



Université de Carthage



Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de
Borj Cedria

THERMODYNAMIQUE POUR L'INGENIEUR

Dr. Sana KORDOGHLI

Dr. Dorra LOUNISSI

Année Universitaire 2022-2023

A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of a network of light blue lines and small circles, resembling a circuit board or a stylized tree structure.

CHAPITRE 5

PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE APPLIQUÉ AUX SYSTÈMES OUVERTS

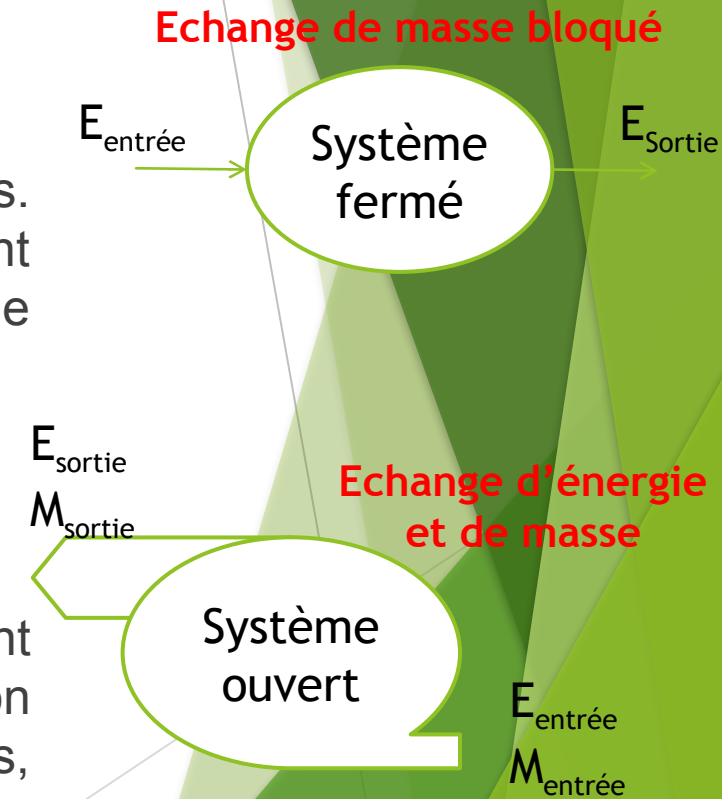
Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

Introduction

Jusqu'à maintenant nous n'avons travaillé qu'avec des systèmes fermés. Or dans la vie courante ce sont surtout des systèmes ouverts à écoulement comme la détente de la vapeur d'eau dans la turbine d'une centrale thermique ou nucléaire que l'on rencontre.

I. Rappel

- Un système ouvert est un système dans lequel interviennent simultanément des transferts de masse et d'énergie. En général, son volume peut changer, et il peut posséder plusieurs entrées et sorties, chacune avec un débit et une pression différents.



Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

II. Régime Permanent

- ▶ Un système ouvert en régime permanent échange de façon continue de la matière avec l'extérieur mais ses variables d'état restent constantes dans le temps, ce qui implique que sa masse reste constante au cours de son évolution entre l'instant t et l'instant $t+dt$. Par conséquent les débits massiques d'entrée et de sortie doivent être égaux.

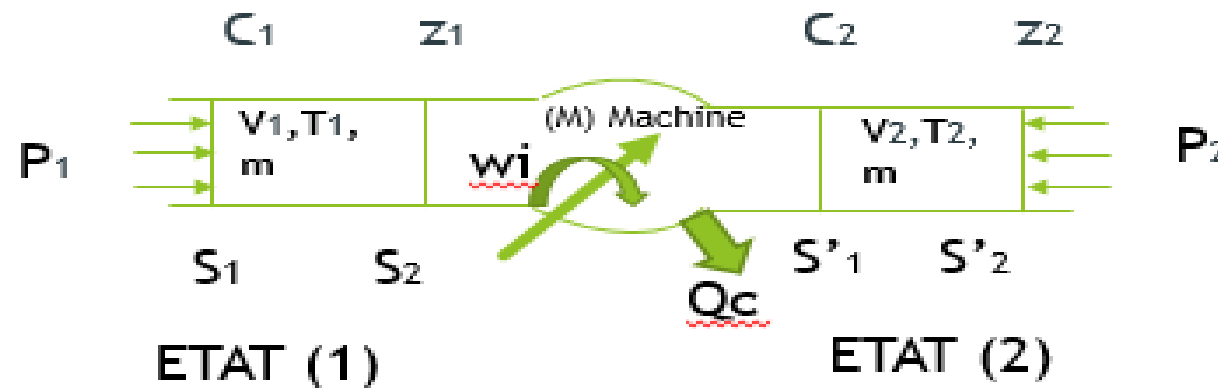
$$\dot{m}_{\text{entrée}} = \dot{m}_{\text{sortie}}$$

