Th4 - Transferts d'énergie

On s'intéresse dans ce chapitre aux différents types d'échange d'énergie entre un système et l'extérieur au cours d'une transformation.

I. Transformation thermodynamique

I.1. Généralités

En thermodynamique, nous étudierons l'évolution d'un système **fermé** d'un état d'équilibre (1) vers un état d'équilibre (2). Le système subit alors une transformation :

$$\begin{array}{ccc} (P_1, T_1, V_1) & \xrightarrow{\text{Transformation}} & (P_2, T_2, V_2) \\ \text{état (1)} & & \text{état (2)} \end{array}$$

Pour que la transformation se produise il faut modifier un paramètre afin que le système quitte son état d'équilibre initial jusqu'à en atteindre un autre.
Exemple : retrait d'un masse posée sur un piston.

Notation : on note par la lettre Δ les variations de toute variable d'état entre l'état initial (1) et l'état final (2).

$$\Delta V = V_2 - V_1$$
$$\Delta P = P_2 - P_1$$

De manière générale, si F est une fonction d'état alors

$$\Delta F = F_2 - F_1$$

On remarque que la variation de F ne dépend que de l'état initial et de l'état final et pas de la nature de la transformation ayant amené le système de l'état (1) à l'état (2).
Si la transformation est cyclique (état final= état initial) alors $\boldsymbol{\Delta F = 0}$. Au cours d'une transformation cyclique la variation de toute fonction d'état du système est nulle.

I.2. Vocabulaire usuel des transformations

Transformation isochore
Une transformation est **isochore** lorsque le volume du système reste constant tout au long de la transformation :

$$V = Cte$$

Transformation monobare/isobare
Une transformation est **monobare** lorsque la pression extérieure reste constante :

$$P_{\text{ext}} = Cte$$

Une transformation est **isobare** lorsque la pression du système est toujours définie et reste constante :

$$P_{\text{syst}} = Cte$$

Transformation monotherme/isotherme
Une transformation est **monotherme** lorsque la température extérieure reste constante :

$$T_{\text{ext}} = Cte$$

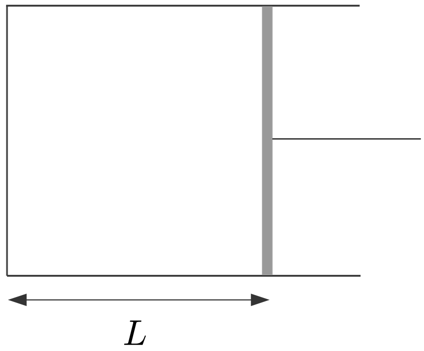
Une transformation est **isotherme** lorsque la température du système est toujours définie et reste constante.

$$T_{\text{syst}} = Cte$$

I.3. Transformation brutale - Transformation quasi-statique

a) Temps de relaxation d'un système

On considère un gaz contenu dans un cylindre fermé par un piston mobile. Quand on déplace le piston, on crée localement une surpression qui se propage à la vitesse des ondes sonores dans le gaz. Puis, progressivement, la pression va s'homogénéiser au bout d'un temps caractéristique τ_P.
Si une transformation se déroule sur une durée $T_{\text{transfo}} \gg \tau_P$ alors on peut considérer que la pression est définie tout au long de la transformation. Pour que cette condition soit réalisée il faut que le déplacement du piston s'effectue à une vitesse faible par rapport à la vitesse de propagation des ondes acoustiques dans le gaz.



$\tau_P \simeq \frac{L}{c}$ avec c vitesse des ondes acoustiques

Si on plonge un métal chauffé dans de l'eau froide il va atteindre une température d'équilibre au bout d'un temps caractéristique τ_T qui dépend entre autre, de ses dimensions et de sa conductivité thermique.
Si une transformation se déroule sur une durée $T_{\text{transfo}} \gg \tau_T$, temps de relaxation en température d'un système alors on peut considérer que la température est définie tout au long de la transformation.

En général $\tau_P \ll \tau_T$.

b) Transformation quasistatique

Une transformation est **quasi-statique** lorsqu'elle se déroule sur une échelle de temps T_{transfo} très grande devant le temps de relaxation du système : la pression et la température sont alors définies tout au long de la transformation. On peut considérer qu'une transformation quasi-statique est une succession d'états d'équilibre internes du système.
Sinon, la transformation est dite brutale : dans ce cas la pression et la température ne sont *a priori* pas définis en dehors des états d'équilibre initial et final.

