

Chapitre 0 : Rappels du vocabulaire de la thermodynamique

Système réacteur et extérieur

I- Système thermodynamique, réacteur

1) Système isolé :

Un système isolé n'échange ni matière ni énergie avec l'extérieur.

2) Système fermé :

Un système fermé n'échange pas de matière mais un échange d'énergie est possible avec l'extérieur.

3) Système ouvert :

Un système ouvert peut échanger matière et énergie avec l'extérieur.

4) Réacteur thermomécanique fermé :

Un réacteur thermomécanique fermé empêche les échanges de matière et possède des parois éventuellement :

- mobiles (échange d'énergie par déplacement de la paroi (travail))
- diathermanes ou diathermes (échange d'énergie par transfert thermique (chaleur))

5) Réacteur thermomécanique fermé et calorifugé :

Un réacteur thermomécanique fermé et calorifugé empêche les échanges de matière et possède des parois :

- éventuellement mobiles (échange d'énergie par déplacement de la paroi possible (travail))
- athermanes ou athermes (pas d'échange d'énergie par transfert thermique (chaleur))

II- Caractérisation de l'état d'un système thermodynamique

1) Paramètre d'état ou variable d'état :

a) Définition :

Un paramètre d'état ou variable d'état est une grandeur physique qui caractérise l'état macroscopique d'un système donné.

b) Exemples :

- Le volume V :

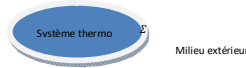
Le volume du système étudié s'exprime (dans le système international) en mètre cube.

- La pression P :

A l'échelle microscopique, la pression résulte des chocs des particules sur la paroi considérée (parois du réacteur, celle du capteur de pression plongée dans le fluide où même une paroi fictive mathématique qui scinde le fluide en deux).

A l'échelle macroscopique, la pression d'un système thermodynamique se traduit par la force surfacique qu'il exerce sur les parois de l'enceinte qui le contient (ou celle du capteur).

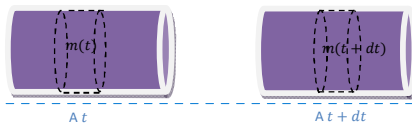
Il convient de distinguer le système thermodynamique étudié (échantillon de particules), la surface (mathématique ou physique)  $\Sigma$  fermée qui contient le système et le milieu extérieur à  $\Sigma$ .



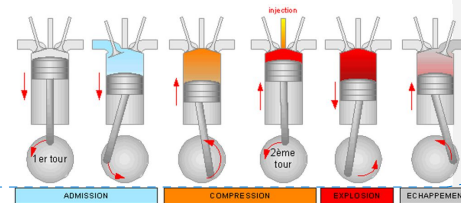
Exemple 1 : On peut définir un système en le délimitant à l'aide d'une surface fermée « fictive ». Dans le cas d'un fluide en écoulement dans une conduite, on peut isoler par la pensée une masse  $m$  de fluide et « suivre » l'évolution de ce système fermé :



Exemple 2 : L'écoulement précédent peut aussi s'étudier en définissant une surface de contrôle  $\Sigma$  fixe délimitant alors un système ouvert :



Exemple 3 :  $\Sigma$  peut être un réacteur délimitant physiquement le volume du système étudié. C'est le cas dans des problèmes de gaz renfermés dans des pistons :

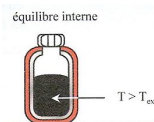


Pendant la phase d'admission, le système thermodynamique contenu dans le piston est un système ouvert.

Pendant la phase de compression et d'explosion (détente), le système contenu dans le piston est fermé.

Pendant la phase d'échappement, le système délimité par le piston est ouvert.

On pourra remarquer que la nature de la surface  $\Sigma$  délimitant le système détermine certaines propriétés du système. Ainsi un « thermos » de café renferme un système isolé car ses parois sont hermétiques, athermanes et fixes :



Commenté [A1]:

Problématique :

Pourquoi la thermodynamique donne-t-elle une description plus complète des systèmes que la mécanique ?

Simulation :

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/joule.html>

Analyse :

Cette expérience historique montre la conversion de l'énergie mécanique initiale (sous forme potentielle  $Mgh$ ) du système mécanique (masse  $M$  + pales en rotation+eau) en une forme d'énergie microscopique dont la manifestation est la modification de la température.

