

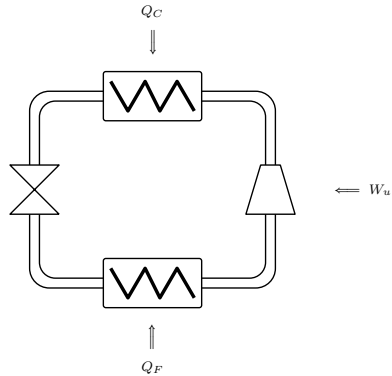
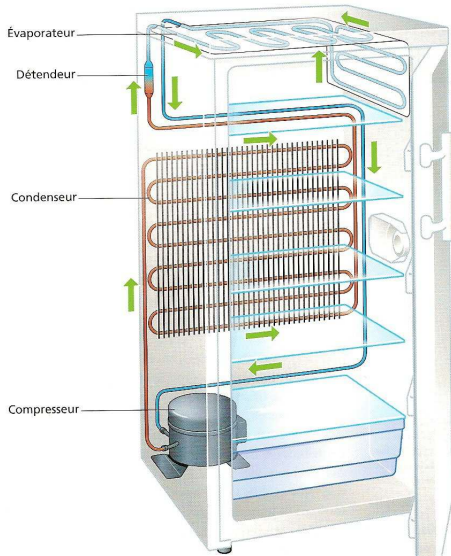
Thermodynamique

Systèmes ouverts en régime stationnaire

E. Ouvrard - PC Dupuy de Lôme - Lorient

PC CPGE Lycée Dupuy de Lôme - LORIENT

13 septembre 2025



Système ouvert

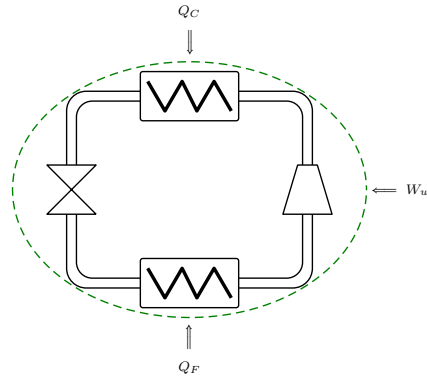
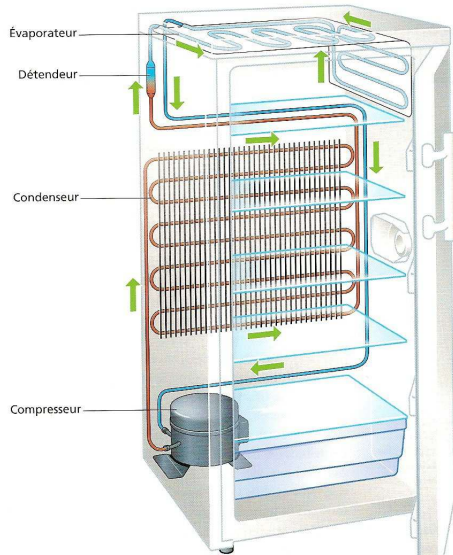
Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiques

Modules d'une
machine frigorifique

Diagrammes



Système ouvert

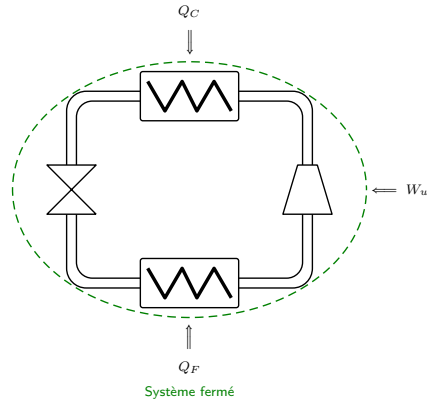
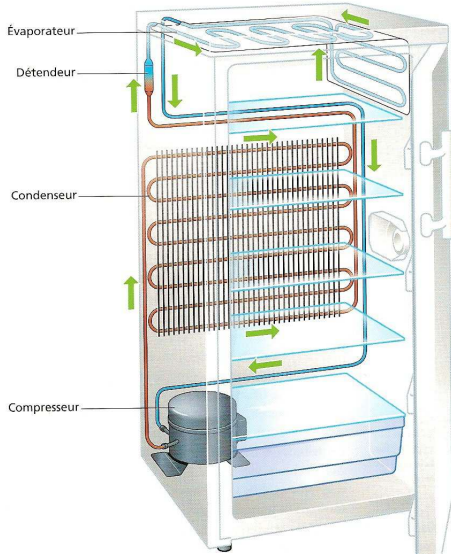
Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiques

Modules d'une
machine frigorifique

Diagrammes



Système ouvert

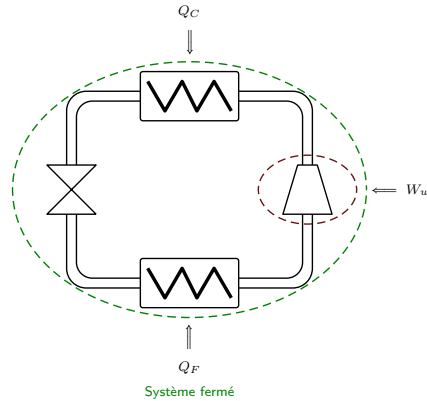
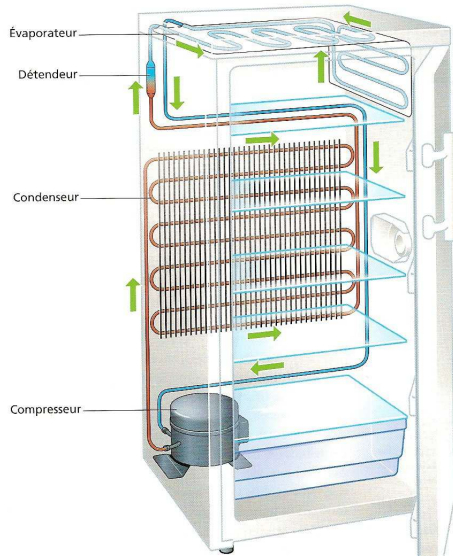
Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiques

Modules d'une
machine frigorifique

Diagrammes



Système ouvert

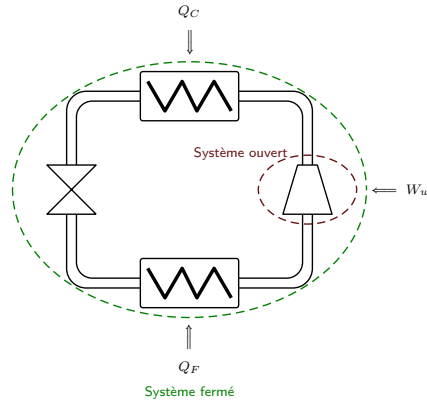
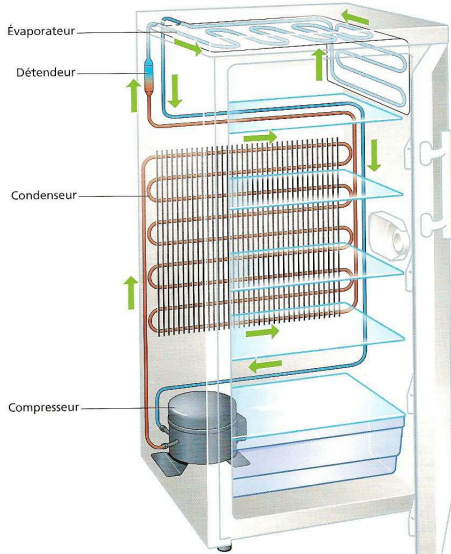
Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiques

Modules d'une
machine frigorifique

Diagrammes



Système ouvert

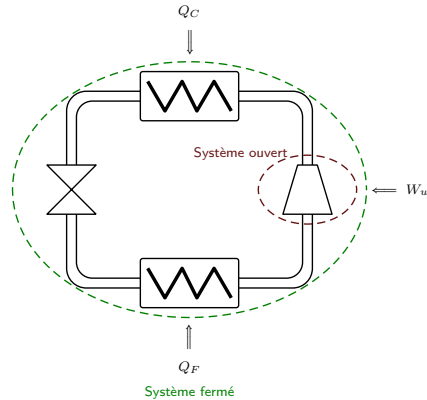
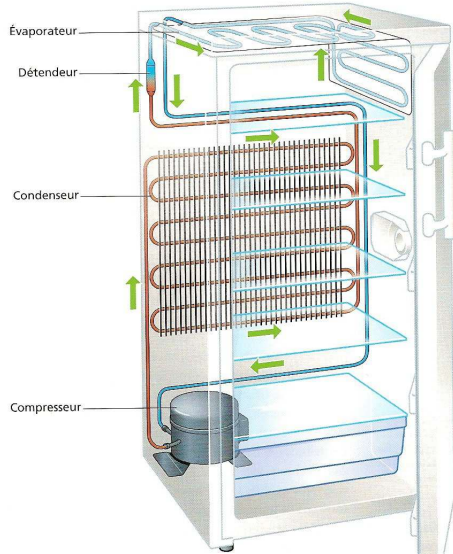
Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiques

Modules d'une
machine frigorifique

Diagrammes



- Système fermé : $W_u + Q_C + Q_F = 0$
- Système ouvert : ?

Système ouvert

Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiquesModules d'une
machine frigorifique

Diagrammes

Système ouvert

Exemple : réfrigérateur

Débit massique

Bilans
thermodynamiquesModules d'une
machine frigorifique

Diagrammes

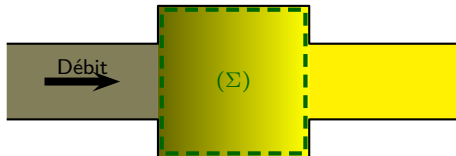
débit massique

Le débit massique indique la masse de fluide traversant une section S d'une conduite par unité de temps

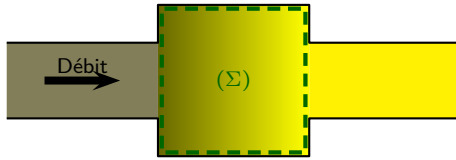
$$D_m = \frac{\delta m}{dt} \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$$

Pour un réfrigérateur domestique, le débit massique du fluide caloporteur est de quelques grammes par seconde.

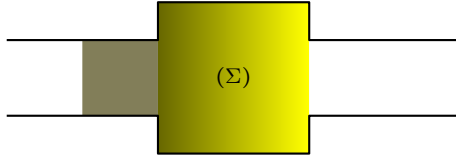
Système ouvert



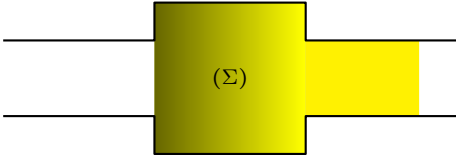
Système ouvert



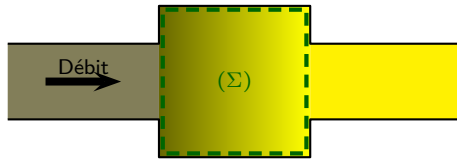
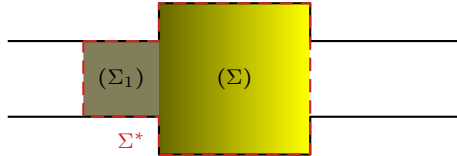
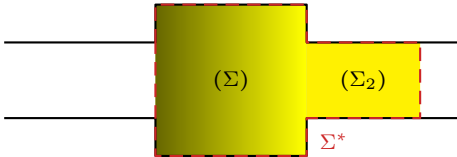
A l'instant t



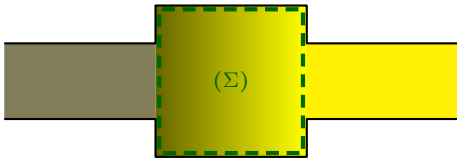
A l'instant $t + dt$



Système ouvert

A l'instant t A l'instant $t + dt$ 

On choisira un système fermé Σ^* afin d'appliquer les principes généraux de la thermodynamique