I.4. Les différents types d'échanges d'énergie

a) Généralités

Un système est dit **isolé** s'il est fermé et s'il n'échange pas d'énergie avec l'extérieur.

Un système thermodynamique fermé non isolé échange de l'énergie avec l'extérieur. Cet échange peut s'effectuer de deux manières : lorsqu'il s'effectue à l'échelle macroscopique, de manière directement quantifiable on parle de **"travail"** et on le note W. Sinon, tout type de transfert d'énergie qui ne peut pas se mettre sous la forme d'un travail sera appelé **"transfert thermique"**. Le transfert thermique s'effectue à l'échelle microscopique. On le note Q.

b) Convention thermodynamique

En thermodynamique (comme en mécanique) on compte positivement l'énergie reçue par le système.

II. Travail

Un travail correspond à un transfert d'énergie associé par exemple au travail d'une force s'exerçant sur le système. Nous allons calculer le travail des forces de pression qui s'exercent à la surface d'un système. De manière générale, le travail correspond à un échange d'énergie directement quantifiable. On le note W.

II.1. Lien puissance-travail

D'après le théorème de la puissance mécanique $\dfrac{\mathrm{d}E_m}{\mathrm{d}t} = \mathcal{P}_{nc}$.

Une puissance est donc homogène à une énergie divisée par un temps. Son unité SI est le watt : 1 W = 1 J.s^{-1}.

Le travail élémentaire δW effectué par une force de puissance $\mathcal{P}$ pendant une durée infinitésimale dt a pour expression

$$\delta W = \underbrace{\mathcal{P}}_{\mathrm{W=J.s^{-1}}} \underbrace{\mathrm{d}t}_{\mathrm{s}}$$

Le **travail** est homogène à une **énergie** et se mesure en joule.

Le travail total effectué de l'instant t_1 à l'instant t_2 vaut

$$W = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}\mathrm{d}t$$

Lorsque la puissance est constante

$$W = \mathcal{P}\Delta t$$

II.2. Travail d'une force

Pour qu'une force travaille il faut que son point d'application se déplace.

Par définition, le **travail élémentaire** δW d'une force $\vec{f}$ pour un petit déplacement $\mathrm{d}\vec{\ell}$ de son point d'application vaut

$$\delta W = \vec{f}.\mathrm{d}\vec{\ell}$$

On remarque que si $\vec{f} \perp \mathrm{d}\vec{\ell}$, la force ne travaille pas. Si $\vec{f}.\mathrm{d}\vec{\ell} > 0$, la force favorise le mouvement : son travail est moteur. Si $\vec{f}.\mathrm{d}\vec{\ell} < 0$, la force tend à s'opposer au mouvement : son travail est résistant (voir chap M2 I.1).

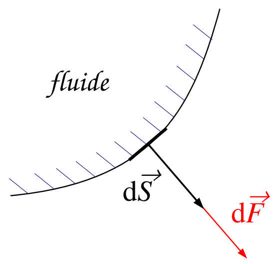
Si le point d'application de la force se déplace de A à B :

$$W = \int_A^B \vec{f}.\mathrm{d}\vec{\ell}$$

III. Travail des forces de pression

III.1. Force de pression

a) Rappel



Un fluide au repos exerce sur tout élément de surface $\mathrm{d}S$ de la paroi avec laquelle il est en contact, une force de pression normale à cet élément de surface, orientée vers l'extérieur du fluide et proportionnelle à $\mathrm{d}S$. On a :

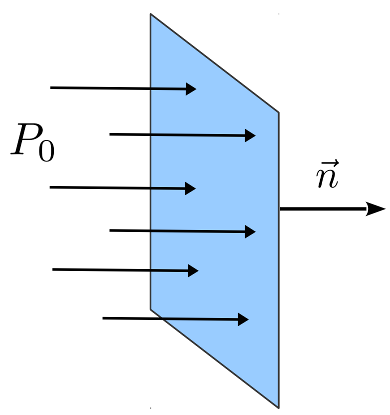
$$\mathrm{d}\vec{F} = P\,\mathrm{d}\vec{S}$$

avec $\mathrm{d}\vec{S} = \mathrm{d}S\,\vec{n}$ vecteur surface élémentaire : $\mathrm{d}S$ représente l'aire de la surface et $\vec{n}$ est un vecteur unitaire normal à la surface du récipient et orienté vers l'extérieur.
La pression du P fluide a pour unité le pascal : $1\,\mathrm{Pa}{=}1\,\mathrm{N.m^{-2}}$. On utilise également le bar : $1\,\mathrm{bar}{=}10^5\,\mathrm{Pa}$. **La pression est donc homogène à une force par unité de surface**.

