

Thème : Effectuer des bilans d'énergie sur un système  
Cours 26 : Le premier principe de la thermodynamique  
(version élèves)

---

B.O. Énergie interne d'un système. Aspects microscopiques.  
Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.  
Capacité thermique d'un système incompressible. Énergie interne d'un système incompressible.  
Modes de transfert thermique. Flux thermique. Résistance thermique.  
Bilan thermique du système Terre-atmosphère. Effet de serre.  
Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.

### I. Énergie interne $U$ d'un système. Aspects microscopiques.

L'énergie interne est d'origine microscopique. Elle dépend des propriétés individuelles des molécules. L'énergie interne est une énergie désordonnée.

Elle ne dépend que de paramètres traduisant les propriétés microscopiques des molécules :

- La température traduit l'agitation thermique des molécules.
- La pression traduit les chocs contre la paroi.

Il existe différents types d'énergie interne :

- L'énergie cinétique d'agitation des molécules.
- L'énergie d'interaction entre les molécules.
- L'énergie de rotation des molécules sur elles-mêmes.
- L'énergie de vibration des molécules.
- ...

### II. Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.

#### 1. Premier principe de la thermodynamique. Notions de transfert.

Le premier principe de la thermodynamique dit que l'énergie de l'Univers est constante. L'énergie totale ne varie pas.

$E_T = E_c$  (énergie cinétique) +  $E_p$  (énergie potentielle) +  $E_e$  (énergie électrique) +  $E_m$  (énergie magnétique) +  $E_{méca}$  (énergie mécanique) + ... +  $U$  (énergie interne d'un système).

Dans l'étude thermodynamique, on va s'intéresser à la variation d'énergie interne  $\Delta U$  qui peut toutefois être étudié avec d'autres formes d'énergie.

Notion de système :

- Un système ouvert échange de la matière et de l'énergie avec le milieu extérieur.
- Un système fermé échange de l'énergie avec le milieu extérieur.
- Un système **isolé** n'échange **ni matière ni énergie** avec le milieu extérieur.

Pour un système isolé c'est-à-dire sans interaction avec le milieu extérieur, l'énergie est constante.

Quand un système non isolé évolue, il échange de l'énergie avec l'extérieur sous forme de chaleur et/ou sous forme de travail.

On considère un système quelconque qui subit une transformation le menant d'un état A à un état B.

La conservation de l'énergie donne  $\Delta U = U_B - U_A =$  [énergie reçue par le système entre A et B]

On peut écrire alors  $\Delta U = W + Q$        $W$  est le travail reçu       $Q$  est la chaleur reçue

Si l'énergie reçue  $\Delta U$  est positive, le système reçoit vraiment de l'énergie.

Si l'énergie reçue  $\Delta U$  est négative, le système cède de l'énergie.

Dans une étude purement mécanique  $Q = 0$ , il n'y a pas échange de chaleur.  $\Delta U = W$ .

Dans une étude purement thermique  $W = 0$ ,  $\Delta U = Q$

Si  $Q = 0$  et  $W = 0$ , alors  $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$ . Le système à l'équilibre thermique.

### III. Capacité thermique d'un système incompressible. Énergie interne d'un système incompressible.

1. La calorimétrie est la mesure des quantités de chaleur.

Lorsqu'un état est condensé comme un liquide ou un solide, la variation d'énergie interne est proportionnelle à la variation de température.

$$\Delta U = C \times \Delta T$$

$C$  est la capacité thermique du corps. Elle s'exprime en Joule par Kelvin ( $J.K^{-1}$ )

Application : le calorimètre.

On peut également utiliser la capacité thermique massique  $c$  d'un corps. Elle s'exprime en  $J.kg^{-1}.K^{-1}$

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Cette relation traduit les échanges thermiques entre un corps de masse  $m$  et le milieu extérieur.

La capacité thermique est l'énergie thermique que doit recevoir le corps pour élever sa température d'un kelvin.

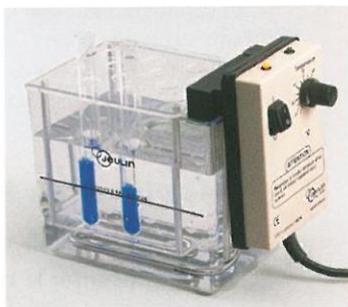
Exemple : capacité thermique de l'eau  $c_{eau} = 4180 J.K^{-1}.kg^{-1}$

Il faut apporter 4 180 J pour élever 1 kg d'eau d'un Kelvin.

Question : Calculer la variation interne du volume d'eau chauffée.

