

L'entropie en bref

Pour en finir avec les gaspillages invisibles:
**production d'entropie = dégradation d'énergie
= consommation de ressources**

par Louis Rougnon-Glasson, professeur agrégé en sciences physiques

Cet article poursuit un double objectif:

*1°) en **pédagogie**, alors que la présentation habituelle de l'entropie est excessivement abstraite, montrer **qu'on peut lui trouver une signification bien concrète si l'on fait intervenir la température du milieu qui nous environne, la formule de Carnot, et la comparaison d'une transformation réelle avec une transformation réversible***

*2°) cette signification concrète la ramène à une **consommation de ressources énergétiques**. On veut montrer ici, sur un premier exemple, qu'on a tout intérêt à développer les **chauffages à faible production d'entropie, c'est à dire en fait la cogénération**, si l'on veut réduire efficacement la consommation de ressources occasionnées par le chauffage de nos immeubles.*

Théorème:

Dans un milieu ambiant à la température absolue T_a , produire une entropie S (en joules par kelvin) revient à **CHAUFFER L'AIR DU TEMPS en lui fournissant l'énergie électrique: $W = S \cdot T_a$**

Enoncé équivalent:

Une quantité de chaleur Q (joules) sur un corps à la température T (kelvins) est

- **dégradée par une entropie de valeur $S=Q/T$,**
- **sa convertibilité en énergie mécanique est amputée d'une valeur $S \cdot T_a$,**
- **son énergie mécanique potentiellement récupérable (EMPR) vaut $Q - S \cdot T_a$**

Démonstration

a) Rappel: pour une quantité de chaleur Q fournie ou reçue par un corps à la température absolue T , par définition, **l'entropie de cette chaleur est:**

$$S = Q / T. \quad (S \text{ en joules par Kelvin}).$$

D'une manière générale et abstraite, l'entropie mesure la **dégradation de l'énergie** lorsqu'elle est sous forme de chaleur. On sait en effet que la chaleur constitue une forme dégradée de l'énergie, parce qu'il est impossible de la transformer intégralement en énergie mécanique ou électrique.

La dégradation augmente quand la chaleur passe d'un corps chaud sur un autre corps dont la température est moins élevée, et la formule de définition nous donne bien une valeur de **S qui augmente quand T diminue.**

b) Pour donner un sens plus précis, en même temps, à la dégradation de l'énergie, et à l'entropie, on doit faire intervenir

1°) le milieu ambiant, dont on suppose la température uniforme, de valeur T_a

2°) une machine thermique réversible, que l'on fait fonctionner entre le milieu ambiant, et le corps à température T pour en extraire la chaleur Q .

Cette machine thermique réversible est un moteur idéal ou une pompe à chaleur idéale, c'est à dire fonctionnant sans dégradation d'énergie, autrement dit sans production supplémentaire d'entropie.

On se limite ici au cas où T est supérieure à la température ambiante T_a , mais la conclusion aura une portée générale.

Avec T supérieure à T_a , la machine thermique réversible va fonctionner en moteur.

A partir de cette chaleur Q , le moteur va permettre de récupérer l'énergie mécanique: $Q \cdot (1 - (T_a / T))$.

Le reste de cette énergie Q , soit:

$$Q - Q \cdot (1 - (T_a / T)) = Q \cdot (T_a / T) = S \cdot T_a,$$

sera fourni sous forme de chaleur à l'air du temps, il ne pourra pas être récupéré sous forme d'énergie mécanique.

En récapitulant:

Une quantité de chaleur Q à la température T

- **est dégradée par une entropie de valeur: $S = Q / T$,**
- **sa convertibilité en énergie mécanique est amputée proportionnellement à cette entropie, d'une valeur: $S \cdot T_a$, avec T_a = température absolue du milieu ambiant.**

Exemple

Une eau de chauffage central à 60°C fournit 100 joules à un appartement à 20°C, alors que la température extérieure est de 15°C.

Entropie cédée par l'eau de chauffage central en même temps que sa chaleur:

$$100 / (273 + 60) \text{ (en joules par kelvin)}$$

Défaut correspondant d'énergie mécanique potentiellement récupérable:

$$100 \times (273 + 15) / (273 + 60) = 86,4 \text{ joules}$$

Entropie reçue par l'appartement:

$$100 / (273 + 20)$$

Défaut correspondant d'énergie mécanique potentiellement récupérable:

$$100 \times (273 + 15) / (273 + 20) = 98,2 \text{ joules}$$

Production d'entropie due à cet échange de chaleur:

$$(100 / (273 + 20)) - (100 / (273 + 60))$$

$$= 0,041 \text{ joule/kelvin}$$

Perte d'énergie mécanique potentiellement récupérable liée à la production d'entropie:

$$98,2 - 86,4 = 11,8 \text{ joules}$$

ou encore:

$$0,041 \times (273 + 15) = 11,8 \text{ joules.}$$

Pour 100 joules fournis à l'appartement, la meilleure pompe à chaleur imaginable consommera donc **11,8 joules d'énergie électrique en plus par le fait qu'elle apporte de l'eau à un chauffage central à 60°C**, comparativement au cas où elle serait capable de fournir directement cette chaleur à l'appartement maintenu à 20 °C.

... Mais la chaleur contenue dans la maison est, quant à elle, TRES dégradée. **Elle n'aura plus grand chose à perdre** quand elle ira réchauffer l'air du temps:

Défaut d'énergie mécanique potentiellement récupérable quand la chaleur est dans la maison:

$$100 \times (273 + 15) / (273 + 20) = 98,2 \text{ joules,}$$

D'où une énergie mécanique potentiellement récupérable (EMPR):

$100 - 98,2 = 1,8$ joule quand les 100 joules sont sous forme de chaleur dans la maison, et, naturellement, l'EMPR de ces 100 joules est nulle une fois qu'ils ont servi à réchauffer l'air du temps.

On perd 1,8 joule d'EMPR quand la chaleur traverse les murs de la maison, **contre 11,8 joules quand la chaleur passe des radiateurs à l'air de l'appartement**. Et encore, on est parti ici d'une chaleur déjà passablement dégradée puisqu'elle était dans de l'eau à 60°C. ***Le chauffage par pompe à chaleur est déjà un chauffage à faible production d'entropie.***

Avec une chaudière de chauffage central, lorsque 100 joules de chaleur apparaissent dans la flamme, leur EMPR est d'environ 65 joules, pour chuter à une valeur d'environ 2 joules lorsque la chaleur est dans l'air de l'appartement.

D'une manière générale, à cause de la production d'entropie occasionnée par les échanges de chaleur, et donc à cause de la perte d'EMPR correspondante, tous nos chauffages traditionnels sont incompatibles avec une gestion rigoureuse de l'énergie.

De l'argent, nous en perdons fatalement quand nos murs laissent passer la chaleur, mais **nous en jetons par nos fenêtres à mesure que la chaleur se dégrade en partant de la flamme de notre chaudière pour aboutir à l'air de nos appartements.**

La chaleur basse température de nos lieux de séjour est une énergie de très faible valeur et qui peut donc être pratiquement gratuite quant aux ressources consommées.

Sur cette même question, voir également:

1°) les sites "Ecologie-par-cogénération", et "Entropie = gaspillage", accessibles via: <http://ortograf.fr>

2°) la rubrique: "Physique: entropie", sur le site <http://www.alfograf.net>

ORTOGRAF, 5, rue Volta F- 25500-MONTLEBON

tél + (33)(0)3 81 67 43 64

courriel : louis.rougnon-glasson@laposte.net