

Calculs d'entropie, taux de dégradation définitive (tdd)

Présentation:

D'un point de vue pédagogique, l'entropie devient une grandeur très concrète et beaucoup plus facile à cerner dès l'instant où l'on considère que le système possédant une entropie donnée S est placé dans un milieu ambiant, dont on suppose la température uniforme, de valeur T_{ambiant} .

D'autre part, d'un point de vue écologique et environnemental, produire de l'entropie revient à consommer des ressources énergétiques et à envoyer dans l'environnement une quantité de chaleur proportionnelle à l'entropie produite. Il est donc essentiel de réduire autant que possible les productions d'entropie.

Pour avoir une idée immédiate de l'importance de la dégradation d'énergie associée à une entropie S , il est alors avantageux de faire intervenir le **taux de dégradation définitive**:

T_{ambiant} / T

de l'énergie Q **amputée par la décote entropique**:

$$E_{\text{dd}} = S \cdot T_{\text{ambiant}} = (Q / T) \cdot T_{\text{ambiant}}.$$

A - Principes de calculs

1°) L'entropie d'une énergie Q sous la forme d'une énergie mécanique ou électrique est nulle.

2°) L'entropie d'une énergie Q sous la forme d'énergie calorifique portée par un corps à la température T vaut:

$$S = Q / T \text{ (avec } Q \text{ en joules, } T \text{ en kelvins, } S \text{ en J/K)}$$

D'après cette formule, plus la température T du corps contenant cette énergie calorifique Q est élevée, plus l'entropie de cette énergie est faible.

3°) Conséquences

a) Si une énergie **électrique ou mécanique** de valeur Q est consommée et qu'elle apparaît sur un corps à la température T , il y a **production** d'entropie, de valeur

$$S = Q / T$$

b) Une quantité de chaleur Q ne peut quitter un corps à la température T_1 , pour apparaître sur un corps à la température T_2 que si T_2 est inférieur à T_1 . Dans ce cas, le premier corps **perd** l'entropie

$$S_1 = Q / T_1,$$

le deuxième corps **reçoit** l'entropie:

$$S_2 = Q / T_2.$$

Etant alors donné que T_2 est inférieur à T_1 , on en déduit que S_2 est supérieur à S_1 . La **production** d'entropie dans cette transformation vaut:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = Q \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

B - Signification concrète de l'entropie

Soit un système comportant notamment un corps à la température T et susceptible de fournir une énergie calorifique Q en restant à cette température. On suppose en outre que ce système est placé dans un milieu ambiant à la température uniforme T_{ambiant} . Pour rester dans le cas le plus simple, supposons T_{ambiant} inférieur à toutes les autres températures considérées.

a) Energie mécanique potentiellement récupérable (Empr)

La plus grande quantité imaginable d'énergie mécanique que l'on peut envisager d'extraire de l'énergie Q , en utilisant le milieu ambiant comme source froide, est donnée par la formule de Carnot, elle vaut:

$$r \cdot Q = \left(1 - (T_{\text{ambiant}} / T) \right) \cdot Q$$

On peut appeler cette grandeur: **"énergie**

mécanique potentiellement récupérable"
(Empr):

$$\text{Empr} = r * Q = (1 - (T_{\text{ambiant}} / T)) * Q$$

On peut alors considérer que le rendement de Carnot mesure **le taux (ou la fraction, ou le pourcentage) d'énergie mécanique potentiellement récupérable de cette chaleur Q** ce qui équivaut à la relation:

$$r = \text{Empr} / Q$$

b) Décote entropique ou énergie définitivement dégradée (Edd)

Cette grandeur éclaire le sens de la grandeur entropie, parce qu'elle lui est proportionnelle tout en ayant un sens très concret.

Etant donné que r est inférieur à 1, une partie de l'énergie Q est devenue **irréremédiablement non convertible** en énergie mécanique. On peut l'appeler **énergie définitivement dégradée en chaleur, (Edd), ou encore décote entropique**. Elle vaut:

$$\text{Edd} = (1 - r) * Q$$

$$= (T_{\text{ambiant}} / T) * Q$$

$$= T_{\text{ambiant}} * S$$

A un facteur près, **une entropie mesure donc une énergie définitivement devenue non convertible en énergie mécanique**.

C - Taux de dégradation définitive (tdd)

C'est la grandeur la plus immédiatement parlante pour mesurer une dégradation liée à une entropie. Sa variation lors d'un échange de chaleur donne une idée immédiate de l'importance relative de la production d'entropie dans cet échange.

Calculer une entropie ou une production d'entropie avec sa calculette se fait simplement en appliquant les règles du paragraphe B ci-dessus, mais les résultats obtenus ne sont guère parlants par eux-mêmes. Ils ont besoin d'une interprétation pratique, parce que, dans la vie courante, le joule est éclipsé par d'autres unités d'énergie, notamment le

kilowattheure ou la tonne d'équivalent pétrole.

