Essentiel de physique

2023/2024

Victor Sarrazin

Optique :

I Introduction à l'optique ... 2
II Lentilles minces et miroir plan ... 2
III L'oeil ... 2

Électricité :

I Introduction à l'électricité ... 2
II Circuits d'ordre 1 ... 6
III Circuits d'ordre 2, Oscillateurs ... 9
IV Circuits en régime sinusoidal forcé ... 9
V Filtrage ... 9

Ondes :

I Introduction aux ondes ... 9
II Diffraction/Interférences ... 9
III La lumière onde ... 9

Mécanique :

I Cinématique du point ... 9
II Dynamique du point ... 9
III Énergétique du point ... 9
IV Introduction à la dynamique des particules chargées ... 9
V Loi du moment cinématique ... 9
VI Mouvement dans un champ de force newtonien ... 10
VII Mécanique du solide ... 10

Thermodynamique :

I Introduction à la thermodynamique ... 10
II Premier principe ... 11
III Second principe ... 13
IV Flux thermiques ... 15
V Machines thermiques ... 16
VI Changement de phase du corps pur ... 18

Annexe :

I Analyse dimensionnelle ... 20
II Incertitudes ... 20
III Équations différentielles ... 20
IV Numérique ... 20

I Introduction à l'optique
A faire

II Lentilles minces et miroir plan
A faire

III L'oeil
A faire

I Introduction à l'électricité

I.1 Généralités

I.1.a Charge électrique
La **charge** est une propriété intrinsigue d'une particule et s'exprime en Coulomb (c) et est de dimension $I.T$, est algébrique, additive et conservative (un système fermé est de charge fixe).

La charge est portée par les électrons ($-e$) et les protons (e) avec $e = 1.6 \times 10^{-19}c$ la **charge élémentaire** (souvent notée q).

I.1.b Courant électrique
Le **courant électrique** est un déplacement d'ensemble de charges

I.1.c Dipôle, branche, maille, circuit
Un **dipôle** possède 2 pôles, lui permettant d'être traversé par un courant électrique. Une association de dipôles forme un **circuit**.

Un association de dipôles à la suite est appelée **association série** et forme une **branche**.

Un association de dipôles bouclant sur elle même est appelée **maille**.

I.1.d Intensité électrique
L'**intensité électrique** est un débit de charge noté I, avec $I = \frac{\delta Q}{dt}$ avec δQ la charge traversant la section pendant dt.

Pour mesurer une intensité on utilise un *ampèremètre* avec le $+$ sur le mA ou μA et le $-$ sur le COM (en série).

Loi des noeuds :
Dans une maille on a :

$$\sum_{\text{entrants}} I = \sum_{\text{sortants}} I$$

I.2 La tension électrique
La **tension électrique** U est une différence de potentiels en Volts (V) et est additive.

Expression de U_{AB} :
On a $U_{\text{AB}} = V_A - V_B$ avec V_A et V_B deux potentiels.

Loi des mailles :
Dans une maille, on a :

$$\sum_{\text{tension maille}} \varepsilon_i U_i$$

avec $\varepsilon_i = +1$ si U_i est dans le sens du parcours et $\varepsilon_i = -1$ sinon.

La loi des mailles et la loi des noeuds s'appellent les **lois de Kirchhoff**. Elles sont variables en régime continu et en régime lentement variable.

Pour mesurer une tension on utilise un *voltmètre* avec le $+$ sur la borne Ω et le $-$ sur la borne COM (en dérivation).

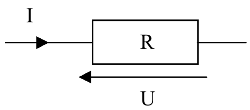
I.3 Approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS)

Critère d'ARQS :
Si $\tau \gg \frac{d}{c}$ avec τ le temps caractéristique, d la taille du circuit et c la longueur du vide alors on est dans l'approximation.

Si ce critère est vérifié, tous les points du circuit “voient” le changement en direct. Ce critère est tout le temps vérifié en série.

I.4 Résistors

Un **résistor** est une dipôle qui conduit $+$ ou $-$ bien l'électricité.



Une résistance est schématisée ainsi en convention récepteur

Loi d'Ohm :
On a $U = RI$ avec R la résistance en Ohm (Ω) en convention récepteur.

Attention, en convention générateur, on a $U = -RI$

On dit qu'un résistor est un dipôle passif (en l'absence de I, pas de U) et linéaire ($U = f(I)$).

On a $R = \frac{l}{\sigma S}$ avec l la longueur, σ la conductivité électrique et S la section.

On considère qu'un fil a une résistance négligeable.

Tension d'un fil :
La tension au bornes d'un fil est nulle.

Le voltmètre ($\approx 10M\Omega$) est modélisée par un interrupteur ouvert, et l'ampèremètre ($\approx 0.1\Omega$) modélisée par un fil.

