



FIGURE 1 – Visualisation de la convection par strioscopie, Harvard Natural Science 2014

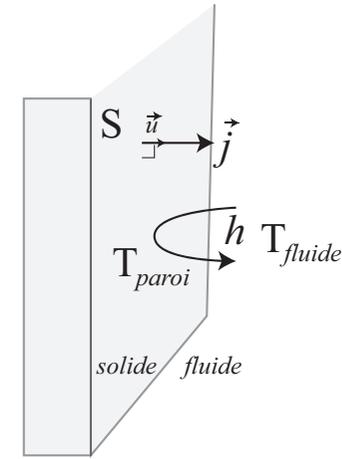


FIGURE 2 – Densité de flux thermique par convection

Exemple 1 La surface d'échange thermique d'une habitation située sous les toits est de $S = 15 \text{ m}^2$. Le toit n'est pas isolé et assimilable à une résistance thermique par convection de coefficient $h = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

- 1 - Effectuer un schéma équivalent à l'aide de résistances thermiques.
- 2 - Déterminer la puissance du chauffage à installer pour maintenir une température intérieure de $\theta_{int} = 20^\circ\text{C}$ lorsque la température extérieure est de $\theta_{ext} = 0^\circ\text{C}$.
- 3 - Pour respecter les normes de rénovation énergétique (RT-2012) l'épaisseur de laine de verre à poser est de 10 cm. Estimer le gain économique sur 1 mois d'hiver (30 j) si le local est chauffé par un radiateur électrique.

Données :

- conductivité de l'isolant :

$$\lambda_{isover} = 40.10^{-3} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