- ▶ En d'autres termes, dans un écoulement permanent (stationnaire) il n'y a pas de variation de la masse de fluide au cours du temps dans le volume de contrôle.

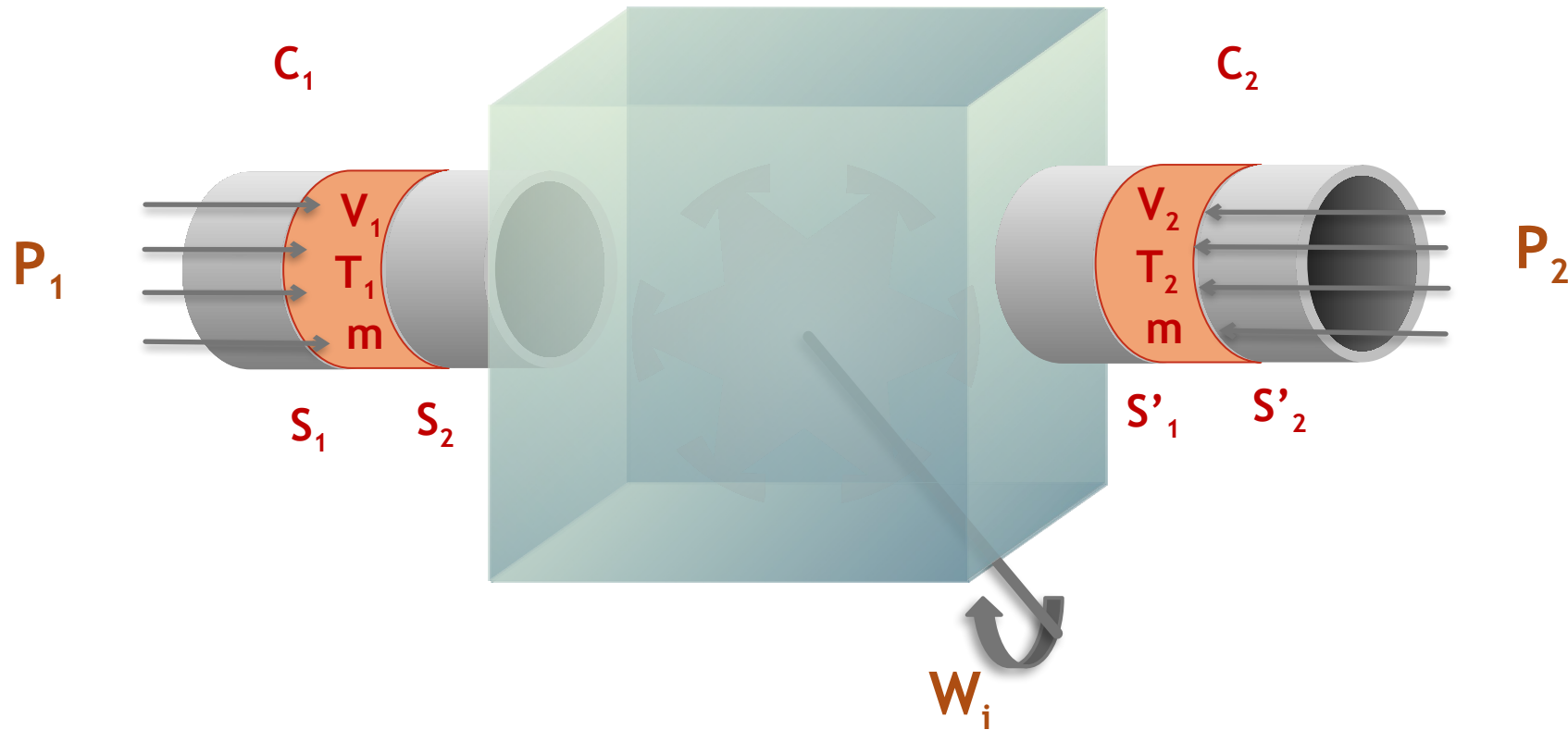
Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

III. Bilan d'énergie - Ecoulement dans une machine

- Soit le système ouvert (M) une machine qui fait passer, en écoulement permanent, une masse de fluide



- Considérons le système constitué de la masse m de fluide entre les sections $(S_1-S'_1)$ à l'état initial et à l'état final entre $(S_2-S'_2)$ en Δt .