Un bain-marie utilisé en chimie contient 1,7 L d'eau initialement à une température  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Au bout de quelques minutes, la résistance chauffante du bain-marie permet d'obtenir ce même volume d'eau à une température  $T_2 = 64 \text{ }^\circ\text{C}$ .



$$c_{eau} = 4180 J.K^{-1}.kg^{-1}$$

$$\rho_{eau} = 1,00 kg.L^{-1}$$

Réponse :

Remarque : il n'est pas nécessaire de convertir les degrés Celsius en Kelvin.

2. Expérience historique de Joule sur les transferts énergétiques.

Vidéo : EPFL. Expériences sur les transferts thermiques et mécaniques. Durée 3 min 40 s (0 à 3 min 40s) ou plus si approfondissement.

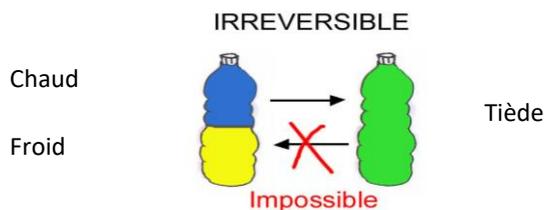
<https://www.youtube.com/watch?v=VuezeFtYNxY>

IV. Les différents modes de transferts thermiques.

I. Transferts thermiques.

1. Irréversibilité des transferts thermiques :

L'irréversibilité fixe le sens des transferts thermiques. Le transfert thermique s'effectue toujours du plus chaud vers le plus froid.

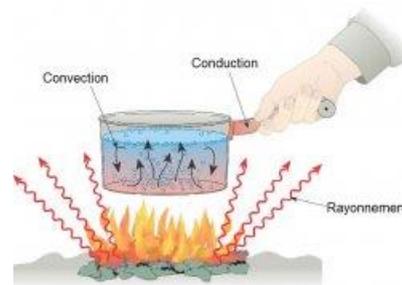


Les frottements, la diffusion et les turbulences sont des causes de l'irréversibilité.

L'irréversibilité des transferts thermiques entraîne des baisses de rendement des machines thermiques, tels que les moteurs de voiture.

2. Les différents modes de transferts thermiques.

Lors d'un transfert thermique, il apparaît une variation de température.



a. Comment peut s'effectuer un transfert thermique ?

- Par conduction :  
C'est un transfert par contact dans un matériau ou à l'interface entre 2 milieux.  
L'énergie des particules se communique de proche en proche.
- Par convection :  
Ce sont les mouvements d'ensemble de fluides (gaz ou liquide) dus à des différences de densité (radiateurs électriques).  
La convection joue un rôle très important dans le mouvement des masses d'air et le climat.
- Par rayonnement :  
Un corps rayonne de l'énergie, c'est un transfert sans contact physique.  
Le rayonnement dépend de la température du corps.

**V. Flux thermiques et résistances thermiques.**

1. Définition du flux thermique  $\Phi$ .

Le flux thermique est l'énergie thermique transférée  $Q$  à travers une paroi pendant une durée  $\Delta t$ .

	$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$	
$\Phi$ en watt (W)	$Q$ en joule (J)	$\Delta t$ en seconde (s)

Le transfert s'effectue toujours du chaud vers le froid.

2. Définition de la résistance thermique  $R_{th}$ .

Il existe une analogie entre la résistance thermique  $\Phi$  et la résistance électrique  $R$ .

La relation entre la différence de potentiel  $U_{AB} = V_A - V_B$  et l'intensité  $I$  est  $V_A - V_B = RI$

La relation entre la différence de température et le flux thermique  $T_{chaud} - T_{froid} = R_{th}\Phi$

$\Phi = \frac{T_{chaud} - T_{froid}}{R_{th}}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $R_{th} = \frac{T_{chaud} - T_{froid}}{\Phi}$ <p style="text-align: center;"><math>R_{th}</math> s'exprime en <math>K.W^{-1}</math></p>
---

Pour un même écart de température, plus la résistance thermique de la paroi est grande, plus le flux est faible.

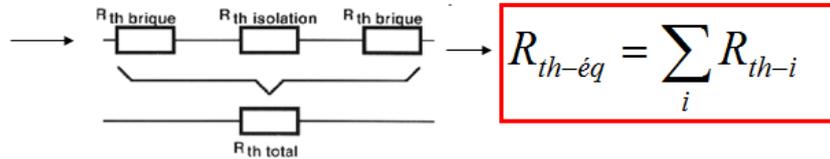
3. Cas d'une paroi plane d'épaisseur  $e$ , de surface  $S$ , de résistance thermique  $R_{th}$  et dont le matériau a une conductivité thermique  $\lambda$ .