b) Pression uniforme agissant sur une surface plane

On se place dans le cas où la pression est uniforme (c'est-à-dire est la même en tout point). Par exemple, la pression de l'air dans une pièce peut être supposée uniforme et égale à $P_0 = 10^5$ Pa.

On souhaite exprimer la résultante des forces de pression s'exerçant sur une surface plane (une fenêtre par exemple).



> Si la **pression** est **uniforme** et si la **surface** est **plane** on peut écrire :
> $$\vec{F} = P_0\,S\,\vec{n}$$
> avec $\vec{n}$ le vecteur normal à la surface orienté vers l'extérieur du fluide et S la surface totale

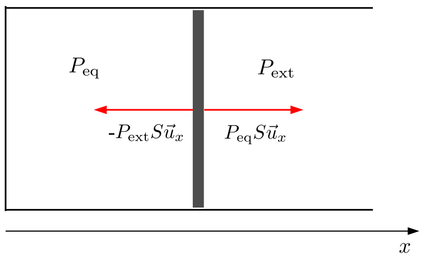
✎ Calculer la force de pression s'exerçant sur une fenêtre de surface 1 m^2. Quelle masse aurait un poids équivalent à cette force ? Commenter.

c) Pression d'équilibre

On considère un gaz contenu dans un cylindre fermé par un piston de surface S susceptible de se déplacer sans frottement.
On note P_{ext} la pression extérieure supposée uniforme et P_{eq} la pression à l'équilibre du gaz contenu à l'intérieur du piston .

L'équilibre mécanique du piston impose alors l'égalité des pressions de part et d'autre du piston

$$\boxed{P_{eq} = P_{\text{ext}}}$$

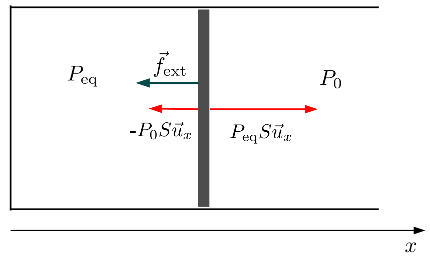


On reprend l'exemple précédent en supposant désormais que la pression extérieure uniforme vaut P_0 et qu'un opérateur exerce une force $\vec{f}_{\text{ext}} = -f_{\text{ext}}\vec{u}_x$ sur le piston.

L'équilibre mécanique du piston impose que la résultante des forces soit nulle.

$$P_{eq}S - P_0S - f_{\text{ext}} = 0$$

$$P_{eq} = P_0 + \frac{f_{\text{ext}}}{S}$$

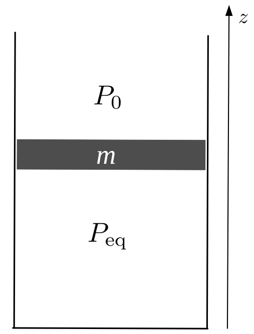


On peut encore écrire à l'équilibre

$$\boxed{P_{eq} = P_{\text{ext}} \quad \text{avec} \quad P_{\text{ext}} = P_0 + \frac{f_{\text{ext}}}{S}}$$

Exemple :

On considère un piston de masse m non négligeable susceptible de se déplacer verticalement sans frottement. Déterminer la pression d'équilibre P_{eq}.

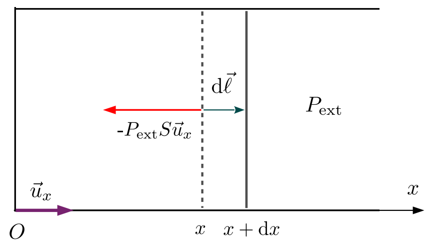


III.2. Travail des forces de pression extérieure définie uniforme

On considère le système {gaz+paroi}.