- Coût de l'électricité : $1 \text{ kWh} = 0,16 \text{ euros}$

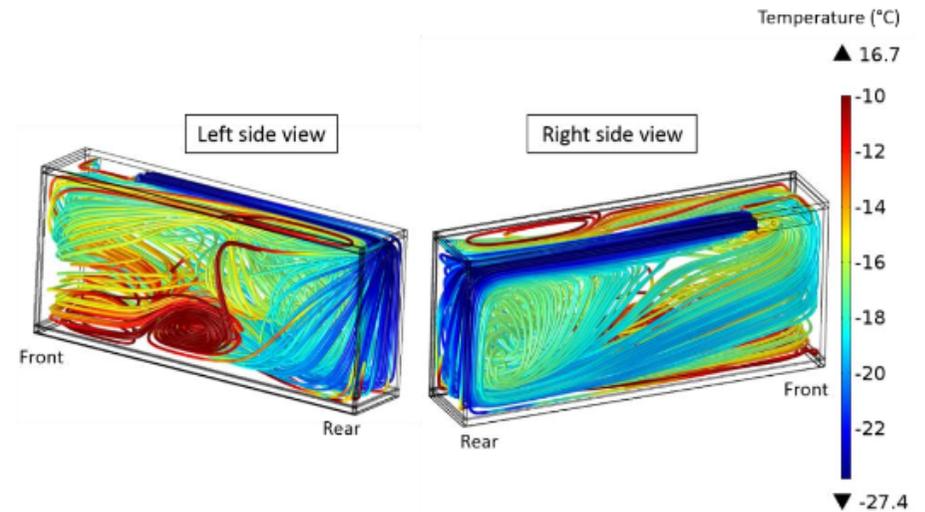


FIGURE 3 – Simulation numérique de convection par Comsol

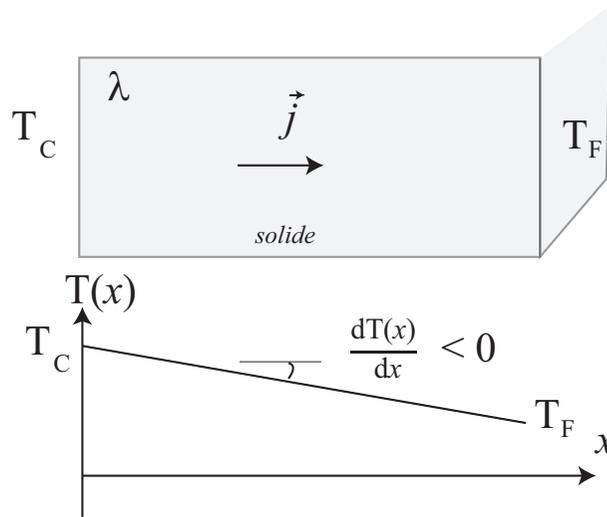


FIGURE 4 – Densité de flux thermique par conduction

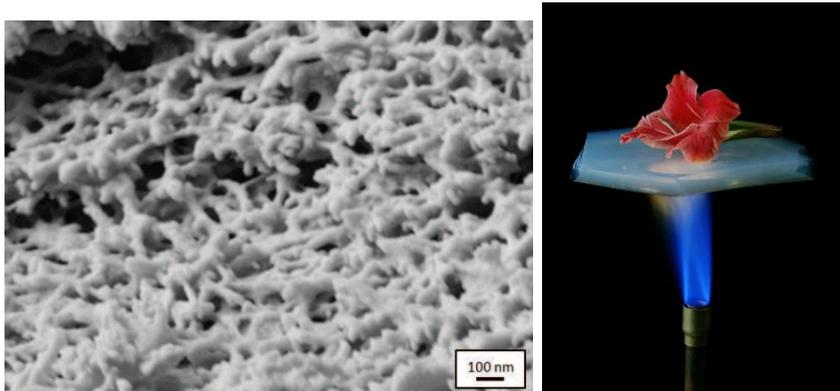


FIGURE 5 – Projet NANOCEL, les premiers superisolants thermiques biosourcés. La cellulose et ses dérivées sont utilisés pour améliorer les propriétés des silices superisolantes de conductivités inférieures à 0.015 W/m.K. (juin 2013) Arnaud-Rigacci, Mines ParisTech

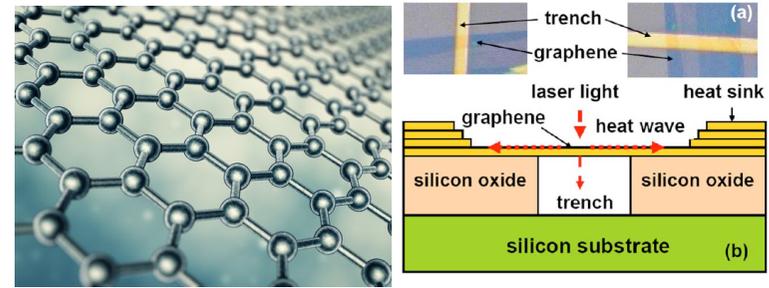


FIGURE 6 – Représentation du graphène et dispositif de mesure de la conductivité thermique du graphène, Extremely high thermal conductivity of graphene : Prospects for thermal management applications in nanoelectronic circuits, Gosh et al. Applied Phys. Let., 2008.

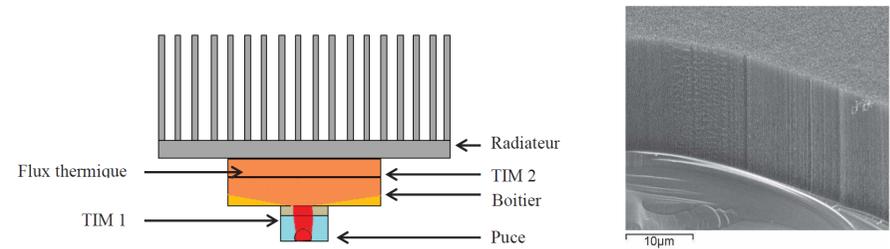


FIGURE 7 – Présence de Matériaux d'Interface Thermique entre composant électronique de puissance et radiateur. Exemple de TIM par agencement de nanotubes de carbones, Matériaux d'Interface Thermique Nanostructurés, Thèse de J. Daon 2016, École CentraleSupélec.



FIGURE 8 – Radiateur chauffant de type radiant



FIGURE 9 – Laine de verre commerciale de résistance thermique "surfactive" $R = 5 \text{ K.W}^{-1}.\text{m}^2$



FIGURE 10 – Ponts thermiques visibles sur les fenêtres et la dalle du premier étage d'une maison

Exemple 2

On considère dans un premier temps une vitre d'épaisseur $3e = 6 \text{ mm}$ et de surface $S = 1,5 \text{ m}^2$. La longueur caractéristique de la surface de la fenêtre est supposée grande par rapport à son épaisseur.

1 - Démontrer l'expression de la résistance thermique en régime permanent d'une vitre simple d'épaisseur $3e$ puis la calculer.