	$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$		
$e$ en mètre (m)	$S$ en mètre carré ( $m^2$ )	$\lambda$ en $W.m^{-1}.K^{-1}$	$R_{th}$ en $K.W^{-1}$

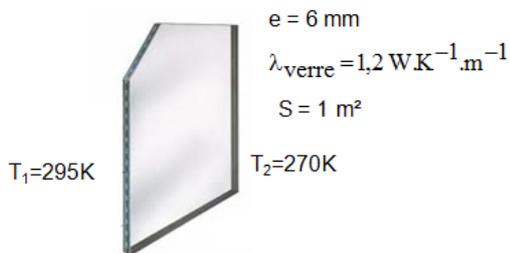
## Association de résistances thermiques en série : exemple du double-vitrage



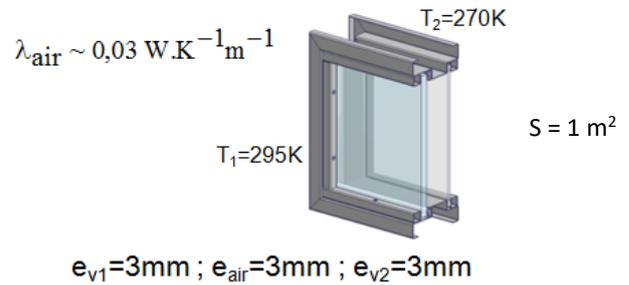
sont parcourues par le même flux



### Simple vitrage



### Double vitrage verre-air-verre



Questions : A partir du document ci-dessus :

Calculer la résistance thermique  $R_{th1}$   
et le flux thermique  $\Phi_1$

Calculer la résistance thermique  $R_{th2}$   
et le flux thermique  $\Phi_2$

Réponses :

**VI. Bilan thermique du système Terre-atmosphère. Effet de serre. (DM)**

- Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée. Comparer à la valeur réelle de la température terrestre : 15°C.
- Discuter qualitativement de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température terrestre moyenne.

Sources ENS LYON

- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/td-effet-de-serre/td-effet-de-serre-doc01.pdf>
- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/bilan-radiatif-terre1.xml#corps-noir>
- [http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/CorpsNoir\\_Climat.xml](http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/CorpsNoir_Climat.xml)

Document 1 : Loi de Stephan.

La loi de Stefan le flux thermique émis par un corps à la température  $T$  de ce corps :  $F_{\text{émis}} = \sigma \cdot T^4$

Le flux s'exprime en  $W.m^2$

$\sigma$  est la constante de Stephan  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$

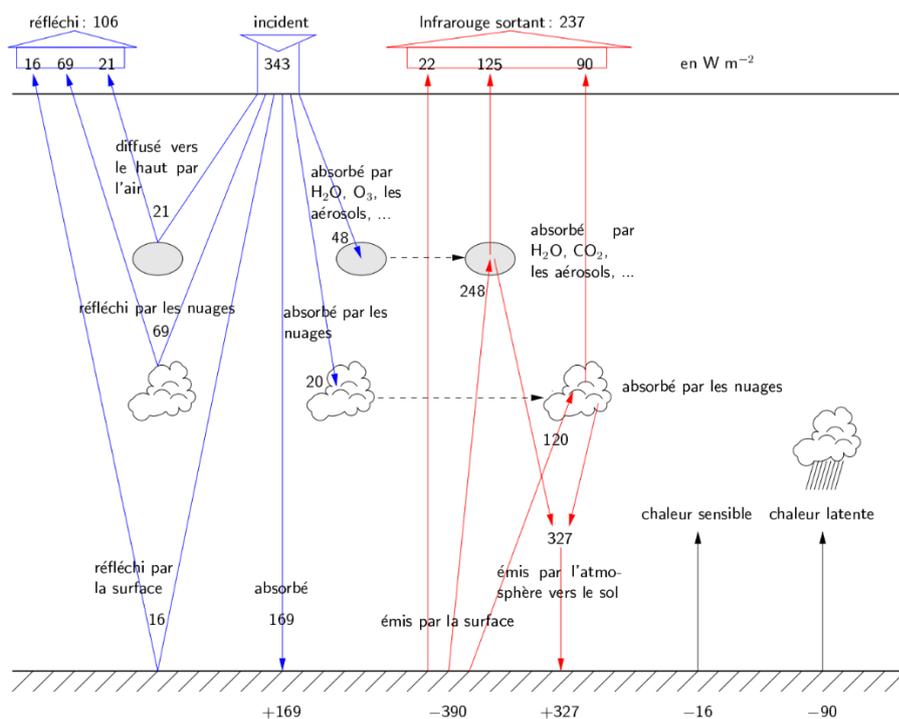
La température s'exprime en Kelvin

Document 2 : Définition d'un corps noir.