On note P_{ext} la pression extérieure supposée uniforme. La force de pression qui s'exerce sur la paroi mobile de section S vaut :

$$\vec{F} = -P_{\text{ext}}S\vec{u}_x$$



Soit δW le travail élémentaire de la force $\vec{F}$ pour un déplacement $\text{d}\vec{\ell} = \text{d}x\vec{u}_x$ du piston.

$$\delta W = \vec{F}.\text{d}\vec{\ell} = -P_{\text{ext}}S\vec{u}_x.\text{d}x\vec{u}_x = -P_{\text{ext}}S\text{d}x = -P_{\text{ext}}\text{d}V$$

où $\text{d}V = S\text{d}x$ représente la variation de volume du système

si $\text{d}V > 0$	$\delta W < 0$	détente :	le système cède de l'énergie à l'extérieur
si $\text{d}V < 0$	$\delta W > 0$	compression :	le système reçoit de l'énergie à l'extérieur

Pour un déplacement du piston faisant passer le volume de $V_1 = Sx_1$ à $V_2 = Sx_2$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} -P_{\text{ext}}\text{d}V$$

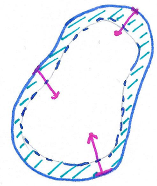
Retenir :

Pour une transformation à pression extérieure P_{ext} définie et uniforme sur toute la paroi mobile, le travail reçu par le système {gaz+paroi} pour passer du volume V_1 au volume V_2 a pour expression :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} -P_{\text{ext}} \mathrm{d}V$$

Remarque :

– cette expression est généralisable à un volume déformable quelconque



– ce travail est transmis au système {gaz} si le déplacement du piston s'effectue sans frottement.

III.3. Travail des forces de pression dans deux cas particuliers

a) Transformation isochore

Pour une transformation isochore $V = cte$, $\mathrm{d}V = 0$:

$$W_{\text{isochore}} = 0$$

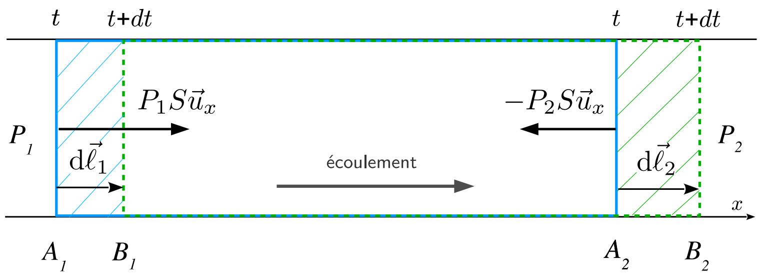
b) Transformation monobare

Pour une transformation monobare $P_{\text{ext}} = cte = P_0$:

$$W_{\text{monobare}} = -P_{\text{ext}}\Delta V = -P_{\text{ext}}(V_2 - V_1)$$

III.4. Cas d'un fluide en écoulement

Dans beaucoup de machines thermiques (réfrigérateur, centrale électrique) un fluide est en écoulement dans une conduite.
On considère donc ici le cas particulier d'un fluide en écoulement dans une conduite de section S. On isole mentalement un système fermé Σ correspondant au fluide compris
– entre les sections A_1 et A_2 à l'instant t
– entre les sections B_1 et B_2 à l'instant $t + \mathrm{d}t$



On ne peut pas appliquer la formule précédente puisque la pression extérieure a ici deux valeurs différentes sur la surface "amont" et sur la surface "aval" du système. on revient donc au calcul de chacune des forces de pression.
On pose $\overrightarrow{A_1B_1} = \mathrm{d}\vec{\ell_1} = \mathrm{d}\ell_1\vec{u}_x$ et $\overrightarrow{A_2B_2} = \mathrm{d}\vec{\ell_2} = \mathrm{d}\ell_2\vec{u}_x$

$\delta W = P_1 S\vec{u}_x.\mathrm{d}\vec{\ell_1} - P_2 S\vec{u}_x.\mathrm{d}\vec{\ell_2}$

$\delta W = P_1 S\vec{u}_x.\mathrm{d}\ell_1\vec{u}_x - P_2 S\vec{u}_x.\mathrm{d}\ell_2\vec{u}_x$

$\delta W = P_1 S\mathrm{d}\ell_1 - P_2 S\mathrm{d}\ell_2$

$$\boxed{\delta W = P_1\mathrm{d}V_1 - P_2\mathrm{d}V_2}$$

avec $\mathrm{d}V_1 = S\mathrm{d}\ell_1$ le volume balayé par la surface amont et $\mathrm{d}V_2 = S\mathrm{d}\ell_2$ le volume balayé par la surface aval.

