

*Deux grandeurs auxiliaires pour présenter l'entropie:*

## **Energie mécanique potentiellement récupérable (EMPR)**

### **et Energie définitivement dégradée (EDD).**

par Louis Rougnon Glasson, professeur agrégé en sciences physiques

## **A - Avant-propos:**

### **1°) L'enseignement de l'entropie, c'est la négation de la pédagogie**

Dans Wikipédia comme partout ailleurs, la présentation de la grandeur entropie est la négation même de la pédagogie.

Si les auteurs de l'article en question avaient compris de quoi ils parlaient, ils seraient catastrophés par le gaspillage de ressources que constituent les productions d'entropie dans tous nos chauffages traditionnels. Mais ce n'est pas le cas.

Au point de vue pédagogique, la présentation du second principe de la thermodynamique a régressé depuis une trentaine d'années. Il ne semble pas qu'on ait pu faire mieux que le Bruhat. Son livre intitulé: " Thermodynamique" développe tous les points de départ du présent article.

Dans les notes prises à la hâte dans un cahier de taupin, en guise de raisonnement, on a pu trouver:  $S = Q / T$  pour raisons historiques... et la suite est aussi fumeuse.

A cause du caractère fumeux et incompréhensible de cette grandeur, le mot possède une valeur incantatoire qui l'a fait utiliser pour d'autres domaines également fumeux et incompréhensibles et aussi - pourquoi pas - en poésie.

N'ayant pas compris la signification concrète de l'entropie, on a trouvé moyen de broder autour en faisant de la thermodynamique statistique. Là aussi, il est souvent difficile de faire le lien entre les mots et les formules que l'on brasse, et leur signification concrète.

### **2°) Censure dans les milieux scientifiques**

Les idées avancées dans le présent article ne concernent pas seulement la pédagogie de l'entropie, elles concernent aussi les économies d'énergie, donc la préservation de l'environnement, des questions d'actualité s'il en est.

Depuis une trentaine d'années, j'ai fait diverses tentatives pour faire passer des articles dans des bulletins ou revues scientifiques et aussi dans la presse.

La règle générale a été la censure, avec tout de même des exceptions intéressantes.

Le dernier article censuré était placé sur Wikipédia dans "entropie", à la fin de la rubrique "discussions". Il avait pour titre: "l'entropie en bref". Il est resté en place plusieurs mois, mais on a découvert qu'il était indésirable après que j'aie mis dans d'autres rubriques des articles à tonalité plus percutante.

Le censeur avait sans doute découvert tout à coup que c'était un "article à caractère promotionnel"

### 3°) La pompe à chaleur au secours de la pédagogie de l'entropie

Pour contourner la censure des milieux scientifiques, on a un autre moyen pour faire comprendre directement au public le plus large les gaspillages de ressources énergétiques occasionnés par des productions systématiques d'entropie dans tous les chauffages traditionnels.

Si la pompe à chaleur réelle à un rendement situé autour de 400%, c'est lié au fait qu'elle fonctionne avec une faible production d'entropie.

Une pompe à chaleur idéale quant à elle donne la meilleure référence possible, qui est celle d'un chauffage sans production d'entropie. On peut lui reprocher d'être une vue de l'esprit, mais c'est d'abord un élément de comparaison. En comparant un rendement réel à celui qui serait obtenu avec une pompe à chaleur idéale, on obtient un rendement relatif, et c'est lui qui est toujours inférieur à 100%.

## B - Rappel

1°) L'énergie se dégrade lorsqu'elle passe de la forme "énergie mécanique" ou "énergie électrique" à la forme "chaleur". elle se dégrade aussi lorsqu'elle passe de la forme "chaleur haute température" à la forme "chaleur basse température".

Un échange spontané de chaleur entre deux objets nécessite une différence de température entre ces deux objets. Pour cette raison, il se produit forcément avec une dégradation d'énergie. Pour une quantité donnée d'énergie échangée, plus l'écart de température est important, plus la dégradation d'énergie est importante.

2°) Pour se représenter des appareils tels que moteurs ou pompes à chaleur fonctionnant sans dégradation d'énergie, on a imaginé des transformations réversibles.

