

Thermodynamique

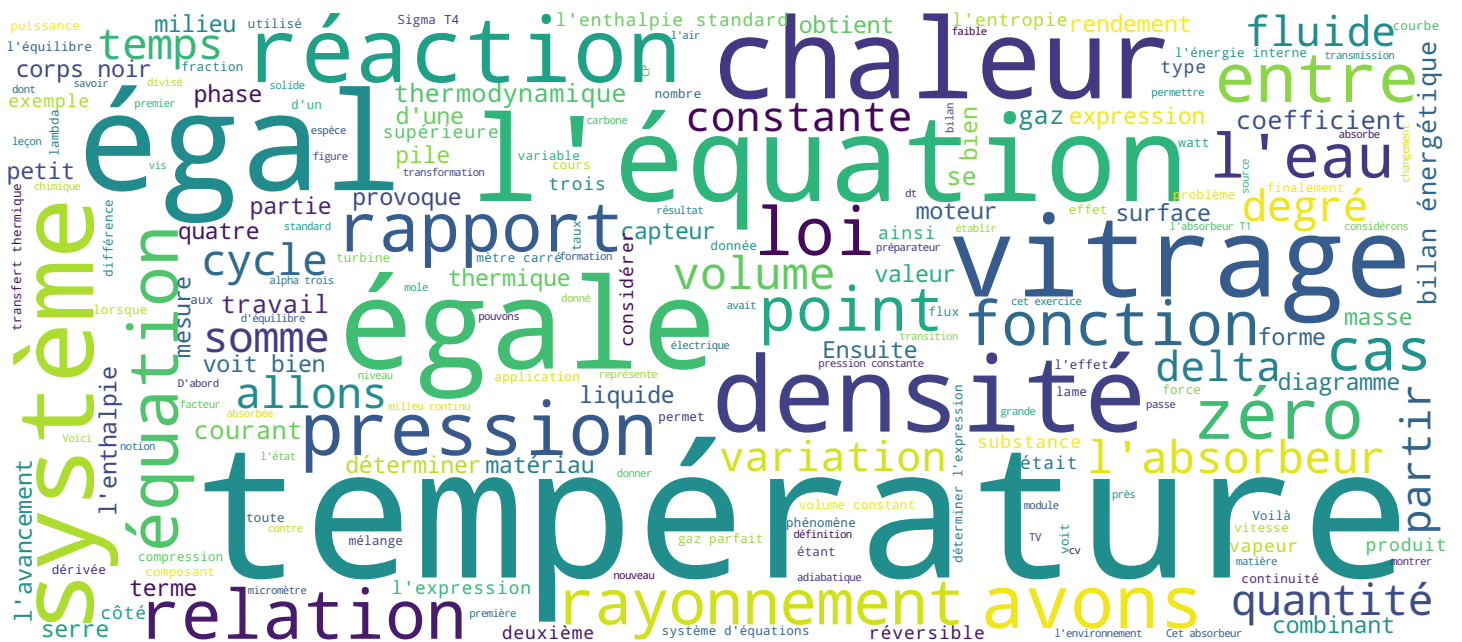
Rayonnement thermique: Application



 Dr. Chantal Maatouk



Max Planck, 1858 -1947



Search MOOC



Video



EPFL



Thermodynamique

Bienvenue aux cours de transfert thermique en ligne. Durant cette séance, nous allons traiter les transferts thermiques par rayonnement. Nous allons étudier durant cette séance le fonctionnement d'un capteur solaire thermique destiné au chauffage et à la production d'eau chaude.