Un corps noir est un corps qui absorbe, sans la réfléchir ni la diffuser, toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit. Ainsi, une boîte avec une toute petite ouverture est généralement une bonne approximation d'un corps noir. Un tel "corps noir" reçoit de l'énergie, s'il n'en émettait pas, sa température augmenterait indéfiniment... Ceci est irréaliste, un corps noir réémet donc l'énergie qu'il a absorbée sous forme de rayonnements électromagnétiques. La quantité d'énergie réémise dépend de sa température. Ainsi, on a une "loi de rayonnement du corps noir" qui donne la valeur de l'énergie émise en fonction de la température du corps noir.

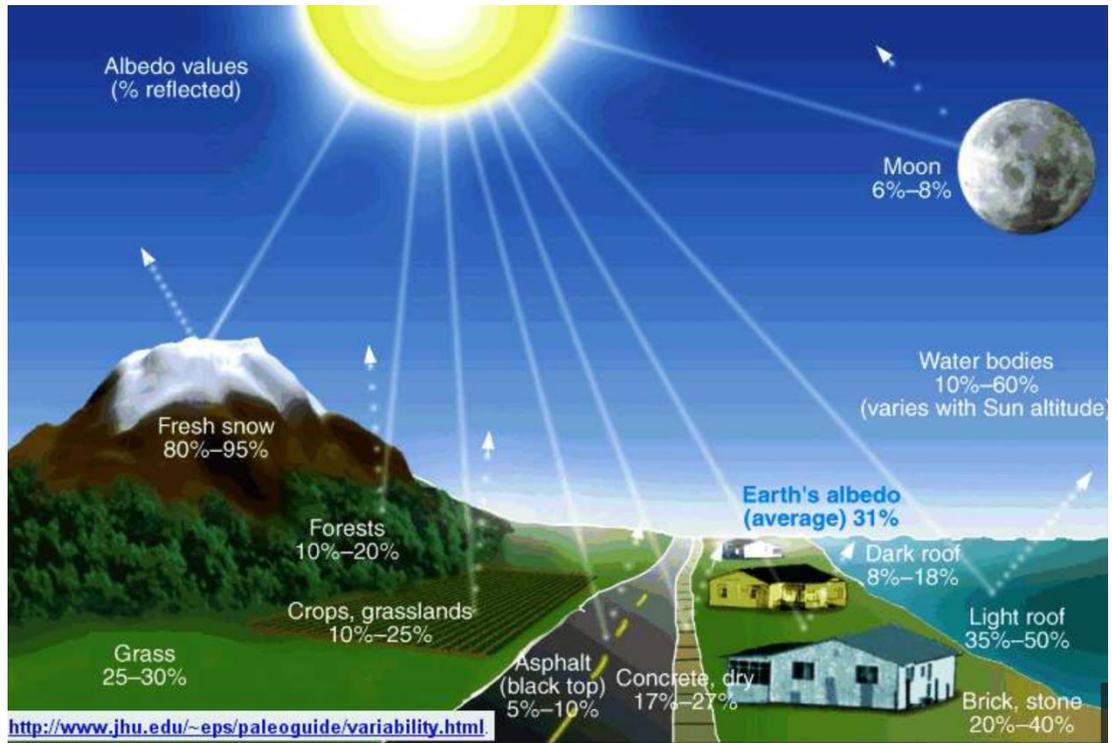
Document 3 : Bilan énergétique sur système Terre-Atmosphère

Le raisonnement du schéma suivant s'effectue sur une puissance radiative reçue sur la haute atmosphère de 343 W



Document 4 : Définition de l'albédo

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace.

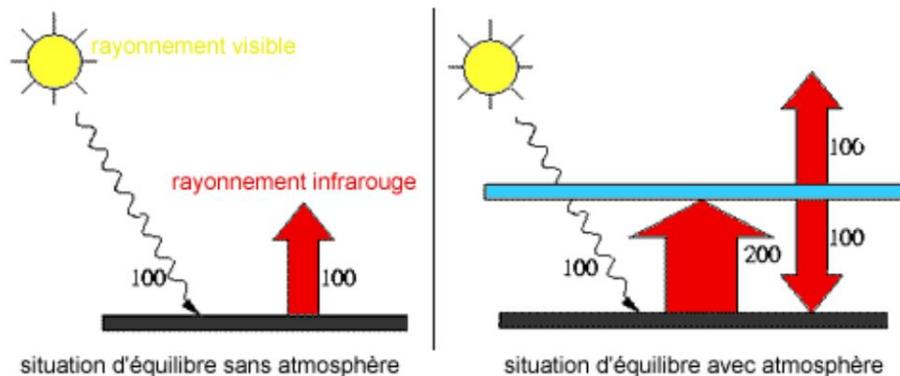


Document 5 : Définition de l'effet de serre.

