2 h 30 cours
2 h 30 exos

- Transfert thermique (chapitre 9 de physique) -

T°Spé

Introduction : Le classement énergétique des maisons est basé sur des calculs de résistance thermique, nous verrons par la suite à quoi cela correspond. Nous nous intéressons aussi dans ce chapitre à l'effet de serre responsable du réchauffement climatique et enfin nous résoudrons l'équation différentielle permettant de suivre l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat. :

I°) Transfert thermique : un transfert thermique s'effectue entre un système et le milieu extérieur lorsqu'il ya une différence de température entre les deux.

1°) Les différents modes de transfert : Il existe 3 modes de transfert thermique :

- **la conduction** : qui est un transfert thermique par contact d'une source chaude vers une source froide sans transport …….. de matière. Elle se produit principalement dans les solides. L'agitation des molécules de la source chaude se transmet de proche en proche .

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_vedeni_energie&l=fr

Par exemple on chauffe une pièce de monnaie, la chaleur se transmet progressivement à tous les points de la pièce.

- **la convection**: une source chaude se déplace et fournit une énergie thermique à une source froide, de proche en proche avec un déplacement …….. : des courants de fluide circulent.

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_proudeni_energie&l=fr

Par exemple un sèche-cheveux envoie de l'air chaud et réchauffe les cheveux, l'eau s'évapore.

- **l'émission ou la réception d'un rayonnement** (ondes électromagnétiques) dans tout milieu matériel ou dans le vide s'accompagne d'un transfert thermique

htt

k.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mf_zareni_energie&l=fr

Par exemple Le soleil émet des rayonnements (UV, visibles infrarouges) qui réchauffe la Terre et ses habitants !

2°) Flux thermique : Le flux thermique noté Φ (en watt) permet d'évaluer le débit d'énergie c'est-à-dire le nombre de joules transférées toutes les secondes à travers les parois d'un système**.**

On considère une source chaude à la température Tc et une source froide à la température Tf (Tc > Tf) placé de par d'autre d'une paroi. La source chaude transfert une quantité de chaleur Q à la source froide.

Le flux thermique ou puissance ϕ est le rapport de l'énergie thermique transférée sur la durée du transfert. Ce transfert s'effectue toujours de la source chaude vers la source froide**.**

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

Unité: Φ (J×s^{-1} ou Watt), Q(J), Δt (s)

3°) Résistance thermique : La résistance thermique notée R_{th} caractérise l'opposition d'un milieu au transfert thermique entre deux points . https://www.geogebra.org/m/KJiPAqQX#material/TtajKsad

La résistance thermique R_{th} en K ×W^{-1}dépend de la différence de température T_c-T_f (en Kelvin) entre la source chaude et la source froide , la nature du matériau de la paroi isolante caractérisée par sa conductivité thermique λ (W .m^{-1}.K^{-1}) , la surface de la paroi isolante S en m^2 et l'épaisseur e de la paroi isolante en m .

$$R_{th} = \frac{T_C - T_F}{\Phi} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Remarque: plus la résistance thermique est importante plus le flux thermique est …….. car $\phi = \frac{T_c - T_f}{R_{th}}$. Or $\phi = \frac{Q}{\Delta t}$,

donc

plus la résistance thermique est importante plus la chaleur échangée entre la source chaude et la source froide est ……. Un matériau possédant une résistance thermique élevée est un bon isolant.

Application : *comparer la chaleur perdue par un mètre carré de laine de verre et de béton de même épaisseur e = 0,24 m. La température extérieure est Tf = 5°C, la température à l'intérieur de la maison est Tc = 20 °C.* R_{th}*(laine) = 6,85 K.W*$^{-1}$*,* R_{th}*(béton) = 0,24 K.W*$^{-1}$*. La durée du transfert est* Δt *= 1h.*

……

……

……

……

……

……

……

II°) Température terrestre moyenne , Albédo et effet de serre :

1°) Bilan thermique du système terre atmosphère : La température moyenne de la surface terrestre peut être déterminée à l'aide d'un bilan d'énergie dans le système (Terre+ atmosphère) associé au premier principe de la thermodynamique**.** On assimilera la Terre et le soleil à des corps noirs sphériques (qui réémettent tout le ……) (l'effet de la lune est négligé), on supposera que le système (Terre+ atmosphère) échange de l'énergie par rayonnement et qu'il n'y a pas de travail mécanique W=0 J , de plus le système est en équilibre thermique donc car sa température est supposée constante quelque soit l'état initial et final donc en appliquant le premier principe de la thermodynamique

$\Delta U_{i \to f} = W + Q$ **donc** $\Delta U_{i \to f} = 0$ **donc** $\Delta U_{i \to f} = Q_{recudusoleil} + Q_{émis\,(terre+atmosphère)}$ **=0**

