

Chapitre 19

TRANSFERTS D'ENERGIE ENTRE SYSTEMES MACROSCOPIQUES

I. Enjeux énergétiques

1. Une chaîne énergétique est un diagramme représentant :

- les différentes **formes d'énergie**
(rayonnement, électrique, thermique, chimique)
- et les **convertisseurs** (dispositifs permettant de passer d'une forme d'énergie à une autre.



Remarque: On distingue deux types de convertisseurs :

- ceux qui fournissent de l'énergie électrique

(..... **les générateurs**)

l'énergie consommée peut-être **thermique, rayonnante, chimique**

l'énergie utile est **électrique**

les pertes sont en général sous forme de ... **chaleur**

- ceux qui consomment de l'énergie électrique

(..... **les récepteurs**)

l'énergie consommée **est l'énergie électrique**

l'énergie utile **peut-être rayonnante, mécanique**

les pertes sont en général sous forme de . **chaleur**

Exercice 1

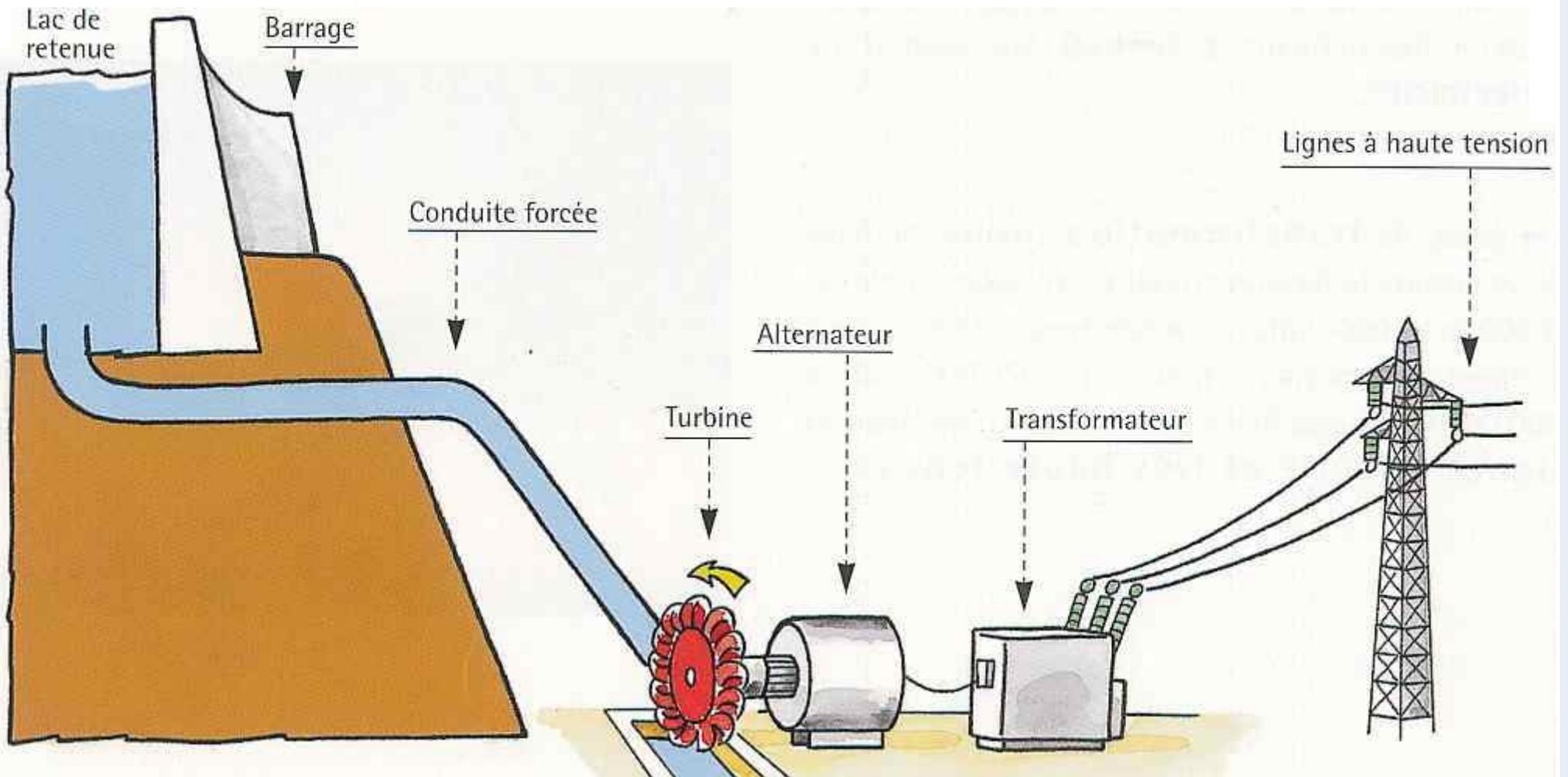
Représenter sur un diagramme la chaîne énergétique des deux exemples suivants :

1. Un moteur thermique transforme l'énergie thermique Q_1 qu'il reçoit d'un « corps chaud » afin de produire de l'énergie mécanique $W_{\text{méca}}$.

Cependant, la transformation de la chaleur en travail ne peut pas se faire intégralement : une partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur Q_2 .

2. Un chauffage électrique convertit intégralement le travail électrique W qu'il reçoit en chaleur Q , cédée à l'habitat.

Exercice 2



Exercice 4

puissance, énergie, rendement

1. Un four de puissance électrique $P = 1000 \text{ W}$, fonctionne pendant 15 minutes. L'énergie thermique restituée est $E_{\text{th}} = 675 \text{ kJ}$.