Dans une transformation réversible, une variation infinitésimale des causes de la transformation change le sens de la transformation. On peut donc revenir de l'état final à l'état initial avec un bilan nul pour chaque énergie échangée.

Dans ce cas, les potentialités de l'état final n'ont donc rien perdu par rapport aux potentialités de l'état initial. il n'y a donc pas eu de dégradation d'énergie, autrement dit, de production d'entropie. Une transformation réversible est donc, à coup sûr, une transformation "isentropique".

3°) Rendement de Carnot:

Le meilleur rendement possible,  $r = W_{\max} / Q_1$ , pour un moteur fonctionnant entre une source chaude à la température  $T_1$  et une source froide à la température  $T_2$  est obtenu avec un moteur dont le fonctionnement est réversible. On dit dans ce cas que le moteur est un moteur thermique idéal.

a) Ce rendement est le rendement maximum théorique, sa valeur est:

$$r = 1 - (T_2 / T_1)$$

b) en inversant le sens de fonctionnement de ce moteur, on obtient une pompe à chaleur idéale. Son rendement est défini par:

$r' = Q_1 / W$ , il vaut donc:

$$r' = 1 / r$$

## C - Energie mécanique potentiellement récupérable (EMPR).

Si un corps reçoit ou fournit une quantité de chaleur  $Q$  tout en étant constamment à la température  $T$ , alors, par définition, l'entropie associée à cette chaleur est:

$$S = Q / T$$

Pour comprendre la signification concrète de cette grandeur, on va imaginer une source froide à la température uniforme  $T_2$  inférieure à  $T$ .

Le cas le plus simple qui correspond pratiquement à cette situation, c'est celui où cette source froide n'est autre que le milieu ambiant. La température  $T$  étant supérieure à  $T_2$ , la quantité de chaleur  $Q$  est susceptible d'être transformée partiellement en énergie mécanique.

La quantité maximum d'énergie mécanique que l'on peut espérer obtenir est alors celle que fournirait un moteur thermique idéal qui fonctionnerait entre le corps à la température  $T$  et la source froide à la température  $T_2$

On peut l'appeler énergie mécanique potentiellement récupérable, et elle vaut donc:

$$\begin{aligned} \text{Empr} &= r \cdot Q = (1 - (T_2 / T)) \cdot Q \\ &= Q - (T_2 \cdot (Q / T)) \\ &= Q - (T_2 \cdot S) \end{aligned}$$

## D - Energie définitivement dégradée

La différence entre la quantité d'énergie  $Q$  et l'énergie mécanique maximum que l'on puisse espérer en tirer peut être appelée énergie définitivement dégradée (EDD). Elle représente la chaleur qui serait rejetée dans la source froide par le moteur thermique idéal.

Dans la formule précédente, elle a pour valeur:

$$\begin{aligned} \text{Edd} &= Q - \text{Empr} \\ &= T_2 \cdot S \end{aligned}$$

**A un facteur près, l'entropie liée à une quantité de chaleur donnée représente une énergie irrémédiablement dégradée en chaleur.**

## E - Rendement relatif

Pour des appareils aussi divers qu'un train d'engrenages, une usine hydro-électrique, un système de pompage, le rendement énergétique donne une excellente idée du degré d'optimisation des

performances énergétiques de l'installation.

Mais ce même rendement énergétique n'est plus valable pour cet usage dans le cas des machines thermiques.

Il n'est plus adapté pour mesurer le degré d'optimisation des performances. Preuve en est par l'exemple des pompes à chaleur réelles, qui atteignent assez fréquemment des rendements énergétiques de 400%.

Ici, les scientifiques, terrorisés par le fait d'avoir à remettre en question la formule magique suivant laquelle un rendement ne peut pas dépasser 100%, ont abandonné le mot rendement pour le remplacer par le mot COP. Mais le COP est bel et bien un rendement énergétique.

