



2 Ballon de chauffage sanitaire

Plus de la moitié des logements produisent leur eau chaude de manière indépendante. Si l'on regarde la répartition selon l'énergie de production, l'électricité est la première source de production d'eau chaude sanitaire des résidences principales. La part de la consommation liée à l'eau chaude sanitaire (ECS) est en passe de devenir l'un des premiers postes de consommation dans les bâtiments résidentiels neufs. En effet, la réglementation thermique 2012 (RT2012) imposant une réduction très importante des besoins de chauffage, l'ECS devient donc prépondérante face aux autres usages.

DOC 1 Caractéristiques techniques d'un ballon d'eau chaude sanitaire

Cumulus électrique - gamme Waterplus

Capacité	Tension	Puissance	Temps de chauffe*	Constante de refroidissement**	Classe énergétique
200 L	230 V	2 200 W	5 h 17 min	$0,18 \text{ Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	C

Surface d'échange thermique

La surface S d'échange thermique du ballon avec le milieu extérieur est de $2,9 \text{ m}^2$.
L'épaisseur des parois est négligeable.

Isolation extérieure

Le ballon est isolé par une couche de laine de roche d'épaisseur $e = 70 \text{ mm}$ et de conductivité thermique : $0,036 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

* Temps de chauffe pour que l'eau du ballon passe de 15°C à 65°C .

** Constante de refroidissement pour un appareil réglé à 65°C et une température ambiante de 20°C .

DOC 2 Exemple de ballon d'eau chaude couramment installé dans les logements



DONNÉES

► Expression de la résistance thermique : $R = e / (\lambda \cdot S)$ avec e épaisseur (en m), conductivité thermique en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et S surface (en m^2) de la paroi.

► Capacité thermique massique de l'eau à 20°C : $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

► Masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

► L'énergie perdue par jour lorsque 1 L d'eau contenu dans le ballon perd un degré est proportionnelle à une constante caractéristique du ballon, la constante de refroidissement C_r qui s'exprime en $\text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$. Par convention, pour la détermination de C_r , la température de stockage est choisie égale à 65°C , avec une température de l'air ambiant de 20°C .

1. Citer les modes de transfert thermique ayant lieu dans un ballon de chauffage sanitaire.

2. On chauffe l'eau du ballon de 15°C à 65°C (on néglige les pertes).

a. Calculer la durée nécessaire pour chauffer l'eau du ballon.

b. Vérifier que la valeur de cette durée est cohérente avec les caractéristiques fournies pour le ballon par le fabricant.

3. Déterminer le flux thermique à travers les parois du ballon entre l'eau à 65°C et l'air extérieur à 20°C .

4. En déduire :

a. la valeur de l'énergie perdue par le ballon en une journée ; exprimer le résultat en Wh ;

b. la constante de refroidissement du cumulus. Le résultat est-il cohérent avec la donnée du fabricant ?

Coups de pouce



L'énergie nécessaire pour chauffer l'eau du ballon est égale à $\Delta E = P \cdot \Delta t$.



Le flux thermique dépend de la résistance thermique selon la relation : $\Phi = \Delta T / R$.



Dans une journée il y a 24 h.



1 Effet de serre

Le flux thermique solaire moyen F_{solaire} reçu au sommet de l'atmosphère terrestre par le Soleil par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires (appelé aussi constante solaire) est connu. Il vaut en moyenne $F_{\text{solaire}} = 1\,368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

On dit que l'équilibre radiatif d'une planète est atteint quand sa température est constante. On a alors égalité entre le flux thermique par unité de surface émis par la planète et celui reçu par elle.