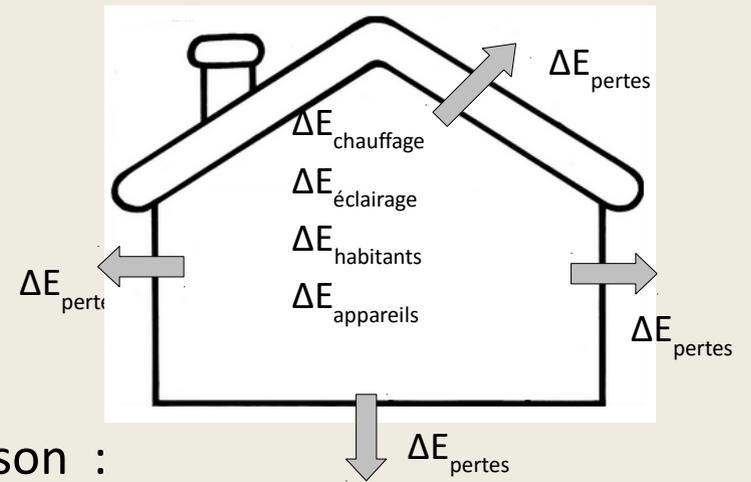
Quel est le rendement de ce four ?

2. On estime qu'en France, chaque mètre carré reçoit en moyenne une énergie solaire de 1500 kWh/an . Calculer l'énergie annuelle reçue par un panneau solaire de 20 m^2 .

Le panneau solaire alimente les trois chauffe-eau d'un complexe sportif, qui absorbent chacun en moyenne par an $4\,000 \text{ kWh}$. Le rendement du panneau solaire est de 30% . Ce panneau solaire suffit-il à lui seul pour chauffer l'eau des chauffe-eau ?

2. Un bilan d'énergie représente les apports et les pertes d'énergie d'un système.

En régime permanent, l'ensemble des apports est **égal**
à l'ensemble des pertes d'énergie.



Exemple : diagramme du bilan thermique d'une maison :

Les apports thermiques **chauffage, éclairage, habitants, appareils**

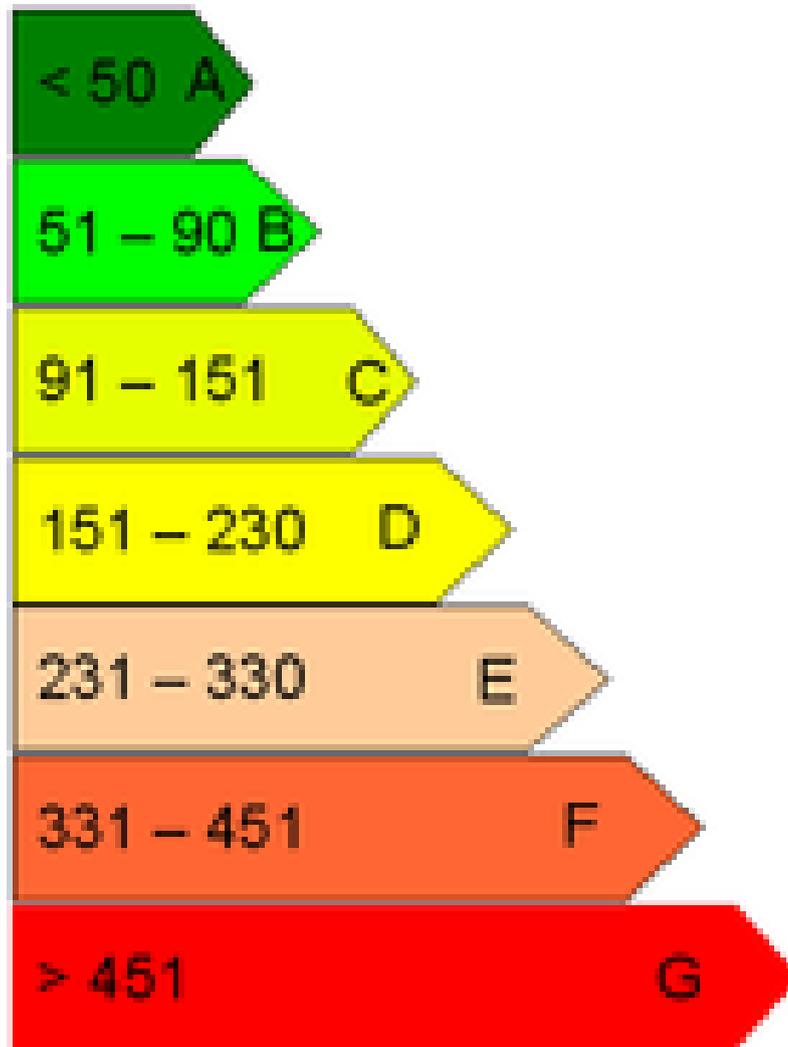
Les pertes thermiques se font par : **toiture, murs, sol**

Afin d'économiser l'énergie, on développe de nouvelles technologies :

- dans les transports : outre les modifications du comportement individuel, améliorer le rendement des véhicules, remplacer les carburants fossiles.
- dans l'habitat : meilleure isolation pour limiter les pertes d'énergie, utilisation d'énergies renouvelables décentralisées.