III.5. Travail des forces de pression pour une transformation mécaniquement réversible

a) Expression

On considère une transformation se déroulant sur une échelle de temps $\tau \gg \tau_P$ de telle sorte que la pression soit définie à l'intérieur du système à toute étape de la transformation.

Par définition une transformation est **mécaniquement réversible** si à tout moment la pression du système est égale à la pression extérieure : $P_{\text{ext}} = P$.
Le travail algébriquement reçu par le système $\{gaz\}$ a alors pour expression :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} -P\mathrm{d}V$$

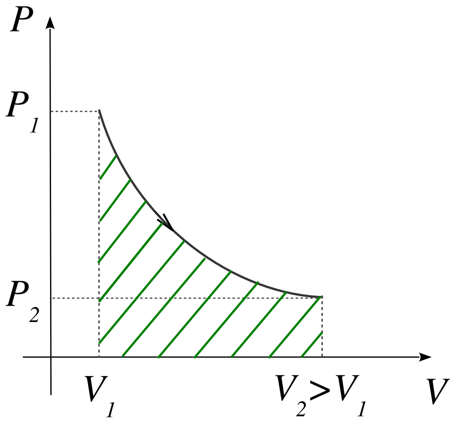
avec P pression du gaz définie à toute étape de la transformation.

Remarque : **cette formule est applicable dès que la pression du gaz est définie tout au long de la transformation** donc a fortiori pour une transformation quasistatique.

b) Représentation graphique dans le diagramme de Clapeyron (P, V)

La pression P est définie tout au long de la transformation : on peut donc tracer la courbe $P = P(V)$. La nature de cette courbe dépend de la transformation subie par le système.

détente :



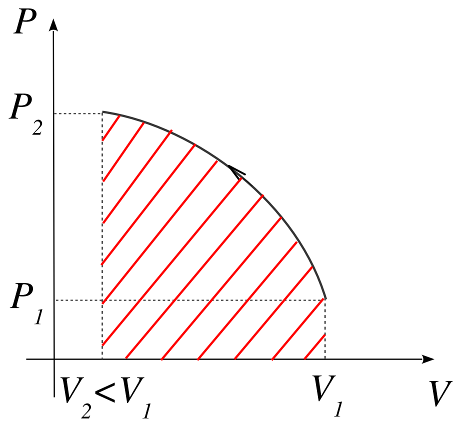
$$W = -\int_{V_1}^{V_2} P\mathrm{d}V \text{ avec } V_2 > V_1$$

$$W = -\mathscr{A}$$

avec $\mathscr{A}$ l'aire sous la courbe.

Au cours d'une détente $W < 0$: on compte négativement l'aire sous la courbe $W = -\mathscr{A}$.

compression :



$$W = -\int_{V_1}^{V_2} P\mathrm{d}V$$

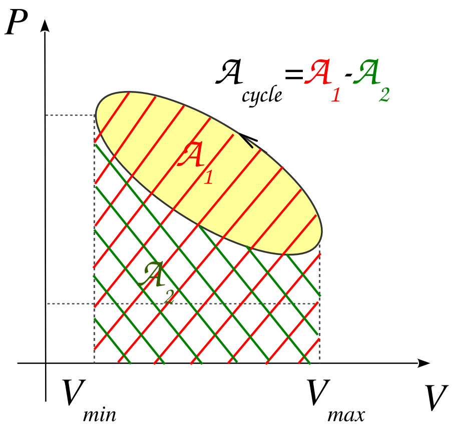
$$W = \int_{V_2}^{V_1} P\mathrm{d}V \text{ avec } V_1 > V_2$$

$$W = +\mathscr{A}$$

avec $\mathscr{A}$ l'aire sous la courbe.