- W_i est le travail utile fourni par la rotation des pales ou les parties mobiles de la machine (Turbine, pompes, compresseur....)


- Travail des forces de la pression P_1 : $W_1 = - \int P_1 . dV = P_1 . V_1$
- Travail des forces de la pression P_2 : $W_2 = - \int P_2 . dV = -P_2 . V_2$

- Q est la quantité de chaleur échangée lors de cette transformation

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

- On applique le premier principe au système Ouvert (M) :

$$Q_e + W_i + P_1 V_1 - P_2 V_2 = (U_2 - U_1) + m \left(\frac{C_2^2}{2} - \frac{C_1^2}{2} \right) + mg (z_2 - z_1)$$


$$(U_2 + P_2 V_2) - (U_1 + P_1 V_1) + m \left(\frac{C_2^2}{2} - \frac{C_1^2}{2} \right) + mg (z_2 - z_1) = Q_e + W_i$$



$$Q_e + W_i = (H_2 - H_1) + m \left(\frac{C_2^2}{2} - \frac{C_1^2}{2} \right) + mg (z_2 - z_1)$$

- Donc tous les paramètres sont relatifs à la masse m qui a traversé la machine car l'état du fluide entre S_2 et S_1 ne subit aucune modification.

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

- En écriture massique [J/kg], le bilan précédent s'écrit :

$$q_e + w_i = (h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2) + g(z_2 - z_1)$$

- Dans le cas où $Z_1 = Z_2$ et les vitesses C_1 et C_2 sont faibles ou égales, le premier principe appliqué à un système ouvert traduit que le travail et la chaleur échangés pendant le processus n'est autre que la variation de l'enthalpie du système.

$$q_e + w_i = (h_2 - h_1)$$

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

IV . Travail de transvasement

- A la circulation du fluide, par le biais d'une pompe ou d'un compresseur, correspond un travail de transvasement. C'est le travail fourni par une machine qui fait passer, par des transformations réversibles, une masse m d'un état 1 $\{P_1, V_1, T_1\}$ vers l'état 2 $\{P_2, V_2, T_2\}$ sans variation d'énergie cinétique et potentielle. D'où le travail des forces extérieures appliquées au système : $W_t + P_1 V_1 - P_2 V_2$

- or, on sait que :

$$-\int_1^2 P dV = W_t + P_1 V_1 - P_2 V_2 \Leftrightarrow P_1 V_1 - P_2 V_2 = -W_t - \int_1^2 P dV$$

$$\text{Or } d(PV) = PdV + VdP, \text{ d'où } P_2 V_2 - P_1 V_1 = \int_1^2 dPV = \int_1^2 P dV + \int_1^2 V dP$$

$$\text{Donc } W_t + \int_1^2 P dV = \int_1^2 P dV + \int_1^2 V dP$$

$$\text{Donc } W_t = \int_1^2 V dP$$

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

V. Applications

1) Tuyère et Diffuseur Régime subsonique



Ces deux systèmes sont utilisés pour augmenter, soit la vitesse (tuyère), soit la pression (diffuseur). Ces systèmes ne possèdent pas d'arbre moteur, donc ne produisent aucun travail systématique. Le travail qu'il faut développer sur l'arbre d'un récepteur, telle qu'une pompe ou un compresseur, par exemple, est compté positivement car il est gagné par le système) et n'en exigent pas pour fonctionner.

Régime supersonique



Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

V. Applications

1) *Tuyère et Diffuseur*

En effet, l'équation de conservation de l'énergie adimensionnelle s'écrit:

$$\frac{dA}{A} = - \frac{dC}{C} (1 - M^2) = - \frac{dP}{\rho C^2} (1 - M^2)$$

Section d'écoulement

vitesse de l'écoulement

Nombre de Mach = $\frac{C}{a}$

M représente le quotient entre la vitesse d'écoulement et celle du son dans l'air .