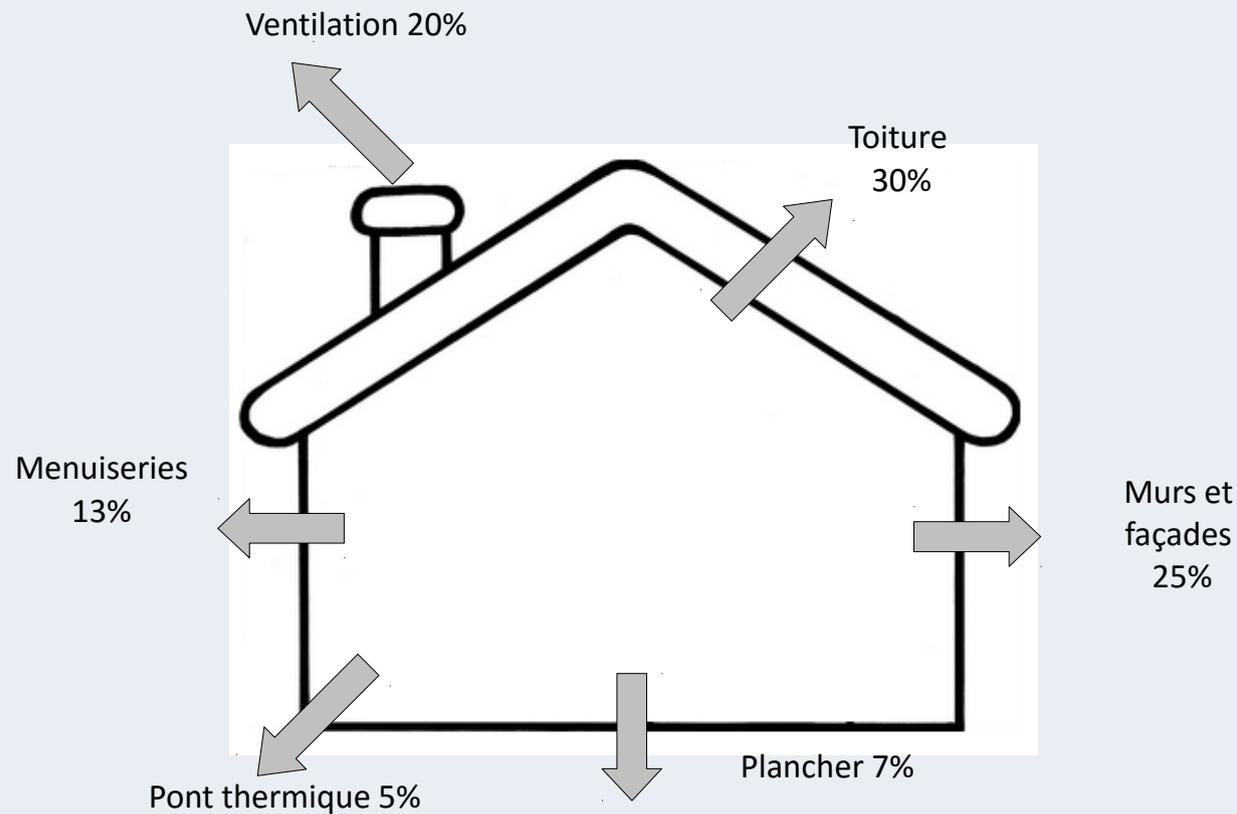
Exercice 3

Consommation énergétique en kWh/m²/an



Exercice 5

Pendant un dimanche d'hiver, le thermostat d'une maison est fixé à la température de 19°C.



Les 4 habitants sont restés en permanence dans la maison, avec une faible activité dégageant une énergie estimée à 150 Wh par personne.

L'éclairage et les équipements ménagers ont consommé 15 kWh, mais leur apport thermique est considéré comme négligeable.

Afin de chauffer la maison, 7,7 m³ de gaz ont été brûlés dans la chaudière, de rendement égal à 85%.

La production d'eau chaude sanitaire (ECS) a consommé 13 kWh, dont 10% ont correspondu à des pertes thermiques à l'intérieur de la maison.

II. Température et capacité thermique d'un système fermé

Animation : température et agitation thermique

Source : http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/pression/particules_gaz.php

1. La température mesure

l'agitation

des entités microscopiques.

Elle se note T et s'exprime en ...

Kelvins (K)

$$T_{\text{Kelvins (K)}} = T_{\text{(°C)}} + 273$$

2. L'énergie interne U traduit l'agitation thermique en terme d'énergie. Elle s'exprime en Joules.

- La variation d'énergie interne entre un état initial et un état

final est ... $\Delta U = U_{\text{final}} - U_{\text{initial}}$

Elle est proportionnelle à la variation de température du

système : $\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}$

On a donc : $\Delta U = C \times \Delta T$

- **La capacité thermique C** caractérise la capacité du système à stocker son énergie interne : plus C est grand, plus ΔU est ... **grande** ... pour un même ΔT .

Remarques :

- Capacité thermique C ($J.K^{-1}$) et capacité thermique massique c ($J.K^{-1}.kg^{-1}$) :

$$C = m \times c$$

m : masse en kg

- Masse volumique :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m : masse en kg

V : volume en m^3

ρ : masse volumique en kg/m^3

$$\text{Donc : } m = \rho \times V$$

Exercice 6

- Calculer la variation d'énergie interne d'un kg d'eau lorsque l'on fait passer sa température de 20°C à 30°C .
- L'énergie interne du système diminue-t-elle ou augmente-t-elle ?