Au cours d'une compression $W > 0$: on compte positivement l'aire sous la courbe $W = +\mathscr{A}$.

cycle :



Cycle parcouru dans le sens trigonométrique :

$$W\circlearrowleft = \mathscr{A}_1 - \mathscr{A}_2 = +\mathscr{A}_{\text{cycle}} > 0$$

On en déduit, pour un cycle parcouru dans le sens inverse-trigo (sens horaire)

$$W\circlearrowright = -\mathscr{A}_{\text{cycle}}$$

Au cours d'un cycle le travail reçu correspond à l'aire du cycle, compté positivement pour un cycle décrit dans le sens trigo $\circlearrowleft$ **(cycle récepteur $W > 0$)** et négativement pour un cycle décrit dans le sens horaire $\circlearrowright$ **(cycle moteur $W < 0$)** .

Remarque :

On note δW et pas dW le travail élémentaire, car "W" n'est pas une fonction d'état et donc δW ne représente pas la variation d'une grandeur "W".

L'intégrale $\int_1^2 \delta W$ ne s'écrit donc pas $\cancel{\Delta W}$ mais W et elle dépend du chemin suivi pour aller d'un même état initial 1 à un même état final 2.

On voit bien ici que l'aire sous la courbe dépendra du chemin suivi pour aller d'un même état initial à un même état final et que le travail pour un cycle n'est pas nul.

c) Exemples de calculs

- transformation isobare à $P = P_0$ de n moles de gaz parfait :

$$(P_1 = P_0, V_1, T_1) \xrightarrow{\text{P=P}_0} (P_2 = P_0, V_2, T_2)$$

La pression étant définie (et constante) tout au long de la transformation on peut écrire :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} -P_0 \text{d}V = -P_0 \int_{V_1}^{V_2} \text{d}V$$

$$\boxed{W = -P_0(V_2 - V_1)}$$

- transformation isotherme de n moles de gaz parfait $T = T_0$

$$(P_1, V_1, T_1 = T_0) \xrightarrow{\text{T=T}_0} (P_2, V_2, T_2 = T_0)$$

La température étant définie (et constante) tout au long de la transformation alors la pression l'est aussi (car $\tau_T \gg \tau_P$). On peut écrire :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} -P\text{d}V$$

La transformation étant isotherme et le gaz étant parfait : $PV = nRT_0 = P_1V_1 = P_2V_2$

$$W = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_0}{V}\text{d}V$$

$$W = -nRT_0 \left[\ln V\right]_{V_1}^{V_2} = -nRT_0 \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT_0 \ln \frac{V_1}{V_2}$$

L'égalité $P_1V_1 = P_2V_2$ entraîne $\dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{P_2}{P_1}$.

$$\boxed{W = nRT_0 \ln \frac{P_2}{P_1}}$$

On vérifie que

– pour une compression : $P_2 > P_1$; $W > 0$.

– pour une détente : $P_2 < P_1$; $W < 0$.

IV. Travail électrique

On peut ainsi définir le travail électrique. On rappelle que la puissance électrique algébriquement reçue par un dipôle électrique

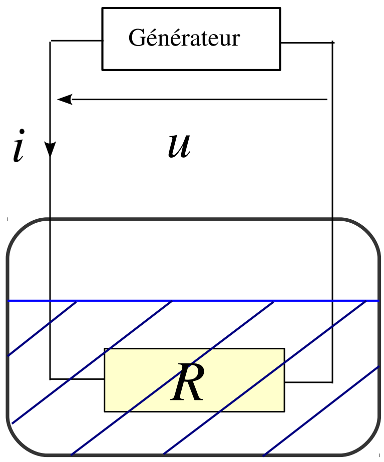
$$\mathcal{P} = ui$$

u et i étant orientées suivant le schéma ci-dessus (convention récepteur : u et i sont orientés dans des sens opposés).
Si le dipôle électrique est une résistance, on a, en convention récepteur, $u = Ri$ et donc $\mathcal{P} = Ri^2$.
Exemple :
On fait circuler un courant dans une résistance chauffante (par exemple pour chauffer de l'eau).
Si on connaît la tension aux bornes de la résistance et l'intensité du courant qui la traverse, l'énergie reçue entre l'instant t_1 et l'instant t_2 par le système {résistance+contenu de la bouilloire} vaut

$$W = \int_{t_1}^{t_2} \mathscr{P}(t)\mathrm{d}t = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2(t)\mathrm{d}t$$

