

**V4 :
Equivalences et conversions**

Nous avons vu qu'il existe différentes formes d'énergie : mécanique, chimique, nucléaire, chaleur, rayonnement électromagnétique, électricité. Entre elles, de multiples conversions sont possibles, comme nous le verrons plus loin. Ces conversions sont soumises aux deux grands principes de la thermodynamique.

I/ Le premier principe de la thermodynamique

a) Le premier principe

Le premier principe de la thermodynamique, connu aussi sous le nom de principe de l'équivalence ou principe de la conservation de l'énergie, exprime que l'énergie contenue dans un système isolé soumis à un processus de transformation se retrouve intégralement sous d'autres formes lorsque ce processus a pris fin.

Les différentes formes que peut prendre l'énergie d'un système : énergie mécanique, énergie calorifique, énergie potentielle, énergie cinétique, sont ainsi toutes équivalentes entre elles au sens du premier principe.

Le premier principe est un principe de conservation analogue à celui de la conservation de la masse d'un système, ou des espèces chimiques lors d'une réaction. Il s'agit donc d'une notion très intuitive et facile à mettre en pratique.

b) Les limites du premier principe

La principale limite du premier principe de la thermodynamique est l'absence de prise en compte de la qualité de l'énergie : il y a certes équivalence entre les différentes formes d'énergie exprimées, mais les possibilités de convertir une forme d'énergie en une autre ne sont pas les mêmes.

Ainsi, le travail peut toujours être intégralement converti en chaleur, mais la réciproque n'est pas du tout vraie. Le travail correspond ainsi à l'une des formes d'énergie dont la qualité est la meilleure, et peut donc constituer une référence. Nous pouvons reformuler ceci en disant qu'un indicateur possible de la qualité de l'énergie est sa capacité à être convertie en travail. A titre d'exemple, on peut convertir de l'électricité en travail en utilisant un moteur électrique de rendement supérieur à 98 %, réciproquement on peut convertir un travail mécanique en électricité grâce à un alternateur de rendement équivalent, ce qui signifie que ces deux formes d'énergie sont de même qualité.

II/ Le second principe de la thermodynamique

a) Le second principe

Si le premier principe exprime que toutes les formes d'énergie sont équivalentes en valeur, le second principe introduit une notion de qualité de l'énergie, celle-ci se dégradant d'énergie

noble (mécanique, électrique), en chaleur. Selon ce principe, la quantité d'énergie utilisable, c'est-à-dire l'énergie noble, diminue obligatoirement dans un système isolé, du fait de l'existence d'irréversibilités.

Le second principe est dû à Sadi Carnot, qui a démontré en 1824 que le rendement d'une machine thermique idéale décrite par un cycle est donné par cette formule :

$$\eta = 1 - (T_f + 273,15)/(T_c + 273,15)$$

où T_c est la température de la source d'énergie thermique, la source chaude, et T_f est celle de l'environnement ambiant, la source froide, toutes deux étant exprimées en °C.

Carnot a ainsi prouvé que ce rendement ne dépend ni de la nature de la machine ni des fluides utilisés pour la faire fonctionner, mais uniquement de T_c et T_f .

b) Les conversion en travail pour une machine parfaite

Ce schéma vous permet de comprendre comment sont conciliés le premier et le second principes.

Considérons une source chaude disposant d'une quantité de chaleur Q_c à la température T_c . La conversion de cette chaleur dans une machine parfaite échangeant avec une source froide à la température T_f produit :

D'une part un travail W égal à ηQ_c , η étant égal au rendement de Carnot ;

Et d'autre part une chaleur Q_f à basse température, égale à $(1 - \eta) \times Q_c$

Le premier principe est bien respecté, puisque Q_c est égal à $W + Q_f$, et le second principe a permis de déterminer η , qui représente la fraction de la chaleur à haute température qui est convertie en travail.

c) Le rendement théorique de Carnot

Cette figure vous montre la manière dont le rendement de Carnot varie lorsque la température de la source chaude passe de 50 à 1300 °C, la température de la source froide étant égale à 15 °C.

Les valeurs affichées correspondent à différents types de cycles de conversion de la chaleur en puissance mécanique ou électricité. Ce rendement vaut :

80 % pour une turbine à gaz à haute température

65 % pour une centrale électrique à flamme

50 % pour une centrale électrique nucléaire du type REP

20 % pour une centrale solaire thermique à tubes sous vide

En pratique toutefois, comme nous le verrons plus loin, les rendements réels sont beaucoup plus faibles.