Notes

Summary



0m 04s



- Monochromatique ou sur l'ensemble du spectre
- Notions de:
 - Eclairement,
 - Réflexion,
 - Absorption,
 - Transmission
- Corps Noir et Corps Gris
- Lois du rayonnement :
 - Loi de Planck
 - Loi de Wien
 - Loi de Stefan-Boltzmann

Thermodynamique

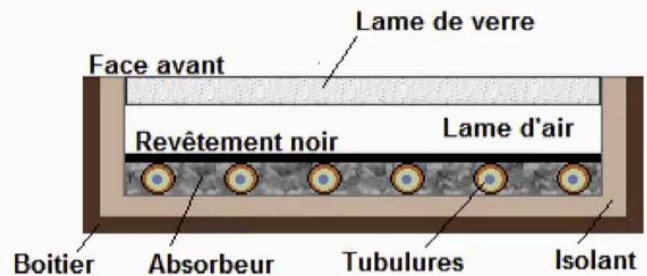
Dans ce type de système, le transfert thermique se fait principalement par rayonnement. L'étude de ce mode de transfert thermique va nous permettre de découvrir que l'énergie thermique n'est qu'une petite partie de l'ensemble beaucoup plus vaste du rayonnement électromagnétique. Dans cet exercice, nous allons caractériser les sources de rayonnement sur l'ensemble du spectre. Nous serons amenés à introduire les notions d'éclairement, de réflexion, d'absorption et de transmission, ce qui va nous mener à considérer un corps thermiquement idéal appelé corps noir. Le corps gris est utilisé pour les applications les plus courantes. Nous serons amenés également à énoncer et à mettre en application les lois du rayonnement qui sont la loi de Planck, la loi de Wien et la loi de Boltzmann.

Notes

Summary



Application : Capteur Solaire Plan



Coupe d'un capteur solaire plan

Thermodynamique

Il existe différentes technologies de capteurs solaires thermiques. On cite les capteurs à tubes sous vide, les capteurs plans non vitrés et les capteurs plans vitrés. Dans cet exercice, nous allons étudier le fonctionnement d'un capteur solaire plan vitré. Ce type de capteur est composé principalement d'un revêtement noir appelé absorbeur. Cet absorbeur est posé sur un circuit de tubulures dans lequel circule un fluide caloporteur. Ce fluide a pour rôle d'évacuer la chaleur captée vers l'appareil et utilisation de l'installation sur la face avant. On pose une lame de verre dont le rôle est de réduire l'énergie ou bien le rayonnement perdu vers l'extérieur par l'effet de serre qu'elle provoque. Le tout est installé dans un boîtier calorifique G pour réduire les pertes par l'arrière et les côtés de ce système.

Notes

Summary



1m 07s

Hypothèses et données

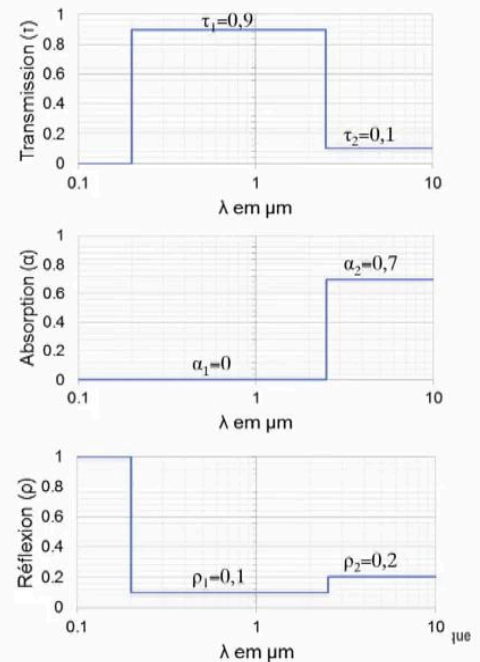


Hypothèses

- Les échanges par conduction sont négligées
- Les pertes thermiques générées au fond du boîtier sont négligées

Données

- L'éclairement solaire $E = 1000 \text{ W/m}^2$
- Le fluide caloporteur est de l'eau, ayant une capacité calorifique $C = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$
- Les propriétés radiatives moyennes du vitrage présentées sur les graphes ci-contre:
- Emissivité du vitrage $\varepsilon = 0,9$
- Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$