Dm_1, h_1, u_1, p_1, v_1

 Dm_2, h_2, u_2, p_2, v_2

Régime stationnaire

En régime stationnaire, les paramètres caractérisant un volume donné n'évoluent pas avec le temps

Régime stationnaire - Conservation du débit massique

En régime stationnaire, le débit massique le même en tout point de l'écoulement

$$D_m = C^{te}$$

- Pour une durée dt , écrire les masses δm_1 et δm_2 traversant les sections d'entrée S_1 et de sortie S_2 du système ouvert
- En déduire l'évolution de la masse $dm = m(t + dt) - m(t)$ en fonction de D_{m1} et D_{m2} .
- En déduire qu'en régime stationnaire $D_M = C^{te}$

premier principe des systèmes ouverts

Pour un écoulement stationnaire, en notant Δh la variation d'enthalpie massique entre l'entrée et la sortie,

$$\Delta(h + e_c + e_p) = w_u + q$$

On effectue un bilan sur la durée dt pour le système fermé Σ^* .

- Montrer que pour Σ^* : $U^*(t + dt) - U^*(t) = D_m \cdot dt \cdot (u_2 - u_1)$
- En déduire les expressions de $E_p^*(t + dt) - E_p^*(t)$ et $E_c^*(t + dt) - E_c^*(t)$
- Exprimer le travail élémentaire des forces δW_1 de pressions dues au déplacement de la paroi virtuelle en entrée du système, en fonction de δm_1 , v_1 et p_1 , puis de D_m , dt , v_1 et p_1 .
- Exprimer le travail élémentaire des forces δW_2 de pressions dues au déplacement de la paroi virtuelle en sortie
- Appliquer le premier principe.
- Rappeler la définition de l'enthalpie et retrouver le premier principe pour les systèmes ouverts.

Système ouvert

Bilans
thermodynamiques

Choix du système

Régime stationnaire

Bilan énergétique

Bilan entropique

Modules d'une
machine frigorifique

Diagrammes

Le module étudié est en contact avec une source de température à la température T_{ext}

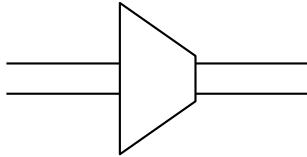
Bilan entropique

Pour un écoulement stationnaire, en notant $s_2 - s_1$ la variation d'entropie massique entre l'entrée et la sortie,

$$s_2 - s_1 = s^e + s^c \text{ avec } s^e = \frac{q}{T_{ext}}$$

On effectue un bilan sur la durée dt pour le système fermé Σ^* .

- Montrer que pour Σ^* : $S^*(t + dt) - S^*(t) = D_m \cdot dt \cdot (s_2 - s_1)$
- Exprimer l'entropie élémentaire échangée, δs^e en fonction de δm , q et T_{ext}
- Appliquer le second principe au système étudié.



Compresseur

Le fluide est comprimé par apport d'énergie mécanique par un dispositif externe.

- Un dispositif mécanique fournit de l'énergie utile au fluide : $w_u \neq 0$
- Le compresseur est en général isolé thermiquement : $q = 0$
- La transformation est considérée comme réversible pour un compresseur idéal : $\Delta s = 0$

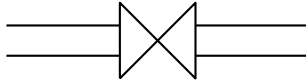
Vidéo: Principe du compresseur roots



Échangeur

Le fluide échange de l'énergie sous forme thermique avec une source extérieure

- La transformation sera considérée comme isobare pour un échangeur idéal $p = C^{te}$
- Aucun échange mécanique n'existe avec l'extérieur : $w_u = 0$



Détendeur

Le fluide est détendu sans échange mécanique avec l'extérieur.

- Aucun échange mécanique avec l'extérieur : $w_u = 0$
- Le détendeur est en général isolé thermiquement : $q = 0$

La détente sera alors isenthalpe. On parle dans ce cas de détente de *Joule-Thomson*

Système ouvert

Bilans
thermodynamiquesModules d'une
machine frigorifique

Diagrammes

Diagramme enthalpique

Diagramme entropique