Alors que la majorité de l'énergie solaire incidente est véhiculée dans les longueurs d'ondes visibles, la Terre émet essentiellement dans l'infrarouge. C'est ce rayonnement qui est absorbé par certains gaz de l'atmosphère, dit gaz à effet de serre. Une partie de cette énergie absorbée par l'atmosphère est renvoyée vers la surface de la Terre, ce qui augmente ainsi sa température.

Le terme d'« effet de serre » est employé par analogie avec ce qui se passe dans les serres des agriculteurs. L'atmosphère piège les infrarouges thermiques rayonnés par le sol de la même façon qu'une plaque de verre piège le rayonnement infrarouge émis par le sol et les plantes, augmentant ainsi la température du sol.

*Malheureusement, l'analogie est trompeuse. Dans une serre, le réchauffement s'explique essentiellement par l'absence de convection (l'air chaud ne peut pas sortir) et non par l'absorption des radiations infrarouges.*



Question sur le Soleil et la Terre : Comparer le flux thermique émis par le Soleil et celui émis par la Terre.

La température à la surface du Soleil est environ égale à  $T = 6\,000\text{ K}$   
 La température moyenne terrestre est environ égale à  $T = 288\text{ K}$  soit environ  $27^\circ\text{C}$

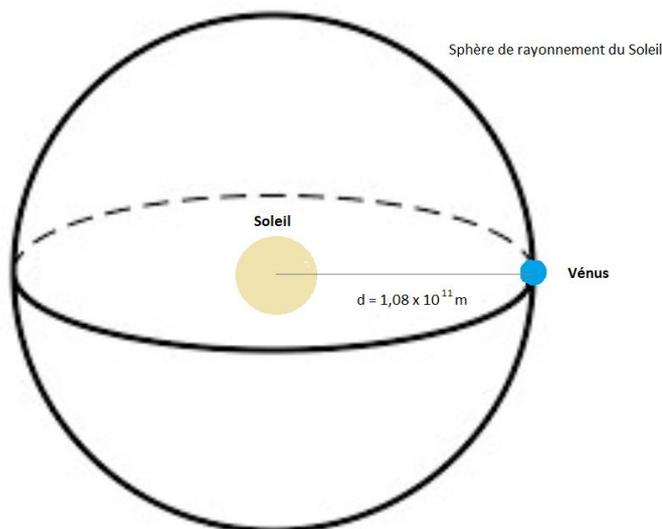
Calculer les flux thermiques respectifs du Soleil et de la Terre.  
 Interpréter.

Réponses :

Questions sur le Soleil et Vénus : L'albédo de Vénus

Source : Belin Terminale.

L'albédo n'est pas identique pour toutes les planètes du système solaire. Alors que celui de la Terre vaut 0,3, celui de Mercure vaut 0,12. On cherche à déterminer l'albédo de Vénus.



La distance entre le Soleil et vénus est égale à  $d = 1,08 \times 10^{11}\text{ m}$   
 Le rayon de la planète Vénus est égal à  $R_v = 6\,052\text{ km}$ .

Expression de l'albédo :  $\frac{\text{Puissance diffusée}}{\text{Puissance totale reçue}}$

Sa valeur est comprise entre 0 et 1.

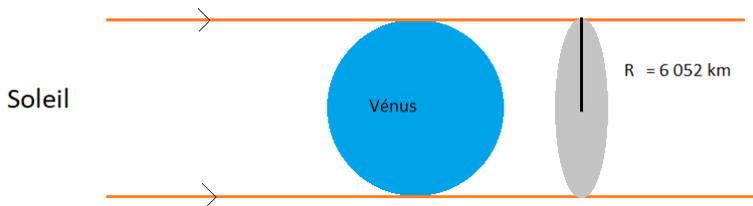
Rappels mathématiques :

Formules géométriques du cercle et de la sphère

			
$2\pi r$ Périmètre du cercle	$\pi r^2$ Aire du disque	$4\pi r^2$ Aire d'une sphère	$\frac{4}{3}\pi r^3$ Volume d'une sphère

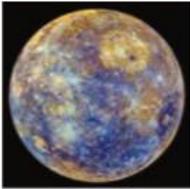
1. Sachant que la puissance totale émise par le Soleil vaut  $3,86 \times 10^{26}$  W, calculez la puissance solaire par unité de surface à une distance  $d = 1,08 \times 10^{11}$  m correspondant à la valeur du rayon orbital de Vénus.

2. Calculer la puissance solaire totale reçue par Vénus.  
La puissance reçue par la planète Vénus correspond à l'aire du disque que forme son ombre quand elle intercepte les rayons solaires.



3. Sachant que Vénus réfléchit  $2,27 \times 10^{17}$  W de la puissance solaire reçue, calculer son albédo.

4. Analyser en détail les valeurs du tableau suivant et comparer la valeur de l'albédo de Vénus aux valeurs d'albédo de la Terre (0,3) et de de Mercure (0,12). Interpréter ces valeurs.

