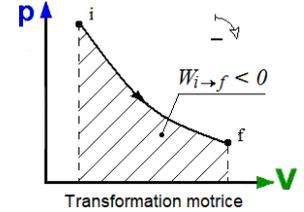
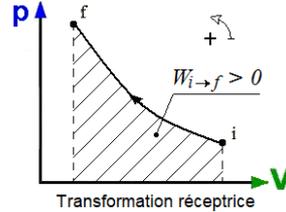
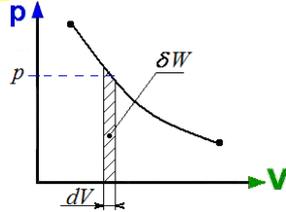


FORMULAIRE GENERAL DE THERMODYNAMIQUE

TRAVAIL DES FORCES EXTERIEURES DE PRESSION

$$\delta W = -p \cdot dV \Rightarrow$$

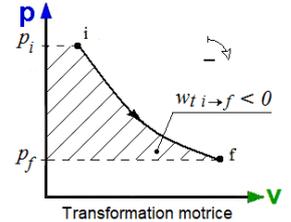
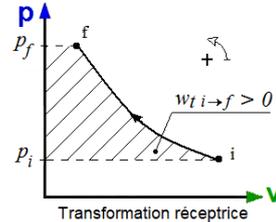
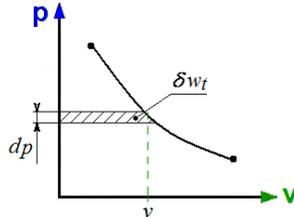
$$W_{i \rightarrow f} = \int_i^f -p \cdot dV \quad \left| \begin{array}{l} W_{i \rightarrow f} \text{ en J} \\ p \text{ en Pa} \\ V \text{ en m}^3 \end{array} \right.$$



TRAVAIL TECHNIQUE MASSIQUE (AVEC TRANSVASEMENT)

$$\delta w_t = v \cdot dp \Rightarrow$$

$$w_{t i \rightarrow f} = \int_i^f v \cdot dp \quad \left| \begin{array}{l} w_{t i \rightarrow f} \text{ en J/kg} \\ p \text{ en Pa} \\ v \text{ en m}^3/\text{kg} \end{array} \right.$$

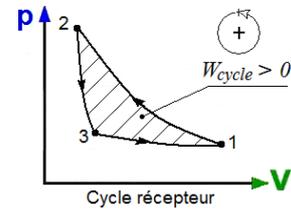
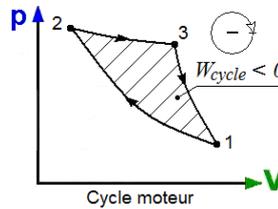


TRAVAIL MECANIQUE DE TRANSVASEMENT

$$W_{Trans E \rightarrow S} = p_E \cdot V_E - p_S \cdot V_S \quad \left| \begin{array}{l} W_{Trans E \rightarrow S} : \text{travail mécanique de transvasement en J} \\ V_E \text{ et } V_S : \text{volumes du fluide en entrée et sortie de la machine en m}^3 \\ p_E \text{ et } p_S : \text{pressions du fluide en entrée et sortie de la machine en Pa} \end{array} \right.$$

TRAVAIL D'UN CYCLE

$$W_{cycle} = \Sigma W_{transformations}$$



PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

Le premier principe de la thermodynamique correspond à un bilan global dans lequel l'énergie peut se manifester ou se transformer sous une forme ou une autre.

ENERGIE INTERNE

$$\Delta U = U_f - U_i = (W + Q)_{i \rightarrow f} \quad \left| \begin{array}{l} \Delta U : \text{variation d'énergie interne en J} \\ W_{i \rightarrow f} : \text{travail échangé en J} \\ Q_{i \rightarrow f} : \text{chaleur échangée en J} \end{array} \right.$$

PRINCIPE D'EQUIVALENCE

$$(W + Q)_{cycle} = 0 \quad \left| \begin{array}{l} W_{cycle} : \text{travail échangé au cours d'un cycle en J} \\ Q_{cycle} : \text{chaleur échangé au cours d'un cycle en J} \end{array} \right.$$

ENTHALPIE MASSIQUE

$$\Delta h = h_f - h_i = (w_t + q)_{i \rightarrow f} \quad \left| \begin{array}{l} \Delta h : \text{variation d'enthalpie massique en J/kg} \\ w_{t i \rightarrow f} : \text{travail technique massique échangé en J/kg} \\ q_{i \rightarrow f} : \text{chaleur massique échangée en J/kg} \end{array} \right.$$