On se propose d'évaluer les températures qui atteindront l'absorbeur et le vitrage lorsque la circulation du fluide caloporteur est interrompue. Pour résoudre le problème, on admettra les hypothèses suivantes. D'abord, on va négliger tous les échanges par conduction pour ne considérer que les échanges radiatifs. Ensuite, on suppose qu'il n'y a aucune perte thermique par le fond et le côté du boîtier. Des données physiques nécessaires à la résolution du fait du problème sont les suivantes. L'éclairement solaire rayonnement sur le vitrage est de 1000 watts par mètre carré. Cet arrêt fêta éclairement est considéré pour le test standardisé des capteurs solaires. Le fluide caloporteur circulant dans les tubulures est de l'eau. Sa capacité calorifique massique moyenne est de 4,18 kilos joule par kilogramme par cas. On connaît les propriétés radiative moyen du vitrage dans deux bandes spectrales pour l'AM entre zéro et 2,5 micromètre et celle de rayonnement thermique dit de basse température, c'est à dire lorsque la MDA est supérieure à 2,5 micromètres. Ces données sont représentées sur la figure ci contre.

Notes

Summary



2m 06s

Hypothèses et données

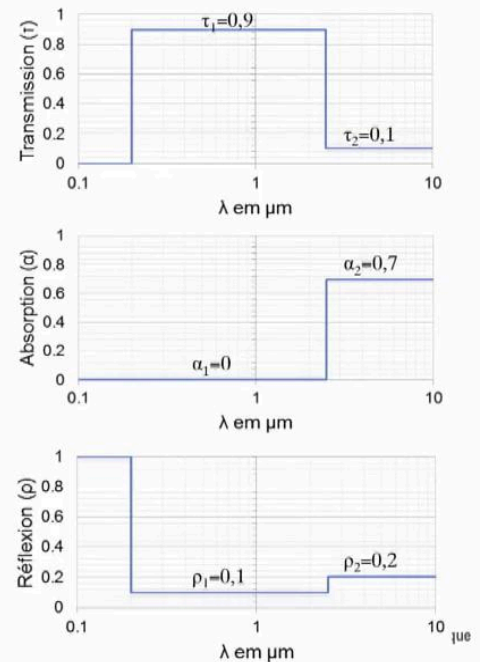


Hypothèses

- Les échanges par conduction sont négligés
- Les pertes thermiques générées au fond du boîtier sont négligées

Données

- L'éclairement solaire $E = 1000 \text{ W/m}^2$
- Le fluide caloporteur est de l'eau, ayant une capacité calorifique $C = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$
- Les propriétés radiatives moyennes du vitrage présentées sur les graphes ci-contre:
- Emissivité du vitrage $\varepsilon = 0,9$
- Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$



Les propriétés de la courbe de transmission du verre montrent que ce matériau est pratiquement transparent pour le rayonnement solaire avec un facteur un égal à 0,9, mais transmet peu de rayonnement au delà de 2,5 micromètres ou le facteur de transmission aux deux est égal à 0,1. En outre, il absorbe tout le rayonnement de température ambiante, dont le maximum se situe autour de dix micromètres de longueur d'onde, avec un facteur d'attractivité alpha trois égal à un. L'émission vitesse du vitrage Epsilon est égale à 0,9.

Notes

Summary





T_a : Température de l'absorbeur

T_v : Température du vitrage

Démarche:

- Etude des phénomènes radiatifs sur chaque composants
- Bilans énergétiques au niveau de l'absorbeur et le vitrage

Thermodynamique

Nous désignons par T_a la température de l'absorbeur et T_v la température du vitrage. La démarche à suivre est la suivante. D'abord, on va étudier les phénomènes radiatif sur l'absorbeur d'une part et le vitrage d'autre part. Ensuite, on va établir les bilans énergétiques sur chacun de ces composants. On va obtenir alors un système d'équations qui va nous permettre de déterminer d'une part T_a et d'autre part T_v .