Puissance dissipée par un résistor :
On a $P = RI^2$

Preuve :
On a $P_{\text{reçue}} = UI = U_R I_R = RI_R I_R = RI_R^2$

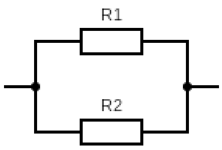
On a la **masse**, un point d'un circuit de potentiel nul, $V = 0V$ c'est l'origine des potentiels.

En théorie elle est choisie arbitrairement, mais en pratique elle est imposée par certails appareils reliés à la Terre.

I.5 Associations des résistors

Association série de résistors :
Soit R_1 et R_2 deux résistances en série, on a $R_e = R_1 + R_2$ la résistance équivalente

Preuve :
On a $U_1 = R_1 I$ et $U_2 = R_2 I$ ainsi $U = U_1 + U_2 = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2)I$ ainsi $R_e = R_1 + R_2$



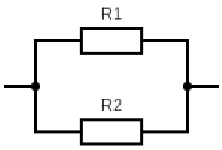
Association parallèle de résistors :
Soit R_1 et R_2 deux résistances en parallèle, on a $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ la résistance équivalente

Preuve :
Par loi des mailles, $U = U_1 = U_2$, ainsi $U = R_1 I_1 = R_2 I_2$, d'après la loi des noeuds, $I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ ainsi $U = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}} I$

I.6 Ponts diviseurs

Pont diviseur tension :
Soit R_1 et R_2 deux résistances en séries, $U = \frac{R_1}{R_1+R_2} I$

Preuve :
On a $U_1 = R_1 I$ et $U = (R_1 + R_2)I$ d'où $\frac{U_1}{U} = \frac{R_1 I}{(R_1+R_2)I}$

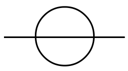


Pont diviseur courant :
Soit R_1 et R_2 deux résistances en parallèle, $I_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2} I$

Preuve :
A faire :O

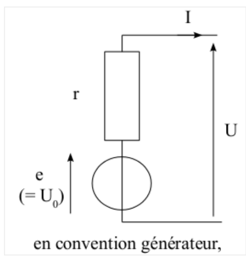
I.7 Générateurs

I.7.a Générateur de tension



Un **générateur de tension** est un dipole qui impose une tension entre ses bornes. La tension imposée par un générateur est aussi appelée sa **force électromagnétique** (f.e.m)

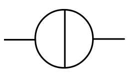
U est donc indépendante, c'est une dipôle actif.



Un générateur réel est un générateur de Thévenin, on a :

Générateur de Thévenin :
On a $U = U_r + E = E - R_i I$ et $P_{\text{fournie}} = UI = (E - R_i I)I = EI - R_i I^2$, avec R_i la résistance interne et E la f.e.m

I.7.b Générateurs de courant (HP)



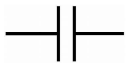
Il existe des **générateurs de courant** qui fixent une intensité dans le circuit.

II Circuits d'ordre 1

II.1 Le condensateur

II.1.a Généralités

Le **condensateur** est un dipôle linéaire composé de deux armatures séparées par un milieu isolant (*diélectrique*).



On a Q la charge algébrique par l'armature de gauche et $-Q$ par celle de droite : le condensateur est globalement neutre.

On a $Q = CU$ avec C la **capacité du condensateur** en Farad (F)

Intensité aux bornes d'un condensateur :
En convention récepteur, $I = C\frac{dU}{dt}$

Preuve :
On a $\frac{dQ}{dt} = \frac{\delta Q}{dt} = I$ et $Q = CU$ donc $I = \frac{dQ}{dt} = \frac{dCU}{dt} = c\frac{dU}{dt}$

Énergie stockée dans un condensateur :
En convention récepteur, on a $E = \frac{1}{2}CU^2$

Preuve :
On a $P_{\text{reçue}} = UI = U \times c\frac{dU}{dt} = \frac{d\frac{1}{2}CU^2}{dt}$ or $P_{\text{reçue}} = \frac{dE}{dt}$ d'où $E = \frac{1}{2}CU^2$

Continuité de U au bornes d'un condensateur :
Aux bornes d'un condensateur U est continue

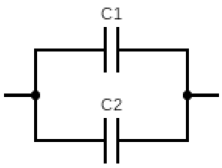
Preuve :
On suppose U discontinue donc E aussi, ainsi $P = \frac{dE}{dt}$ diverge donc $P_{\text{reçue}}$ infinie n'est pas possible

Comportement en régime permanant :
En régime permanent un condensateur est équivalent à un interrupteur ouvert ($I = 0A$)

II.1.b Associations

Association série de condensateurs :
Soit C_1 et C_2 deux condensateurs en parallèle, on a $\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ le condensateur équivalent

Preuve :
On a $U = U_1 + U_2$ avec $i = i_1 = i_2$ d'où $i = C_1 \frac{dU_1}{dt} = C_2 \frac{dU_2}{dt}$.
Ainsi on a $\frac{dU}{dt} = \frac{dU_1}{dt} + \frac{dU_2}{dt}$ soit $\frac{i}{C_e} = \frac{i}{C_1} + \frac{i}{C_2}$ d'où la relation cherchée.