PREMIERE LOI DE JOULE

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot (T_f - T_i) \quad \left| \begin{array}{l} \Delta U : \text{variation d'énergie interne en J} \\ m : \text{masse de la quantité de gaz en kg} \\ c_v : \text{capacité thermique massique du gaz à volume constant en J/kg} \cdot K \\ T : \text{température du gaz en Kelvin} \end{array} \right.$$

DEUXIEME LOI DE JOULE

$$\Delta h = c_p \cdot (T_f - T_i) \quad \left| \begin{array}{l} \Delta h : \text{variation d'enthalpie massique en J/kg} \\ c_p : \text{capacité thermique massique du gaz à pression constante en J/kg} \cdot K \\ T : \text{température du gaz en Kelvin} \end{array} \right.$$

EQUATION CARACTERISTIQUE DES GAZ PARFAITS

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T \quad (\text{en J})$$

$$p \cdot v = r \cdot T \quad (\text{en J/kg})$$

p : pression de la masse gazeuse en Pa
 V : volume occupé par la masse gazeuse en m^3
 m : masse de la quantité de gaz en kg
 r : constante du gaz considéré en $\text{J/kg} \cdot \text{K}$
 T : température de la masse gazeuse en K
 v : volume massique en m^3/kg

RELATION DE MAYER

$$c_p - c_v = r$$

c_p : capacité thermique massique à pression constante en $\text{J/kg} \cdot \text{K}$
 c_v : capacité thermique massique à volume constant en $\text{J/kg} \cdot \text{K}$
 r : constante du gaz parfait considéré en $\text{J/kg} \cdot \text{K}$

COEFFICIENT DE CAPACITE THERMIQUE (COEFFICIENT ADIABATIQUE γ) $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$

CAPACITES THERMIQUES MASSIQUES

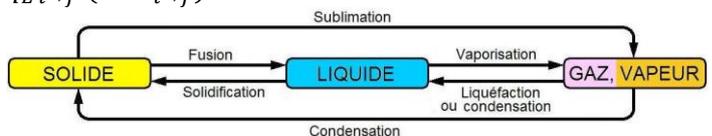
$$c_v = \frac{r}{\gamma - 1} \quad c_p = \frac{r \cdot \gamma}{\gamma - 1}$$

CHANGEMENT D'ETAT D'UN CORPS PUR, CHALEUR LATENTE

Le changement d'état d'un corps pur est provoqué par une transformation à pression et température constante, produite par un échange de chaleur appelée chaleur latente $q_{L\ i \rightarrow f}$ (ou $L_{i \rightarrow f}$)

$$\Delta q_L = \Delta L = \Delta h$$

Δq_L (ou ΔL) :: variation de chaleur latente en J/kg
 Δh : variation d'enthalpie massique en J/kg



TITRE DE MELANGE LIQUIDE/VAPEUR

$$x = \frac{m_v}{m_t}$$

x : titre massique de mélange liquide/vapeur
 m_v : masse de vapeur
 m_t : masse totale (liquide + vapeur)

SECOND PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

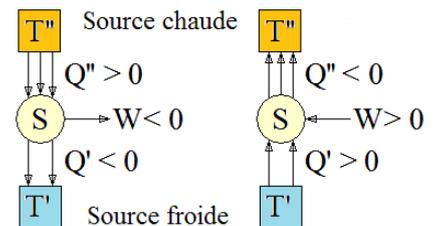
Le second principe de la thermodynamique complète le premier principe en nous renseignant sur le sens dans lequel se passe l'évolution.

CYCLE DITHERMES

Cycle au cours duquel un système thermodynamique est en contact avec une source chaude de température T'' et une source froide de température $T' < T''$.

ENONCE DU SECOND PRINCIPE

Il est impossible de transférer de la chaleur d'une source froide vers une source chaude par une évolution cyclique, sans apport de travail de l'extérieur.