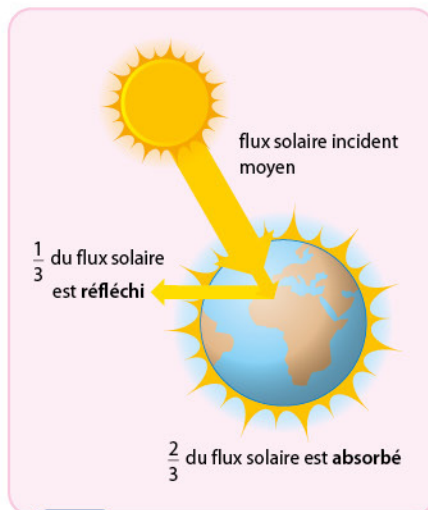


FIG 1 L'albédo de la Terre et de son atmosphère

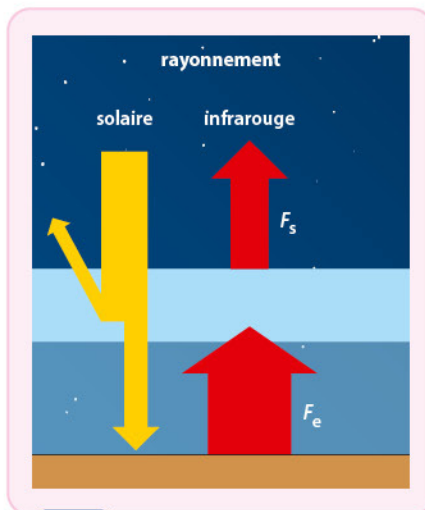


FIG 2 L'effet de serre

La Terre émet vers l'espace un flux thermique par unité de surface F_e plus faible que le flux thermique par unité de surface F_s émis par sa surface. L'effet de serre correspond à la différence entre ces deux flux thermiques.

1. Calculer la valeur du flux thermique solaire incident moyen par unité de surface F'_{solaire} reçu au niveau de la surface de l'atmosphère terrestre. La démonstration s'appuiera sur un schéma.

2. Déterminer l'albédo de la Terre et de son atmosphère. En déduire la valeur du flux solaire absorbé par unité de surface par la Terre $F_{\text{absorbée}}$.

3. La température moyenne de la Terre est supposée constante.

a. En déduire le flux thermique par unité de surface F_e émis vers l'espace par la Terre et son atmosphère.

b. Sachant que la température moyenne à la surface de la Terre est de 15°C , déterminer le flux thermique par unité de surface F_s émis par la surface de la Terre.

4. Donner l'expression de l'effet de serre G et donner sa valeur pour la Terre.

DONNÉES

La loi de Stefan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique par unité de surface F (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) d'un objet et la température T de l'objet considéré :

$$F = \sigma \cdot T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

EXEMPLE DE RÉDACTION

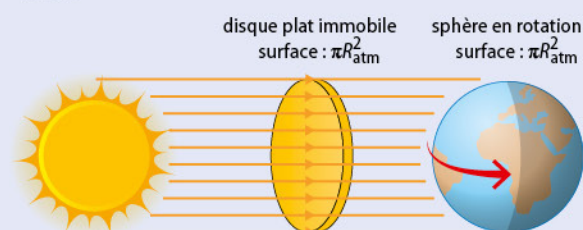
1. Le flux thermique solaire se répartit sur la totalité de la surface de la Terre :

$$\Phi = F_{\text{solaire}} \cdot \text{Surface (disque)} = F'_{\text{solaire}} \cdot \text{Surface (Terre)}$$

$$F_{\text{solaire}} \cdot \pi \cdot R_{\text{atm}}^2 = F'_{\text{solaire}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{atm}}^2$$

$$\text{Donc } F'_{\text{solaire}} = F_{\text{solaire}}/4$$

$$F'_{\text{solaire}} = 1\,368/4 = 342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



2. L'albédo correspond à la proportion de l'énergie reçue par la Terre qui est réfléchiée et n'est donc pas absorbée. D'après la figure 1, sa valeur est donc égale à $A = 1/3$.

$$\text{Donc } F_{\text{absorbée}} = (2/3) \times F'_{\text{solaire}} = (2/3) \times 342 = 228 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

3. a. La température de la Terre est constante. On a donc égalité entre le flux thermique par unité de surface émis par la Terre et celui reçu par elle.

$$\text{Donc } F_e = F_{\text{absorbée}} = 228 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{b. D'après la loi de Stefan-Boltzmann, } F_s = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \times 10^{-8} \times (273 + 15)^4 = 390 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

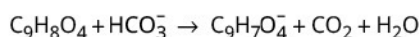
$$4. G = F_s - F_e$$

$$\text{Pour la Terre : } G = F_s - F_e = 390 - 228 = 162 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



3 Un comprimé d'aspirine dans un verre d'eau

Un comprimé d'aspirine effervescent est mis dans un verre d'eau. Entre l'aspirine, principe actif du médicament, et l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- se produit une réaction dont l'équation est :



Cette réaction sera considérée comme totale.



1. Étude de la réaction au laboratoire

On envisage de reproduire la réaction au laboratoire (Fig. 1) en mettant en contact un comprimé d'aspirine 500 non effervescent, qui contient donc 500 mg de principe actif, et une solution d'hydrogénocarbonate de sodium.

