

---

**Systèmes thermodynamiques**


---

## Table des matières

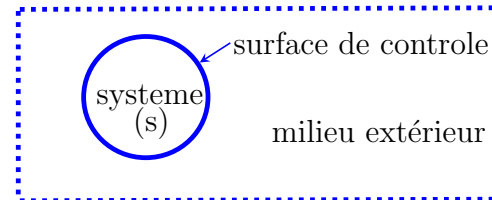
<b>1</b>	<b>Définitions</b>	<b>2</b>
1.1	systèmes thermodynamiques . . . . .	2
1.2	Paramètres d'état d'un système thermodynamique . . . . .	2
1.2.1	Définition . . . . .	2
1.2.2	Types des paramètres d'état . . . . .	2
1.3	Equation d'état . . . . .	3
1.4	Equilibre thermodynamique . . . . .	3
1.5	Transformation d'un système thermodynamique . . . . .	3
1.5.1	Définition . . . . .	3
1.5.2	Transformation infiniment lente (quasi-statique) . . . . .	4
1.5.3	Transformation réversible . . . . .	4
1.5.4	Transformation réelle : transformation irréversible . . . . .	4
1.5.5	Fixation d'un paramètre . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Coefficients thermo-élastiques <math>\alpha; \beta; \chi_T</math></b>	<b>5</b>
2.1	Coefficient de dilatation volumique isobare $\alpha$ . . . . .	5
2.2	Coefficient d'augmentation de pression isochore $\beta$ . . . . .	5
2.3	Coefficient de compressibilité isotherme $\chi_T$ . . . . .	5
2.4	Relation entre les coefficients $\alpha; \beta; \chi_T$ . . . . .	6

# 1 Définitions

## 1.1 systèmes thermodynamiques

Il s'agit d'un corps ou ensemble de corps délimité dans l'espace par une surface (surface de contrôle) qui peut être réelle (paroi) ou fictive (zone géométrique), les autres parties de l'espace constituent le milieu extérieur .

système + milieu extérieur = univers



On peut distinguer entre :

- **Système fermé** : il n'échange pas de matière avec l'extérieur (il peut échanger de l'énergie) .
- **Système ouvert** : il échange de la matière avec le milieu extérieur
- **Système isolé** : il n'échange rien avec le milieu extérieur (ni énergie, ni matière, ni charge ...)

## 1.2 Paramètres d'état d'un système thermodynamique

### 1.2.1 Définition

Un paramètre d'état est une grandeur qui caractérise l'état macroscopique d'un système donné, sa modification entraîne une évolution du système thermodynamique .

- **Exemples** : pression P, température T, volume V...

### 1.2.2 Types des paramètres d'état

On distingue entre deux types des paramètres :

- **Paramètres extensifs** : sont des grandeurs additives qui dépendent de la taille du système (dépendent de la quantité de matière du système) .
- **Exemples** : masse, volume, nombre de particules...

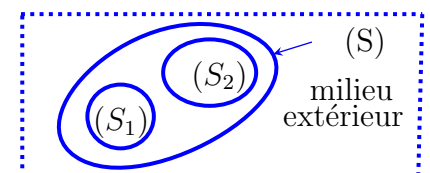
$P_e(s_1)$  : paramètres extensifs de  $(s_1)$

$P_e(s_2)$  : paramètres extensifs de  $(s_2)$

$P_e(s)$  : paramètres extensifs de  $(s)$

$$\begin{cases} (S) &= (S_1) \cup (S_2) \\ (S_1) \cap (S_2) &= \phi \end{cases}$$

$$P_e(s) = P_e(s_1) + P_e(s_2)$$



- **Paramètres intensifs** : sont des paramètres non additives ne dépendent pas de la taille du système, ils sont définis localement
- **Exemples** : Pression P, température T, la fraction molaire ...
- **Plus généralement** : une grandeur extensive  $G$  du système occupant un volume  $V$  se met sous la forme d'une intégrale de type :

$$G = \int_V g \cdot d\tau \text{ ou } g = \frac{dG}{d\tau}$$

$g$  : grandeur intensive associé à  $G$

$d\tau$  : élément de volume du système

• **Remarque** :  $g$  est définie localement donc au point  $M$  du système on écrit  $g(M)$

• **Exemple** : La masse  $m$  est une grandeur extensive

la grandeur intensive associé est la masse volumique  $\rho = \frac{dm}{d\tau} = \rho(M)$

Si le système est homogène (comportant une seule phase) toutes les propriétés physico-chimiques sont identiques en tout point du système . Donc  $\rho(M) = cte \Rightarrow m = \rho.V$

### 1.3 Equation d'état

L'équation d'état d'un système thermodynamique est la relation de dépendance entre les paramètres d'état .

• **Exemple** : pour un gaz parfait :  $PV = nRT$

cette équation s'écrit sous la forme :

$$f(P, V_m, T) = 0$$

avec  $V_m = \frac{V}{n}$  : volume molaire

On peut distinguer entre deux types des paramètres d'état

• **Variables d'état** (nombre de degrés de liberté du système) : sont des paramètres indépendants en nombre suffisant pour décrire l'état macroscopique du système .