Donnée : Capacité thermique en (J/K) de 1 kg d'eau : 4185

III. Transferts thermiques

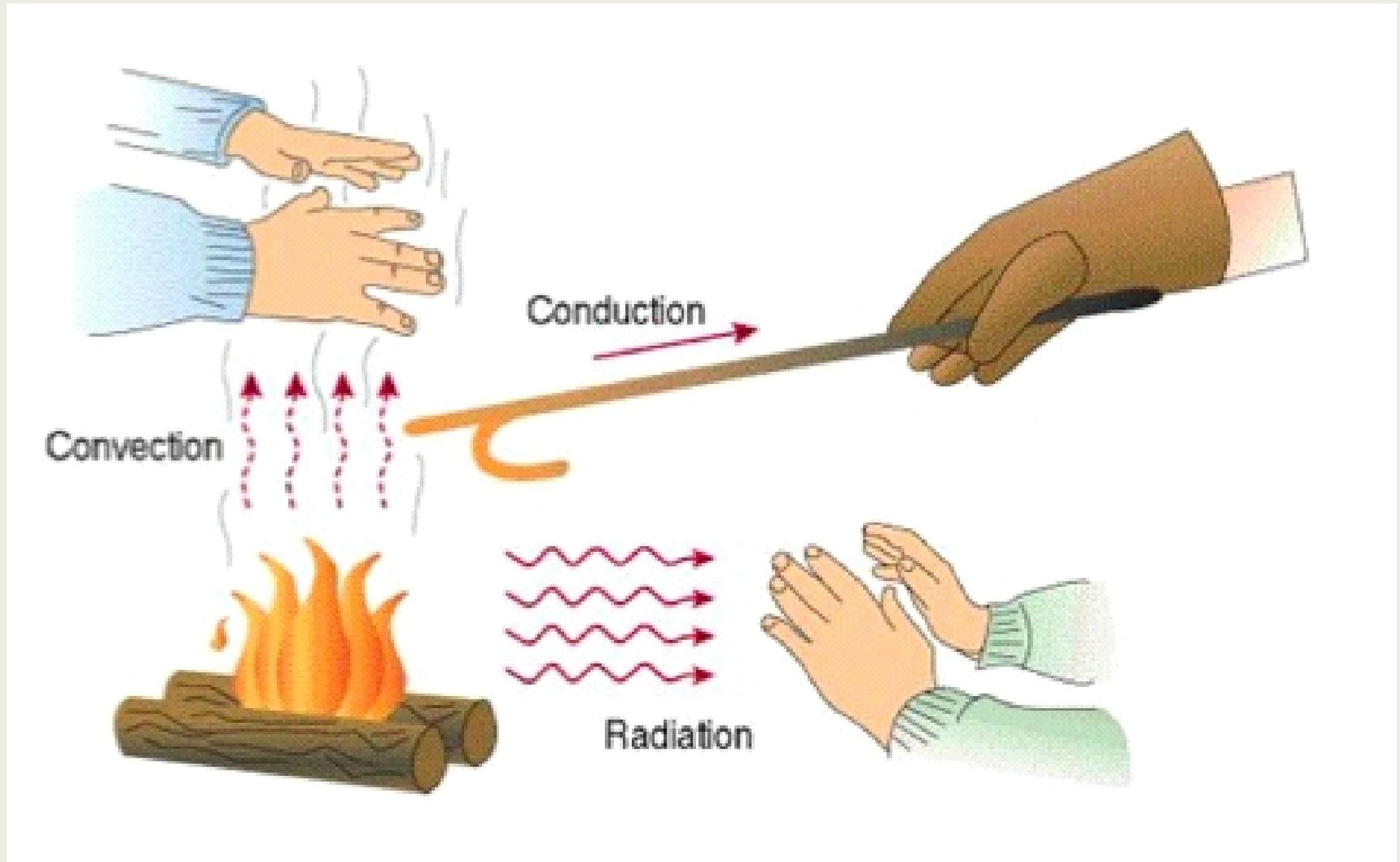
1. La chaleur : échange d'énergie thermique

Le transfert thermique (appelé aussi **chaleur**et noté **Q** .. en **Joules (J)** ..)

2. Le transfert thermique se fait spontanément de la partie la plus **chaude** .. vers la partie la plus froide... **froide** ..

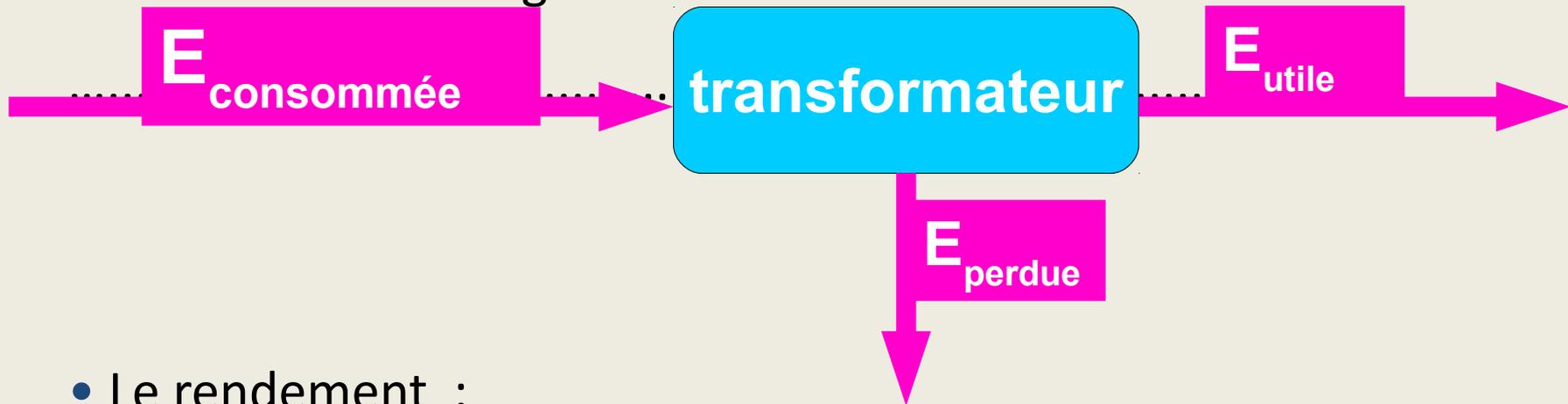
- Lorsque le transfert cesse, on est à **l'équilibre thermique**
- Le transfert inverse ne peut pas se produire spontanément : le transfert thermique est. **irréversible**