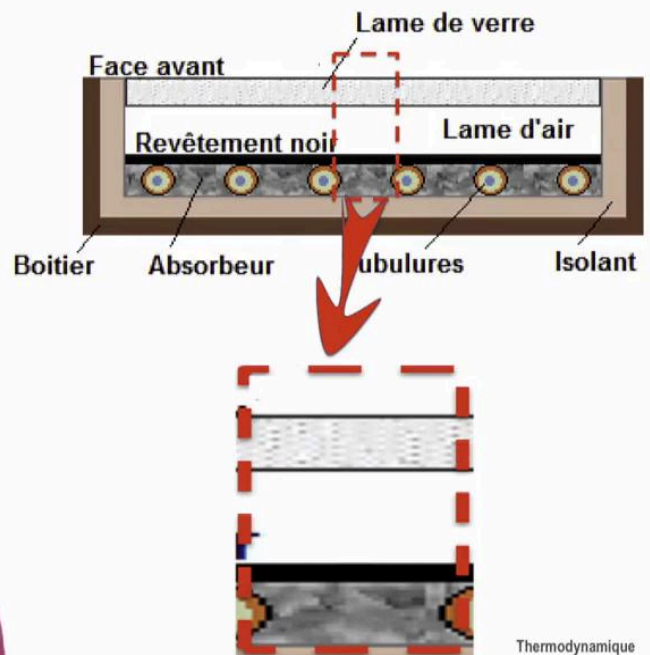
Notes

Summary



4m 02s

Circulation du fluide caloporteur interrompue



Pour l'étude, on va considérer une surface du capteur égale à un mètre carré sur laquelle on va établir le bilan énergétique.

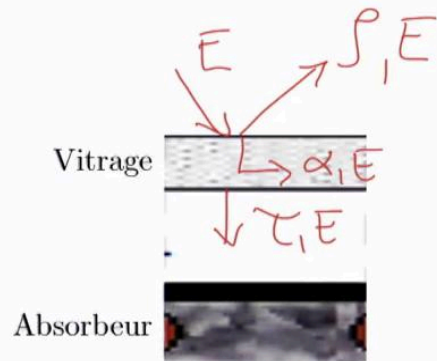
Notes

Summary

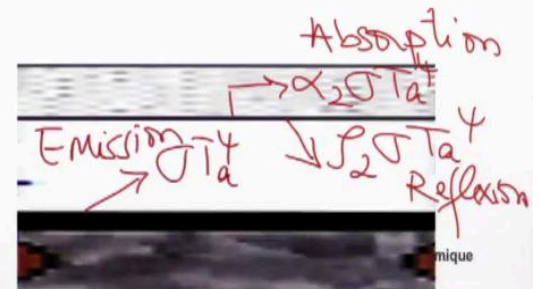


4m 30s

- E éclairement solaire incident :
 - $(\rho_1 E)$ réfléchi,
 - $(\alpha_1 E)$ absorbée,
 - $(\tau_1 E)$ transmise par le verre et absorbée par la surface noire de l'absorbeur.



- L'absorbeur réagit comme un corps noir : (Loi de Stefan Boltzmann)
 - (σT_a^4) émise vers le vitrage
 - $(\alpha_2 \sigma T_a^4)$ absorbée par le vitrage
 - $(\rho_2 \sigma T_a^4)$ réfléchi vers l'absorbeur



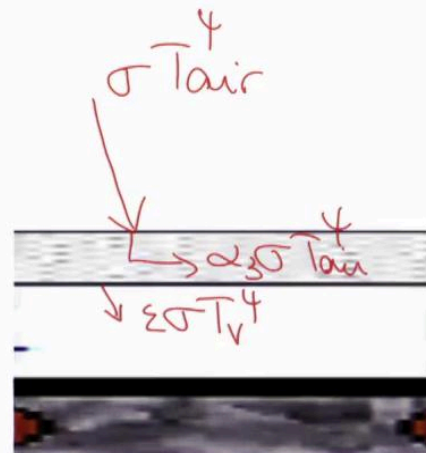
Un éclairement solaire incident frappe le vitrage. Une fraction de ce rayonnement est réfléchi vers l'ambiance. Il est égal à un. Une autre fraction α_1 est absorbée par le verre, tandis que la fraction restante du flux incident traverse le vitrage et elle est égale à un peu. Tout le rayonnement transmis par le vitrage est absorbée par la surface noire de l'absorbeur. L'absorbeur réagissant comme un corps noir émet un rayonnement dont l'existence est fournie par la loi de Stephen de Boltzmann. Soit σT_a^4 . Le rayonnement de l'absorber frappe le vitrage. Une fraction α_2 de σT_a^4 est réfléchi du vitrage et revient donc vers l'absorbeur. Une autre fraction α_1 de σT_a^4 est absorbée par le vitrage.