2°) Loi de Stephan -Boltzmann et calcul approché de la température de la Terre sans effet de serre :

Loi de Stephan –Boltzmann : La puissance rayonnée par mètre carré Ps par un **corps noir** est proportionnelle à la puissance quatrième de sa température de surface en Kelvin

$P_s\,(W.m^{-2}) = \sigma \times T^4$ (en Kelvin) ave σ constante de Stephan-Boltzmann $=5{,}67\times10^{-8}\ W\times m^{-2}\times k^{-4}$

Application : calcul de la Température de la Terre sans effet de serre

On admet que le soleil rayonne comme corps un noir à la température de surface T_s=5750 K et la surface de la Terre est un corps noir dont la température moyenne est T_T . On admettra que la terre est une sphère de rayon R_T=6380 km, le soleil une sphère de Rayon R_S=695 000 km et la distance Terre soleil $d_{ST}=149\times10^6$ km

1°) Quelle est la relation donnant le ϕ émis par rayonnement de la (Terre + atmosphère) vers le soleil : (on rappelle que la surface d'une sphère est $S=4\pi\times R^2$) : On utilise la Loi de Stephan –Boltzmann :

……

……

2°) Quelle est la relation entre le ϕ émis par rayonnement de la (Terre + atmosphère) et celui ϕ reçu du le soleil par la (Terre + atmosphère) (utiliser formule et égalité précédente dans le cours) : ……

……

……

……

3°) On supposera que la Terre située à une distance d_{ST} du soleil n'intercepte qu'une partie du flux répartie sur la surface d'un disque de Rayon R_T (voir schéma ci-dessous), donner l'expression de ϕ reçu du soleil par la (Terre + atmosphère)

……

……

……

……

……

4°) En vous servant de l'égalité du 2°) donner l'expression de la Température T_T puis la calculer :

……

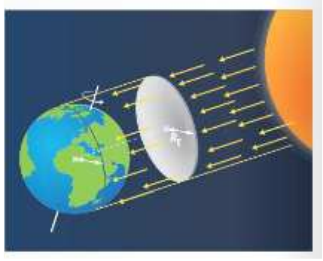
……

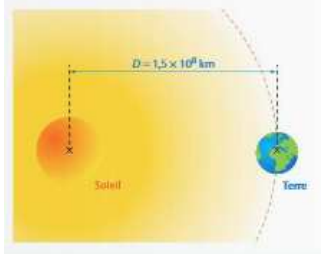
……

……

……

……

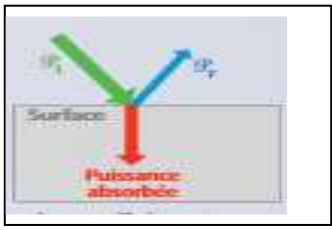




3°) Albédo et effet de serre : En l'absence d'un effet de serre, la température de la Terre serait de 5°C ce qui est plus petit que la réalité qui est de 15°C . http://www.mediachimie.org/ressource/leffet-dalbédo

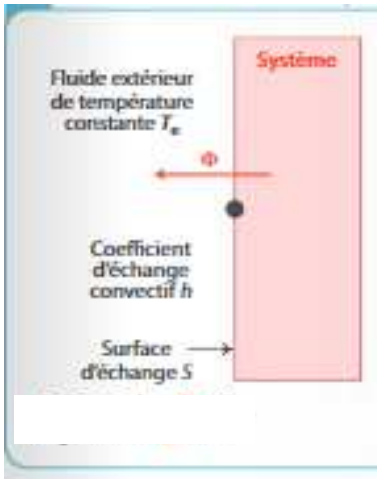
L'albédo noté α d'une surface explique l'effet de serre, c'est une grandeur sans unité qui caractérise l'aptitude d'un corps à renvoyer par diffusion et/ou réflexion le rayonnement qui lui parvient :

$\alpha = \frac{|P_r|}{Pi}$ (P_r : puissance renvoyée par la surface en Watt, P_i : puissance incidente reçue par la surface en Watt) , l'albédo d'un corps noir est de……. (aucun rayon n'est renvoyé), celui d'un miroir ….. (toute la lumière est renvoyée et l'albédo de la Terre + atmosphère est de 0,3.



III°) <u>Loi de Newton et évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat</u> :

1°) <u>Loi de Newton</u> : Un thermostat est un système capable d'échanger de l'énergie sous forme de transfert thermiques sans que sa température ne soit modifiée (air extérieur, si température constante) .