Avec cette expérience, la thermodynamique introduit donc :

- Le concept de température (qui est la manifestation d'un niveau d'énergie)
- La description de l'énergie microscopique d'un système (en donnant une interprétation cinétique de la température)
- Le transfert thermique (ou chaleur) qui est le cas particulier du travail d'une force (ici de viscosité) à l'échelle microscopique

Commenté [A2]:

Nous étudierons pleinement ces systèmes au chapitre 3

Commenté [A3]:

Il s'agit d'un travail des forces de pression extérieures au système

Commenté [A4]:

On dit que le réacteur est calorifugé, ses parois sont athermanes et que la transformation est alors adiabatique.

Commenté [A5]:

On voit une difficulté : supposer que les valeurs des variables d'état sont pertinentes à l'échelle macroscopique...

Commenté [A6]:

Voici une liste non exhaustive de paramètres d'état.

Commenté [A7]:

On retiendra qu'un système gazeux a la propriété d'occuper tout le volume qui lui est offert et son volume est celui de l'enceinte qui le contient. Il conviendra de bien distinguer le volume du réacteur et le volume du système dans le cas des systèmes en écoulement

Commenté [A8]:

On pourra retenir les ordres de grandeurs suivants :

- Bouteille de champagne : 6bar
- Un autocuiseur : 1,5 bar à 2 bar
- Une bouteille de plongée : 200 bar
- Un aspirateur est associé à une dépression de l'ordre 30 kPa soit 0,7 bar à l'intérieur
- 0,9 bar pour une dépression atmosphérique
- 1,1 bar pour un gros anticyclone
- 0,35 bar à 10 000m d'altitude

<http://courses2.cit.cornell.edu/physicsdemos/secondary.php?pfID=20>

La force de pression s'exerçant sur une paroi de surface  $S$  est orientée vers l'extérieur du fluide et est proportionnelle à  $S$  : Si la pression est uniforme :  $\vec{f} = PS\vec{n}$ . Avec  $P$  exprimée en Pascal (Pa),  $S$  ( $m^2$ ) et  $\vec{f}$  (N)

On rappelle que la pression atmosphérique est  $P = 1,013 \times 10^5 Pa \approx 1bar$

L'expérience montre que lorsqu'un système est fermé par une paroi mobile alors sa pression tend à égaler la pression extérieure : c'est l'équilibre mécanique.

- La température  $T$ :

A l'échelle microscopique, la température est une mesure de l'agitation thermique des particules c'est-à-dire de leur énergie cinétique moyenne de translation.

A l'échelle macroscopique, la température est définie par une méthode de mesure et la propriété qu'ont deux corps d'adopter une température unique : c'est l'équilibre thermique.

La température absolue (nécessairement positive) est notée  $T$  et s'exprime en kelvin (K). On rappelle que  $T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$ .

- 2) Variable d'état intensive et extensive d'un système :
- a) Variable d'état extensive

Une variable d'état extensive est une variable dont la valeur double après unification avec un système identique.

Exemple : le volume  $V$ , la masse  $m$ , la charge électrique  $q$ , l'énergie  $E$  (si système à couplage faible),  $U$ ,  $S$  ...

- b) Variable d'état intensive :

Une variable intensive ne change pas après unification avec un système identique.

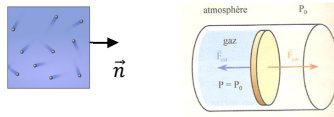
Exemple : la température  $T$ , la pression  $P$ , la masse volumique  $\rho$ , la concentration...

- 3) Fonction d'état d'un système :

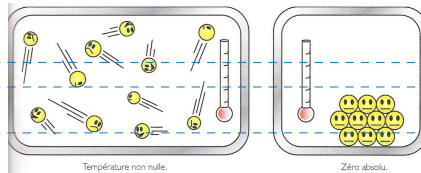
L'énoncé des principes de la thermodynamique introduit des fonctions d'état (par exemple l'énergie interne  $U$  et l'entropie  $S$ ) c'est-à-dire des grandeurs parfaitement définies lorsque les paramètres d'état du système sont connus. Donc entre deux états d'un système, la variation d'une fonction d'état ne dépend que de ces 2 états et non du chemin suivi entre les deux états. Nous postulons que ces fonctions sont extensives.

Force pressante

Soit  $\vec{n}$  un vecteur unitaire normal à la surface  $S$  considérée. Si on suppose la pression  $P$  uniforme sur  $S$  alors la force pressante est  $\vec{f} = PS\vec{n}$ . L'équilibre de la paroi implique l'égalité des forces pressantes de part et d'autre de  $S$  et donc l'égalité des pressions.



