

Machines thermiques

Niveau : 1^{er} année BCPST

Pré requis : 1^{er} et 2nd principe de la thermodynamique

Introduction

→ ~~Pas~~ Assez large BCPST
pour les moteurs faire en TD.

Intro-bis.

~~Si on a~~ Quand l'hiver vient : chauffage.

En été : une limonade bien fraîche : frigo

Machines thermiques au quotidien : ms comment elles font ?

I / Machines thermiques réelles.

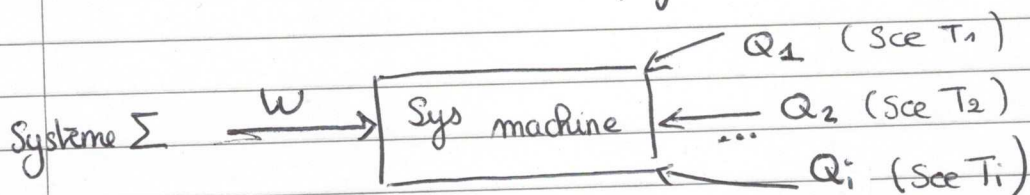
1) Définitions et bilan

Machine thermique : tout dispositif dans lequel un sys fluide qualifié "d'agent thermique" subit une transformation cyclique, ce qui permet une conversion continue d'énergie.

Le fluide permet les échanges énergétiques entre les divers organes de la machine et le milieu ext

Moteur thermique : une machine thermique qui fournit globalement du $\bar{w}$ au milieu ext au cours d'un cycle.
($w < 0$) machine à vapeur, moteur

Récepteur thermique : une machine thermique qui reçoit globalement du $\bar{w}$ du milieu ext au cours du cycle ($w > 0$)
PAC, frigo



2

Total

Le rendement (ou efficacité pr les machines récepteurs)

$$R(\text{ou } e) = \frac{\text{grandeur utile}}{\text{grandeur fournie}}$$

Bilan énergétique :

le premier principe nous dit que pour un cycle.

$$\Delta U = 0$$

donc $W + \sum_i Q_i = 0$

Bilan entropique: $\Delta S = 0$

$$S_e + S_c = 0$$

S_e entropie d'échange ac les res de chaufers. $S_e = \sum_i \frac{Q_i}{T_i}$
 S_c entropie de creat^o interne par irreversibilite ($S_c \geq 0$)
 ac $S_e \leq 0$

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad \text{inégalité de Clausius.}$$

2) Machines monothermes

1 seule res. de chaleur de $T^\circ T_0$, en contact thermique
ac le sys (Σ),

$$\frac{Q_0}{T_0} \leq 0 \quad (\text{relation de Clausius}).$$

$$\Rightarrow Q_0 \leq 0 \text{ et } W \geq 0 \quad (W = -Q_0)$$

Conclusion: cycle monotherme moteur $W < 0$ est impossible
 " " reversible est carac par $W = Q_0 = 0$

dc le moteur moteur est impossible.
ms récepteur monothermes existe: radiateur! (electrig)
transfert thermique ($Q < 0$) tout en recevant un travail
d'origine électrique ($W > 0$)

3) Machines dithermes.

cycle ditherme: machine effectue des transferts thermiques ac
une scs chaude et une froide $T_2 < T_1$.

Avec ce qu'on a vu précédemment:

$$W + Q_1 + Q_2 = 0 \quad \text{et} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

→ Diagramme de Raveau. on fixe T_1 et T_2 .

$$\hookrightarrow Q_1 = f(Q_2).$$

chaque machine sous la droite $Q_1 = \frac{-T_1}{T_2} Q_2$

moteur au dessus de la droite $Q_1 = -Q_2$
récepteur au dessous de " " "

Pr un moteur = $Q_1 > 0$ (énergie thermique reçue de la scs chaude)
 $Q_2 < 0$ (" " en partie restituée à la scs
froide la $\neq W$)

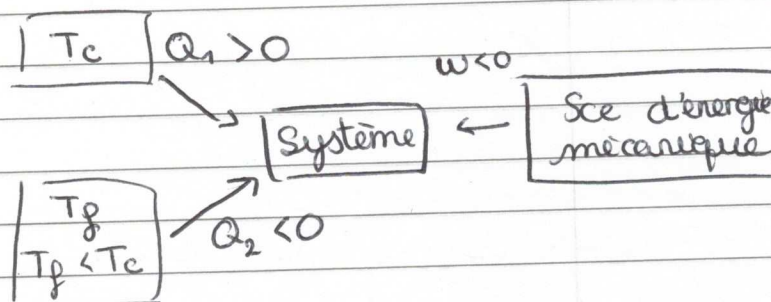
Pr un récepteur $Q_2 < 0$ sans intérêt.

II) Moteur de Carnot.

a) Principe de Carnot

Pr qu'un sys décise
un cycle moteur,
il doit nécessairement
échanger de l'énergie
thermique ac au $\ominus$
2 scs à des températures

$\neq$ en prélevant de l'énergie thermique à la scs chaude, et en
restituant une partie à la scs froide.



b) Rendement

$$\eta = \frac{-W}{Q_1}$$

Le 1^{er} principe : $-W = Q_1 + Q_2$

$$\eta = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad \text{donc} \quad \frac{Q_2}{Q_1} \leq -\frac{T_2}{T_1} \quad (\text{car } Q_1 > 0)$$

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Si réversible $\eta_{\text{rev}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Si irréversible $\eta_{\text{irrev}} < \eta_{\text{rev}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

c) Modélisation du cycle de Carnot

2 isothermes T_1 et T_2 .