Si l'intensité i est constante au cours du temps :

$$W = Ri^2\Delta t$$



V. Échange d'énergie par transfert thermique Q

V.1. Les différents modes de transfert

a) Conduction thermique

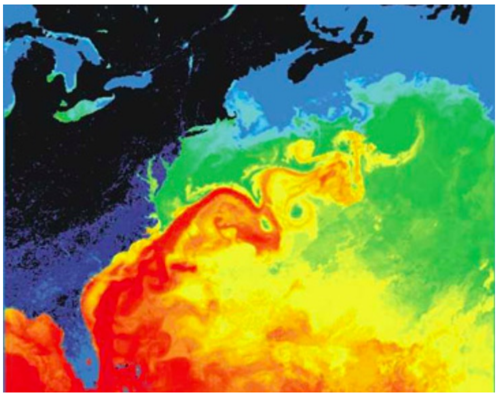
Lorsque l'on met deux corps solides de températures différentes en contact, la température va progressivement s'homogénéiser : un transfert thermique se produit du corps chaud vers le corps froid. Ce transfert s'effectue à l'échelle microscopique. L'énergie cinétique microscopique d'agitation thermique se transmet de proche en proche par choc entre molécules des zones les plus chaudes (où l'agitation est importante) vers les zones les plus froides.
La conduction thermique est un phénomène lent [1] qui s'effectue sans transport macroscopique de matière.

b) Convection

La convection permet un transfert thermique via un transport macroscopique de matière. Elle se produit donc avec des fluides (liquide ou gaz). Elle peut être forcée ou naturelle. C'est un mode de transfert thermique très efficace.

Par exemple, l'eau est chauffée au niveau d'une chaudière puis on la fait circuler dans des radiateurs qui permettent de chauffer des pièces d'habitation. Grâce à sa capacité thermique élevée, l'eau est un bon fluide caloporteur. C'est aussi une circulation d'eau sous pression qui permet de récupérer et de transférer l'énergie libérée par un réacteur nucléaire.
La convection peut se produire naturellement : au voisinage d'un radiateur l'air chauffe. L'air chaud étant moins dense que l'air froid, il s'élève et est remplacé par de l'air froid. Une cellule de convection se met en place.
Dans un four, on peut soit avoir une convection naturelle, soit une convection forcée en position "chaleur tournante". Cette dernière est plus efficace et permet d'obtenir une température plus homogène.

C'est aussi grâce au phénomène de convection que nous avons des températures supportables à nos latitudes. L'atmosphère et l'océan permettent de redistribuer la chaleur reçue aux basses latitudes (proches de l'équateur).
Les courants chauds de surface (comme le Gulf Stream) permettent de transférer de la chaleur reçue au niveau de l'équateur vers les hautes latitudes.



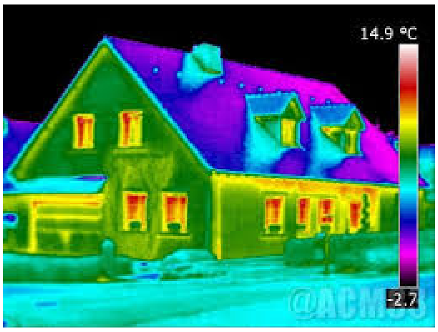
Il existe également des mouvements de convection dans le manteau.

c) Rayonnement

Ce dernier mode de transfert d'énergie s'effectue même dans le vide. Tout corps chauffé émet un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde d'autant plus courte que la température est élevée (l'énergie des photons émis est donc d'autant plus grande que la température est élevée).
À l'équilibre le spectre du rayonnement émis (rayonnement du corps noir) admet un maximum pour λ_m vérifiant la loi de Wien $\lambda_m T = 3,0.10^{-3}$ m.K. Ainsi le Soleil, avec une température de surface proche de 6000 K émet-il principalement dans le jaune-vert ($\lambda_m = 500$ nm).
Le flux solaire (reçu en haute atmosphère) vaut $\Phi = 1360$ W.m $^{-2}$, ce qui fait une valeur moyenne de 340 W.m^{-2} reçu par unité de surface terrestre.
L'effet de serre est lié au fait que l'atmosphère laisse passer le rayonnement solaire (émis essentiellement dans le visible) alors qu'elle absorbe une grande partie du rayonnement émis par la Terre qui se situe lui dans l'infra-rouge (puisque la Terre présente une température moyenne de 15°C).