3. Il y a 3 modes de transferts thermiques



Rappels:

- L'énergie s'exprime en **Joule (J)**
- La puissance s'exprime en **Watt (W)**
- Un appareil de puissance P qui fonctionne durant un temps t consomme une énergie E : **$E = P \times t$**
- Conversion d'énergie :



- Le rendement :

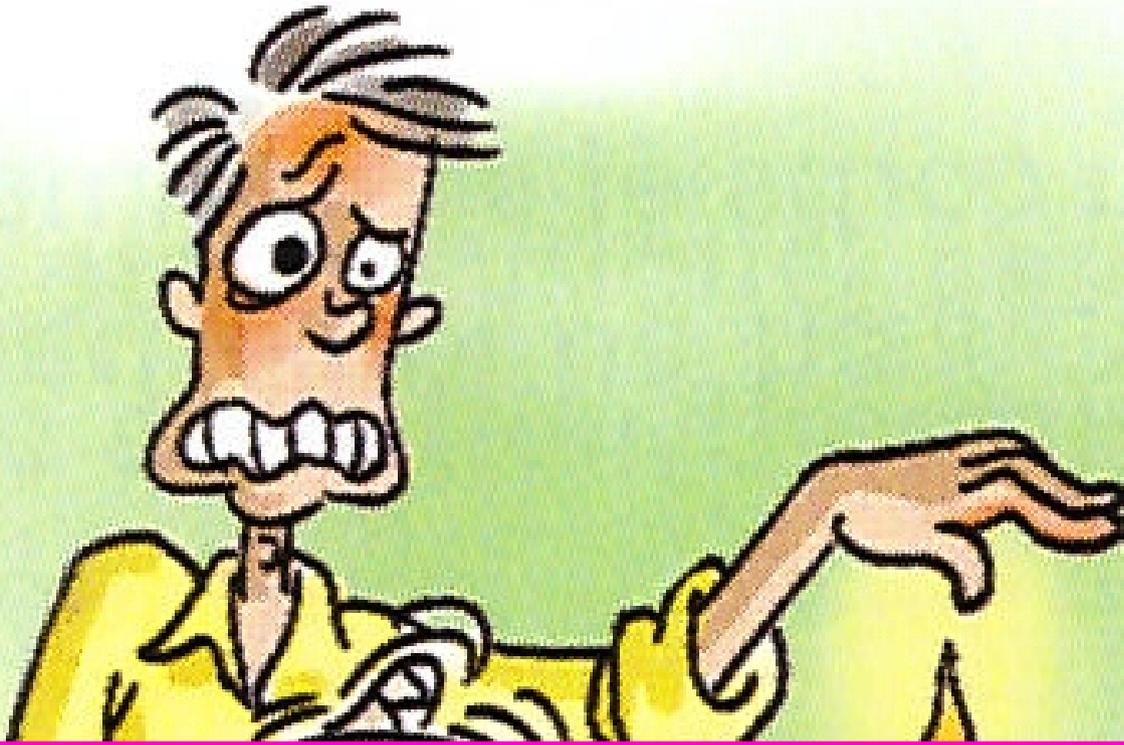
$$r(\%) = \frac{E_{utile}}{E_{consommée}} \times 100 = \frac{P_{utile}}{P_{consommée}} \times 100$$

Conduction



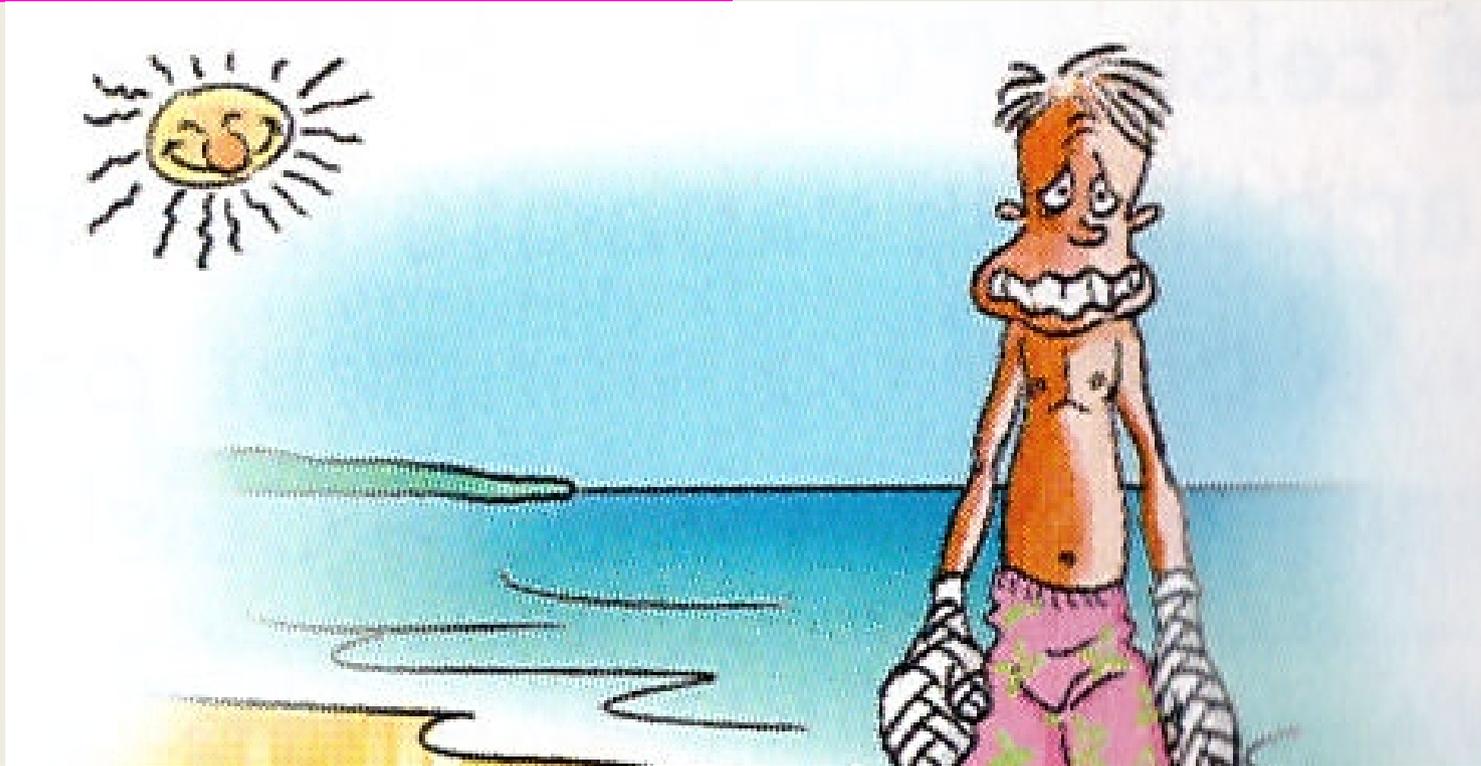
L'agitation thermique se transmet de proche en proche sans déplacement de matière (dans les solides)