Association parallèle de condensateurs :
Soit C_1 et C_2 deux condensateurs en série, on a $C_e = C_1 + C_2$ le condensateur équivalent

Preuve :
Loi des noeuds on a $i = i_1 + i_2$ d'où on a $i_1 = C_1 \frac{dU}{dt}$ et $i_2 = C_2 \frac{dU}{dt}$ d'où $i = (C_1 + C_2)\frac{dU}{dt}$

II.2 Charge d'un condensateur

On peut étudier la charge d'un condensateur (ou sa décharge) avec une équation d'ordre 1 dans un circuit RC

Équation différentielle RC :
On a

$$\frac{dU}{dt} + \frac{1}{RC}U = A$$

avec $\tau = RC$ le temps caractéristique

II.3 La bobine

II.3.a Généralités

La **bobine** est un dipôle linéaire composé d'un enroulement de fils sur lui même

On associe à une bobine une **inductance** L en Henry (H), dépendant du nombre de fils et la quantités de spires (tours)

Intensité aux bornes d'une bobine :
En convention récepteur, $U = L\frac{di}{dt}$

Énergie stockée dans une bobine :
En convention récepteur, on a $E = \frac{1}{2}Li^2$

Preuve :
On a $P_{\text{reçue}} = UI = L\frac{di}{dt} \times i = \frac{d\frac{1}{2}Li^2}{dt}$ or $P_{\text{reçue}} = \frac{dE}{dt}$ d'où $E = \frac{1}{2}Li^2$

Continuité de i au bornes d'une bobine :
Aux bornes d'une bobine i est continue

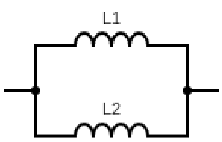
Preuve :
On suppose i discontinue donc E aussi, ainsi $P = \frac{dE}{dt}$ diverge donc $P_{\text{reçue}}$ infinie n'est pas possible

Comportement en régime permanant :
En régime permanent un condensateur est équivalent à un fil ($U = 0A$)

II.3.b Associations

Association série de bobines :
Soit L_1 et L_2 deux bobines en série, on a $L_e = L_1 + L_2$ la bobine équivalente

Preuve :
On a $U = U_1 + U_2 = L_1\frac{di}{dt} + L_2\frac{di}{dt} = (L_1 + L_2)\frac{di}{dt}$



Association parallèle de bobines :
Soit L_1 et L_2 deux bobines en parallèle, on a $\frac{1}{L_e} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$ la résistance équivalente

Preuve :
Par loi des mailles, $U = U_1 = U_2$, ainsi $U = L_1 \frac{di_1}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt}$.
D'après la loi des noeuds, $i = i_1 + i_2$ d'où $\frac{di}{dt} = \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt}$ soit $\frac{U}{L} = \frac{U}{L_1} + \frac{U}{L_2}$ d'où la relation recherchée

III Circuits d'ordre 2, Oscillateurs

III.1 Oscillateur harmonique

III.2 Oscillateur amorti

III.2.a Généralités

III.2.b Régime apériodique

III.2.c Régime critique

III.2.d Régime pseudo-périodique

IV Circuits en régime sinusoidal forcé

A faire

V Filtrage

A faire

I Introduction aux ondes

A faire

II Diffraction/Interférences

A faire

III La lumière onde

I Cinématique du point

A faire

II Dynamique du point

A faire

III Énergétique du point

A faire

IV Introduction à la dynamique des particules chargées

A faire

V Loi du moment cinématique

A faire

VI Mouvement dans un champ de force newtonien

A faire

VII Mécanique du solide

I Introduction à la thermodynamique

I.1 Généralités

On a $\mathcal{N}_A = 6.02 \times 10^{23} mol^{-1}$ la constante d'Avogadro

Les 3 états de la matière :

- **Solide** : Particules assez ordonnées, proches et peu mobiles (incompressible et indéformable)
- **Liquide** : Particules très désordonnées, proches et très mobiles (incompressible et déformable)
- **Gaz** : Particules très désordonnées, éloignées et très mobiles (compressible et déformable)

On parle d'un **fluide** pour un gaz ou un liquide et d'une **phase condensée** pour un liquide ou un solide.

I.2 Variables d'état

Une **variable d'état** est une grandeur permettant de décrire l'équilibre thermodynamique d'un système.

Une grandeur est dite **extensive** si elle dépend de la taille du système (volume par ex) et **intensive** si ce n'est pas le cas (pression par ex), à noter que le produit de 2 grandeurs extensives donne une grandeur intensive.