	Mercure  <small>© Belin Éducation/Humen... © Droits réservés</small>	Vénus  <small>© Belin Éducation/Humen... © Droits réservés</small>	Terre  <small>© Belin Éducation/Humen... © NASA</small>	Lune  <small>© Belin Éducation/Humen... © Droits réservés</small>	Mars  <small>© Belin Éducation/Humen... © NASA/JPL/USGS</small>
Distance au soleil (UA)	0,38	0,72	1,00	1,00	1,52
Puissance solaire par unité de surface reçue (kW · m <sup>-2</sup> )	9,2	2,6	1,4	1,4	0,6
Température moyenne calculée (°C)	180	30	-17	-17	-60
Température moyenne mesurée (°C)	180	460	15	-17	-50
Atmosphère	Non	Épaisse et partiellement opaque	Épaisse et transparente	Non	Fine

Réponse :

Discussion du résultat :

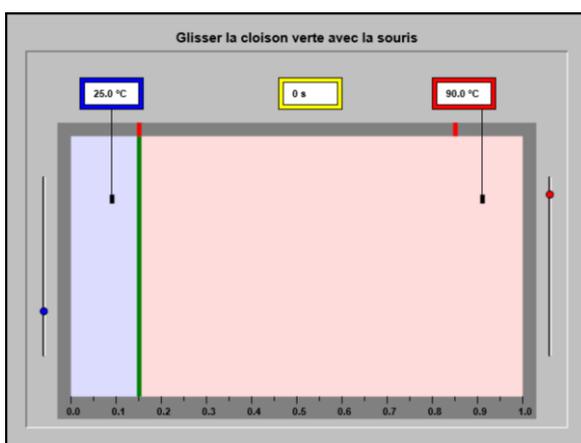
## VII. Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.

### 1. Loi de refroidissement de Newton (loi phénoménologique).

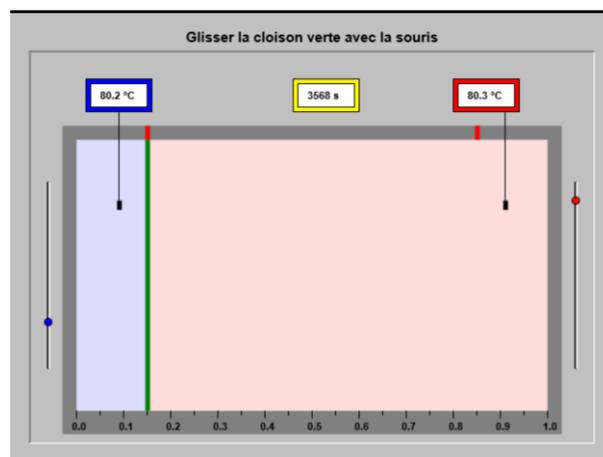
Animation : <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/newton.html>

Expérience : De l'eau chaude à  $T = 90^\circ\text{C}$  est versée dans un thermostat de température ambiante initiale  $T_{\text{ambiante}} = 25^\circ\text{C}$ . Les parties bleue et rose représentent les masses respectives du thermostat et de l'eau.

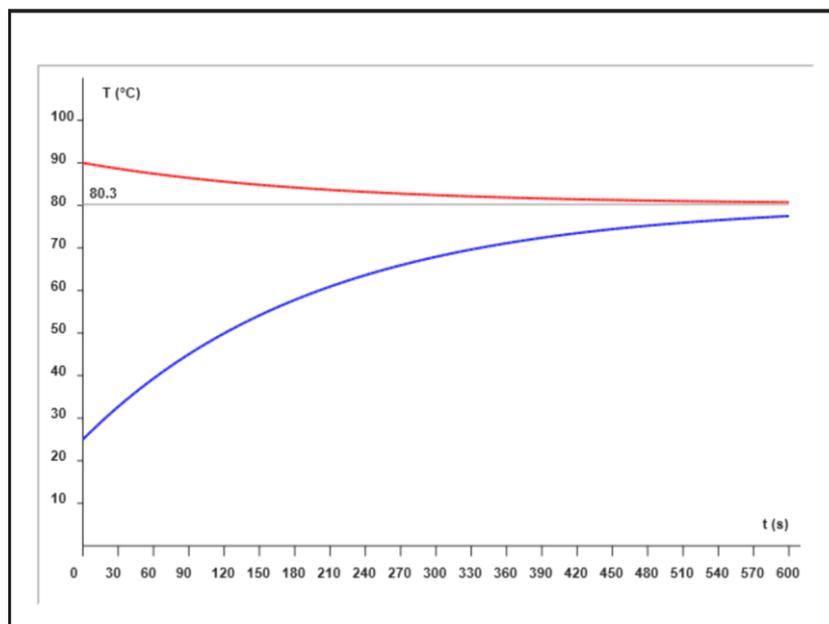
à  $t = 0$



à  $t = 1 \text{ h environ}$



Courbes d'évolution de la température



Loi de refroidissement de Newton :

- Le taux de perte de chaleur d'un corps est proportionnel à la différence de température entre le corps et le milieu environnant.
- La vitesse de refroidissement d'un corps inerte est proportionnelle à la différence de température entre ce corps et le milieu ambiant.