Notes

Summary



- A l'équilibre thermique, le vitrage à la température T_v :
- $(\epsilon \sigma T_v^4)$ émise par le vitrage
- $(\alpha_3 \sigma T_{air}^4)$ absorbée par le vitrage
- Rayonnement ambiant : σT_{air}^4



Thermodynamique

Le vitrage en équilibre thermique à la température T_v émet un rayonnement Epsilon Sigma T_v^4 qui sera absorbée par le corps noir en vis à vis. En même temps, il absorbe une fraction alpha trois sigma T_{air}^4 du rayonnement ambiant émanant de l'environnement à la température T_{air} . On note Sigma. T_{air}^4 . Exposants quatre. Comme étant le rayonnement ambiant et alpha trois. Sigma T_{air}^4 . La fraction du rayonnement ambiant absorbée par le vitrage.

Notes

Summary





- Vitrage:

$$\text{Absorbe : } \begin{cases} \alpha_1 E \\ \alpha_2 \sigma T_a^4 \\ \alpha_3 \sigma T_{air}^4 \end{cases}$$

$$\text{Emet : } 2\epsilon\sigma T_v^4$$

Bilan thermique:

$$2\epsilon\sigma T_v^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4 \quad (2)$$

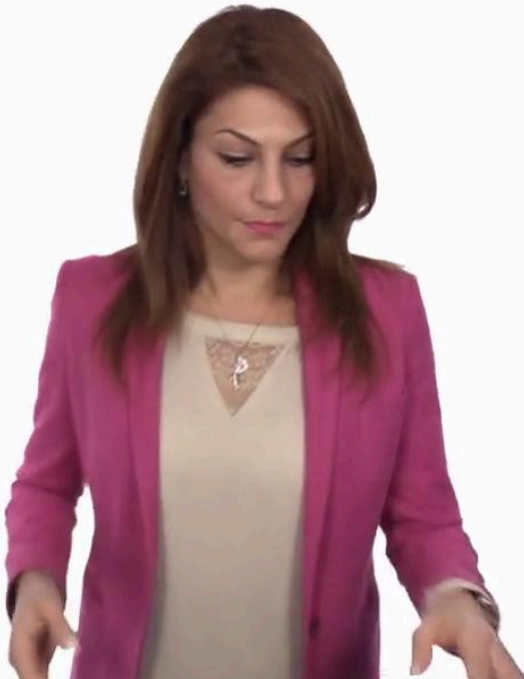
Thermodynamique

Nous avons déterminé les quantités de chaleur échangée dans le vitrage et l'absorbeur. Nous allons maintenant établir les bilans énergétiques sur chacun de ces composants. Au niveau de l'absorbeur, celui là absorbe une fraction du rayonnement solaire noté α_1 . Il absorbe également une partie du rayonnement du corps noir, qui est réfléchi par le vitrage, noté $\alpha_2 \sigma T_a^4$. Il absorbe également une quantité d'une fraction du rayonnement émise par le vitrage, noté $\alpha_3 \sigma T_v^4$. Cet absorbeur émet un rayonnement égal à $\epsilon \sigma T_a^4$. Un régime permanent et à l'équilibre thermique de cet absorbeur. La somme des flux entrant dans l'absorbeur est égale à la somme des rayonnements qui sont émis de cet absorbeur. En écrivant le bilan énergétique, on obtient l'équation qu'on voit sur l'écran noté T1. De même pour le vitrage. Si on veut établir le bilan énergétique, on va commencer par déterminer les quantités de chaleur absorbées par celui là. Alors le vitrage absorbe un rayonnement α_1 . Heu, c'est une fraction du rayonnement incidente provenant du soleil. Il va absorber également un rayonnement α_3 à ϵ émis par le corps noir.