Convection



L'agitation thermique se transmet avec déplacement de matière (dans les liquides et les gaz)

Rayonnement



L'absorption (ou l'émission) de rayonnement (onde électromagnétique) modifie l'agitation thermique (micro-ondes)

Exercice 7

Molécules d

On verse de

microscopic

Un système

On place la

1. Les partic

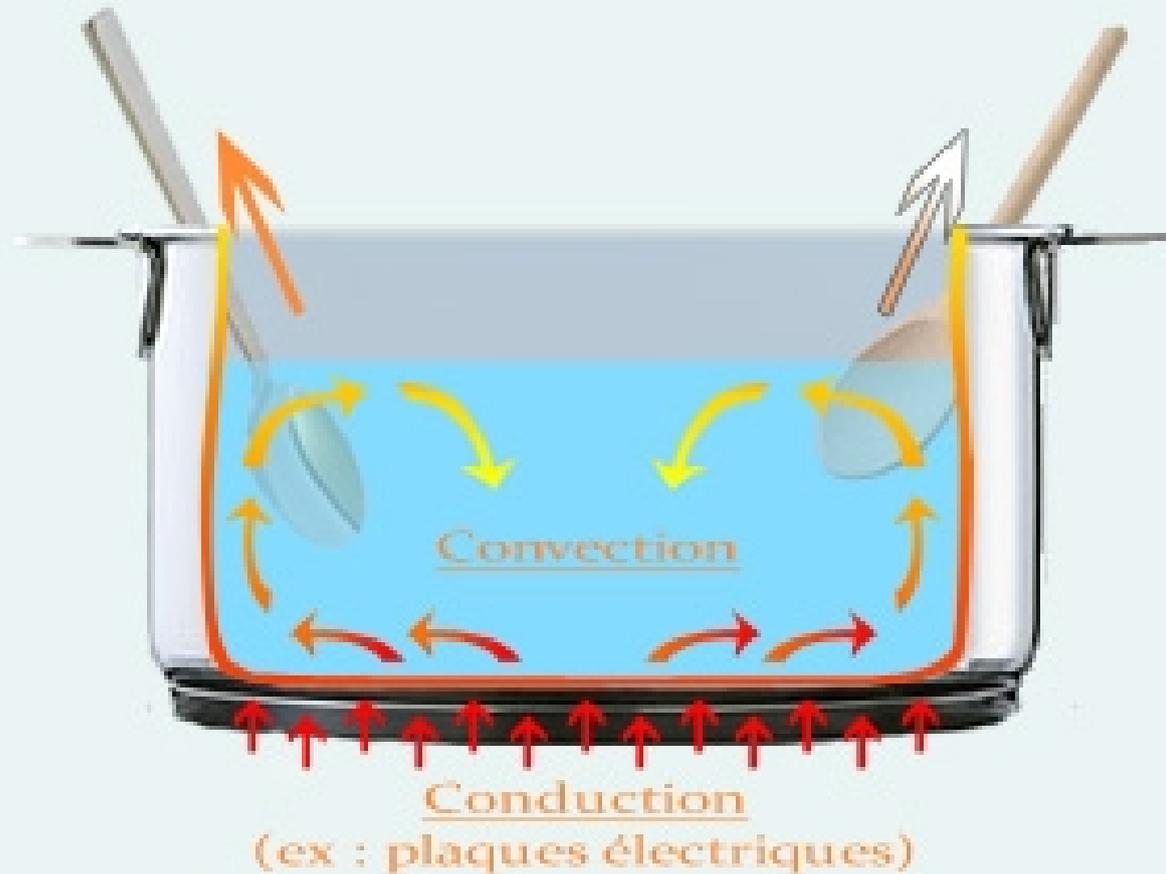
plus en plus

2. Par quel

transmise d

3. Au bout c

effectuent des mouvements circulaires. Comment se nomme ce phénomène ?