I.2.a Pression

La **pression** est une variable d'état en Pascal (Pa) avec $1bar = 10^5 Pa$, est intensive et est causée par des chocs particulaires sur la paroi

Force de pression :
On a $\vec{F} = PS\vec{u}$ avec $\vec{u}$ orienté vers l'extérieur de fluide dans le cas d'une paroi plane

Si on a une paroi non plane on a $\vec{F} = \int PdS\vec{u}$ avec $\vec{F} = PS\vec{u}$ si la pression est uniforme

I.2.b Température

La température s'exprime en Kelvin (k), avec $T > 0k$ et $0°C = 273.15k$, est intensive et provient d'une agitation moléculaire.

On a $E_c = \frac{3}{2}k_B T$ l'énergie thermique moléculaire avec $k_B = \frac{R}{\mathcal{N}_A}$ la constante de Boltzmann.

I.3 Équilibre thermodynamique

On atteint un état d'équilibre thermodynamique quand les propriétés macroscopiques du système n'évoluent plus, ainsi on a :

- Équilibre mécanique avec l'extérieur
- Équilibre thermique
- Équilibre radiatif
- Équilibre chimique

A l'équilibre thermodynamique un système voit ses variables d'état liées par une relation d'état

I.4 Modèle des gaz parfaits

Gaz parfait :
On parle d'un gaz parfait pour un gaz composé de particules ponctuelles sans intéraction entre elles.

Équation des gaz parfaits :
On a à l'équilibre thermodynamique : $PV = nRT$ avec $R = 8.31 J.k^{-1}.mol^{-1}$ la constante des gaz parfaits.

II Premier principe

II.1 Énergie interne, capacité thermique à volume constant

On note U l'**énergie interne** d'un système thermique, c'est une fonction d'état additive et extensive s'exprimant en Joule.

1ère loi de Joule :
Dans le cas d'un gaz parfait, $U = A \times T$ avec A une constante

A noter qu'il y a énormément d'énergie stockée de manière interne.

On défini la **capacité thermique** à volume fixé par $C_v = \frac{dU}{dT} \mid V$ et dans le cas d'un GP on a $C_v = \frac{dU}{dT}$, et est additive, extensif et s'exprime en $J.k^{-1}$

Expression de ΔU :
On a $\Delta U = \int_{T_i}^{T_f} C_v dT = C_v \Delta T$

II.2 Premier principe

Premier principe :
Dans un système fermé évoluant entre des états d'équilibre on a $\Delta\left(E_{m_{\text{macro}}} + U\right) = W + Q$ d'où dans la plupart des cas :

$$\Delta U = W + Q$$

Dans le cas infinitésimal on a $dU = \delta W + \delta Q$

Avec W le travail reçu par le système ($W > 0$ si récepteur et moteur sinon) et Q le transfert thermique ($Q > 0$ reçoit et fournit sinon).

Il faut bien penser à définir le système pour utiliser le premier principe

II.3 Types de transformations

- **Adiabatique** : Sans transfert thermique ($Q = 0$)
- **Monobare** : Au contact d'un système qui fixe la pression
- **Monotherme** : Au contact d'un système de température fixée (un thermostat)

- **Quasi statiques** : État d'équilibre au cours de toute la transformation
- **Système Calorifugé** : Limite les échanges de chaleur
- **Isochore** : V constant
- **Isotherme** : T constant
- **Isobare** : P constant

On a 3 types de transfert thermiques :

- **Convection**
- **Conduction**
- **Rayonnement**

II.4 Travail des forces de pression

Travail des forces de pression :
On a $\delta W = -P_{\text{ext}} dV$ donc $W = \int -P_{\text{ext}} dV$

Preuve :
On a $\overrightarrow{F_p} = -P_{\text{ext}} S \vec{e_x}$ d'où on a $\delta W = \overrightarrow{F_p} \cdot dx\vec{e_x} = -P_{\text{ext}} S dx = -P_{\text{ext}} dV$

II.4.a Cas isochore

On a $dV = 0$ d'où $W = 0$

II.4.b Cas isotherme

On a $\Delta U = 0$ d'où $W = -Q$

II.4.c Mécanique réversible

On a $P_{\text{ext}} = P$ car on a toujours un état d'équilibre, d'où :

- Isobare : On a $W = -P\Delta V$
- Isotherme : On a $W = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$

Preuve :
En effet $W = \int -P_{\text{ext}} dV = \int -PdV = \int -nRT \frac{dV}{V} = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$

II.5 Diagramme de Watt

On peut représenter l'évolution sur un graphe (V, P), ainsi le travail correspond à l'aire sous le chemin parcouru.