2 adiabatiques réversibles (deux isentropiques)

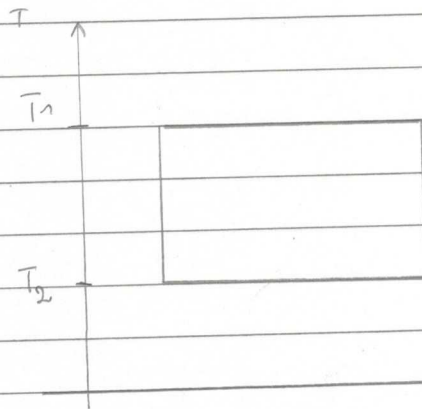
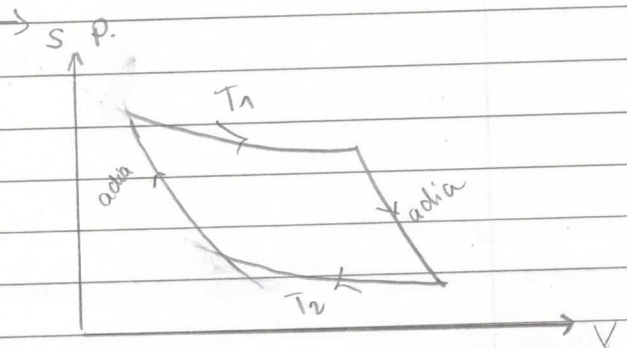


Diagramme de Clapeyron

isotherme $PV = \text{cte}$
adiabatique rev $PV^\gamma = \text{cte}$



III 7 Machines thermiques réelles

a) Machine frigorifique

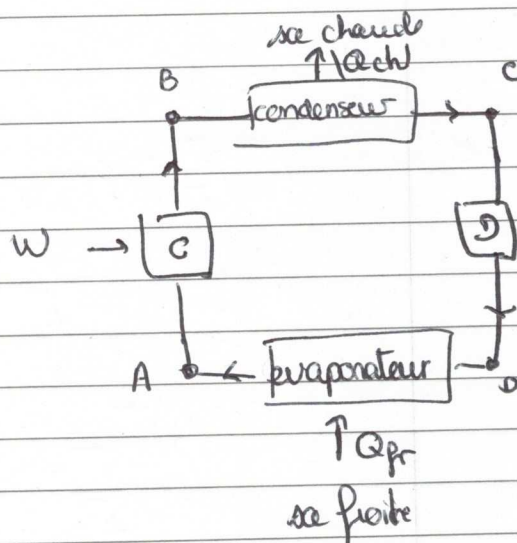
a) Principe de fonctionnement

Schéma Figure 26.8 p 476

Compresseur C

- reçoit du travail
- pas d'échange thermique (T fluide aug.)

Condenseur : cède de la chaleur à la sse chaude



Détendeur D ne reçoit pas w ni chaleur $T \downarrow$

Évaporateur : reçoit de la chaleur.

b) 1^{er} principe pr un fluide en écoulement

fluide en écoulement lent

h : enthalpie massique

u : énergie massique

v : volumiq massique

P : pression

w : travail massiq

q : transfert ~~me~~ thermiq massiq

e : entrée

s : sortie

Σ fermé : contient une masse m de fluide

Écoulement permanent : l'état du fluide en un pt donné de la canalisation est le même à chaque instant. Ainsi ds Σ à l'état final, le fluide qui est à l'int de l'élément achf a exactement les m prop que celui qui se trouve au m

endroit ds Σ à l'état initial.

→ fig 26.9 p 980.

Variat° d'énergie interne de Σ entre état ini & final
du à une masse m de fluide:

$$\Delta U = mu_s - mu_e$$

• fluide s'écoule lentement de variat° E_c négligeable devant ΔU
 $\Delta E_c \approx 0$.

Travail des forces de pression: $W = P_e(mu_e) - P_s(mu_s)$

Travail utile $W_u = mw_u$

Transfert thermique $Q = mq$

dc $\Delta U + \Delta E_c = W_{\text{pression}} + W_u + P$

$$mu_s - mu_e = P_e(mu_e) - P_s(mu_s) + mw_u + mq$$

$$\text{dc } u_s - u_e = P_e v_e - P_s v_s + w_u + q$$

$$\underbrace{(u_s + P_s v_s)} - \underbrace{(u_e - P_e v_e)} = w_u + q$$

$$h_s - h_e = w_u + q$$

$$\boxed{\Delta h = w_u + q}$$

On peut l'appliquer aux 4 éléments de la machine,

• Compresseur: $\Delta h_{AB} = h_B - h_A = w_{\text{comp}}$

• Condenseur: $\Delta h_{BC} = q_{\text{ch}}$

• détenteur: $\Delta h_{CD} = 0$

• Evaporateur: $\Delta h_{DA} = q_R$

efficacité : $e_{\text{frigo}} = \frac{q_F}{w_{\text{comp}}} = \frac{h_A - h_D}{h_D - h_A}$

c) diagramme de frigoris.

ordonnée : Pression (log p) avoir $\oplus$ sur le diagramme)
abscisse : enthalpie
(P, h).

zone équilibre liq-g. vapeur.

C. pt critique

on peut avoir $\neq$ info. 26.10.

$\hookrightarrow$ isobare isenthalpique

isobare : $h_{\text{liq}} = h_{\text{vapeur}} = \text{cte.}$

$\rightarrow$ 26.11

$\rightarrow$ 26.12.

Cas d'un frigo. $T_{\text{ch}} = 298\text{K}$ $T_f = 263\text{K}$.

$\rightarrow$ 26.13: $e_{\text{frigo}} = \frac{1452 - 313}{1680 - 1452} = 5,00 \pm 0,09$

$$e_{\text{frigo rev}} = \frac{T_f}{T_{\text{ch}} - T_f} = 7,51.$$

$$e_{\text{frigo}} < e_{\text{frigo rev.}}$$