Température et agitation



L'énergie cinétique  $\bar{E}_c \propto T$  et  $E_c \geq 0$  impliquent alors  $T \geq 0$  : la température minimale est appelé le zéro absolu.

A noter que l'absence théorique d'agitation à 0K implique, pour un corps pur, un cristal parfaitement ordonné associé à un niveau entropique nul.

**Commenté [A9]:** Par exemple, les thermomètres à dilatation, à résistance de platine, les thermocouples... On voit qu'il est plus difficile de définir la notion de température car elle n'est d'équivalent mécanique comme la pression.

**Commenté [A10]:** Cette propriété est aussi appelé principe zéro de la thermodynamique

**Commenté [A11]:** En effet, la thermodynamique statistique donne un sens précis à la température : l'énergie cinétique moyenne de translation des particules est donnée par  $\bar{E}_c = \frac{3}{2}k_B T$  où  $k_B$  est une constante. Ce résultat implique que  $T > 0$  car  $E_c > 0$

**Commenté [A12]:** Nous verrons également l'enthalpie  $H$

**Commenté [A13]:** Comme en maths, la fonction une fois définie et continue, les calculs d'intégration ne font part que des bornes d'intégration et pas d'un chemin particulier entre ces bornes.

III- Transformations thermodynamiques :

Une transformation est caractérisée par des contraintes extérieures modifiées et des contraintes maintenues.

a) Contraintes modifiées :

i) Action mécanique (paroi(s) mobile(s))

On a alors modification du volume et de la pression :

- On appelle détente la transformation obtenue en abaissant la pression extérieure et en augmentant le volume du système (la pression  $P$  du système diminue également)

- On appelle compression la transformation obtenue en augmentant la pression extérieure et en diminuant le volume accessible au système (la pression  $P$  du système augmente également)

ii) Actions thermiques (paroi(s) perméable(s) au transfert thermique)

Nous réalisons une action thermique sur un système en provoquant un échange thermique à travers la paroi du réacteur qui entraîne une modification de la température du système. Si la chaleur est véritablement apportée au système on parle de chauffage (sinon de refroidissement).

iii) Action sur la quantité de matière

La dernière façon d'agir sur le système est d'introduire ou d'éjecter de la matière à travers la paroi de l'enceinte. De telles transformations sont appelées admission et éjection (le système n'est alors plus fermé)

b) Contraintes maintenues

Une transformation peut être effectuée tout en maintenant certains paramètres constants :

- Une transformation monobare (transformation effectuée à pression extérieure constante c'est-à-dire au contact d'un pressostat)
- Une transformation monotherme (transformation effectuée à température extérieure constante c'est-à-dire au contact d'un thermostat)
- Une transformation isobare (transformation effectuée à pression du système constante)
- Une transformation isotherme (transformation effectuée à température du système constante)
- Une transformation isochore (transformation effectuée à volume constant du système)
- Une transformation adiabatique (transformation sans échange thermique (chaleur) avec l'extérieur)

Bilan :

Certaines contraintes maintenues sont incompatibles avec certaines contraintes modifiées :

	Isochore	Isobare	Isotherme	Adiabatique
Chauffage : $T_{ext} > T + Q > 0$	Possible	Possible	Impossible	Impossible
Refroidissement : $T_{ext} < T + Q < 0$	Possible	Possible	Impossible	Impossible
Compression : $P_{ext} > P \rightarrow \Delta P > 0 + \Delta V < 0$	Impossible	Impossible	Possible	Possible
Détente : $P_{ext} < P \rightarrow \Delta P < 0 + \Delta V > 0$	Impossible	Impossible	Possible	Possible

**Commenté [A14]:** Et aussi par sa vitesse d'exécution...nous traiterons ce point au chapitre 1

**Commenté [A15]:** Certaines littératures évoquent une transformation au contact d'une seule atmosphère extérieure dont la pression peut varier...

**Commenté [A16]:** Expérience : moteur à explosion [http://www.canal-u.tv/video/sillages/le\\_moteur\\_a\\_explosion.13269](http://www.canal-u.tv/video/sillages/le_moteur_a_explosion.13269)

Dans cette expérience, nous retrouvons les notions suivantes : réacteur thermomécanique fermé, ouvert, chauffage, détente, compression...