Si un cycle est parcouru dans le sens trigonométrique, on a un récepteur et si il est parcouru dans le sens horaire on a un moteur

II.6 Enthalpie

On a l'**enthalpie** une fonction d'état additive et extensive telle que $H = U + PV$

2e loi de Joule :
Dans le cas d'un gaz parfait, $H = A \times T$ avec A une constante

Ainsi on a le second principe :

Premier principe monobare :
Dans un système fermé évoluant entre des états d'équilibre avec une transformation monobare on a $\Delta\left(E_{m_{\text{macro}}} + H\right) = W_u + Q$ d'où dans la plupart des cas :

$$\Delta H = W_u + Q$$

Preuve :
On a $\Delta\left(E_{m_{\text{macro}}} + U\right) = W_u + W_{\text{pression}} + Q$ or $W_{\text{pression}} = -\Delta(PV) = 0$, ainsi on a la propriété recherchée

Avec W_u la puissance utile des autres forces (souvent nulles d'où $\Delta H = Q$ dans certains cas)

On définit la capacité thermique à pression fixée par $C_p = \frac{\partial H}{\partial T} \mid P$ et $C_p = \frac{dH}{dT}$ dans le cas d'un GP.

Expression de ΔH :
On a $\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} C_p dT = C_p \Delta T$

Dans le cas des phases condensées on a $PV \ll U$ d'où $U = H$ ainsi $C_p = C_v = C$

Relation de Mayer :
Dans le cas d'un gaz parfait on a $C_p = C_v + nR$

Preuve :
On a $\Delta U + \Delta(PV) = C_v \Delta T + nR\Delta T$ d'où $C_p \Delta T = C_v \Delta T + nR\Delta T$ ce qui conclut

On pose $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

Expression de C_v et C_p :
Dans le cas d'un gaz parfait on a $C_v = \frac{nR}{\gamma - 1}$ et $C_p = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}$

Preuve :
On a $C_p = \gamma C_v = C_v + nR$ d'où $C_v(\gamma - 1) = nR$ ainsi $C_v = \frac{nR}{\gamma-1}$ et $C_p = \frac{nR}{\gamma-1}$

III Second principe

III.1 Entropie et second principe

On considère un système fermé avec un ou plusieurs thermostats, ainsi il existe une fonction d'état appelée **entropie** notée S, additive et extensive en $J.k^{-1}$ qui est une mesure du désordre.

Second principe :
Dans un tel système, on a $\Delta S = S_{\text{créée}} + S_{\text{échangée}}$ avec $S_c \geq 0$

Dans le cas infinitésimal on a donc $dS = \delta S_c + \delta S_e$ et à l'équilibre on a $\delta S_c = \delta S_e = 0$

Expression de S_e :
On a $S_e = \sum_{\text{thermostats}} \frac{Q_i}{T_i}$

L'entropie d'un système isolé augmente nécessairement au cours d'une transformation thermodynamique

Preuve :
Isolé implique $\delta Q_i = 0$ d'où $S_e = 0$ ainsi $\Delta S = S_c \geq 0$

Une transformation adiabatique réversible ne modifie pas l'entropie

Preuve :
On a $\Delta S = \cancel{\sum_{\text{thermostats}} \frac{Q_i}{T_i}} + \cancel{S_c}$ car Q_i = 0 (adiabatique) et $S_c = 0$ pour ne pas contredire le caractère réversible

III.2 Irréversibilité d'une transformation thermodynamique

Une transformation est dite **irréversible** si elle n'a lieu que dans un sens.

Une transformation est **réversible** si on peut en inverser le sens par changement infinitésimal des contraintes extérieures. Ces transformations extérieures sont lentes (quasi statiques) et $S_c = 0$

On a irréversibilité si :
- Inhomogénéité de température
- Gradient de pression
- Réaction chimique
- Frottement

III.3 Identité thermodynamique (HP)

Identité thermodynamique (HP) :
Dans un système fermé avec uniquement des forces de pression on a $dU = TdS - PdV$

Preuve :
On a $dU = \delta Q + \delta W = \delta Q - P_{\text{ext}} dV \underset{(\text{rév})}{=} \delta Q - PdV$ et $dS = \cancel{\delta S_c}_{(\text{rév})} + \delta S_e = \frac{\delta Q}{T_{\text{th}}}$ avec $T_{\text{th}} = T$ car réversible. D'où $\delta Q = TdS$ ainsi $dU = TdS - PdV$

III.4 Entropie des gaz parfaits, lois de Laplace

Variation d'entropie :
On a :

$$\Delta S = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + nR\ln\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

$$\Delta S = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + \frac{\gamma nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

$$\Delta S = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - nR\ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Lois de Laplace :
Dans le cas d'une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait on a :
- $PV^\gamma = \text{cst}$
- $TV^{\gamma-1} = \text{cst}$
- $T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{cst}$

> **Preuve :**
> On retient la première et on retrouve avec $PV = nRT$

Ainsi sur un diagramme de Watt, le courbe est plus marquée pour une transformation adiabatique

III.5 Entropie des phases condensées

Entropie des phases condensées :
On a $S(T) = S(T_0) + C\ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$ d'où $\Delta S = C\ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$

IV Flux thermiques

IV.1 Flux thermique, puissance

Flux thermique :
Un flux est un échange de chaleur par unité de temps algébrique, on a $\Phi = \frac{\delta Q}{dt}$, et on peut définir $\Phi_{\text{surf}} = \frac{\delta Q}{dtdS}$

On a Φ en W et Φ_{surf} en $W.m^{-2}$

IV.2 Échanges conductifs

Flux conductif :
Dans le cas d'un échange convectif (c'est à dire via une paroi) entre 2 systèmes, on a $\Phi = \frac{1}{R}\Delta T$ avec R la résistance thermique

Résistance thermique :
Une résistance thermique est homogène à $k.W^{-1}$, et on a $R = \frac{e}{S\lambda}$ avec e l'épaisseur, S la surface et λ la conductivité thermique

La conductivité thermique s'exprime en $W.m^{-1}.k^{-1}$, plus la conductivité est grande moins on isole.