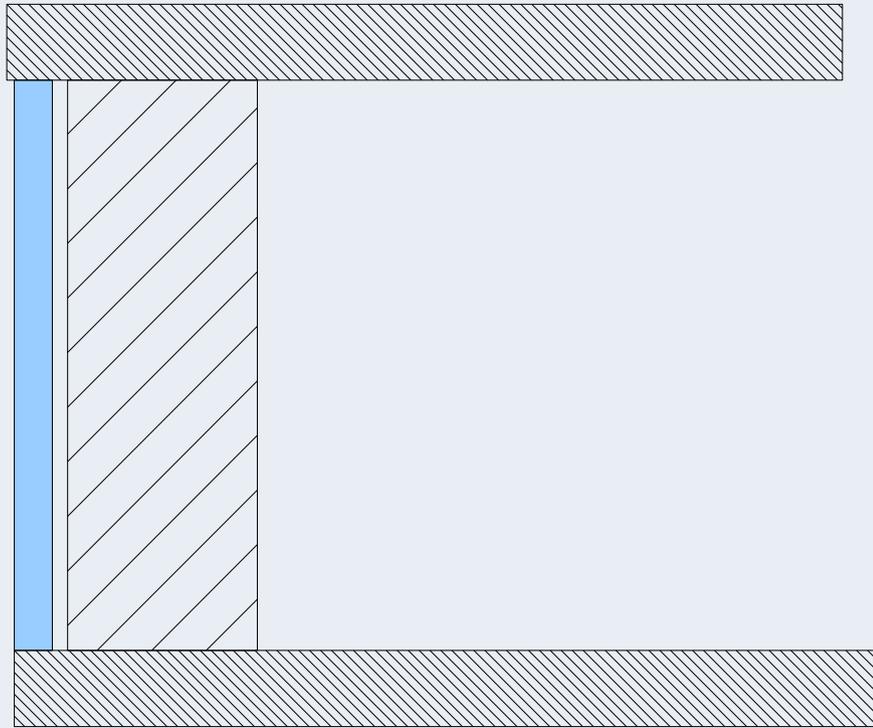
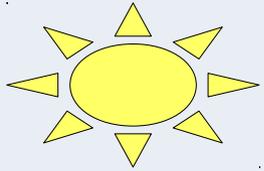


serole.

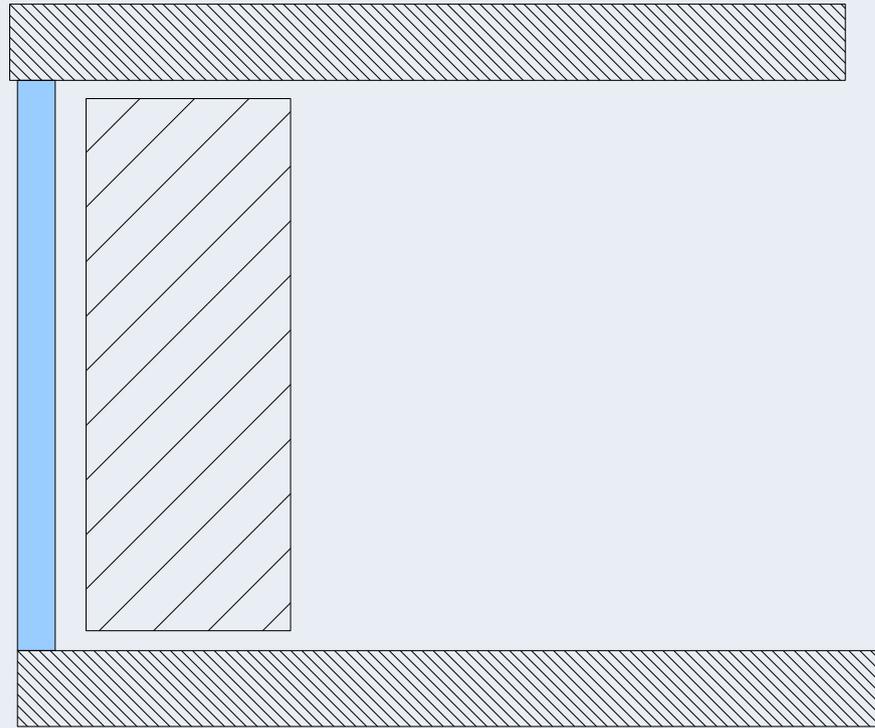
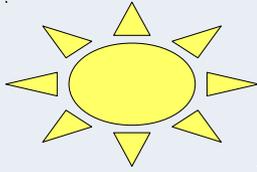
gitent de
chelle ?

iques

Exercice 8



Schématisation d'un mur capteur



Schématisation d'un mur trombe



Prototype de la maison du professeur Félix TROMBE (1906-1986) à Odeillo (photo M.Gazeau, 1976)



