CH P7 – Gaz parfait et bilan d'énergie d'un système

Programme officiel :

Thème 1 : Constitution et transformations de la matière

1. Déterminer la composition d'un système par des méthodes physiques et chimiques

B) Analyser un système chimique par des méthodes physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Absorbance ; loi de Beer-Lambert Conductance, conductivité ; loi de Kohlrausch	Exploiter la loi de Beer-Lambert, la loi de Kohlrausch ou l'équation d'état du gaz parfait pour déterminer une concentration ou une quantité de matière. Citer les domaines de validité de ces relations.

Thème 3 : L'énergie : conversions et transferts

1. Décrire un système thermodynamique : exemple du modèle du gaz parfait

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Modèle du gaz parfait. Masse volumique, température thermodynamique, pression. Équation d'état du gaz parfait.	Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées aux propriétés du système à l'échelle microscopique. Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz. Identifier quelques limites du modèle du gaz parfait.

2. Effectuer des bilans d'énergie sur un système : le premier principe de la thermodynamique

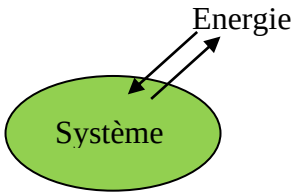
Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Énergie interne d'un système. Aspects microscopiques.	Citer les différentes contributions microscopiques à l'énergie interne d'un système.
Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.	Prévoir le sens d'un transfert thermique. Distinguer, dans un bilan d'énergie, le terme correspondant à la variation de l'énergie du système des termes correspondant à des transferts d'énergie entre le système et l'extérieur.
Capacité thermique d'un système incompressible. Énergie interne d'un système incompressible.	Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible en fonction de sa capacité thermique et de la variation de sa température pour effectuer un bilan énergétique. *Effectuer l'étude énergétique d'un système thermodynamique.*
Modes de transfert thermique. Flux thermique. Résistance thermique.	Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement. Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant donnée.
Bilan thermique du système Terre-atmosphère. Effet de serre.	Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée. Discuter qualitativement de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température terrestre moyenne.
Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.	Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie. Établir l'expression de la température du système en fonction du temps. *Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible.* **Capacités mathématiques :** Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant.

CH P7 – Gaz parfait et bilan d'énergie d'un système

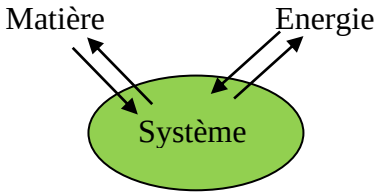
1. Système thermodynamique

1.1. Description d'un système thermodynamique

Un système thermodynamique est défini par la matière qui se trouve à l'intérieur d'une surface fermée et qui peut échanger de l'énergie avec le milieu extérieur. Il est dit « fermé » s'il n'échange pas de matière avec le milieu extérieur, « ouvert » s'il en échange.



Système fermé



Système ouvert

Pour pouvoir décrire le système, on utilise alors des grandeurs physiques appelées variables d'état, qui sont :

- la **température T** en Kelvin (**K**) qui permet de rendre compte de l'agitation des particules du système (atome, molécules) et qui est donc liée à leur énergie cinétique ;
  Rappel de 1ère : **$T = \theta + 273{,}15$** avec θ en °C.

- la **pression P** en Pascal (**Pa**) qui permet de rendre compte avec quelle force les particules exercent des chocs sur une paroi et qui est donc liée à la masse et la vitesse des particules du système ;
  Rappel de 1ère spécialité : **$F = P \times S$** et 1 bar $= 10^5$ Pa

- le **volume V** en mètre cube (**m^3**) qui permet de rendre compte de la place que prend le système dans l'espace ;

- la **quantité de matière n** en mole (**mol**) qui permet de rendre compte du nombre de particules présentes dans le système.

1.2. Modèle du gaz parfait

Dans le cas des gaz, on simplifie l'étude en considérant que :
- les particules (atomes, molécules) sont des points matériels ;
- les particules n'interagissent pas entre-elles (on néglige donc les liaisons hydrogène et les interactions de Van der Waals) ce qui est vrai si l'on éloigne suffisamment la température du système de sa température d'ébullition.

Dans ce modèle, le gaz est alors appelé **gaz parfait** et il existe une relation entre les variables d'état appelée **équation d'état du gaz parfait** :

$$P \times V = n \times R \times T$$

avec **$R = 8{,}314$ J.mol^{-1}.K^{-1}** appelée constante des gaz parfaits

Cette équation complète la loi de Boyle-Mariotte vue en 1ère : **P×V = constante**.