On a $G = \frac{1}{R}$ la conductance.

Les résistances thermiques ont le même comportement qu'en électricité, ainsi en série on a $R_{\text{AB}} = R_A + R_B$ et en parallèle $\frac{1}{R_{\text{AB}}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}$.

> **Preuve :**
> - Série : On a $\Phi = \Phi_A = \Phi_B$ avec $\Phi_A = \frac{T_A - T_*}{R_A}$ et $\Phi_B = \frac{T_* - T_B}{R_B}$
>   Ainsi on a $T_A - T_B = T_A - T_* + T_* - T_B = R_A\Phi_A + R_B\Phi_B = (R_A + R_B)\Phi$
> - Parallèle : On a $\Phi_A = \frac{1}{R_A}\Delta T$ et $\Phi_B = \frac{1}{R_B}\Delta T$, et $\Phi = \Phi_A + \Phi_B = \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}\right)\Delta T$

IV.3 Échanges conductovectifs

On considère un fluide et un solide et leurs échanges thermiques

Loi thermique de Newton :
On a $\Phi_{\text{surf}} = h(T_{\text{surf}} - T_{\text{ext}})$ avec h le coefficient de transfert en $W.m^{-2}.k^{-1}$, h étant plus grand pour un liquide que pour un gaz.

De manière analogue on peut définir $\frac{1}{R} = Sh$

IV.4 Analogie électrique

On a l'analogie suivante :

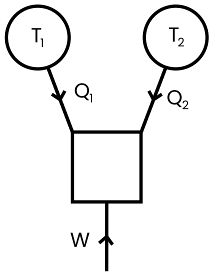
Thermodynamique	Électricité
ΔT	U ou ΔV
Φ	I
$\Delta T = R\Phi$	$U = RI$

Ainsi on peut représenter des problèmes thermodynamiques avec des circuits électriques

V Machines thermiques

V.1 Description générale d'une machine thermique cyclique

On parle d'un système **cyclique** si il décrit un cycle



On représente ainsi une machine cyclique, avec $T_1, ..., T_n$ les thermostats. Le système est en convention récepteur sur le schéma.

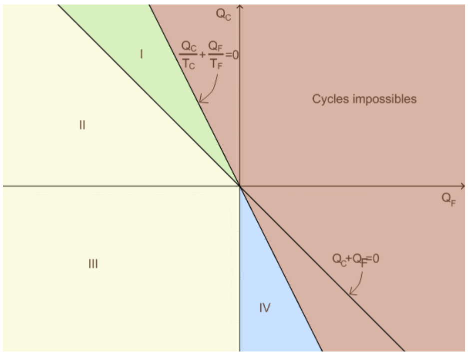
Inégalité de Carnot :
Pour un système au contact de plusieurs thermostats, on a $\sum_{\text{thermostats}} \frac{Q_i^{\text{cycle}}}{T_i} \leq 0$, et si il est réversible $\sum_{\text{thermostats}} \frac{Q_i^{\text{cycle}}}{T_i} = 0$

Preuve :
On a $\Delta S = S_c^{\text{cycle}} + S_e^{\text{cycle}} = 0$ (car S est une fonction d'état) d'où $\sum_{\text{thermostats}} \frac{Q_i^{\text{cycle}}}{T_i} = -S_c \leq 0$

V.2 Les moteurs

Second principe selon Thomson :
Un système au contact avec une seule source de chaleur, ne peut au cours d'un cycle que recevoir du travail et fournir de la chaleur

Preuve :
On a moteur d'où $W < 0$, avec l'inégalité de Carnot on a $\frac{Q}{T} \leq 0$ et le premier principe nous dit que $0 = Q + W$ d'où $W = -Q \geq 0$ ce qui est contradictoire



Pour étudier un moteur on peut utiliser le diagramme de Raveau avec les zones suivantes :

- **I** : Fonctionnement moteur, $Q_c \geq 0$ et $Q_f \leq 0$ car on prélève de l'énergie à la source chaude
- **II/III** : Sans intêret
- **IV** : Fonctionnement récepteur, $Q_f \geq 0$ et $Q_c \leq 0$ car on prélève de l'énergie à la source froide

