

Le premier principe de la thermodynamique

Introduction :

La thermodynamique a pour objet de décrire le comportement de systèmes macroscopiques d'un état d'équilibre initial à un état final.

Préalablement à ce cours, nous fournirons une définition générale d'un système thermodynamique, puis nous évoquerons un cas particulier de systèmes : les systèmes fermés. Ensuite, nous montrerons qu'un système thermodynamique est amené à échanger de l'énergie avec son environnement. Ainsi, nous introduirons le fait que ces transferts d'énergie n'ont lieu que sous la forme d'un travail et d'un transfert thermique. Nous développerons plus précisément les différents transferts thermiques dans le [chapitre suivant](#).

Après avoir posé ces bases essentielles à la compréhension de ce cours, nous pourrons alors énoncer le premier principe de la thermodynamique qui n'est que le reflet d'une constatation physique simple : **l'énergie ne peut être détruite !**

1 | Système thermodynamique

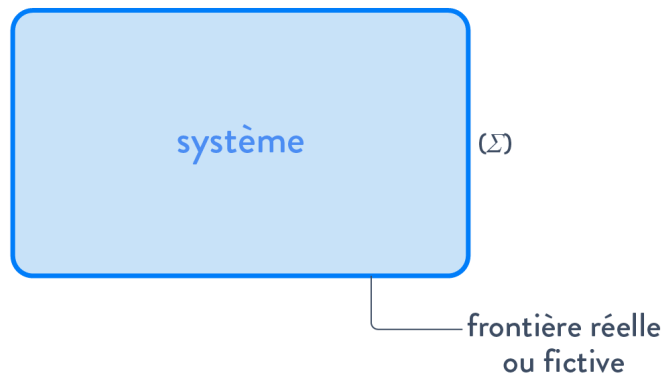
a. Système thermodynamique

Comme nous l'avons indiqué en introduction, la thermodynamique s'attache à décrire le comportement de systèmes macroscopiques, c'est-à-dire d'ensembles constitués d'un très grand nombre d'entités.

La résolution d'un problème de thermodynamique suppose donc, au préalable, d'avoir délimité de façon très précise l'objet de notre étude ou le **système thermodynamique**.

→ De façon schématique, tout système est séparé du reste de l'environnement, appelé **milieu extérieur**, par une **frontière** qui peut être réelle ou fictive.

milieu extérieur

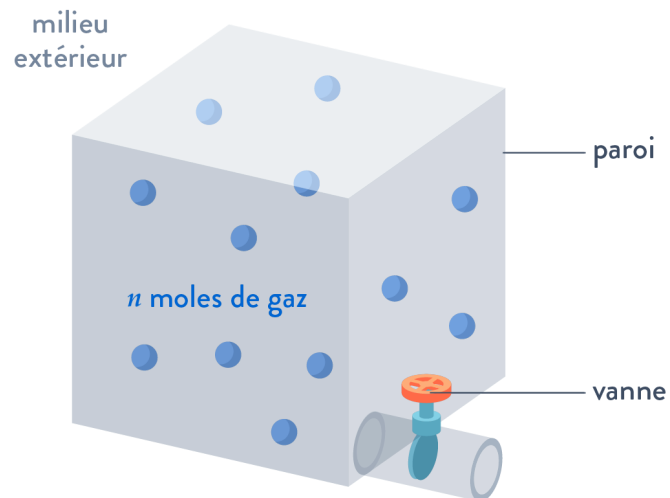


© SCHOOLMOUV



Exemple

Supposons un système thermodynamique constitué de n moles de gaz emprisonné dans un réservoir fermé par une vanne.



© SCHOOLMOUV

Dans notre cas, notre système thermodynamique est l'ensemble constitué de n moles de gaz. La paroi du réservoir est alors la frontière séparant le système du milieu extérieur.



Définition

Système thermodynamique :

Un système thermodynamique est l'ensemble des entités contenues à l'intérieur d'une surface fermée.



À retenir

Un système thermodynamique doit toujours être distingué de façon très précise du reste de l'environnement appelé milieu extérieur. La paroi ou frontière séparant le système du milieu extérieur est alors une interface d'échanges entre ces deux milieux.