• **Fonctions d'état** : sont des paramètres d'état qu'on peut les déduire à partir des équations d'état

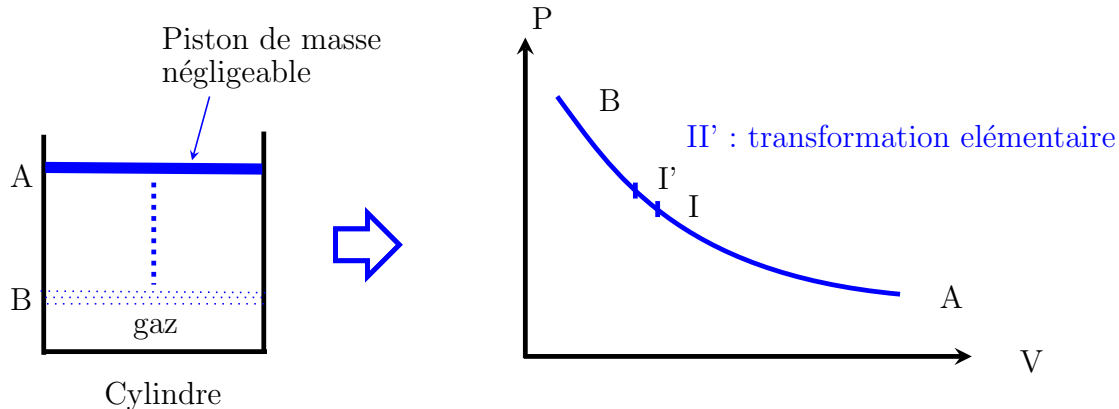
• **Exemple** : pour un gaz parfait  $PV = nRT \Rightarrow PV_m = RT$  : équation d'état

si on choisit  $P$  et  $T$  comme variables d'états alors  $V_m$  est une fonction d'état ,  $V_m(P, T)$

### 1.4 Equilibre thermodynamique

### 1.5.2 Transformation infiniment lente (quasi-statique)

Il s'agit d'une transformation suffisamment lente pour que le système passe par une suite continue d'états d'équilibres infiniment voisins de A à B .



Le piston pouvant glisser sans frottement sur les parois du cylindre

En ajoutant sur le piston des masses infinitésimales  $dm$  on réalise une transformation infiniment lente .Ceci nécessite un temps de réponse (temps de relaxation) du système très faible de façon qu'après chaque perturbation élémentaire,les paramètres d'états soient immédiatement définis .

**Conclusion :** Pour une transformation infiniment lente le système est en état d'équilibre thermodynamique interne à chaque instant .

### 1.5.3 Transformation réversible

Une transformation est dite réversible s'elle vérifie les deux conditions :

- elle doit être infiniment lente
- elle doit être renversible : elle repasse par les mêmes états d'équilibre en sens opposé  $B \rightarrow A$  qu'en sens direct  $A \rightarrow B$   
Ceci suppose l'absence de tout phénomène dissipatif qui sont les causes d'irréversibilité du système :
- frottements
- diffusion : transfert de la matière
- inhomogénéité du système (exemple : transfert de chaleur)

### 1.5.4 Transformation réelle : transformation irréversible

Une transformation réelle est irréversible,soit parcequ'elle est rapide (brutale),soit parceque bien que lente,elle n'est pas renversible .

**Conclusion :** Une transformation réversible est un modèle limite pour une transformation réelle .

### 1.5.5 Fixation d'un paramètre

- **Transformation isotherme** : la température (T) du système reste constante au cours de la transformation (exemple : système en contact avec un thermostat) .
- **Transformation isobare** : la pression (P) du système reste constante au cours de la transformation
- **Transformation isochore** : le volume (V) du système reste constant au cours de la transformation
- **Transformation monotherme** : la température du milieu extérieur ( $T_e$ ) reste constante au cours de la transformation
- **Transformation monobare** : la pression du milieu extérieur ( $P_e$ ) reste constante au cours de la transformation
- **Remarque** : La transformation qui interviendra lorsque l'on étudiera les échanges énergétiques d'un système avec le milieu extérieur est la transformation **adiabatique** qui se fait sans transfert thermique .

## 2 Coefficients thermo-élastiques $\alpha; \beta; \chi_T$

Les coefficients thermoélastiques s'introduisent naturellement lorsqu'on étudie expérimentalement le comportement thermodynamique des fluides .

### 2.1 Coefficient de dilatation volumique isobare $\alpha$

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

$\alpha$  : homogène à l'inverse de température  $[\alpha] = \frac{1}{[T]}$  ; unité  $K^{-1}$

$\alpha$  caractérise les transformations **isobares**

### 2.2 Coefficient d'augmentation de pression isochore $\beta$

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

il caractérise les transformations **isochores**

$[\beta] = \frac{1}{[T]}$  ;  $\beta$  homogène à l'inverse de la température

### 2.3 Coefficient de compressibilité isotherme $\chi_T$

$$\chi_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

$[\chi_T] = \frac{1}{[P]}$  ;  $\chi_T$  homogène à l'inverse de la pression

## **2.4 Relation entre les coefficients $\alpha; \beta; \chi_T$**