V.3 Rendement, efficacité

Rendement ou efficacité :
On définit le rendement dans le cas d'un moteur et l'efficacité dans le cas d'un récepteur de la manière suivante :

$$\eta = \frac{\text{énergie valorisable}}{\text{énergie couteuse}}$$

Ainsi on a le tableau suivant :

Type de machine	Rendement/Efficacité
Moteur	$\eta = \frac{W}{Q_c}$
Réfrigirateur	$\eta = \frac{Q_f}{W}$
Pompe à chaleur	$\eta = -\frac{Q_c}{W}$

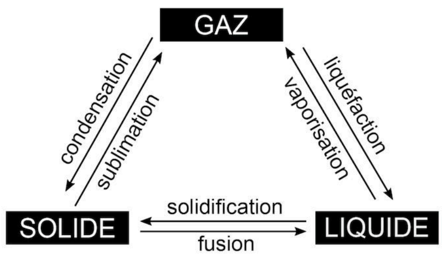
Rendement de Carnot :
Pour un moteur ditherme son rendement maximal est :
$\eta_c = 1 - \frac{T_F}{T_C}$ avec $\eta \leq \eta_c$

Preuve :
On a $Q_F + Q_C + W = 0$, $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$ et $\eta = -\frac{W}{Q_C}$

D'où $\eta = \frac{Q_C + Q_F}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C}$ or $Q_F \leq -Q_C\frac{T_F}{T_C}$ d'où $\eta \leq 1 - \frac{T_F}{T_C}$

VI Changement de phase du corps pur

Une **phase** est une partie d'un système dont les variables intensives sont continues



VI.1 Échauffement isobare d'un corps pur

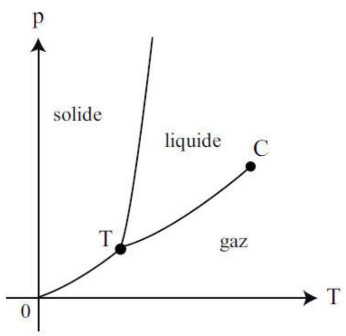
La **température d'ébullition** est la température d'équilibre liquide vapeur (ie les 2 coexistent)

La **température de fusion** est la température d'équilibre solide liquide (ie les 2 coexistent)

La **pression de vapeur saturante** est la pression d'équilibre liquide vapeur

Dans le cas des corps purs, on a $P_{\text{vap}} = f(T_{\text{ébul}})$

VI.2 Diagramme (P, T), Clapeyron



T représente le **point triple**, c'est à dire le point où on a équilibre vapeur solide liquide

C représente le **point critique**, c'est à dire au delà duquel il n'y a plus de différence entre état liquide et gazeux (on parle de **fluide supercritique**)

En regardant le diagramme de Clapeyron on a des informations sur l'état du système considéré, et on peut se rendre compte que de l'eau se liquéfie sous l'effet de la compression

VI.3 Diagramme (P, v), isotherme d'Andrews

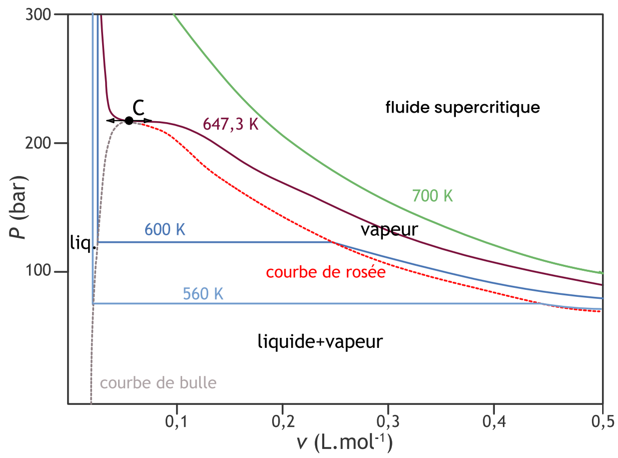


Figure 19: Un isotherme d'Andrews

On voit sur le diagramme qu'au dessus de C on ne passe pas par l'équilibre liquide vapeur. De plus on appelle la courbe noire l'**isotherme critique**.

Théorème des moments chimiques :
On peut retrouver x_{gaz} et x_{liq} les titres en vapeur et en liquide (ie les pourcentages en terme de quantité de matière).