On remarque de façon intuitive que la nature de la paroi aura une incidence sur les échanges possibles entre le système et le milieu extérieur. Cette constatation nous amène maintenant à définir un type de systèmes particuliers : le système fermé.



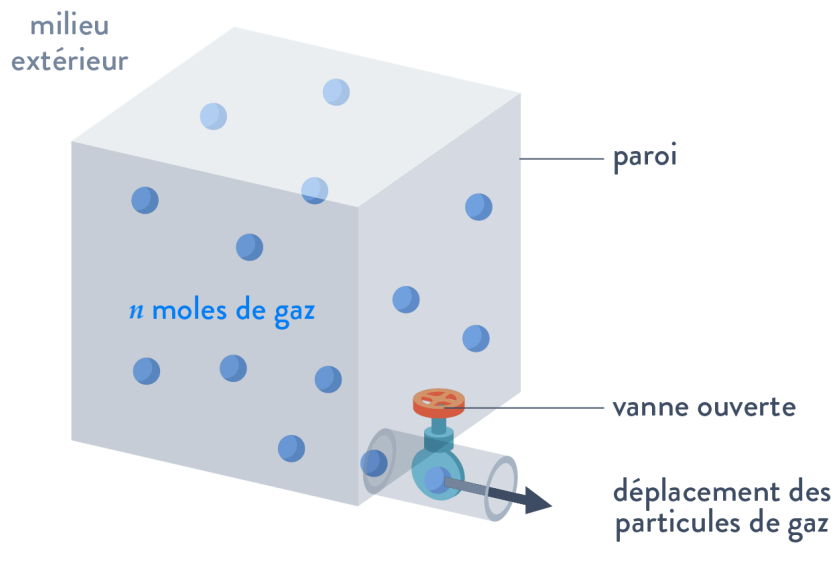
b. Types de systèmes

Reprenons l'exemple de notre système précédent et supposons que la paroi du réservoir soit totalement imperméable, c'est-à-dire qu'elle ne permet aucun échange de matière avec le milieu extérieur.

→ Un tel système est appelé **système fermé**.

Supposons maintenant, qu'un opérateur décide d'ouvrir la vanne ou que notre paroi soit devenue poreuse par l'usure du temps, laissant alors échapper le gaz emprisonné dans l'enceinte vers le milieu extérieur.

→ Un tel système pouvant échanger de la matière avec le milieu extérieur est qualifié de **système ouvert**.



Par définition, un **système thermodynamique fermé** ne peut pas échanger de matière avec le milieu extérieur, mais il peut bien entendu échanger de l'énergie.

En opposition, un **système thermodynamique ouvert** échange de la matière et de l'énergie avec le milieu extérieur.

Enfin, un **système thermodynamique isolé** n'échange ni matière ni énergie avec le milieu extérieur.

Dans le cadre de notre programme de terminale, seuls les systèmes fermés seront étudiés.

Penchons-nous maintenant sur la nature des échanges d'énergie possibles entre un système thermodynamique fermé et le milieu extérieur.

2 | Échanges d'énergie

a. Nature des échanges d'énergie

Les échanges d'énergie entre le système thermodynamique et le milieu extérieur peuvent se faire de façon ordonnée ou non.

On distingue alors deux types d'échanges :

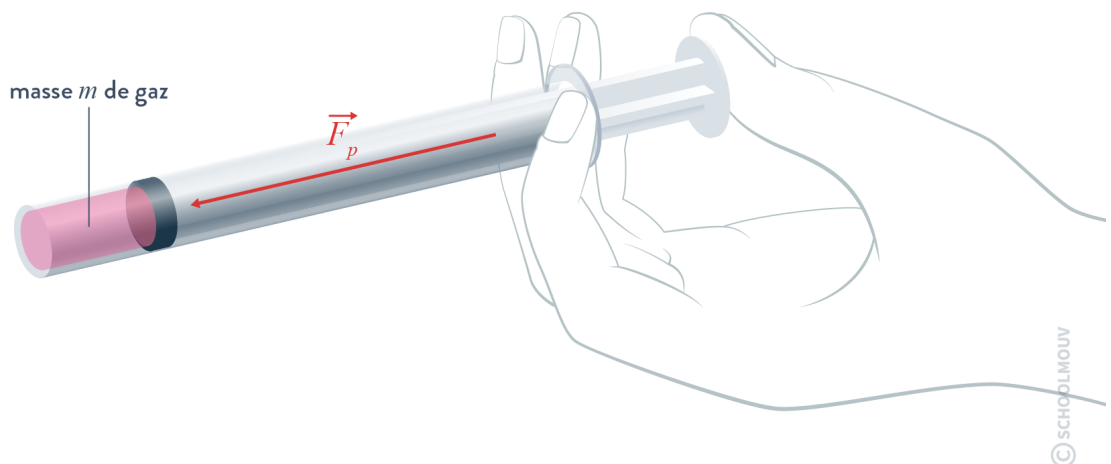
- 1 les transferts d'énergie sous forme de **travail W** , qui est un **transfert de nature macroscopique ordonné** entre le système thermodynamique et le milieu extérieur ;
- 2 les transferts d'**énergie thermique Q** qui est un **transfert de nature microscopique désordonné** entre le système thermodynamique et le milieu extérieur.