La loi de Newton caractérise les échanges thermiques Q d'une phase condensée (Système : solide ou liquide) en contact avec un thermostat (air extérieur) pendant une durée Δt :

$$Q=\Phi\times\Delta t=h\times S\times(\theta_e-\theta)\times\Delta t \quad (\text{avec } \Phi=h\times S\times(\theta_e-\theta))$$

h : coefficient d'échange conducto-convectif en $W\times m^{-2}\times K^{-1}$ entre le système et le milieu extérieur (grandeur caractéristique du système) :

θ_e température extérieur (thermostat) en Kelvin, θ : température du système en Kelvin

S : surface d'échange en m^2.

2°) <u>Evolution de la température d'un système au contact d'un thermostat</u> :

Application : On remplit une gourde en aluminium de masse m_1=172 g de boisson chaude de masse m_2=750 g à la température θ_i=50°C , la température de l'air extérieur (thermostat) est θ_e=5°C supposée constante, S surface de la gourde S=4,0.10^{-2} m^2et h=10 W .m^{-2}.°C^{-1}

$c_{système}$ (eau + gourde)=3,6.10^3 J .Kg^{-1}.°C^{-1}

But : trouver la courbe de refroidissement du système

En déduire avec les données la température dans la gourde au bout de deux heures puis commenter :

<u>Méthode (transposable pour les parties 2 et 3) sur les chapitres nucléaire et électricité circuit RC (chapitres suivants) :</u>

1***) Ecrire le premier principe de la thermodynamique au système (gourde + eau)*** :

il n'y a pas de travail mécanique le seul transfert est thermique $\Delta U_{i\rightarrow f}=Q$

2) Etablir l'équation différentielle vérifiée par la température du système :

on applique la loi de Newton au système (eau + gourde) $Q=\Phi\times\Delta t=h\times S\times(\theta_e-\theta)\times\Delta t$ pour un système supposée incompressible on a $\Delta U_{i\rightarrow f}=Q=m_{total}\times c_{système}\times\Delta\theta=h\times S\times(\theta_e-\theta)\times\Delta t$ soit $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}=\frac{h\times S}{m_{total}\times c_{système}}\times(\theta_e-\theta)$

pour un Δt tendant vers 0 on a $\frac{d\theta}{dt}=-\frac{h\times S}{m_{total}\times c_{système}}\times\theta+\frac{h\times S}{m_{total}\times c_{système}}\times\theta_e$ assimilé à

y'(x)= a×y (x)+ b

3°) Résoudre cette équation différentielle : la solution est de la forme **: $y(x)=K\times e^{a\times x}-\frac{b}{a}$** dans notre cas

$$\theta(t)=K\times e^{-(h\times S)/(m_{total}\times c_{système})\times t} \quad -\left(\frac{h\times S}{m_{total}\times c_{système}}\times\theta_e\right)/\left(-\frac{h\times S}{m_{total}\times c_{système}}\right)$$

Soit $\theta(t)=K\times e^{-(h\times S)/(m_{total}\times c_{système})\times t}+\theta_e$

On trouve K à partir des conditions initiales à t= 0s $\theta(t=0\text{ s})=\theta_i$ donc $\theta_i=K\times e^{-(h\times S)/(m_{total}\times c_{système})\times 0}+\theta_e$

Soit $\theta_i=K\times 1+\theta_e$ donc $K=\theta_i-\theta_e$ l'expression de la solution devient :

$$\theta(t)=(\theta_i-\theta_e)\times e^{-(h\times S)/(m_{total}\times c_{système})\times t}+\theta_e$$

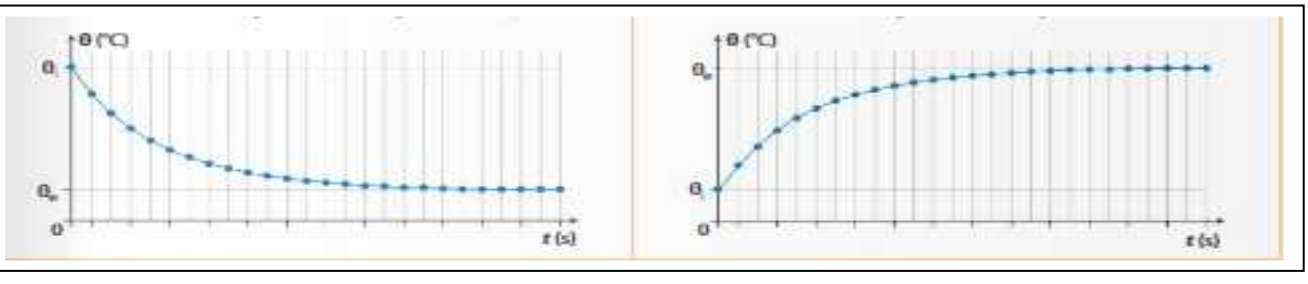
.....

.....

.....

.....

.....

θ(t) dans le cas où $\theta_i>\theta_e$ (cas de l gourde ci-dessus)

θ(t) dans le cas où $\theta_e>\theta_i$