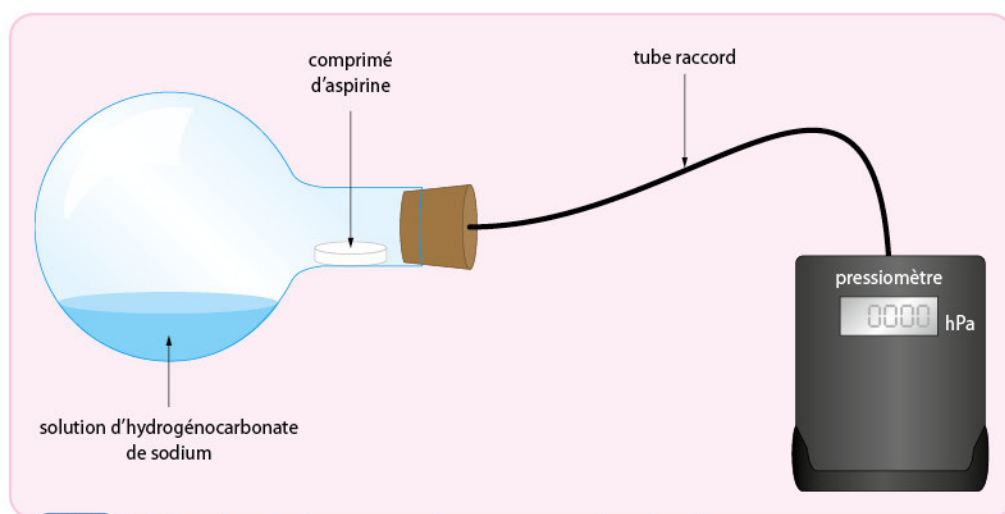


FIG 1 Schéma de principe avant mise en contact des réactifs

Lorsque le ballon est placé verticalement, le comprimé tombe dans la solution et la réaction « démarre ». L'apparition de dioxyde de carbone, en supplément de l'air déjà présent, crée une surpression P_{CO_2} mesurée par le pressiomètre.

Le suivi expérimental de la pression donne lieu à la courbe ci-dessous (Fig 2).