La consolation qu'ils attendent a une réponse. **Ce qui ne peut pas dépasser 100%, c'est le rendement relatif, c'est à dire le rapport:**

**$r_{rel} = \text{rendement (énergétique) réel} / \text{rendement théorique maximum.}$**

Si une pompe à chaleur réelle a un rendement de 400%, là où une pompe à chaleur idéale, c'est à dire fonctionnant sans production d'entropie, aurait un rendement de 10000%, le rendement relatif de la pompe à chaleur réelle a pour valeur:

$r_{rel} = 400 / 10000 = 4 / 100 = 4\%$ . ce n'est pas la gloire, mais c'est déjà quatre fois mieux qu'un chauffage électrique.

Autre exemple, si la source chaude d'une centrale nucléaire est à 560 K et le milieu ambiant à 280 K, le rendement maximum théorique est de 50%.

Avec un rendement énergétique réel de 33%, on a un rendement relatif de 66%.

Avec un rendement énergétique plus de dix fois plus faible que celui d'une pompe à chaleur, une centrale nucléaire n'en a pas moins un rendement relatif plus de dix fois plus grand. Le rendement des centrales nucléaires est déjà beaucoup optimisé, celui des pompes à chaleur ne l'est pas du tout.

## F - EMPR et rendement relatif

Dans le meilleur des fonctionnements imaginables pour un moteur ou une pompe à chaleur, l'EMPR fournie par le dispositif est égale à l'EMPR qu'il reçoit.

Pour un appareil quelconque servant à transformer de l'énergie, et notamment pour un moteur thermique ou une pompe à chaleur, le rendement relatif a pour valeur:

**$r_{rel} = \text{EMPR}_{\text{fournie}} / \text{EMPR}_{\text{reçue}}$**

## G - Application de l'EMPR: calcul du rendement relatif de la cogénération

### Question:

Deux installations de cogénération ont un même rendement énergétique de 85%.

page 4 / 5

Pour une énergie de 100 joules reçue du combustible, la première fournit 50 joules d'énergie électrique et 35 joules de chaleur, la deuxième 20 joules d'énergie électrique et 65 joules de chaleur.

Comment comparer leurs performances?

### Réponse:

Un joule d'énergie électrique étant beaucoup plus précieux qu'un joule de chaleur basse température, c'est à coup sûr l'installation la plus généreuse en électricité qui sera la plus performante.

Une réponse plus précise fera aussi intervenir la température de l'eau fournie. En effet, une eau à 30°C fournit de la chaleur de très faible valeur, qui nécessitera pour son utilisation un dispositif spécial tel qu'un chauffage par le sol par exemple. La chaleur d'une eau à 60°C pourra se vendre plus cher parce qu'elle est plus facile de l'utiliser.

Dans le cas de la cogénération, la formule

$r_{rel} = \text{rendement réel} / \text{rendement théorique maximum}$ .

serait délicate à appliquer parce que le dispositif sert à fournir simultanément deux formes d'énergie, dont l'une est de la chaleur basse température.

En fait, entre une ou plusieurs formes initiales d'énergie et une ou plusieurs formes finales de la même quantité d'énergie, le rendement relatif est défini par la relation la plus générale:

**$r_{rel} = \text{somme des EMPR finales} / \text{somme des EMPR initiales}$**

Pour les deux installations considérées ici, les EMPR initiales sont identiques (remarque: on peut situer autour de 75 à 80 joules l'EMPR correspondant à 100 joules de chaleur haute température fournis par une flamme. Certains moteurs diesel de bateaux ont des rendements dépassant 60%.)

Si la température d'une eau dépasse de 60°C la température ambiante, chaque joule de chaleur qu'elle peut fournir a une EMPR de un dixième de joule.

Si les deux installations fournissent une chaleur de cette qualité, l'EMPR des 85 joules fournis par la première vaut:

$50 + 3,5 = 53,5$  joules, alors que pour l'EMPR de la chaleur fournie par la deuxième vaudra:

$20 + 6,5 = 26,5$  joules.

Le rendement relatif de la deuxième installation est donc deux fois plus faible que celui de la première.

*Différents articles sur cette question peuvent être chargés*

1°) sur le site [alfograf.net](http://alfograf.net) à la rubrique: Energie, entropie

2°) sur le site <http://alrg.free.fr/ortograf-2008>