



BLAISE PASCAL
PT 2020-2021

Fiche de révisions R9

Machines thermiques

Ressources en ligne

Scanner ou cliquer sur les QR-code pour accéder aux ressources.

- **L'essentiel du cours sous forme de cartes mémo** : cartes réalisées par Christophe Cayssiols.



Cartes utilisables pour ce bloc de révisions : thème « thermodynamique 1^{re} année », rubrique « machines thermiques en système fermé ».

- **Qmax : QCM d'applications directes du cours**



Choisir d'abord le mode « j'apprends » puis éventuellement le mode « je révise ». Ces QCM correspondent au programme de PCSI, certaines notions peuvent donc vous être inconnues : me demander en cas de doute.

Thèmes abordés dans ce bloc de révisions : thème « thermodynamique », rubrique « machines thermiques ».

Rappels de cours

Théorème(s) de Carnot

Le(s) théorème(s) de Carnot permettent d'établir une borne pour le rendement/l'efficacité d'une machine thermodynamique ditherme. Leur démonstration est un grand classique à parfaitement maîtriser, et les résultats sont à connaître. Elle repose sur la formulation des principes de la thermodynamique appliqués à *la totalité* du fluide contenu dans la machine (et pas seulement celui contenu dans un seul composant). Pour une machine à piston, on applique les principes sur un cycle complet. Pour une machine à écoulement, on peut plus simplement supposer le régime permanent.

▷ Premier principe dans ces hypothèses :

$$\Delta U \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P}}}{=} W + Q_c + Q_f \underset{\substack{\uparrow \\ \text{cycle/RP}}}{=} 0.$$

▷ Second principe dans ces hypothèses :

$$\Delta S \underset{\substack{\uparrow \\ \text{2nd P}}}{=} S_{\text{éch,c}} + S_{\text{éch,f}} + S_{\text{créée}} = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_{\text{créée}} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{cycle/RP}}}{=} 0$$

que l'on reformule usuellement sous forme de l'inégalité de Clausius : comme $S_{\text{créée}} \geq 0$, alors

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0.$$

(résultat à connaître que vous pouvez utiliser sans démonstration).

La méthode consiste à utiliser le premier principe pour remplacer l'échange de chaleur gratuit dans l'inégalité de Clausius, puis manipuler l'inégalité pour isoler l'expression de l'efficacité ou du rendement. Pour retirer les fractions, il peut être utile de multiplier les expressions par $T_c T_f$ avant de se lancer dans les calculs ... et bien sûr on fait très attention aux signes des grandeurs par lesquelles on multiplie ou divise les inégalités.

• **Cas d'un moteur** : le but est de récupérer du travail ($W < 0$) en fournissant un transfert thermique ($Q_c > 0$) alors que la source froide est l'environnement donc $Q_f < 0$ est supposé gratuit. Ainsi, le rendement est défini par

$$\eta_{\text{moteur}} = \left| \frac{W}{Q_c} \right| = -\frac{W}{Q_c}.$$

Rendement de Carnot :

$$\begin{aligned} \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} &\leq 0 \\ \frac{Q_c}{T_c} + \frac{-Q_c - W}{T_f} &\leq 0 \\ T_f Q_c - T_c Q_c - T_c W &\leq 0 \\ -T_c W &\leq (T_c - T_f) Q_c \\ \eta = -\frac{W}{Q_c} &\leq 1 - \frac{T_f}{T_c}. \end{aligned}$$

• **Cas d'une machine réfrigérante** : le but est de prélever un transfert thermique à la source froide ($Q_f > 0$) en fournissant un travail ($W > 0$) alors que la source chaude est l'environnement donc $Q_c < 0$ est supposé gratuit. Ainsi, l'efficacité (ou COP) frigorifique est définie par

$$e_{\text{frigo}} = \left| \frac{Q_f}{W} \right| = \frac{Q_f}{W}$$

Rendement de Carnot :

$$\begin{aligned} \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} &\leq 0 \\ \frac{-Q_f - W}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} &\leq 0 \\ -T_f Q_f - T_f W + T_c Q_f &\leq 0 \\ (T_c - T_f) Q_f &\leq T_f W \\ e = \frac{Q_f}{W} &\leq \frac{T_f}{T_c - T_f}. \end{aligned}$$

• **Cas d'une pompe à chaleur** : le but est de fournir un transfert thermique à la source chaude ($Q_c < 0$) en fournissant un travail ($W > 0$) alors que la source froide est l'environnement donc $Q_f > 0$ est supposé gratuit. Ainsi, l'efficacité (ou COP) est définie par

$$e_{\text{PAC}} = \left| \frac{Q_c}{W} \right| = -\frac{Q_c}{W}$$

Rendement de Carnot :

$$\begin{aligned} \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} &\leq 0 \\ \frac{Q_c}{T_c} + \frac{-Q_c - W}{T_f} &\leq 0 \\ T_f Q_c - T_c Q_c - T_c W &\leq 0 \\ -(T_c - T_f) Q_c &\leq T_c W \\ e = -\frac{Q_c}{W} &\leq \frac{T_c}{T_c - T_f}. \end{aligned}$$

Remarque : dans les deux derniers cas, on pourra retenir le résultat sous la forme

$$e = \frac{\text{température de la source intéressante}}{\text{différence de température entre les sources}}.$$

Questions de cours

R9.1 - Pour une famille de machines dithermes au choix du colleur (moteur, machine réfrigérante, pompe à chaleur) :

- ▷ Donner en l'expliquant le signe de chacun des échanges énergétiques ;
- ▷ Donner en l'expliquant la définition du rendement/efficacité en fonction des énergies échangées ;
- ▷ Montrer que ce rendement/efficacité est toujours borné, et établir l'expression de la borne de Carnot.