2 - On considère maintenant un double vitrage. Le dispositif est formé par deux vitres d'épaisseur e séparées par une lame d'air de même épaisseur. Déterminer puis calculer la résistance thermique de l'ensemble.

Données :

- conductivité thermique de l'air : $\lambda_{air} = 0,024 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- conductivité thermique du verre : $\lambda_{verre} = 1,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Exemple 3

On considère un mug contenant une masse $m = 200 \text{ g}$ de boisson chaude de température $\theta_C = 60^\circ\text{C}$ posé sur une table. L'air extérieur est de $\theta_{ext} = 20^\circ\text{C}$.

1 - Estimer la résistance thermique associée à la surface latérale du mug.

2 - Déterminer la résistance thermique associée à la surface d'échange supérieure.

Conclure sur le mode d'échange principal entre le mug et l'air extérieur.

3 - En déduire une équation différentielle sur la température du contenu du mug.

4 - Représenter l'allure de l'évolution de la température en fonction du temps.

Données :

- Caractéristiques géométriques du mug
 - Surface latérale $S_{lat} = 200 \text{ cm}^2$



- Surface supérieure $S_{sup} = 30 \text{ cm}^2$
- épaisseur de céramique $e = 5,0 \text{ mm}$
- Valeurs thermodynamiques
 - coefficient conducto-convectif de l'air $h = 10 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$
 - conductivité de la céramique $\lambda = 5,0 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 - capacité thermique de l'eau $c = 4,2 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

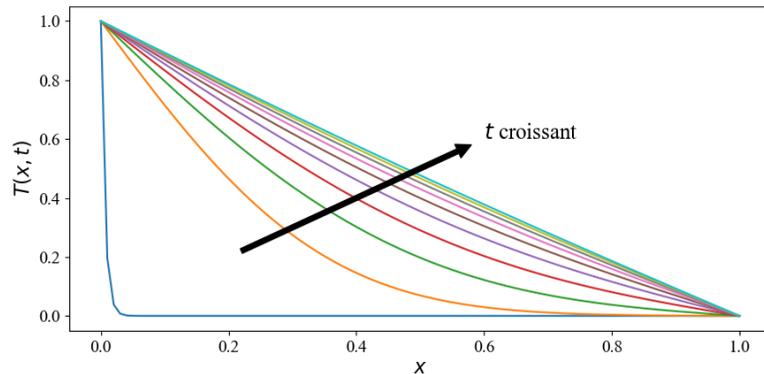


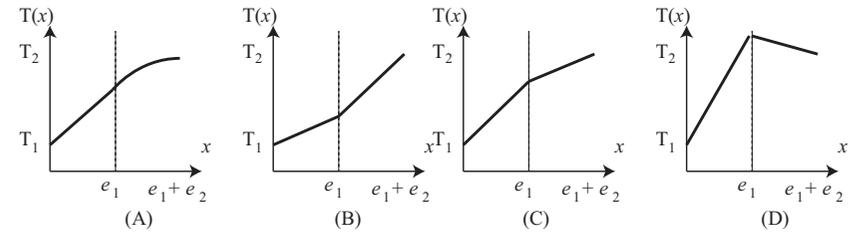
FIGURE 11 – Simulation de l'évolution temporelle de température



Exemple

4

On considère un mur de béton d'épaisseur e_2 recouvert d'un isolant d'épaisseur e_1 . On note $T_1 = 280 \text{ K}$ la température en $x = 0$ et $T_2 = 300 \text{ K}$ la température en $x = e_1 + e_2$. On suppose que la température ne dépend que de x et que le régime permanent est atteint.



- 1 - Déterminer, en le justifiant, si chacun des quatre profils de température proposés ci-dessous est possible ou non.
- 2 - Précisez le sens du vecteur densité de flux thermique et son expression. En déduire le profil de température exact.

Données : Conductivités :

- conductivité du béton $\lambda_b = 1,0 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- conductivité de l'isolant $\lambda_i = 0,03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Exemple

5

En cuisine, on utilise des cuillères en bois pour remuer les préparations chaudes. Ces cuillères peuvent être laissées dans la casserole pendant la cuisson.



