

Pour s'échauffer une vidéo sur [les igloos](#)

Energie interne d'un système

- L'énergie interne \mathcal{U} d'un système macroscopique résulte des énergies cinétique et potentielles des entités microscopiques qui le composent.
- La variation d'énergie interne d'un système condensé, c'est-à-dire **liquide** ou **solide**, ne dépend que de la variation de la température du système.

$$\Delta \mathcal{U} = m \times c \times \Delta T$$

Unités SI :

$\Delta \mathcal{U}$: variation d'énergie interne du système (J)

m : masse du système (kg)

c : capacité thermique massique du matériau constituant le système ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ΔT : variation de température du système (K)

Bilan d'énergie

- L'énergie totale \mathcal{E} d'un système est la somme de son énergie interne \mathcal{U} , d'origine microscopique, et de son énergie mécanique \mathcal{E}_m , d'origine macroscopique :

$$\mathcal{E} = \mathcal{U} + \mathcal{E}_m$$

$\mathcal{E}, \mathcal{U}, \mathcal{E}_m$ en joule (J)

- Pour établir le **bilan énergétique** d'un système, on exprime la variation $\Delta \mathcal{E}$ de l'énergie totale en fonction du transfert thermique Q et du transfert W dû aux travaux échangés avec l'extérieur,

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{U} + \Delta \mathcal{E}_m = Q + W$$

Transfert thermique Q (ou chaleur) :

- Un transfert thermique d'un système chaud vers un système plus froid est caractérisé par son **flux thermique**.

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

Unités SI :

Φ : flux thermique (W)

Q : transfert thermique (J)

Δt : durée du transfert thermique (s)

- Le flux thermique à travers une paroi plane est proportionnel à l'écart de température entre ses deux faces : $\Delta T = T_A - T_B$.

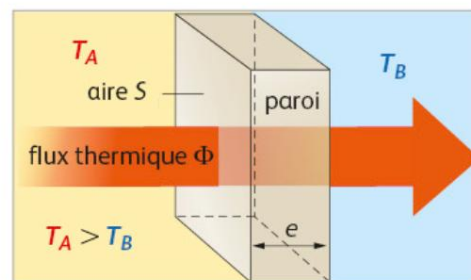
$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

Unités SI :

Φ : flux thermique (W)

R_{th} : résistance thermique de la paroi ($\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

ΔT : écart de température (K)



où R_{th} est la résistance thermique de la paroi, définie par :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Unités SI :

R_{th} en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

e en mètre (m)

S en mètre carré (m^2)

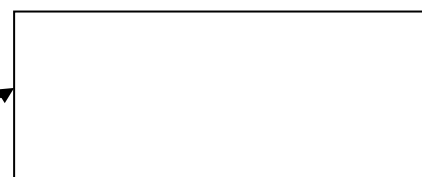
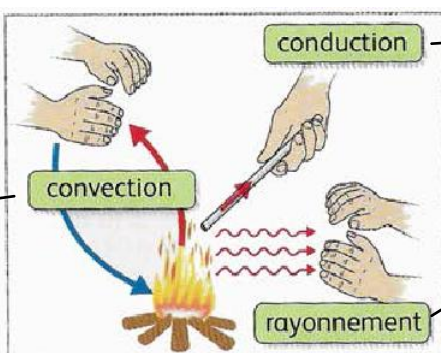
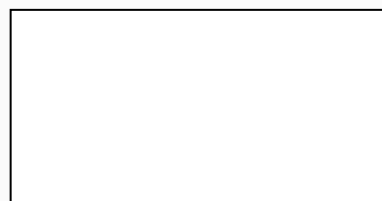
λ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

S = surface de la paroi

e = épaisseur de la paroi

λ = conductivité thermique de la paroi

- Trois modes de transferts thermiques existent.



Remarque :

- à consulter une [animation](#) associant flux thermique et résistance thermique
- la résistance thermique d'un mur constitué de plusieurs parois accolées est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi

EXERCICE I – DIAGNOSTIC D'UNE MAISON

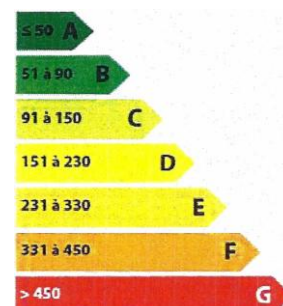
Un couple souhaite acheter une maison. Pour faire son choix, il décide de se renseigner sur son isolation thermique.

Diagnostic de performance énergétique (DPE) de la maison

Le DPE

Obligatoire depuis l'année 2006 lors de la vente d'un logement et depuis 2007 lors de la location d'un logement, le diagnostic de performance énergétique renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie totale annuelle (chauffage, eau chaude, électroménager).

La lecture du DPE est facilitée par une étiquette énergie comportant 7 classes de A à G (A correspondant à la meilleure performance, G à la plus mauvaise).