[http://maths.ac-creteil.fr/IMG/pdf/equas\\_diffs\\_et\\_refroidissement.pdf](http://maths.ac-creteil.fr/IMG/pdf/equas_diffs_et_refroidissement.pdf)

On étudie le refroidissement d'un corps chauffé de masse  $m$  et de capacité thermique massique  $c$  à une température initiale élevée  $T_0$  dans un milieu ambiant dont la température supposée constante est égale à  $T_{\text{ambiante}}$ .

La surface d'échange avec le milieu extérieur est égale à  $S$

Etablissons l'équation différentielle traduisant la loi de Newton à partir du premier principe de la thermodynamique :

Considérons que le système est au repos alors son énergie mécanique ne varie pas ;

le 1er principe de la thermodynamique donne  $\Delta U = W + Q$

On va considérer que le système n'échange pas de travail ainsi  $W = 0$  et donc  $\Delta U = Q$ .

Donc  $Q = \Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$   $\Delta T$  étant la variation de température entre l'état final et l'état initial

Par définition du flux thermique, on a :  $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$  avec  $\Delta U = Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Alors on peut écrire  $\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$

La loi de Newton dans l'air donne :  $\Phi = h_{\text{air}} \cdot S \cdot (T_{\text{ambiante}} - T)$

**Expression donnée dans un énoncé**

$h_{\text{air}}$  est le coefficient thermique surfacique dans l'air et  $S$  est la surface d'échange et  $T$ , la température du corps à une date donnée.

En égalant les deux expressions du flux, on obtient  $\frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t} = h_{\text{air}} \cdot S \cdot (T_{\text{ambiante}} - T)$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot (T_{\text{ambiante}} - T)}{m \cdot c}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot T_{\text{ambiante}}}{m \cdot c} - \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot T}{m \cdot c}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta T}{\Delta t} + \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot T}{m \cdot c} = \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot T_{\text{ambiante}}}{m \cdot c}$$

On considère que l'étude s'effectue sur des intervalles de temps très petits, alors  $\Delta t$  tend vers 0 et on peut écrire  $\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{dT}{dt}$

$$\text{Alors } \frac{dT}{dt} + \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot T}{m \cdot c} = \frac{h_{\text{air}} \cdot S \cdot T_{\text{ambiante}}}{m \cdot c}$$

En écrivant  $k = \frac{h_{\text{air}} \cdot S}{m \cdot c}$ , on obtient  $\frac{dT}{dt} + k \cdot T = k \cdot T_{\text{ambiante}}$

La solution de l'équation différentielle est :  $T = A \cdot e^{-kt} + B$

$T_0$  : température initiale du corps.

Expérience : [https://owl-ge.ch/IMG/pdf/P117\\_18032003.pdf](https://owl-ge.ch/IMG/pdf/P117_18032003.pdf)

1.5.2. Résolution de l'équation différentielle (version courte).

Le problème à résoudre est donc le suivant : on cherche à déterminer l'expression de la température  $T(t)$  qui vérifie l'équation  $\frac{dT(t)}{dt} + k \cdot T(t) = k \cdot T_{\text{ambiante}}$

La solution de cette équation s'écrit :  $T = A \cdot e^{-kt} + B$

La constante  $B$  est déterminée quand  $t$  tend vers  $\infty$

$e^{-kt} \rightarrow 0$  quand  $t$  tend vers  $\infty$ , alors  $T = B$

Au bout d'une durée longue, la température tend vers la température ambiante de la pièce donc  $B = T_{\text{ambiante}}$

La constante  $A$  est déterminée dans les conditions initiales quand  $t = 0$

On a  $T_0 = A \cdot e^{-kt} + B$

Avec  $B = T_{\text{ambiante}}$ , on a  $T_0 = A \cdot e^{-kt} + T_{\text{ambiante}}$

Quand  $t = 0, T_0 = A \cdot e^{-k \cdot 0} + T_{\text{ambiante}}$

$$\Leftrightarrow T_0 = A + T_{\text{ambiante}}$$

$$\Leftrightarrow A = T_0 - T_{\text{ambiante}}$$

La solution complète de l'équation différentielle est donc :  $T(t) = T_{\text{ambiante}} + (T_0 - T_{\text{ambiante}}) \cdot e^{-kt}$