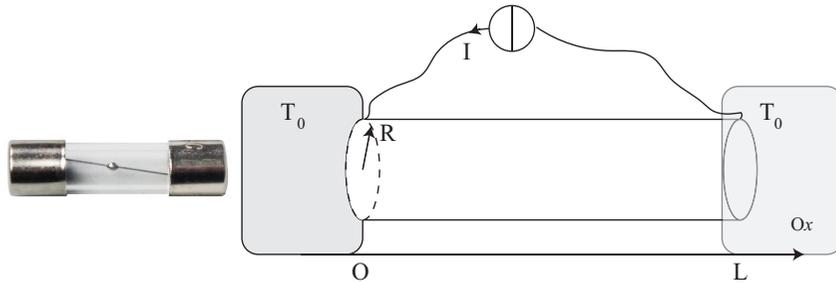
- 1 - Calculer la diffusivité thermique D_{th} pour le bois et l'acier.
- 2 - Estimer le temps de caractéristique pour l'établissement du régime permanent pour une cuillère de longueur $L = 20 \text{ cm}$. Conclure.

- bois : $\lambda_b = 0,12 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $c_b = 1,2 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, $\rho_b = 800 \text{ kg.m}^{-3}$
- acier : $\lambda_a = 50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $c_a = 0,44 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, $\rho_a = 7,8.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Exemple 6

D'après Oral Mines 17

Un fusible est constitué d'un cylindre de plomb de rayon $a = 0,2 \text{ mm}$ et de longueur $L = 1 \text{ cm}$. Chacune de ces extrémités est au contact d'un thermostat à la température $T_0 = 293 \text{ K}$. On considère que sa surface latérale est calorifugée. Un courant $I = 10 \text{ A}$ traverse le barreau, on note ρ sa résistivité électrique, λ sa conductivité thermique et μ sa masse volumique.



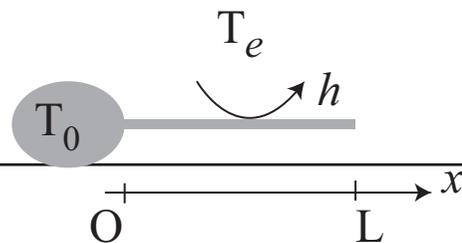
- 1 - Déterminer la puissance de chauffage par effet Joule sur une tranche d'épaisseur dx .
- 2 - Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $T(x)$ en régime stationnaire.
- 3 - Représenter le profil de température.
- 4 - Calculer la valeur maximale de $T(x)$ et conclure sur le principe du fusible.

- $\rho_{Pb} = 2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$
- $\lambda_{Pb} = 35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\theta_{fus}(Pb) = 327^\circ \text{C}$

Exemple 7

D'après Oral CCP 13

On modélise une ailette de refroidissement en aluminium par une tige métallique cylindrique, d'axe Ox , de longueur L , de rayon a et



de conductivité thermique λ , au contact par une de ses extrémités ($x = 0$) avec un corps à la température T_0 . Le reste est en contact avec l'air à la température constante T_e . On note h le coefficient de transfert thermique de surface entre le métal et le fluide. On se place en régime stationnaire.

- 1 - On veut supposer qu'à l'intérieur de la tige, le gradient radial de température est suffisamment faible pour considérer que, dans la section droite d'abscisse x , la température $T(x)$ est uniforme. Valider cette hypothèse grâce aux caractéristiques géométriques.
- 2 - Déterminer en régime stationnaire l'équation différentielle vérifiée par la température. On notera $H = \sqrt{a\lambda/2h}$ la longueur caractéristique d'évolution de la température.
- 3 - Déterminer un critère pour considérer que la barre soit infiniment longue et en déduire l'expression de $T(x)$.
- 4 - Calculer la puissance dissipée par une ailette de refroidissement. Conclure quant au refroidissement d'un processeur consommant 200 W .
Données : $T_0 = 380 \text{ K}$, $T_e = 300 \text{ K}$, $a = 1 \text{ mm}$ et $L = 6 \text{ cm}$. Conductivité thermique de l'aluminium : $\lambda = 220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; coefficient de transfert thermique de surface : $h = 6 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$



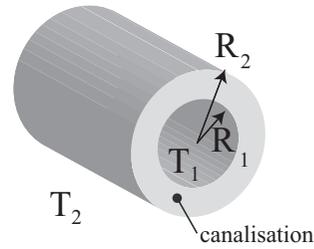
FIGURE 12 – Radiateur de refroidissement pour microprocesseur



