

# L'entropie, fonction d'état

par Louis Rougnon Glasson ( Ortograf-FR)

**A - Sens de l'entropie à partir de l'énergie définitivement dégradée Edd, et de énergie mécanique idéalement récupérable Emir.**

Pour que l'entropie d'un système donné prenne une signification claire, il faut d'abord imaginer que ce système est placé dans un milieu ambiant à une température uniforme  $T_{amb}$  donnée.

Dans la pratique, ce milieu ambiant correspond à ce qu'on peut appeler "l'air du temps", en l'idéalisant à peine de telle sorte que sa température soit uniforme.

A chaque quantité de chaleur élémentaire  $dQ$  reçue ou fournie par un élément de ce système est associée la quantité élémentaire d'entropie

$dS = dQ / T$  , avec  $dQ$  en joule,  $T$  en kelvins,  
 $dQ / T$  en  $J / K$

**L'entropie mesure en quelque sorte une décote de l'énergie-chaleur** par rapport à la même quantité d'énergie qui serait sous la forme d'énergie mécanique ou électrique.

Pour que cette décote puisse être mesurée en joules sonnants et trébuchants d'énergie mécanique, il faut faire intervenir le milieu ambiant.

**L'énergie mécanique idéalement récupérable** à partir de cette chaleur  $dQ$  est donnée par la formule de Carnot:

$$d(Emir) = r \cdot dQ = ( 1 - (T_{amb} / T) ) \cdot dQ \\ = ( dQ - (T_{amb} / T) \cdot dQ )$$

Une partie de la chaleur  $dQ$  ne peut absolument plus être convertie en énergie mécanique, on l'appelle une énergie définitivement dégradée (Edd), et celle-ci vaut:

$$d(Edd) = dQ - Emir = (T_{amb} / T) \cdot dQ \\ = dS \cdot T_{amb},$$

Cette relation :

$$d(Edd) = dS \cdot T_{amb}$$

montre que, à un facteur près correspondant à la température du milieu ambiant, une entropie mesure la fraction d'énergie d'un système qui est définitivement dégradée, c'est à dire qui ne pourra pas être reconvertie en énergie mécanique.

Cette relation s'étend à un système quelconque parce que la variation d'entropie d'un système dans une transformation élémentaire est la somme des variations d'entropie des constituants de ce système.

Une augmentation d'énergie définitivement dégradée **va de pair avec une diminution équivalente** d'énergie mécanique idéalement récupérable (Emir).

**B - L'entropie, fonction d'état**

L'expression "l'entropie est une fonction d'état" est une des différentes façons d'énoncer le second principe de la thermodynamique.

En tant que telle, elle pourrait se démontrer à partir des autres façons d'énoncer le même principe. Mais ici, on va essayer de montrer ce qu'elle peut signifier concrètement.

On s'intéresse habituellement aux **transformations** d'un système, ce qui met en jeu des **variations** d'énergie interne et des **variations** d'entropie, l'énergie interne et l'entropie ne sont alors connues l'une et l'autre qu'à une constante additive près, dont on se fixe la valeur pour un état de référence A.

Dire que l'entropie est une fonction d'état revient à dire que, **à partir d'un état A donné, la variation d'entropie pour aboutir à un état donné B ne dépend que de l'état B et non de la manière dont le système est passé d'un état à l'autre.**

Pour être plus concret, on peut faire intervenir la

variation de **l'énergie définitivement dégradée Edd**, qui représente à un facteur près la variation d'entropie.

Il est assez intuitif d'admettre que, pour le même système passant de l'état de référence A à l'état B, la valeur de l'énergie définitivement dégradée est définie par l'état B. L'entropie et l'énergie définitivement dégradée sont l'une et l'autre des fonctions d'état.

Il en est de même de l'énergie mécanique idéalement récupérable EMIR. (Celle-ci est appelée dans d'autres documents EMPR, énergie mécanique potentiellement récupérable, ou encore exergie)

## C - Un exemple d'application du principe "l'entropie est une fonction d'état"

Soit un système composé, dans son état initial A, de deux kilogrammes d'eau liquide, l'un à 100°C, l'autre à 0°C. La chaleur massique est supposée indépendante de la température. A partir de l'état A, ce système passe dans l'état B où toute l'eau est à 50°C.

On considère deux manières possibles pour passer de l'état A à l'état B:

- Première manière: échange direct de chaleur entre les deux corps, donc avec production d'entropie, de valeur  $\Delta S$

- Deuxième manière: première étape: on fait d'abord marcher un **moteur thermique idéal** entre l'eau chaude et l'eau froide, de manière à récupérer le maximum d'énergie mécanique, soit  $W$ , jusqu'à ce que les deux kilogrammes d'eau soient à la même température. **Le moteur thermique étant idéal, cette étape ne produit pas d'entropie.**

Au début de cette étape, le moteur fonctionne avec une source chaude à 100°C et une source froide à

0°C. A la fin de cette première étape, les deux températures finissent par s'égaliser et leur valeur commune est inférieure à 50°C, compte tenu de l'énergie mécanique qui a été prélevée. (Pour info, cette température doit être située aux alentours de 43°C, environ 15% de l'énergie cédée par la source chaude ayant été transformée en énergie mécanique)

Deuxième étape: on utilise l'énergie mécanique qui a été récupérée grâce au moteur idéal, pour chauffer les deux kilogrammes d'eau jusqu'à ce que le système soit à l'état B, c'est à dire à la température de 50°C.

"L'entropie est une fonction d'état " implique ici:

L'entropie produite dans cette deuxième étape, étape qui aboutit également à l'état B, est égale à celle que l'on produit par un échange direct de chaleur entre les deux kilogrammes d'eau.

Le kilogramme d'eau qui se refroidit de 100°C à 50°C perd de la chaleur et de l'entropie, celui qui se réchauffe de 0°C à 50°C reçoit une quantité de chaleur égale **mais une quantité d'entropie supérieure.**

L'entropie globale produite est la même que celle reçue par ces deux kilogrammes d'eau lorsqu'ils passent de la température d'environ 43°C avancée plus haut à la température de 50°C.

Pour le calcul des valeurs numériques, voir l'article intitulé: "Calculs d'entropie, taux de dégradation définitive" sur le forum de l'UDPPC

<http://www.udppc.asso.fr/forum/viewtopic.php?t=1217&sid=126be920c0b500adb439fe4aa1ce8747>

Cet exemple ne fait pas intervenir le milieu ambiant. L'utilisation des grandeurs auxiliaires Edd et Emir sert à donner une idée plus concrète de l'entropie mais elle n'intervient pas ici.