

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  $50\text{ °C}$ , donc  $H$  et  $S$  restent constants également. On a donc  $\Delta H = 0$  et  $\Delta S = 0$ .

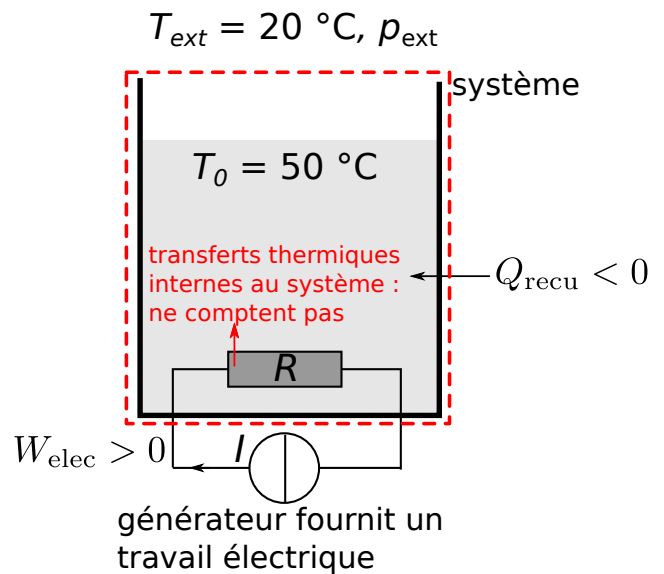
★ Premier principe version  $H$  :

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

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  $T_{\text{ext}}$ ). 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.