2. Notion d'énergie interne

2.1. Définition

On appelle **énergie interne U** l'ensemble des formes d'énergie présentes au sein d'un système. Elle comprend les énergies (potentielles, cinétiques, …) mises en jeu entre les particules constituant le système.

Exemple : Quand on chauffe de l'eau, celle-ci reçoit de l'énergie. Au niveau macroscopique sa température augmente. Au niveau microscopique les molécules d'eau s'agitent et donc gagnent de l'énergie cinétique. On dira que l'énergie interne de l'eau augmente.

Ainsi, l'énergie totale d'un système sera la somme de son énergie mécanique et de son énergie interne : $\mathbf{E_{total} = E_m + U}$

2.2. Capacité thermique

La **capacité thermique C** d'un corps est l'énergie que doit recevoir ce corps pour élever sa température d'un degré Celsius ou d'un Kelvin.

Pour un système condensé (solide ou liquide) sa variation d'énergie interne ΔU est donc reliée à la variation de température ΔT par : $\mathbf{\Delta U = C \times \Delta T}$

ΔU en J C en $J.K^{-1}$ ΔT en K

Remarque : T (en K) = θ (en °C) + 273,15
cependant ΔT correspond à une variation de température, elle sera donc la même qu'elle soit exprimée en K ou en °C.

Exemple : La capacité thermique de l'eau est de $4{,}18.10^3$ $J.K^{-1}$ ce qui signifie que l'eau augmente son énergie interne de $4{,}18.10^3$ J quand sa température augmente de 1 K.

On utilise souvent la **capacité thermique massique c** (en $J.kg^{-1}.K^{-1}$) pour prendre en compte la masse du système. Ainsi la relation devient : $\mathbf{\Delta U = m \times c \times \Delta T}$

3. Les transferts thermiques

Le **transfert thermique Q** s'effectue toujours du corps chaud vers le corps froid. Ainsi, la température du corps chaud diminue et la température du corps froid augmente. Ce phénomène est **irréversible**.
Pour étudier expérimentalement ces transferts on utilise un **calorimètre** qui permet de limiter les transferts thermiques avec l'extérieur.

3.1. Les trois modes de transferts thermiques

- **La conduction** :
  Le transfert thermique est réalisé par contact direct, de proche en proche, sans déplacement de matière. C'est le seul mode de transfert thermique dans les solides.

- **La convection** :
  Le transfert thermique est réalisé par un mouvement global des entités à l'intérieur d'un système donc spécifique aux systèmes fluides (gaz ou liquides).

- **Le rayonnement** :
  Le transfert thermique est réalisé par l'absorption ou l'émission d'un rayonnement électromagnétique.

3.2. Flux thermique et résistance thermique

Le **flux thermique Φ** ou **puissance thermique P_{th}** caractérise la vitesse du transfert thermique Q, pendant une durée Δt :

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

Q en Joules (J) ; Δt en secondes (s) ; Φ en Watts (W).

Dans le cas d'une paroi plane comme un mur, le flux thermique est proportionnel à l'écart de température entre les deux faces A et B de la paroi :

$$\Phi = \frac{T_A - T_B}{R_{th}}$$

T_A et T_B : températures des faces A et B (en K) ; R_{th} : résistance thermique de la paroi ($K.W^{-1}$).

La **résistance thermique R_{th}** représente la capacité qu'a le matériau à « résister » à l'échange thermique. Plus la résistance thermique est élevée, plus le matériau est isolant.

Pour une paroi plane d'épaisseur e (en m), de surface S (en m^2) et de conductivité thermique λ (en $W.m^{-1}.K^{-1}$) on définit la résistance thermique par :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Remarques : La résistance thermique de plusieurs parois accolées (en série) est égale à la somme des résistances thermique de chaque paroi.
La conductivité thermique montre la capacité d'un matériau à échanger de l'énergie thermique. Plus elle est élevée, plus le matériau « conduit la chaleur » et donc moins il est isolant.