IV. Flux thermiques

1. Définition

Le flux thermique se note Φ et s'exprime en Watt (W). Il caractérise la **vitesse** du transfert thermique Q pendant une durée Δt :

$$\dots\dots\dots \Phi = Q / \Delta t \dots\dots\dots$$

Q : chaleur (transfert thermique) en J

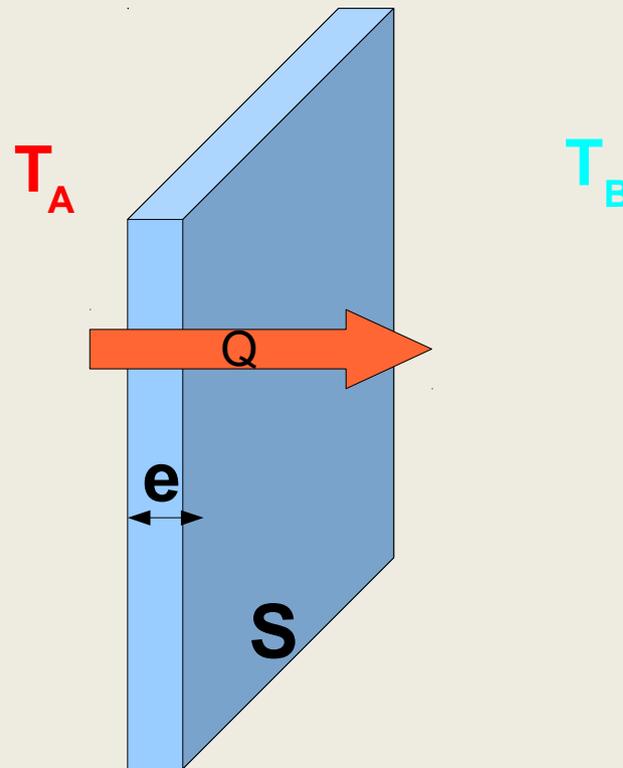
Δt : durée en s

Φ : flux thermique en W

2. Flux thermique à travers une paroi plane

Dans le cas d'une paroi plane (mur), le flux thermique

- est d'autant plus grand que l'épaisseur est ... **faible** ...
- est d'autant plus grand que la surface est .. **grande**
- est d'autant plus grand que la différence de température entre les deux côtés de la paroi est ... **grande**
- dépend de la nature du matériau constituant la paroi



Exercice 9

1. Comment varie le flux thermique à travers un mur :

- Si l'écart de température entre l'intérieur (T_{int}) et l'extérieur (T_{ext}) augmente ?
- Si la surface S du mur augmente?
- Si l'épaisseur e augmente ?

2. Le flux thermique dépend également de la nature du matériau. On caractérise donc les différents matériaux par une grandeur, appelée conductivité thermique, notée λ , qui rend compte de la capacité d'un matériau à transférer de l'énergie thermique.

Barrer les propositions incorrectes :

- Plus λ est grand, plus le matériau est **conducteur thermique / isolant thermique**.
- Plus λ est faible, plus le matériau est **conducteur thermique / isolant thermique**.

3. Dédurre des questions précédentes, la seule expression parmi les suivantes qui correspond au flux thermique.

(a) $\Phi = \lambda \cdot S \cdot e \cdot (T_A - T_B)$

(b) $\Phi = \lambda \frac{S}{e} (T_A - T_B)$

(c) $\Phi = \lambda \frac{S}{e} \cdot \frac{T_A}{T_B}$

(d) $\Phi = \frac{S}{e \cdot \lambda} (T_A - T_B)$

4. Quelle est l'unité de la conductivité thermique λ ?

5. Calculer le flux thermique à travers un simple vitrage dont la surface a une aire $S = 2,0 \text{ m}^2$, d'épaisseur $e = 5,0 \text{ mm}$, lorsqu'il fait $0,0^\circ\text{C}$ à l'extérieur et 20°C à l'intérieur?

Données : Conductivités thermiques du verre $\lambda_{\text{verre}} = 1,2 \text{ SI}$

Exercice 10

Le terme $\lambda \frac{S}{e}$ rend compte de la capacité de la paroi à transférer l'énergie thermique. Plus ce terme est grand, plus la paroi transmet l'énergie thermique.

A l'inverse, $\frac{e}{\lambda S}$ rend compte de la façon dont la paroi résiste au transfert d'énergie thermique. On appelle ce terme résistance thermique et on le note R_{th} .

1. Quelle est l'unité de la résistance thermique R_{th} ?
2. Exprimer le flux thermique en fonction de l'écart en température et de la résistance thermique.

3. Calculer la résistance thermique d'un mur de brique dont la surface a une aire $S = 15 \text{ m}^2$ et d'épaisseur $e = 10 \text{ cm}$.

4. Lorsqu'une paroi est composée de plusieurs couches de matériaux, la résistance thermique de la paroi est égale à la somme des résistances thermiques des différents matériaux.

Calculer la résistance thermique d'un mur de surface $S = 15 \text{ m}^2$, composé de 10 cm de brique, 30 cm de parpaing et 2,0 cm de plâtre.

Données :

Conductivités thermiques (en $\text{W.m}^{-1} .\text{K}^{-1}$) :

$$\lambda_{\text{brique}} = 0,67 ;$$

$$\lambda_{\text{platre}} = 0,8 ;$$

$$\lambda_{\text{parpaing}} = 1,15.$$

V. Bilan d'énergie

On peut réaliser un bilan d'énergie pour un système fermé :

L'énergie d'un système est la somme de son énergie interne U (aspect microscopique) et de son énergie mécanique E_m (aspect macroscopique) :

$$\dots \mathbf{E = U + E_m} \dots\dots\dots$$

Énergies en joules (J)

La variation d'énergie du système se note ΔE Elle peut être exprimée de deux façons :

1. du point de vue interne au système : elle est égale à la variation de son énergie interne ΔU + la variation de son énergie mécanique ΔE_m :

$$\dots \Delta E = \Delta U + \Delta E_m$$

Remarque : En régime permanent, la variation d'énergie interne est nulle :

$$\Delta U = 0$$

2. du point de vue des échanges entre le système et l'extérieur, elle est égale aux échanges thermiques (ou chaleur) notés Q + aux échanges par travail des forces non conservatives W :

$$\dots \Delta E = Q + W \dots$$

Convention : Si le système reçoit de l'énergie : signe + ; s'il donne de l'énergie : signe -

Exercice 11