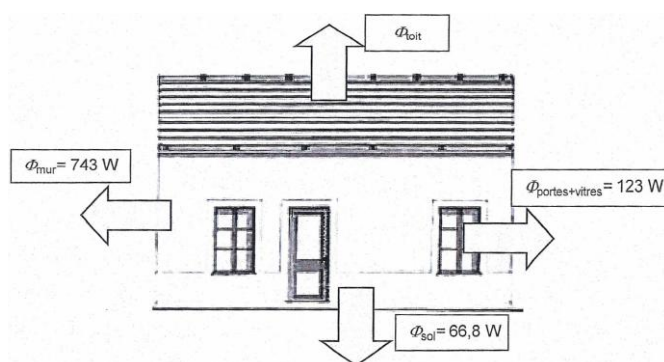


Consommations énergétiques en kWh/an et par m² de surface habitable

Le couple souhaite connaître le DPE d'une maison sans étage de surface habitable 100 m². La maison est construite dans une région où la température de l'air extérieur durant la période de chauffage vaut en moyenne $T_e = 4,0^\circ\text{C}$. Pendant la période de chauffage, l'intérieur de la maison est maintenu à une température constante $T_i = 19^\circ\text{C}$ grâce au système de chauffage. On estime la durée annuelle de chauffage à 120 jours.

Caractéristiques thermiques de la maison

	Surface (m²)	Matériau	Épaisseur e (mm)	Conductivité thermique λ (W.m⁻¹.K⁻¹)	Résistance thermique R_{th} (K.W⁻¹)
Toiture	115	Laine de chanvre	100	0,042	$R_{th(\text{toit})}$
		Terre cuite (tuile)	40	0,60	
Murs	91	Plâtre	13	0,46	0,020
		Polystyrène	50	0,036	
		Brique pleine	210	0,50	



Valeurs des flux thermiques moyens lorsque $T_e = 4,0^\circ\text{C}$ et $T_i = 19^\circ\text{C}$

Flux thermique

Lorsque les températures extérieure T_e et intérieure T_i sont constantes au cours du temps, avec $T_i > T_e$, le flux thermique à travers une paroi peut s'exprimer aussi par la relation :

$$\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}} \quad \text{où } R_{th} \text{ est la résistance thermique de la paroi considérée.}$$

Résistance thermique d'une paroi

La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane constituée d'un seul matériau a pour expression :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S} \quad \text{où } e \text{ est l'épaisseur de la paroi (m), } S \text{ sa surface (m}^2\text{),}$$

et λ la conductivité thermique caractérisant le matériau (W.m⁻¹.K⁻¹).

En pratique, une paroi est constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités différentes. Dans ce cas, les résistances thermiques de chaque couche s'additionnent.

Donnée : 1 kW.h = $3,6 \times 10^6$ J

2.1. Les transferts thermiques s'effectuent suivant trois modes.

Associer à chacune des propriétés suivantes, le nom du transfert thermique correspondant.

Propriété 1	Propriété 2	Propriété 3
Le transfert thermique dans un milieu matériel se fait de proche en proche sans transport de matière.	Le transfert thermique ne nécessite pas de milieu matériel et se fait sans transport de matière.	Le transfert thermique se fait par déplacement macroscopique de matière, généralement au sein d'un gaz ou d'un liquide.

2.2. Calculer la résistance thermique de la toiture notée $R_{th(\text{toit})}$ et en déduire que le flux thermique moyen à travers le toit en hiver est égal à $\Phi_{\text{toit}} = 7,1 \times 10^2$ W.

2.3. Afin de conserver une température constante dans la maison, la puissance moyenne du système de chauffage doit

être égale au flux thermique moyen sortant de la maison.

En estimant que le chauffage représente 60 % de la consommation d'énergie annuelle, déterminer la classe énergétique de cette maison.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

EXERCICE II – LE FOUR SOLAIRE

Perché à 1535 m d'altitude, le "Grand Four Solaire" d'Odeillo est un laboratoire de recherche du CNRS (centre national de la recherche scientifique). D'une puissance de 1000 kW au foyer, il est à ce jour le four solaire le plus puissant au monde.

Située dans le sud de la France, à 74 km de Perpignan, la commune de Font-Romeu-Odeillo-Via bénéficie d'un ensoleillement exceptionnel. Elle est également célèbre pour la pureté de son air.

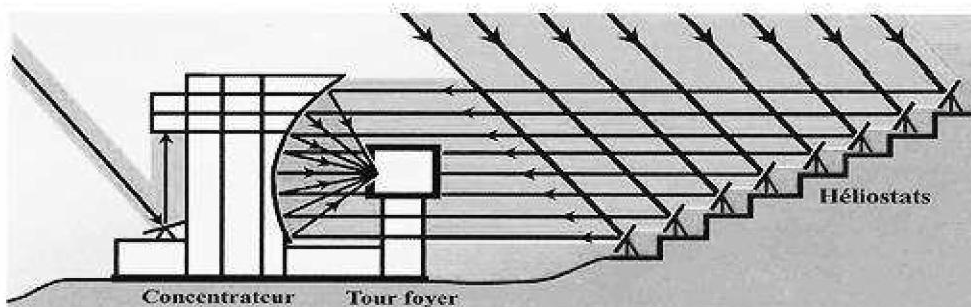


La lumière du Soleil est captée par 63 héliostats. De 45 m² chacun, ils sont mobiles suivant deux axes pour suivre le mouvement apparent du Soleil tout en réfléchissant les rayons vers un grand miroir parabolique fixe, aussi appelé concentrateur. Les rayons réfléchis par les héliostats, parallèles à un axe Nord-Sud, éclairent toujours la même surface du concentrateur. Réfléchis une deuxième fois par la parabole du concentrateur, ils viennent enfin se concentrer dans un foyer situé 18 m en avant. La tache lumineuse fait seulement 40 cm de diamètre.