4. Bilans d'énergie

4.1. Premier principe de la thermodynamique

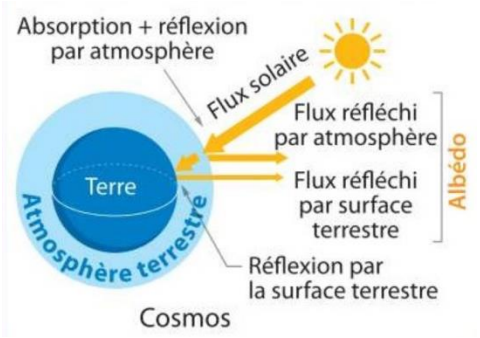
La variation d'énergie interne ΔU d'un système fermé est la conséquence d'échanges d'énergie avec l'extérieur par **travail W** et par **transfert thermique Q**.

- Si ΔU > 0, le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.
- Si ΔU < 0, le système fournit de l'énergie au milieu extérieur.

$$\mathbf{\Delta U = W + Q}$$

Remarque : La variation d'énergie totale du système est la somme de la variation de son énergie interne et de la variation de son énergie mécanique. $\mathbf{\Delta E_{tot} = \Delta E_m + \Delta U}$.
Lorsque l'énergie mécanique du système est constante (actions de forces conservatives), la variation d'énergie totale est uniquement due à la variation d'énergie interne. **Si $\Delta E_m = 0$, $\Delta E_{tot} = \Delta U$**.

4.2. Exemple du système Terre-atmosphère



La Terre reçoit du Soleil un flux par rayonnement d'environ 340 W/m². Une partie est absorbée par l'atmosphère, une autre partie est absorbée par le sol et une autre partie est renvoyée dans l'espace.

Cette dernière correspond à l'albédo qui est estimée à 31% du flux reçu.

Rappel de 1ère Enseignement Scientifique :

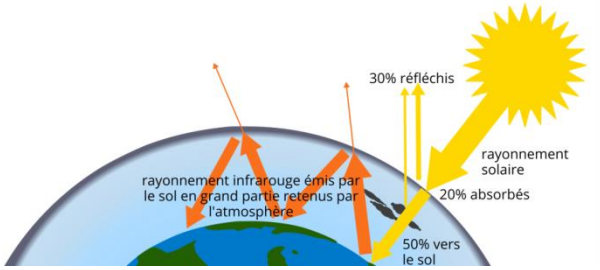
L'albédo est une grandeur physique sans unité notée α et comprise entre 0 et 1 qui informe sur l'aptitude d'une surface à réfléchir le rayonnement reçu.

$$\alpha = \frac{P_{réfléchie}}{P_{reçue}}$$

Un corps noir parfait a un albédo $\alpha = 0$; un miroir parfait $\alpha = 1$; l'atmosphère et les nuages ont un albédo $\alpha \approx 0{,}25$.

Sans l'albédo, la loi de Stefan-Boltzmann dit que la température terrestre moyenne devrait être de l'ordre de 7°C ; en prenant en compte l'albédo elle devrait être de -18°C.

Or la température terrestre moyenne est de l'ordre de 15°C ce qui est dû à l'effet de serre qui provient des gaz présents dans l'atmosphère capables d'absorber et de renvoyer vers la Terre une partie des radiations émises.



Loi de Stefan-Boltzmann pour un corps noir :

$$P_S = \sigma \times T^4$$

P_S : puissance surfacique en W/m²
σ : constante = $5{,}67\times10^{-8}$ W.m^{-2}.K^{-4}
T : température en K

4.3. Loi phénoménologique de Newton

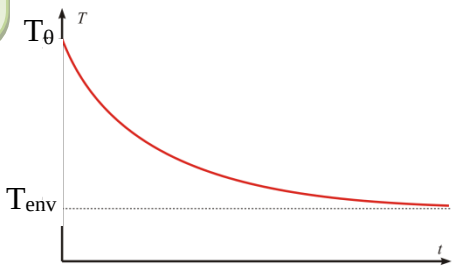
La loi de refroidissement de Newton dit que le taux de perte de chaleur d'un corps est proportionnel à la différence de température entre le corps et le milieu. Ceci se traduit par l'équation différentielle :

$$\frac{dT(t)}{dt} = -k\,(T - T_{env})$$

Remarque : Cette loi peut s'établir à partir de la loi de convection d'un solide ou d'un liquide en contact d'une surface S avec l'environnement :

$\delta Q(t) = h\times S\times(T_{env} - T(t))\times dt$

avec h le coefficient d'échange convectif

En considérant le milieu à une température constante T_{env} et le système à la température initiale T_0, la résolution de cette équation montre une décroissance exponentielle :

$$T(t) = T_{env} + (T_0 - T_{env})\times e^{-k\times t}$$