Ces deux grandeurs sont exprimées en joule (J).

Abordons tout d'abord, les transferts d'énergie sous forme de travail.

b. Les échanges d'énergie sous forme de travail

Supposons un système thermodynamique constitué d'une masse m de gaz enfermé dans une enceinte dont on peut modifier le volume à l'aide d'un piston qui se déplace sans frottement. Ce système est donc **compressible**.



On constate que si un opérateur pousse le piston, ce dernier va exercer une force pressante \vec{F}_p sur le gaz.

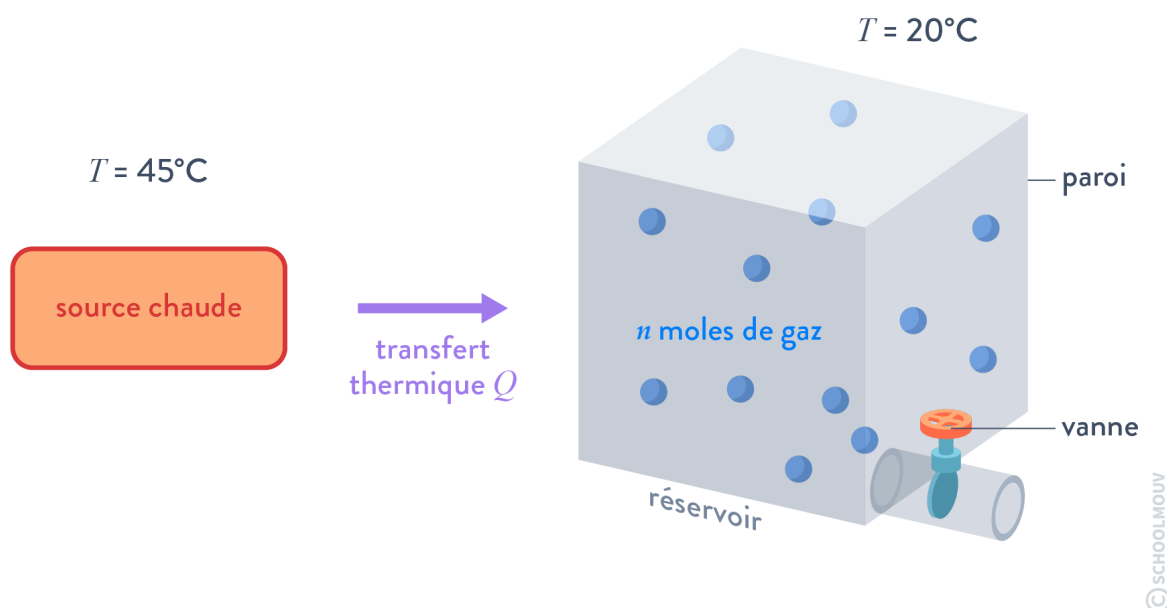
→ L'opérateur fournit donc un travail de nature mécanique et perd donc de l'énergie qu'il restitue entièrement au système thermodynamique.

Après avoir abordé les transferts d'énergie sous forme de travail, penchons-nous maintenant sur les transferts d'énergie de nature thermique.

c. Les échanges d'énergie thermique

Supposons maintenant que notre système thermodynamique est constitué de n moles de gaz dans un réservoir à 20°C et qu'un opérateur décide de placer ce réservoir près d'une source chaude à 45°C .