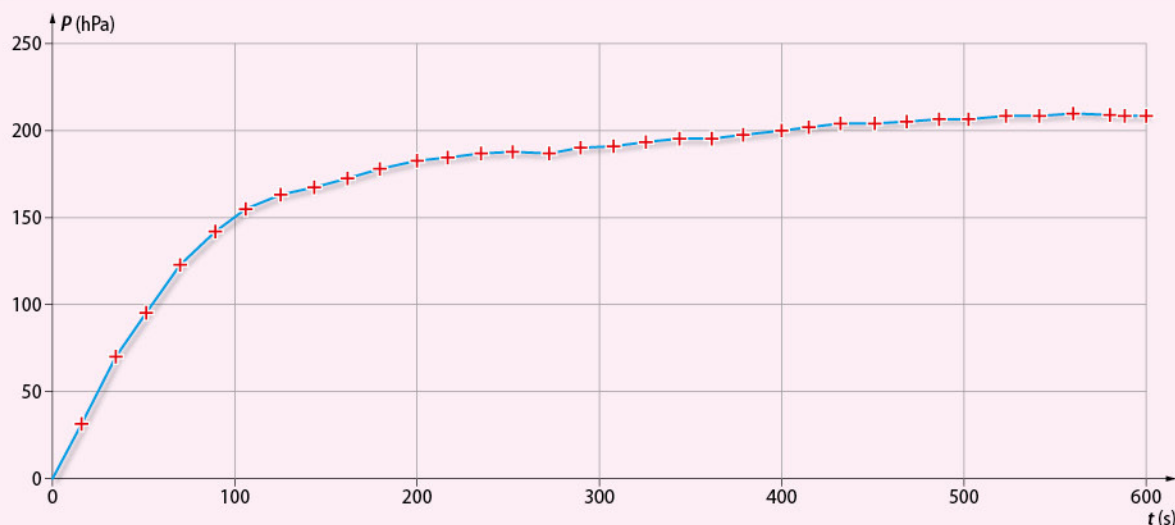


FIG 2 Suivi expérimental de la pression mesurée au pressiomètre

DONNÉES

- ▶ La surpression P_{CO_2} vérifie l'équation : $P_{\text{CO}_2} \cdot V = n_{\text{CO}_2} \cdot R \cdot T$
- P_{CO_2} est exprimée en pascal (Pa) ;
- V correspond au volume de l'enceinte exprimé en m^3 ;
- n_{CO_2} traduit le nombre de mole gazeuse de dioxyde de carbone, et s'exprime en mole ;
- R est une constante de valeur $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- T est la température en kelvin, liée à la température en $^{\circ}\text{C}$ par la relation : $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$.
- ▶ Volume total de l'enceinte : $300 \text{ mL} = 3,00 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.
- ▶ Température expérimentale : $\theta = 26^{\circ}\text{C}$.
- ▶ Masses molaires : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Comment expliquer au niveau microscopique l'augmentation de la pression mesurée au pressiomètre ?
2. a. Montrer que si P_{CO_2} est exprimée en pascal on a sensiblement : $n_{\text{CO}_2} = 1,21 \times 10^{-7} P_{\text{CO}_2}$ soit :
 $n_{\text{CO}_2} = 1,21 \times 10^{-7} P_{\text{CO}_2}$ si on exprime la pression en hPa.
- b. Dire quel modèle est utilisé dans cette étude et donner ses limites.
3. Peut-on estimer à partir de la courbe de la **figure 2** que la réaction est terminée ? Justifier votre réponse.
4. Déterminer la quantité de matière gazeuse formée au cours de la réaction.
5. a. Donner la relation entre la quantité de dioxyde de carbone formée n_{CO_2} et la quantité d'aspirine consommée n_{asp} .
- b. En déduire la masse d'aspirine contenue dans le comprimé.
Comparer à la valeur indiquée.

2. Refroidissement à l'air libre de la solution obtenue

Le verre qui contient la solution obtenue initialement à 26°C est laissé un moment sur une table extérieure alors que la température environnante est seulement de 5°C . La solution se refroidit donc pour atteindre une température de 23°C au bout de 5 minutes.

DONNÉES

- ▶ Loi de Newton : $dT(t)/dt = -\gamma(T(t) - T_{\text{th}})$
- ▶ $dT(t)/dt$: taux de variation de la température du système (en $\text{K} \cdot \text{s}^{-1}$)
- ▶ γ : constante de refroidissement (en s^{-1})
- ▶ $T(t)$: température du système au temps t (en K)
- ▶ T_{th} : température du thermostat (en K)



1. a. Peut-on dire que l'énergie de la solution présente dans le verre varie ?
- b. Que se passe-t-il au niveau microscopique ?
2. a. Dire dans quel sens se fait le transfert thermique.
- b. Identifier et caractériser le principal mode de transfert thermique mis en jeu.
3. a. Quelle est la valeur de T_{th} dans le cas de l'étude ?
- b. Résoudre l'équation différentielle en donnant l'expression de $T(t)$ en fonction de γ .
- c. Donner l'allure générale de $T(t)$.
4. Déterminer la valeur numérique de la constante γ .
5. Si la solution est bue après être restée 10 minutes en extérieur, quelle est alors sa température ?



4 Flux thermique reçu du Soleil et conséquences

1. Température moyenne à la surface de la Terre

Le flux thermique moyen F reçu au sommet de l'atmosphère terrestre par le Soleil par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires (appelé aussi constante solaire) est connu. Il vaut en moyenne $F = 1\,368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

On dit que l'équilibre radiatif d'une planète est atteint quand l'énergie rayonnée est égale à l'énergie reçue.

La Terre et son atmosphère présentent un albédo $A = 0,30$.

DONNÉES

La loi de Stefan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique par unité de surface F (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) d'un objet et la température T de l'objet considéré comme un « corps noir » idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit :

$$F = \sigma \cdot T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

1. En ne tenant pas compte de l'atmosphère terrestre, calculer la valeur du flux thermique F' par unité de surface terrestre. La démonstration s'appuiera sur un schéma.

2. Dans la suite, on tient compte de l'albédo et de l'atmosphère terrestre.

a. Définir ce qu'on appelle un albédo.

b. Calculer la valeur du flux thermique F'' par unité de surface réellement absorbé par la Terre.

3. a. Calculer la température moyenne à la surface de la Terre en considérant celle-ci comme un corps noir.

b. La température moyenne à la surface de la Terre est d'environ 15°C . Comparer le résultat avec la valeur calculée précédemment et justifier l'écart constaté.

2. Le Grand Four Solaire d'Odeillo

Perché à $1\,535 \text{ m}$ d'altitude, le « Grand Four Solaire » d'Odeillo est un laboratoire du CNRS (Centre national de la Recherche scientifique). D'un flux thermique de $1\,000 \text{ kW}$ au foyer, il est à ce jour le four solaire le plus puissant au monde.

Situé 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.