ENTROPIE

$$\delta Q = T \cdot dS \quad \Leftrightarrow \quad Q_{i \rightarrow f} = \int_i^f T \cdot dS \quad \Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{\delta Q}{T}$$

$Q_{i \rightarrow f}$: quantité de chaleur en J
 T : température en K
 S : entropie en J/K

* Cas particulier d'une transformation adiabatique réversible (appelée isentropique) : $\Delta S = 0$

* Cas particulier d'une transformation adiabatique irréversible : $\Delta S > 0$

RENDEMENT OU EFFICACITE D'UN CYCLE (MOTEUR, RECEPTEUR)

$$\eta_{th} = \frac{-W}{Q''}$$

η_{th} : rendement thermique d'un cycle moteur (< 1)
 W : travail fourni par le fluide
 Q'' : chaleur qui coûte à la source chaude

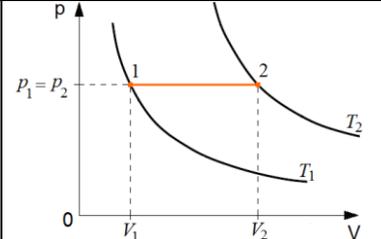
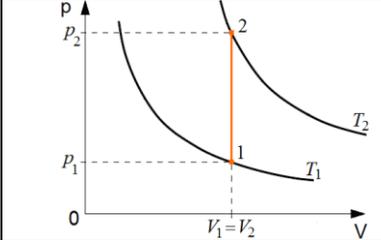
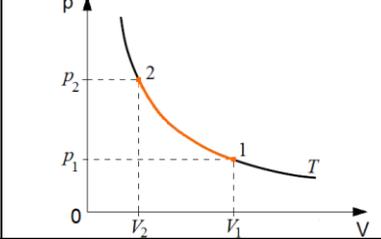
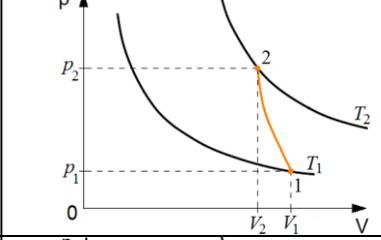
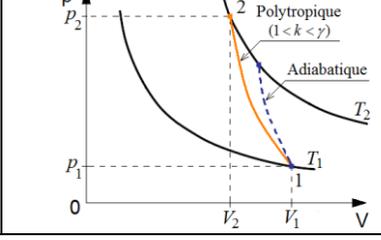
$$\varepsilon_f = \frac{Q'}{W}$$

ε_f (ou COP_f) : efficacité frigorifique (> 1) ou coefficient de performance frigorifique
 Q' : chaleur retirée à la source froide
 W : travail qui coûte

$$\varepsilon_c = \frac{-Q''}{W}$$

ε_c (ou COP_c) : efficacité calorifique (> 1) ou coefficient de performance calorifique
 Q'' : chaleur retirée à la source chaude
 W : travail qui coûte

EVOLUTION DES GAZ PARFAITS, DIAGRAMMES

		Loi d'état	W _{i→f} en J	Q _{i→f} en J	w _{t i→f} en J/kg
ISOBARE (p = Cte)		$\frac{V}{T} = Cte$	$-p \cdot (V_f - V_i)$ $-m \cdot r \cdot (T_f - T_i)$	$m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i)$	0
ISOCHORE (V = Cte)		$\frac{p}{T} = Cte$	0	$m \cdot c_v \cdot (T_f - T_i)$	$r \cdot (T_f - T_i)$
ISOTHERME (T = Cte)		$p \cdot V = Cte$	$m \cdot r \cdot T \cdot \ln \frac{p_f}{p_i}$ $m \cdot r \cdot T \cdot \ln \frac{V_i}{V_f}$	$-W_{i \rightarrow f}$	$r \cdot T \cdot \ln \frac{p_f}{p_i}$ $r \cdot T \cdot \ln \frac{V_i}{V_f}$
ADIABATIQUE (Q _{i→f} = 0)		$p \cdot V^\gamma = Cte$ $T \cdot V^{\gamma-1} = Cte$ $T \cdot p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = Cte$	$m \cdot c_v \cdot (T_f - T_i)$ $\frac{1}{\gamma - 1} \cdot (p_f \cdot V_f - p_i \cdot V_i)$	0	$c_p \cdot (T_f - T_i)$ $\frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot (p_f \cdot v_f - p_i \cdot v_i)$
POLYTROPIQUE		$p \cdot V^k = Cte$ $T \cdot V^{k-1} = Cte$ $T \cdot p^{\frac{1-k}{k}} = Cte$	$\frac{1}{k-1} \cdot (p_f \cdot V_f - p_i \cdot V_i)$ $\frac{m \cdot r}{k-1} \cdot (T_f - T_i)$	$m \cdot \left(c_v - \frac{r}{k-1} \right) \cdot (T_f - T_i)$ $m \cdot r \cdot \left(\frac{1}{\gamma-1} - \frac{1}{k-1} \right) \cdot (T_f - T_i)$	$\frac{k \cdot r}{k-1} \cdot (T_f - T_i)$