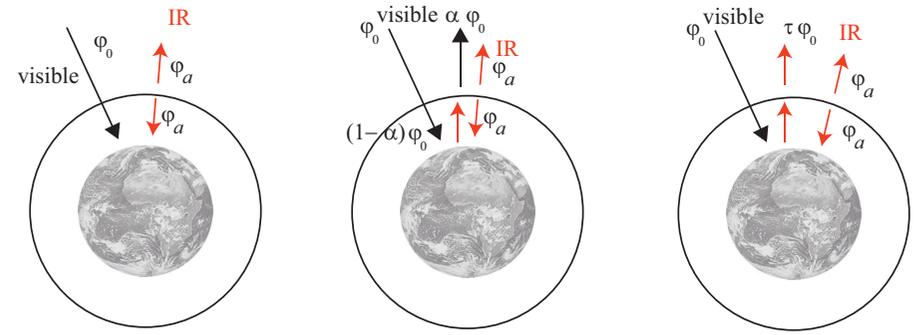
Exemple

8

On considère une canalisation constituée d'un tube de longueur L de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2 dans lequel circule un fluide de température T_1 supposée uniforme. L'extérieur est au contact d'un thermostat à la température T_2 . On se place en régime stationnaire.



- 1 - Exprimer le flux thermique pour un rayon r compris entre R_1 et R_2 .
- 2 - En régime stationnaire, comment varie Φ en fonction de r . En déduire la résistance thermique du tube en fonction de R_1 , R_2 , L et λ .
- 3 - Montrer que si l'épaisseur $e = R_2 - R_1$ est négligeable devant R_1 alors la résistance thermique est similaire à celle obtenue en géométrie cartésienne.



Albédo des nuages

Gaz à effet de serre

FIGURE 14 – Bilan de puissance.