A. Principe de fonctionnement

La lumière du Soleil est captée par 63 héliostats (Fig 1) de 45 m^2 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, il viennent enfin se concentrer dans un foyer situé 18 m en avant où la tache lumineuse obtenue fait seulement 40 cm de diamètre. À ce niveau, la température peut atteindre $3\,400^\circ\text{C}$.

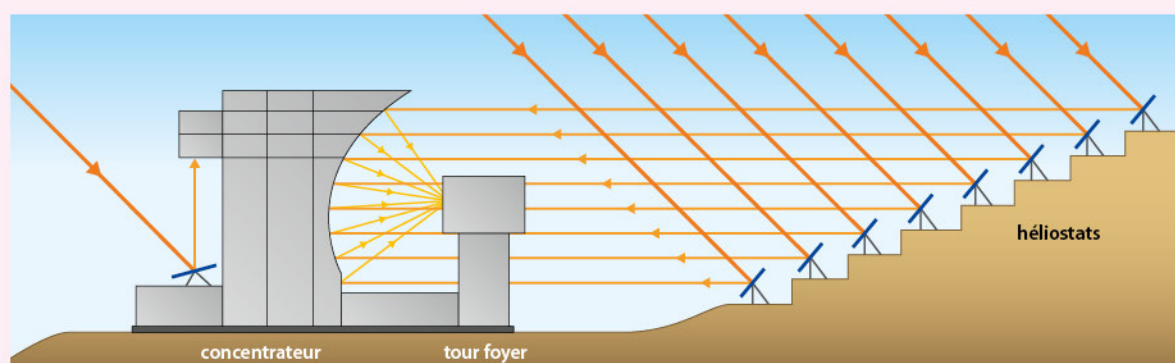


FIG 1 Schéma de principe

DONNÉES

- ▶ Le concentrateur (ou parabole) de superficie totale $1\,830\text{ m}^2$ est constitué de 9 130 miroirs.
- ▶ Les héliostats, de superficie totale $2\,835\text{ m}^2$, sont constitués de 11 340 miroirs.
- ▶ La réflectivité des miroirs des héliostats, ainsi que celle du concentrateur, est estimée à 70 %. Elle correspond au pourcentage incident qui est réfléchi par la surface du matériau.
- ▶ Le flux thermique reçu par unité de surface de miroir pendant l'utilisation du « Grand Four Solaire » est de $710\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

1. Exprimer, puis calculer, le flux thermique réfléchi par l'ensemble des héliostats.
2. Montrer que la valeur du flux thermique au foyer est bien égale à la valeur annoncée.

B. 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 seconde (Fig 2).

DONNÉES

- ▶ L'acier est un mélange principalement composé de fer et de carbone. Ses caractéristiques variant en fonction de sa composition, on utilisera les valeurs moyennes suivantes :
 - température de fusion : $1\,500\text{ °C}$;
 - température d'ébullition : $2\,800\text{ °C}$;
 - masse volumique à l'état solide : $\rho = 7\,200\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 - capacité thermique massique à l'état solide : $c = 460\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$
 - énergie nécessaire à la fusion de 1 kg de cet acier : $L_f = 2,50 \times 10^5\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- ▶ L'énergie E transmise lors de la fusion d'un échantillon de masse m à température constante est donnée par la relation : $\Delta U_f = m \cdot L_f$.
- ▶ Le volume d'un cylindre de longueur e et de rayon R est : $V = \pi \cdot R^2 \cdot e$.

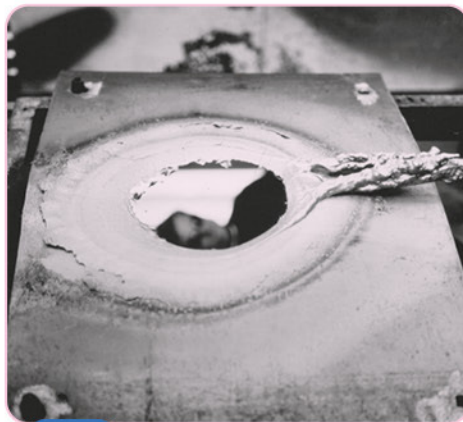


FIG 2 Plaque en acier percée sous un rayonnement solaire

1. Montrer que la masse m d'acier fondu est de l'ordre de 9 kg.
2. a. 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 de 20 °C .
b. Estimer l'énergie nécessaire à la fusion de l'acier.
c. En déduire la durée nécessaire théorique pour réaliser cette expérience.
d. Comparer avec la valeur expérimentale et expliquer la différence en identifiant les transferts thermiques qui n'ont pas été pris en compte dans le modèle.