

Correction – DM 19 – Effet Joule et création d'entropie

1 - ★ Système {eau+réservoir+résistance} : H et S ne dépendent que de T (pour des phases condensées idéales), et ici T est constant égal à 50 °C , donc H et S restent constants également. On a donc $\Delta H = 0$ et $\Delta S = 0$.

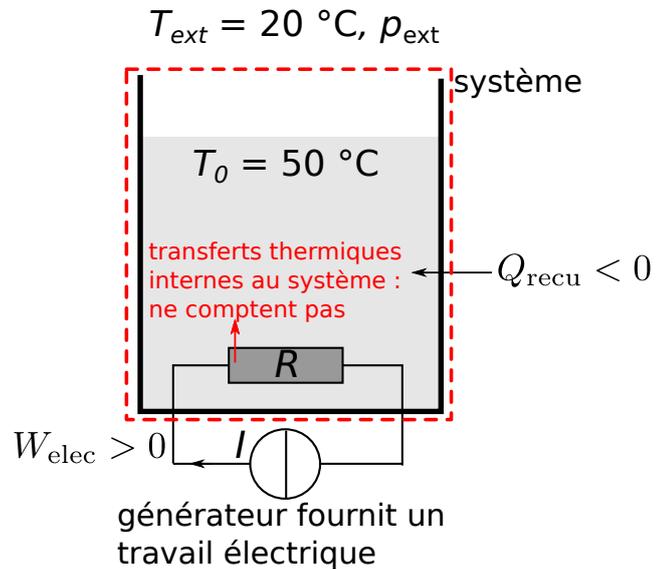
★ Premier principe version H :

$$0 = \Delta H = W_{\text{élec}} + Q_{\text{reçu}}$$

donc

$$Q_{\text{reçu}} = -W_{\text{élec}} = -RI^2\Delta t.$$

Il s'agit là du transfert thermique reçu depuis l'extérieur du système (à droite sur le schéma ci-contre), il est donc négatif car l'eau étant plus chaude que l'extérieur, elle cède en fait un transfert thermique vers l'extérieur.



★ Second principe : $0 = \Delta S = S_e + S_c$ avec

$$S_e = \frac{Q_{\text{reçu}}}{T_{\text{ext}}} = \frac{-RI^2\Delta t}{T_{\text{ext}}}.$$

On a donc
$$S_c = -S_e = \frac{RI^2\Delta t}{T_{\text{ext}}}.$$

2 - Il y a deux sources d'irréversibilité ici : l'effet Joule, et le transfert thermique entre l'eau et le milieu extérieur qui se fait à $T_0 \neq T_{\text{ext}}$ (inhomogénéité).

3 - On a effectivement $T_{\text{ext}}S_c = RI^2\Delta t = W_{\text{élec}}$.

On peut parler d'énergie dégradée car ce travail électrique aurait être converti en travail mécanique. Mais tout dépend de ce que l'on veut faire : ici l'objectif est bien de chauffer l'eau.

Remarque : On peut raisonner différemment, en deux temps, sur des systèmes séparés :

- Système {gaz} : Il reçoit un transfert thermique $Q_1 = RI^2\Delta t$ depuis la résistance (dont la température est T_0) et Q_2 depuis l'extérieur (dont la température est T_{ext}). On a (1er ppe) : $Q_1 + Q_2 = \Delta U = 0$.

L'entropie échangée (reçue par le gaz) est donc $S_e = \frac{Q_1}{T_0} + \frac{Q_2}{T_{\text{ext}}} = Q_1 \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{ext}}} \right)$, soit donc :

$$S_{c,\text{gaz}} = -S_e = RI^2\Delta t \left(\frac{1}{T_{\text{ext}}} - \frac{1}{T_0} \right).$$

C'est positif car $T_{\text{ext}} < T_0$. Son origine est le transfert thermique vers l'extérieur avec inhomogénéité de température.

- Système {résistance} : Elle reçoit un travail électrique $W_{\text{élec}} = RI^2\Delta t$ et un transfert thermique (négatif) depuis le gaz Q , avec (1er ppe) $0 = \Delta U = W_{\text{élec}} + Q$, d'où $Q = -RI^2\Delta t$.

L'entropie échangée est $S_e = \frac{Q}{T_0}$ (son milieu extérieur est l'eau, à T_0), soit donc

$$S_{c,\text{résistance}} = -S_e = \frac{RI^2\Delta t}{T_0}.$$

L'origine de cette entropie créée est l'effet Joule.

La somme des deux entropies créées donne bien sûr ce qu'on avait trouvé en raisonnant sur le système global : $S_c = RI^2\Delta t \frac{1}{T_{\text{ext}}}$.

Il est toujours plus efficace de raisonner sur le grand système.