Nous savons de façon intuitive que le transfert thermique se fera toujours du corps chaud vers le corps froid, jusqu'à atteindre un état d'équilibre thermique. Arrivés à cet état, le système et la source chaude auront la même température.



→ Le système constitué de n moles de gaz reçoit de l'énergie de la source chaude qu'on peut assimiler au milieu extérieur. Cette forme d'échange d'énergie est liée à un **échange thermique** car il y a un transfert entre deux systèmes de températures différentes.

Nous avons vu deux situations où notre système a reçu du milieu extérieur de l'énergie sous forme de travail ou de nature thermique. Il peut bien entendu lui aussi fournir de l'énergie au milieu extérieur.



L'énergie sous forme de travail ou de nature thermique doit être comptée :

- positivement lorsque le système la reçoit du milieu extérieur ;
- négativement lorsque le système la cède au milieu extérieur.



Pour éviter des erreurs dans le signe de l'énergie, il faut se mettre à « la place du système » et indiquer un signe + devant la valeur de l'énergie qu'on reçoit, et un signe – devant la valeur de l'énergie qu'on cède.

3 | Premier principe de la thermodynamique

Nous avons, dans un [précédent cours](#), montré que la variation d'énergie d'un système au cours d'une transformation thermodynamique peut s'exprimer de la façon suivante :

$$\Delta E = \Delta E_m + \Delta U$$

Avec :

- $\Delta E_m = \Delta E_{c, \text{macro}} + \Delta E_{p, \text{macro}}$, la variation d'énergie mécanique d'origine macroscopique, en joule (J) ;
- ΔU la variation d'énergie interne du système d'origine microscopique, en joule (J).

Or, les transferts d'énergie ne pouvant avoir lieu que sous forme de travail W ou d'énergie thermique Q , la variation d'énergie d'un système thermodynamique peut s'écrire comme la somme du travail échangé et de

l'énergie thermique échangée avec l'extérieur.

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta E_m + \Delta U \\ &= W + Q\end{aligned}$$

→ Cette propriété constitue le premier principe de la thermodynamique que nous allons énoncer ci-dessous.



Définition

Premier principe de la thermodynamique :

La variation d'énergie totale d'un système thermodynamique fermé est égale à la quantité de travail W et d'énergie thermique Q échangés avec le milieu extérieur.

$$\Delta E = W + Q$$

Avec :

- ΔE la variation d'énergie totale du système, en joule (J) ;
- W le travail échangé avec le milieu extérieur, en joule (J) ;
- Q l'énergie thermique échangée avec le milieu extérieur, en joule (J).

Par ailleurs, nous avons aussi montré que si le système thermodynamique est **macroscopiquement au repos**, sa variation d'énergie totale se réduisait alors à sa variation d'énergie interne.

En pareil cas, on a $\Delta E_m = 0$, ce qui implique alors que $\Delta E = \Delta U$.

→ La variation d'énergie totale d'un système thermodynamique macroscopiquement au repos se confond donc avec sa variation d'énergie interne.



Propriété

La variation d'énergie interne ΔU d'un système thermodynamique macroscopiquement au repos est égale à :

$$\Delta U = W_{\text{total}} + Q_{\text{total}}$$

Avec :

- ΔU la variation d'énergie interne du système en joule (J) ;
- W_{total} la somme des travaux échangés avec le milieu extérieur en joule (J) ;
- Q_{total} la somme des énergies thermiques échangées avec le milieu extérieur en joule (J).

→ Si le système thermodynamique est isolé, c'est-à-dire s'il n'échange ni matière ni énergie avec le milieu extérieur, l'énergie interne est alors constante soit :
 $\Delta U = 0$.

Conclusion :

Dans ce cours, nous avons pu définir la notion de système thermodynamiquement fermé, seul objet de notre programme. Après en avoir donné une définition claire, nous avons pu constater qu'un tel système peut échanger de l'énergie sous forme de travail ou de transferts thermiques avec son environnement qu'on appelle milieu extérieur.

Ensuite, et ce fut là l'élément essentiel de ce cours, nous avons montré que la variation d'énergie totale d'un système thermodynamique fermé n'est autre que la somme algébrique de tous les échanges d'énergie que le système entretient avec le milieu extérieur.