Expérience : [https://owl-ge.ch/IMG/pdf/P117\\_18032003.pdf](https://owl-ge.ch/IMG/pdf/P117_18032003.pdf)

### 1.5.2. Résolution de l'équation différentielle. (version complète)

Le problème à résoudre est donc le suivant : on cherche à déterminer l'expression de la température  $T(t)$  qui vérifie l'équation  $\frac{dT(t)}{dt} + k \cdot T(t) = k \cdot T_{\text{ambiante}}$

La résolution s'effectue en deux étapes :

Etape n° 1 : Résolution de l'équation sans second membre, c'est-à-dire  $\frac{dT(t)}{dt} + k \cdot T(t) = 0$  pour trouver la solution générale.

Etape n°2 : Détermination de la solution particulière de l'équation complète  $\frac{dT(t)}{dt} + k \cdot T(t) = k \cdot T_{\text{ambiante}}$

#### Etape n° 1 : Solution générale.

$$\frac{dT(t)}{dt} + k \cdot T(t) = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{dT(t)}{dt} = -k \cdot T(t)$$

$$\Leftrightarrow \frac{dT(t)}{T(t)} = -k \cdot dt$$

Par intégration, on peut écrire que :

$$\int \frac{dT}{T} = \int -k \cdot dt$$

$$\Leftrightarrow \ln(|T(t)|) = -k \cdot t + \text{constante}$$

$$\Leftrightarrow e^{\ln(|T(t)|)} = e^{-k \cdot t + \text{constante}}$$

$$\Leftrightarrow |T(t)| = e^{-k \cdot t} \cdot e^{\text{constante}}$$

On appelle  $K$  la constante correspondant au terme  $e^{\text{constante}}$

On peut écrire que la solution générale de l'équation différentielle a pour expression  $T(t) = K \cdot e^{-k \cdot t}$ .

où  $K$  est une constante à déterminer (dans les conditions initiales).

#### Etape n° 2 : Solution particulière (quand $t$ tend vers l'infini, c'est-à-dire que la température devient constante)

On cherche la solution particulière de l'équation  $\frac{dT(t)}{dt} + k \cdot T(t) = k \cdot T_{\text{ambiante}}$

C'est-à-dire que l'on souhaite que la température soit égale à une température constante  $T_{\text{ambiante}}$ , alors  $\frac{dT}{dt} = 0$

L'équation devient :  $k \cdot T(t) = k \cdot T_{\text{ambiante}}$

Soit  $T(t) = T_{\text{ambiante}}$

La solution de l'équation différentielle est donc :  $T(t) = T_{\text{ambiante}} + K \cdot e^{-kt}$

Il reste à déterminer la constante  $K$ .

Pour cela, on se place dans les conditions initiales : à  $t = 0$  on a  $T(0) = T_0$

$$\Leftrightarrow T_{\text{ambiante}} + K \cdot e^{-kt} = T_0$$

$$\Leftrightarrow T_{\text{ambiante}} + K = T_0 \quad \text{avec } e^{-kt} = 1$$

$$\Leftrightarrow K = T_0 - T_{\text{ambiante}}$$

La solution complète de l'équation différentielle est donc :  $T(t) = T_{\text{ambiante}} + (T_0 - T_{\text{ambiante}}) \cdot e^{-kt}$

Rappels mathématiques :

si  $f(x) = 5x + 2$  alors  $f'(x) = 5$

Réciproquement

si  $f'(x) = 5$  alors  $f(x) = 5x + K$

$K$  étant une constante à déterminer.

La primitive de  $\frac{1}{x} dx$  est  $\int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + K$

$\int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + K$  si  $x \neq 0$

Question : Une barre de métal chauffée à 200° C est laissée à refroidir pendant 3 minutes dans un local dont la température ambiante est de 20° C. On constate alors que la température de la barre est de 80° C. Dans combien de temps la température de la barre atteindra-t-elle 25° C ?

Réponse : La résolution nécessite de déterminer dans un premier temps la valeur de  $k$ , puis d'en déduire la durée nécessaire pour atteindre 25°C.

La température évolue selon l'équation :  $T(t) = T_{\text{ambiante}} + (T_0 - T_{\text{ambiante}}) \cdot e^{-kt}$

$T(t) = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$

On détermine dans un premier temps, la valeur de la constante  $k$  (qui sera exprimée en  $s^{-1}$ )

$k = \dots\dots\dots$

Dans un second temps, on détermine la durée nécessaire pour atteindre 25°C

$t = \dots\dots\dots \text{ s}$