Notes

Summary





- Vitrage:

$$\text{Absorbe : } \begin{cases} \alpha_1 E \\ \alpha_2 \sigma T_a^4 \\ \alpha_3 \sigma T_{air}^4 \end{cases}$$

$$\text{Emet : } 2\epsilon \sigma T_v^4$$

Bilan thermique:

$$2\epsilon \sigma T_v^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4 \quad (2)$$

Thermodynamique

Et finalement, il va absorber une fraction du rayonnement de l'environnement, notait Alpha trois. Sigma TR. Exposants quatre. Terre étant la température de l'air ambiant, celui là va émettre par ces deux facettes un rayonnement égal à deux. Epsilon Sigma TV4 Epsilon étant l'émissaire du verre à l'équilibre thermique, la somme des flux entrants est égale à la somme des flux émise, ce qui nous amène à l'expression présentée sur la figure et notée deux.

Notes

Summary



8m 38s

$$\begin{cases} \sigma T_a^4 = \tau_1 E + \rho_2 \sigma T_a^4 + \epsilon \sigma T_v^4 & (1) \\ 2\epsilon \sigma T_v^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4 & (2) \Rightarrow T_N^4 \end{cases}$$

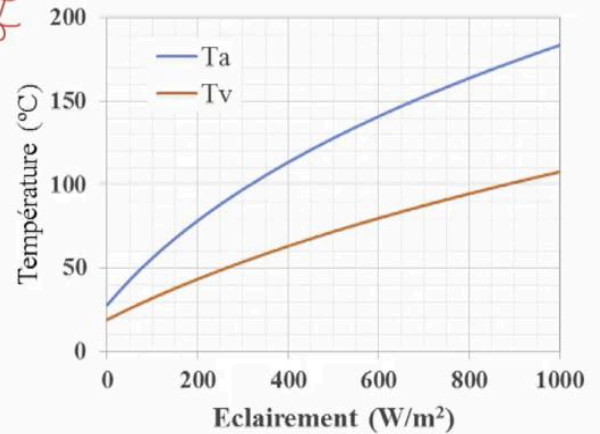
$$T_a = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 + 2\tau_1)E + \alpha_3 \sigma T_{air}^4}{(2 - \alpha_2 - 2\rho_2)\sigma}}$$

$$T_v = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4)}{2\epsilon \sigma}}$$

A.N. : $T_a = 457K = 184^\circ C$

$T_v = 380K = 107^\circ C$

Effet de la variation de l'éclairement E sur la température de l'absorbeur et du vitrage



Thermodynamique

En combinant les deux bilans. En combinant les deux bilan énergétique ainsi obtenu, on obtient ce système d'équations. Si on isole l'expression TV4. Et on l'écrit à partir de l'équation deux. On peut la remplacer ainsi dans l'équation un et déterminer l'expression de la température de l'absorbeur T1. En remplaçant. L'expression de t a. Dans l'équation deux nombres. On peut alors déterminer. Décroissant. L'équation de tv. On répète. Reste. En combinant les deux bilan énergétique. En combinant les deux bilan énergétique, on obtient le système d'équations composé par l'équation une et deux. De l'extrait vicieux. En combinant les deux bilan énergétique, on peut, à partir de l'équation du bilan énergétique établi sur le vitrage, tirer l'expression de TVA de quatre. Si on remplace l'expression de TV4 dans l'équation un, on peut déterminer alors l'expression de T à la température de l'absorbeur. Maintenant, si on remplace l'expression de t a dans l'équation deux, on peut alors déterminer l'expression qui nous permet de calculer TV la température du vitrage pour les propriétés caractérisant le vitrage. Ainsi que pour un rayonnement égal à 1000 watts par mètre carré.