Au niveau du foyer, la température peut atteindre 3400 °C.

D'après la vidéo : Odeillo, le Soleil apprivoisé réalisée par le CNRS

Schéma de principe



Données concernant le "Grand Four Solaire"

Le concentrateur (ou parabole) constitué de plusieurs miroirs	Les héliostats (chaque héliostat est constitué de plusieurs miroirs plans)
Superficie totale de la parabole : 1830 m ² Nombre total de miroirs : 9130	Superficie totale : 2835 m ² Nombre total de miroirs : 11340

Données générales

- La réflectivité moyenne des miroirs des héliostats, ainsi que celle du concentrateur, est estimée à 70%.

La réflectivité correspond au pourcentage de rayonnement incident qui est réfléchi par la surface d'un matériau.

- On supposera que la puissance reçue par unité de surface de miroir pendant l'utilisation du "Grand Four Solaire" d'Odeillo est de 720 W/m².

Compréhension générale du principe de fonctionnement

L'objectif est de retrouver, par calcul, la valeur de la puissance disponible au foyer du "Grand Four Solaire" d'Odeillo.

1.1. Exprimer, puis calculer, la puissance réfléchi par l'ensemble des héliostats.

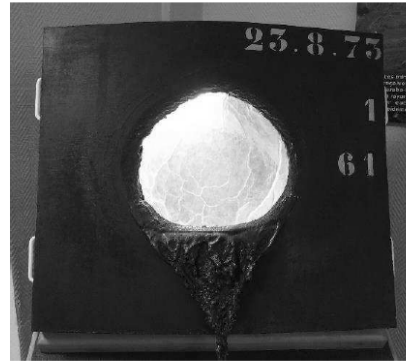
1.2. Montrer que la valeur de la puissance au foyer du four d'Odeillo vaut $1,00 \cdot 10^6$ W.

Une expérience étonnante

Pendant la phase de mise au point du "Grand Four Solaire", des expériences ont été réalisées pour tester ses performances.

Une plaque en acier de 10 mm d'épaisseur, positionnée au foyer et soumise au rayonnement solaire concentré, a ainsi été percée d'un trou de diamètre 40 cm égal à celui de la tache lumineuse en seulement 1 minute et 27 secondes.

La photo ci-contre représente une plaque en acier exposée à Odeillo à l'issue de l'expérience.



Données

- L'acier est un mélange principalement composé de fer et de carbone. Ses caractéristiques varient donc en fonction de sa composition. Pour celui utilisé, on utilisera les valeurs moyennes suivantes :
 - température de fusion : 1500°C ;
 - température d'ébullition : 2800°C ;
 - masse volumique à l'état solide : 7200 kg.m^{-3} ;
 - capacité thermique massique à l'état solide : $460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$;
 - énergie nécessaire à la fusion de 1 kg de cet acier : $L_f = 2,50.10^5 \text{ J.kg}^{-1}$.
- L'énergie E transmise lors de la fusion d'un échantillon de masse m à température constante est donnée par la relation : $E = m.L_f$
- Le volume d'un cylindre de longueur e et de rayon R est : $V = \pi. R^2.e$

1.3. Indiquer, parmi les relations ci-dessous, celle liant la puissance et l'énergie.

$$P = E.\Delta t \quad P = \frac{E}{\Delta t} \quad P = \frac{\Delta t}{E}$$

- 1.4. Quelle conversion d'énergie est réalisée au foyer du concentrateur afin que le rayonnement solaire concentré puisse percer une plaque en acier ?
- 1.5. En déduire la température minimale atteinte au foyer pendant cette expérience.
- 1.6. À l'aide du texte de fonctionnement du Grand Four Solaire et de la description de la plaque, montrer que la masse d'acier fondu est de l'ordre de 9 kg.
- 1.7. L'objectif est de retrouver, par calcul, la durée nécessaire au perçage de la plaque d'acier et de critiquer le modèle utilisé.
 - 1.7.1. Estimer l'énergie nécessaire pour élever la température de l'acier jusqu'à sa température de fusion. On supposera que la température initiale de l'acier était celle de l'air ambiant, à savoir 20°C .
 - 1.7.2. Estimer l'énergie nécessaire à la fusion de l'acier.
 - 1.7.3. En déduire la durée nécessaire théorique pour réaliser cette expérience.
 - 1.7.4. Comparer le résultat obtenu par calcul au résultat expérimental.
 - 1.7.5. Expliquer la différence entre ces deux résultats en identifiant des transferts thermiques qui n'ont pas été pris en compte dans le modèle.