1. Pendant une durée t, on peut montrer que le transfert thermique s'effectue sur une distance proportionnelle à $\sqrt{t}$

Le corps humain ($T \simeq 300$ K) émet autour de $\lambda_m = 10$ μm, que l'on peut observer grâce aux caméras IR. Ces mêmes caméras permettent d'étudier les pertes thermiques d'une maison l'hiver.



Les trois modes de transfert thermiques décrits précédemment peuvent coexister.

V.2. Transformation adiabatique

a) Définition

Une transformation est dite adiabatique si **aucun transfert thermique ne se produit au cours de cette transformation**. On a alors [a]

$$Q = 0$$

a. La réciproque n'est pas vraie : on peut avoir des transferts thermiques qui globalement s'équilibrent.

b) Réalisation

Un système muni de parois empêchant tout transfert thermique subira une transformation adiabatique.
Une paroi interdisant les transferts thermiques est dite **athermane** ou **adiabatique** ou **calorifugée**.
Une paroi permettant les transferts thermiques est dite **diathermane** ou **diatherme**.

Les vases Dewar (principe de la bouteille thermos), ou les calorimètres que nous utiliserons en TP, tendent à isoler thermiquement leur contenu de l'extérieur.

Cependant un système peut posséder des parois diathermes et pourtant subir une transformation adiabatique. En effet, si la transformation s'effectue suffisamment rapidement, les transferts thermiques n'ont pas le temps d'intervenir.
Une transformation s'effectuant sur une échelle de temps courte devant la durée caractéristique des transferts thermiques pourra être considérée comme adiabatique.

V.3. Thermostat

Un thermostat est un système fermé susceptible d'échanger de l'énergie par transfert thermique et dont la température reste constante et uniforme quel que soit le transfert thermique réalisé.

Le thermostat est un un modèle :
Pour qu'un système conserve une température constante quel que soit le transfert thermique, il devrait posséder une capacité thermique infinie. Pour qu'un système possède une température uniforme il devrait posséder une conductivité thermique infinie.

Concrètement un système de grande taille devant la taille du système considéré pourra être assimilé à un thermostat.

Une façon simple de réaliser un thermostat est d'utiliser un bain-marie : on brasse, pour assurer une homogénéisation de la température, une grande quantité de liquide que l'on chauffe à la température souhaitée (voir le dispositif utilisé en chimie). En cuisine on réalise un thermostat à 100° C en faisant bouillir de l'eau dans une casserole.
On peut utiliser un système diphasé pour réaliser un thermostat (par exemple un mélange eau+glace) : à pression constante sa température reste inchangée tant que les deux phases restent en équilibre. Un transfert thermique provoquera une modification de sa composition (fonte de la glace si thermostat reçoit de l'énergie thermique et formation de glace si le thermostat en cède) mais pas de sa température.

Tout système en contact avec un thermostat subit une **transformation monotherme**.

V.4. Température d'équilibre

Si un système possédant des parois perméables aux transferts thermiques évolue au contact d'un thermostat de température T_{th} alors sa température d'équilibre vérifie

$$T_{\text{eq}} = T_{\text{th}}$$

V.5. Attention : adiabatique $\neq$ isotherme

Il ne faut surtout pas confondre ces deux types de transformations.

Exemple de transformation adiabatique non isotherme :
Quand on comprime un gaz de manière adiabatique sa température augmente.

Exemple de transformation isotherme non adiabatique :
Quand on fait fondre des glaçons dans un verre d'eau sous la pression atmosphérique, la température reste constante tant que les glaçons n'ont pas totalement fondu : la transformation est isotherme mais pas adiabatique, car c'est la chaleur reçue de l'extérieur qui permet aux glaçons de fondre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transferts d'énergie	
Transformations	Utiliser le vocabulaire usuel : isochore, isotherme, monobare, isobare, adiabatique.
Travail des forces de pression	Distinguer la pression extérieure de la pression du système. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans le cas où la pression extérieure et la pression du système sont égales. Différencier un transfert d'énergie de l'énergie interne fonction d'état.
Les transferts thermiques	Décrire qualitativement la conduction, la convection et le rayonnement. Proposer des solutions technologiques pour les diminuer ou les favoriser.