Notes

Summary



$$\begin{cases} \sigma T_a^4 = \tau_1 E + \rho_2 \sigma T_a^4 + \epsilon \sigma T_v^4 & (1) \\ 2\epsilon \sigma T_v^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4 & (2) \end{cases}$$

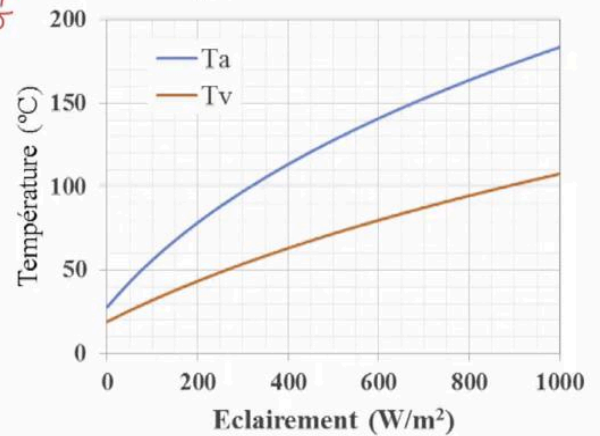
$$T_a = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 + 2\tau_1)E + \alpha_3 \sigma T_{air}^4}{(2 - \alpha_2 - 2\rho_2)\sigma}}$$

$$T_v = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4)}{2\epsilon \sigma}}$$

A.N. : $T_a = 457K = 184^\circ C$

$T_v = 380K = 107^\circ C$

Effet de la variation de l'éclairement E sur la température de l'absorbeur et du vitrage



Thermodynamique

On peut déterminer une valeur TH de l'absorbeur égale à 184 degrés C et une température du vitrage TV égale à 107 degrés. C'est. On voit bien l'effet de serre que provoque le vitrage dans cette installation, puisqu'on voit bien que la température de l'absorbeur est bien plus importante que celle du vitrage. On a étudié l'effet de la variation de l'éclairement sur la température de l'absorbeur et du vitrage. On vient. On voit bien que quelle que soit l'éclairement reçu par le capteur, la température de l'absorbeur est toujours supérieure à la température du vitrage. Même pour les faibles températures ou bien même en absence d'éclairement, on a toujours un effet de serre qui est provoqué par la lame en verre posée sur ce capteur. Tout en. Bon, je vais répéter pour être précis, mais on répète sans aucun. En combinant les deux bilans thermiques, on obtient ce système d'équations. À partir de l'équation deux, on peut tirer l'expression de TV4 qu'on peut remplacer dans l'équation un et déterminer l'expression de la température de l'absorbeur T1. En remplaçant l'expression de t a. Dans l'équation deux, on peut tirer l'expression de TV la température du vitrage.

Notes

Summary



11m 31s

$$\begin{cases} \sigma T_a^4 = \tau_1 E + \rho_2 \sigma T_a^4 + \epsilon \sigma T_v^4 & (1) \\ 2\epsilon \sigma T_v^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4 & (2) \end{cases}$$

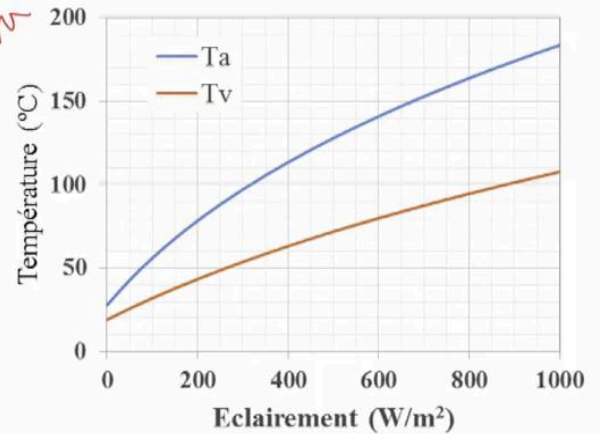
$$T_a = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 + 2\tau_1)E + \alpha_3 \sigma T_{air}^4}{(2 - \alpha_2 - 2\rho_2)\sigma}}$$

$$T_v = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4)}{2\epsilon \sigma}}$$

$$A.N. : T_a = 457K = 184^\circ C$$

$$T_v = 380K = 107^\circ C$$

Effet de la variation de l'éclairement E sur la température de l'absorbeur et du vitrage