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

- ▶ Ainsi, trois régimes d'écoulement sont identifiés :

- ▶ Régime subsonique : $M < 1$

- ▶ Régime sonique : $M = 1$

- ▶ Régime supersonique $M > 1$

$$\frac{dA}{A} = - \frac{dC}{C} (1 - M^2) = - \frac{dP}{\rho C^2} (1 - M^2)$$

- ▶ L'augmentation de la vitesse d'un écoulement dépend du signe du terme $1 - M^2$:

- ▶ En régime subsonique $1 - M^2 > 0$ donc pour augmenter la vitesse C on doit diminuer la section A

- ▶ En régime supersonique $1 - M^2 < 0$ donc pour augmenter la vitesse C on doit augmenter la section A

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

Bilan d'énergie pour les tuyères et les diffuseurs :

- Dans ce type de dispositif il n'existe pas de travail fourni $W = 0$

$$Q_e = (H_2 - H_1) + m \left(\frac{c_2^2}{2} - \frac{c_1^2}{2} \right) + mg (z_2 - z_1)$$

- En général pour ce type de dispositif la variation de l'énergie potentielle est négligeable devant celle cinétique donc le bilan se résume par :

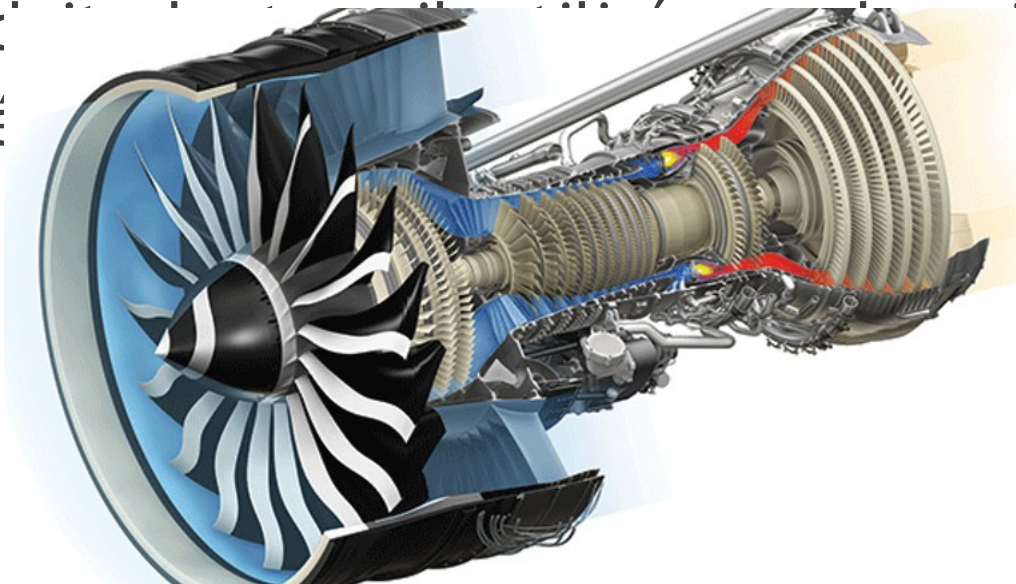
$$q_e + (h_2 - h_1) = \left(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right)$$

Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

V. Applications

2) Turbines, pompes, compresseur

- Une turbine est un système utilisé pour produire du travail mécanique. En effet, le fluide passe entre les pales reliées à un arbre moteur en rotation, produisant un travail $W_s < 0$ sur le fluide, lieu extérieur ($W_s < 0$), production d'énergie.



Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

V. Applications

2) Turbines, pompes, compresseur

- Les pompes sont utilisées pour augmenter la pression des liquides tandis que les compresseurs et les ventilateurs, sont associés aux gaz.



Premier Principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts

- Pompes, turbines et compresseurs

Pour ces dispositifs $Q \ll W$ donc $h_2 - h_1 = w$ car en général (E_c et $E_p \approx 0$)

Pour une turbine hydraulique \rightarrow fluide incompressible

$$\rightarrow h_2 - h_1 = u_2 - u_1 + \Delta(PV) = C \Delta T + V \Delta P$$



Merci de votre attention