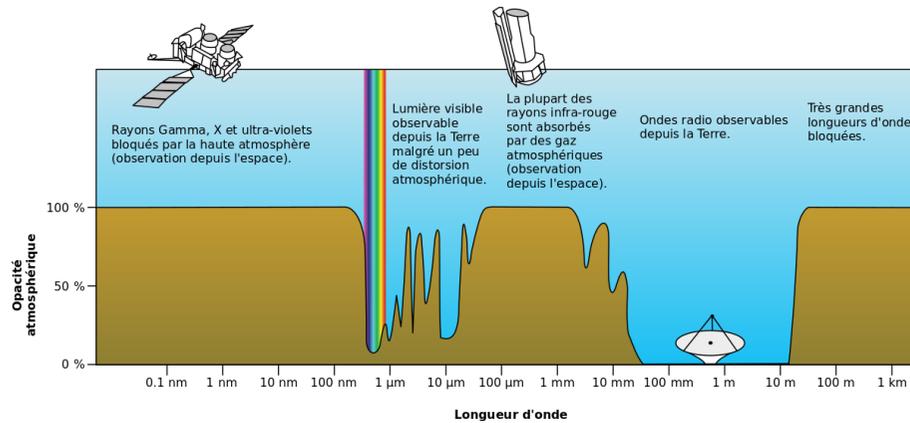


FIGURE 13 – Opacité atmosphérique, NASA ©

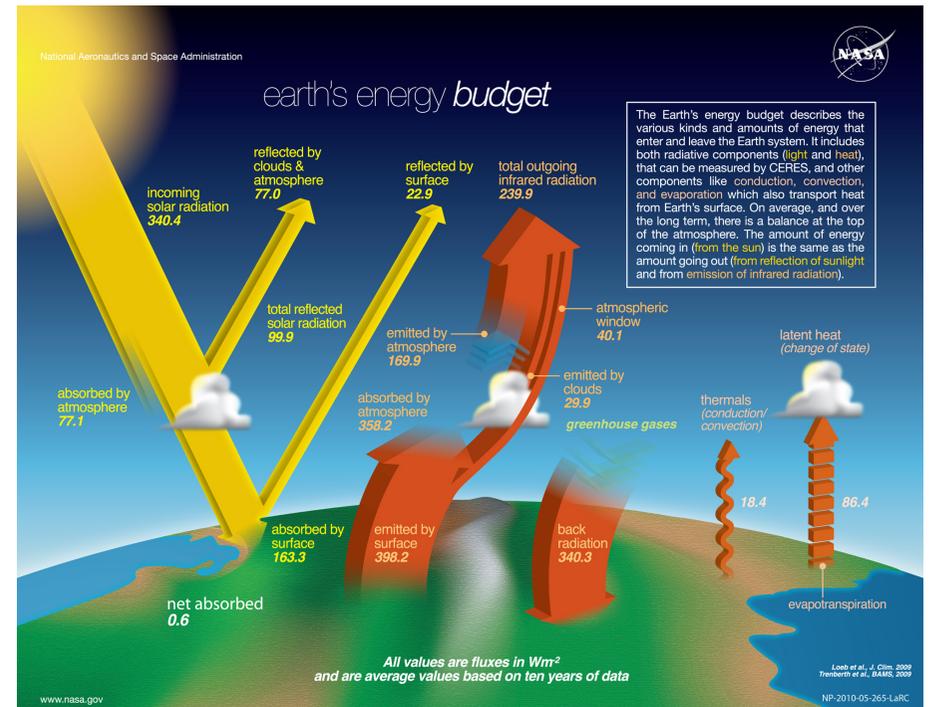


FIGURE 15 – Budget énergétique de la Terre, NASA ©

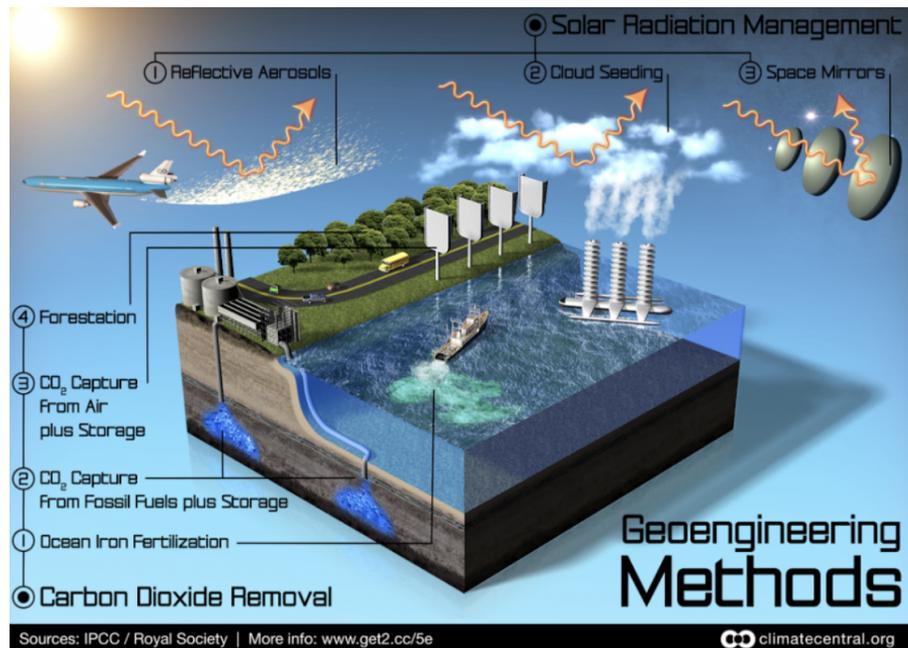


FIGURE 16 – Méthodes de changement climatique...

Exemple 9

Considérons une serre, composée de deux systèmes : de la terre (à la température T_T) couverte par une vitre V en verre (à la température T_V). Ces deux objets sont à des températures telles qu'ils émettent (respectivement ϕ_T et ϕ_V) principalement dans l'infrarouge. La vitre est éclairée par le soleil et reçoit un flux surfacique incident ϕ_0 , principalement dans le visible). Le verre absorbe une portion a du flux visible, réfléchit une faible partie r , et en transmet la plus grande partie : $t = 1 - r - a$. La terre se comportant comme un corps noir absorbe tout ce qui est transmis et émis par la vitre. La vitre absorbe tout le rayonnement infrarouge émis par la terre : elle est opaque à ces longueurs d'onde. En supposant que ces deux corps suivent les lois du corps noir, déterminer la température d'équilibre T_T de la terre initialement à la température $T_0 = 300$ K.

Données : $a = 10\%$, $r = 10\%$, $t = 80\%$.

