielle de pesanteur

La remontée d'eau dans des lacs de barrages, ou autres réservoirs surélevés, quand il y a



surproduction d'électricité, permet de stocker l'énergie sous forme d'énergie potentielle de pesanteur. Cette technique, déjà très utilisée pour la régulation et l'équilibrage des réseaux électriques, est mise en œuvre au moyen de stations de pompage-turbinage.

Stockage sous forme d'énergie potentielle de pesanteur $E = mg h$

Stockage sous forme d'énergie potentielle de pesanteur

L'énergie est stockée sous forme d'énergie cinétique par la rotation d'un ou plusieurs disque(s) lourd(s).

5. PUISSANCE

Elle nous renseigne sur la rapidité avec laquelle l'énergie a été produite ou consommée. Elle représente la quantité d'énergie échangée par un système avec un autre système...par unité de temps.

$$P = \frac{E}{t} \quad P \text{ en Watt}$$