Thermodynamique

L'application de l'application numérique conduit à une température T1 à égale à 184 degrés est élevée égale à 107 degrés. A partir de ces résultats, on voit bien l'effet de serre que provoque le vitrage puisque sa température reste inférieure à la température de l'absorbeur. Ensuite, on a étudié l'effet de la variation de l'éclairement sur la température de l'absorbeur et du vitrage. On voit bien que quelle que soit l'éclairement reçu par le capteur, la température de l'absorbeur reste toujours supérieure à la température du vitrage du fait de l'effet de serre entre la lame d'air et la nouvelle norme. De plus répéter ce mythe ailleurs. En combinant les deux bilans thermiques, on obtient le système d'équations suivant. À partir de l'expression deux, on peut déduire la température TV4 qu'on peut remplacer dans l'équation un. Ceci va nous permettre de déterminer l'expression de la température de l'absorbeur T1. Si on remplace l'expression de T à dans l'équation deux, on peut alors déduire la température des vitrages TV pour un éclairement solaire de 1000 watts par mètre carré. Et si on fait l'application numérique, on obtient une température de l'absorbeur T1 à égal à 184 degrés et TV la température du vitrage égale à 107 degrés C.

Notes

Summary



$$\begin{cases} \sigma T_a^4 = \tau_1 E + \rho_2 \sigma T_a^4 + \epsilon \sigma T_v^4 & (1) \\ 2\epsilon \sigma T_v^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4 & (2) \end{cases}$$

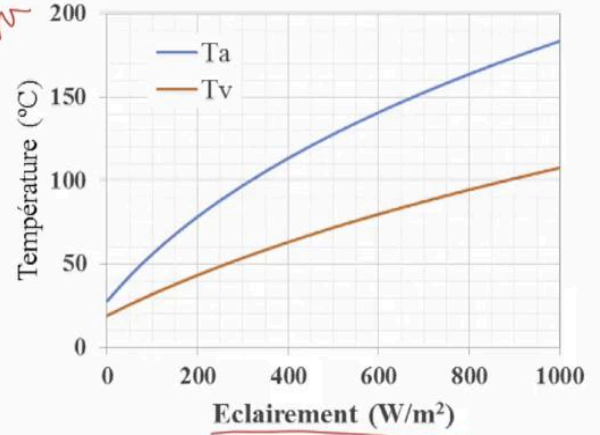
Effet de la variation de l'éclairement E sur la température de l'absorbeur et du vitrage

$$T_a = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 + 2\tau_1)E + \alpha_3 \sigma T_{air}^4}{(2 - \alpha_2 - 2\rho_2)\sigma}}$$

$$T_v = \sqrt[4]{\frac{(\alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T_a^4 + \alpha_3 \sigma T_{air}^4)}{2\epsilon \sigma}}$$

A.N. : $T_a = 457K = 184^\circ C$

$T_v = 380K = 107^\circ C$



Thermodynamique

On voit bien, puisque la température de l'absorbeur est supérieure à celle de la lame de verre, l'effet de serre que celle-ci provoque. On a étudié également l'effet de la variation de l'éclairement sur la température de l'absorbeur et du vitrage. On voit que quelle que soit l'éclairement reçu par le capteur, la température de l'absorbeur reste supérieure à celle du vitrage. Ceci est bien lié à l'effet de serre que provoque la lame de verre sur ce système.

Notes

Summary



Conclusions



Thermodynamique

Pour conclure, durant cet exercice, nous avons étudié les phénomènes radiatif qui ont lieu dans un capteur solaire. Pour résoudre le problème, on a fait appel aux lois du rayonnement qu'on a mis en application. On a identifié donc pour ce type de système l'effet de serre que provoque la présence de la lame de verre posée sur le capteur. Ceci est directement lié à son facteur de transmission qui est faible pour ces longueurs d'onde. Merci pour votre attention.

Notes

Summary



15m 36s