Le taux de dégradation définitive suppose toujours qu'on se réfère à un milieu ambiant donné, de température constante et uniforme.

Dans la pratique courante, la température T_{ambiant} ne s'écarte guère de la fourchette 270-290 kelvins.

On désigne par tdd le rapport

$$tdd = \text{Edd} / Q$$

Etant donné que $\text{Edd} = (T_{\text{ambiant}} / T) * Q$, il vient:

$$tdd = (T_{\text{ambiant}} / T) * Q / Q$$

$$= (T_{\text{ambiant}} / T)$$

Etant donné que le même facteur $1 / T$ apparaît dans l'expression de l'entropie et dans celle de tdd , pour une quantité de chaleur Q portée par un corps à la température T , **l'entropie de cette chaleur est proportionnelle au taux de dégradation définitive de cette chaleur**.

Etant donné qu'il représente un rapport de deux énergies, le tdd peut être avantageusement exprimé en termes de pourcentage.

Le rapport tdd est égal à 100% lorsque $T = T_{\text{ambiant}}$, autrement dit lorsque la température du corps qui porte la chaleur Q est égale à celle du milieu ambiant. Concrètement, ça veut dire par exemple que si un radiateur électrique fonctionne dans une pièce avec une fenêtre ouverte, on perd 100% de l'énergie électrique consommée.

Le rapport tdd est supérieur à 100% lorsque la température du corps qui porte la chaleur Q est inférieure à la température ambiante. Cette situation correspond au cas d'un petit radiateur électrique qui fonctionnerait à l'intérieur d'un réfrigérateur. Dans un tel fonctionnement, non seulement on perdrait l'intégralité de l'énergie électrique consommée par ce radiateur, mais on perdrait en plus celle consommée par le réfrigérateur pour maintenir sa température à un bas niveau.

Prenons un premier exemple concret pour montrer comment le taux de dégradation définitive constitue le plus simple des repères pour **juger du niveau**

de dégradation d'une énergie dans une situation donnée.

Supposons une centrale nucléaire fonctionnant dans les conditions suivantes:

- milieu ambiant à la température $T_{\text{ambiant}} = 280$ kelvins, soit 7°C ,

- température de la source chaude, imposée par des contraintes de sécurité: 560 kelvins. On a choisi: $T = 2 * T_{\text{ambiant}}$ pour la simplicité des calculs, mais c'est proche de la réalité.

Le taux de dégradation définitive de la chaleur fournie par la source chaude vaut alors:

$$tdd = (T_{\text{ambiant}} / T) = 0,5 = 50\%$$

En conséquence, le rendement (énergétique) de cette centrale ne pourra pas dépasser 50%. Si son rendement réel est de 33%, on peut dire que celui-ci correspond tout de même à 66% du rendement maximum théorique.

Ici, le rendement **théorique maximum** est de 50%, le rendement **réel** est de 33%, et le rendement **relatif** de 66%.

D - Variation du tdd lors des échanges de chaleur

Dans la centrale de Tchernobyl, la source chaude était constituée par le réacteur lui-même. Dans nos centrales, pour des raisons de sécurité, la chaleur est extraite du réacteur par le circuit primaire, dans lequel l'eau sous pression joue le rôle de caloporteur. Cette chaleur nécessite alors un deuxième échange pour arriver dans le circuit secondaire où elle permettra de produire la vapeur sous pression pour faire tourner les turbines.

Quelle est l'augmentation du tdd due à cet échange de chaleur supplémentaire, en supposant qu'il occasionne une baisse de 10 degrés pour la température de la source chaude?

Réponse:

a) calcul général:

Lorsque une quantité de chaleur Q est cédée par un corps à la température T_1 , et reçue par un corps à la température T_2 , son taux de dégradation

définitive varie de:

$$\Delta tdd = (T_{\text{ambiant}} / T_2) - (T_{\text{ambiant}} / T_1)$$

$$= T_{\text{ambiant}} * ((1 / T_2) - (1 / T_1))$$

Si l'écart entre T_1 et T_2 est faible, de valeur dT , la variation du tdd est faible également, et elle peut s'écrire:

$$d(tdd) = T_{\text{ambiant}} * ((-1) / T^2) * dT$$

b) Valeurs numériques:

Avec les valeurs numériques $T_{\text{ambiant}} = 280$ (K), $T = 2 * T_{\text{ambiant}}$ et $dt = -10$ (K), on obtient:

$d(tdd) = 10 / (4 * T_{\text{ambiant}}) = 10 / 1120$, soit un peu moins que 1%. C'est la fraction de l'énergie Q devenue non récupérable sous forme de chaleur à cause de la baisse de température de la source chaude due au deuxième échange de chaleur.

Pour une même baisse de température, la variation du taux de dégradation définitive tdd est inversement proportionnelle au carré de la température absolue: elle pénalise donc beaucoup moins si elle se produit à température élevée qu'à basse température. Il en est de même de la production d'entropie.

.....

Pour l'info manquante que vous cherchez, pensez "Ortograf + autres mots-clés"