On a $x_{\text{gaz}} = \frac{n_{\text{gaz}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{m_{\text{gaz}}}{m_{\text{tot}}}$ et $x_{\text{liq}} = \frac{n_{\text{liq}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{m_{\text{liq}}}{m_{\text{tot}}}$

De plus on a $x_{\text{gaz}} = \frac{v - v_{\text{liq}}}{v_{\text{gaz}} - v_{\text{liq}}}$ et $x_{\text{liq}} = \frac{v_{\text{gaz}} - v}{v_{\text{gaz}} - v_{\text{liq}}}$ d'où $x_{\text{gaz}} + x_{\text{liq}} = 1$ avec $v, v_{\text{gaz}}, v_{\text{liq}}$ les volumes massiques lus sur un isotherme d'Andrews

Preuve :
On a $V = V_g + V_l = m_{\text{tot}} v$ avec v le volume massique moyen, $V_g = m_g v_g$ et $V_l = m_l v_l$

D'où on a $x_l = \frac{m_l}{m_{\text{tot}}}$ ainsi on a $m_g v_g + m_l v_l = m_{\text{tot}} v$ d'où $v_l x_l \cancel{m_{\text{tot}}} + v_g (1 - x_l) \cancel{m_{\text{tot}}} = \cancel{m_{\text{tot}}} v$ d'où $x_l = \frac{v_{\text{gaz}} - v}{v_{\text{gaz}} - v_{\text{liq}}}$

Dans le cas d'un diagramme (P, H) on a aussi $x_l = \frac{h_{\text{gaz}} - h}{h_{\text{gaz}} - h_{\text{liq}}}$

VI.4 Enthalpie et entropie de changement d'état

Lors d'un changement d'état, l'enthalpie présente une discontinuité, ainsi on définit l'**enthalpie de changement d'état** (ou chaleur latente), de même il y a discontinuité de l'entropie.

> **Variations d'enthalpie/d'entropie :**
> Soit $\Delta_A h$ l'enthalpie de changement d'état A et $\Delta_A s$ l'entropie de changement d'état A.
> On a $\Delta_A H = m\Delta_A h$ et $\Delta_A S = \frac{\Delta_A H}{T_A}$ avec T_A la température de changement d'état.

De plus on a $\Delta_{\text{sub}} h > 0$, $\Delta_{\text{vap}} h > 0$ et $\Delta_{\text{fus}} h > 0$ et $\Delta_{\text{con}} h = -\Delta_{\text{sub}} h$, $\Delta_{\text{liq}} h = -\Delta_{\text{vap}} h$ et $\Delta_{\text{sol}} h = -\Delta_{\text{fus}} h$

D'après l'expression des variations, on en déduit que $S_{\text{gaz}} > S_{\text{liq}} > S_{\text{sol}}$ ce qui est logique d'après la définition de l'entropie

I Analyse dimensionnelle

A faire

II Incertitudes

A faire

III Équations différentielles

A faire

IV Numérique

Table des matières :

I Introduction à l'optique 2
II Lentilles minces et miroir plan 2
III L'oeil 2
I Introduction à l'électricité 2
- I.1 Généralités 2
- I.2 La tension électrique 2
- I.3 Approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS) 3
- I.4 Résistors 3
- I.5 Associations des résistors 4
- I.6 Ponts diviseurs 4
- I.7 Générateurs 5

II Circuits d'ordre 1 6
- II.1 Le condensateur 6
- II.2 Charge d'un condensateur 7
- II.3 La bobine 7

III Circuits d'ordre 2, Oscillateurs 9
- III.1 Oscillateur harmonique 9
- III.2 Oscillateur amorti 9

IV Circuits en régime sinusoidal forcé 9

V Filtrage 9
I Introduction aux ondes 9
II Diffraction/Interférences 9
III La lumière onde 9
I Cinématique du point 9
II Dynamique du point 9
III Énergétique du point 9
IV Introduction à la dynamique des particules chargées 9
V Loi du moment cinématique 9
VI Mouvement dans un champ de force newtonien 10
VII Mécanique du solide 10
I Introduction à la thermodynamique 10
- I.1 Généralités 10
- I.2 Variables d'état 10
- I.3 Équilibre thermodynamique 10
- I.4 Modèle des gaz parfaits 11

II Premier principe 11
- II.1 Énergie interne, capacité thermique à volume constant 11
- II.2 Premier principe 11
- II.3 Types de transformations 11
- II.4 Travail des forces de pression 12
- II.5 Diagramme de Watt 12
- II.6 Enthalpie 12

III Second principe 13
- III.1 Entropie et second principe 13
- III.2 Irréversibilité d'une transformation thermodynamique 14
- III.3 Identité thermodynamique (HP) 14
- III.4 Entropie des gaz parfaits, lois de Laplace 15
- III.5 Entropie des phases condensées 15

IV Flux thermiques 15
- IV.1 Flux thermique, puissance 15
- IV.2 Échanges conductifs 15
- IV.3 Échanges conductovectifs 16
- IV.4 Analogie électrique 16

V Machines thermiques 16
- V.1 Description générale d'une machine thermique cyclique 16
- V.2 Les moteurs 17
- V.3 Rendement, efficacité 18

VI Changement de phase du corps pur 18
- VI.1 Échauffement isobare d'un corps pur 18
- VI.2 Diagramme (P, T), Clapeyron 18
- VI.3 Diagramme (P, v), isotherme d'Andrews 19
- VI.4 Enthalpie et entropie de changement d'état 20

I Analyse dimensionnelle 20
II Incertitudes 20
III Équations différentielles 20
IV Numérique 20