

A51	niveau de maîtrise	poids compétence	note compétence	note globale
Savoir énoncer les résultats importants du cours	1	10	5,0	8,5
Connaître les hypothèses d'application des résultats	1			
Savoir appliquer directement son cours sur un exemple simple	1			
S'approprier : faire un schéma, identifier les grandeurs physiques et les hypothèses	NE	6	1,5	
Analyser : adapter l'écriture des relations, théorèmes ou principes à la situation proposée	1			
Réaliser :Savoir mener les calculs analytiques, numériques, résolutions d'équations	0			
Valider : Vérifier la pertinence du résultat obtenu (critique de la valeur et de sa dimension)	NE			
Communiquer à l'oral dans un langage courant, scientifique et approprié	1	4	2,0	
Rédiger proprement ses démarches au tableau	1			

ajustement	+	-		
		*	note	8

Remarques : il faut gagner en recul sur un peu tout le cours et les AN !

Exercice : Thermodynamique des systèmes en écoulement

Déterminer la vitesse maximale d'éjection de l'air (assimilé à un gaz parfait) entrant à vitesse nulle dans une tuyère à la pression $P_e = 10 \text{ bar}$ et à la température $T_e = 400\text{K}$. Le gaz sort à la pression $P_s = 1,00 \text{ bar}$. L'écoulement horizontal et stationnaire est considéré adiabatique et réversible. On donne $10^{1/2} \approx 2$

Exercice : Système en écoulement

On considère l'air comme un gaz parfait, en écoulement stationnaire et subissant les transformations cycliques suivantes (on néglige les variations d'énergie potentielle de pesanteur et cinétique) :

- Compression adiabatique réversible dans un compresseur de l'état $A(P_A, T_A)$ à l'état $B(P_B, T_B)$. On note w_1 le travail massique fourni par le compresseur.
- Chauffage isobare (échangeur ou chambre à combustion) de T_B à T_C . On note q le transfert thermique reçu par l'unité de masse.
- Détente adiabatique réversible dans la turbine de l'état C à l'état $D(P_D = P_A, T_D)$: c'est la phase motrice. On note w_2 le travail massique fourni par l'air à la turbine.
- Refroidissement isobare (dans un échangeur ou dans l'atmosphère) jusqu'à l'état initial.

$$P_A = 1,0 \text{ atm}, T_A = 300\text{K}, P_B = 10 \text{ atm}, T_C = 1000\text{K}, \gamma = 1,5, M = 30 \text{ g.mol}^{-1}$$

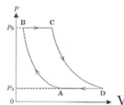
- Représenter le diagramme de Clapeyron $P(V)$ du cycle décrit par une masse quelconque d'air
- Exprimer dans l'ordre T_B, w_1, q, T_D et w_2
- Faire les applications numériques et estimer les transferts énergétiques massiques.
- Quel est le travail fourni à l'hélice. Définir et calculer le rendement du turbopropulseur sachant que la turbine fournit de l'énergie au compresseur pour son fonctionnement.
- Comparer le rendement à un moteur réversible ditherme de Carnot qui fonctionnerait entre les températures extrêmes atteintes au cours du cycle.

Exercice : Thermodynamique des systèmes en écoulement

Pour appliquer le 1^{er} principe des systèmes en écoulement, il manque la température finale. L'hypothèse d'une transformation adiabatique réversible (et donc adia mec rev) permet d'utiliser les lois de Laplace : $T_s = T_e \left(\frac{P_s}{P_e}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$. Donc en prenant $\gamma = 1,4$, on a $T_s = 400(10)^{-\frac{1}{5}} \approx 200\text{K}$

$$\text{Donc } \Delta_s h + \Delta_s e_c = 0 \text{ Donc } c_s = \sqrt{2c_p(T_e - T_s)} \approx 600 \text{ m/s}$$

Exercice : Système en écoulement



$$\text{Donc : } T_B = T_A \left(\frac{P_A}{P_B}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

- Ensuite, il suffit d'appliquer le 1^{er} principe à cet écoulement : $\Delta h = w_1 = c_p T_A \left(\left(\frac{P_A}{P_B}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1\right)$
- On applique toujours le 1^{er} principe en se rappelant que le travail des forces de pression est déjà pris en compte dans l'enthalpie : $\Delta h = q = c_p(T_C - T_B) = c_p \left(T_C - T_A \left(\frac{P_A}{P_B}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}\right)$
- $T_D = T_C \left(\frac{P_D}{P_A}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$
- $\Delta h = w_2 = c_p T_C \left(\left(\frac{P_D}{P_A}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1\right)$
- $T_B \approx 600\text{K}$; $w_1 \approx 300 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $q = 400 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $T_D \approx 500\text{K}$; $w_2 = -500 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Le travail fourni à l'hélice est $|w_2| - |w_1| = 200 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Le rendement est donc : $r = \frac{|w_2| - |w_1|}{q} = 0,5$ $r_{\text{carnot}} = 1 - \frac{T_D}{T_C} = 0,7$

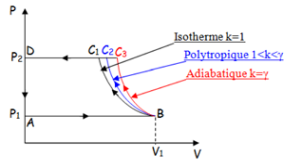
A52	niveau de maîtrise	poids compétence	note compétence	note globale
Savoir énoncer les résultats importants du cours	2	10	8,3	13,5
Connaître les hypothèses d'application des résultats	2			
Savoir appliquer directement son cours sur un exemple simple	1			
S'approprier : faire un schéma, identifier les grandeurs physiques et les hypothèses	NE	6	3,0	
Analyser : adapter l'écriture des relations, théorèmes ou principes à la situation proposée	NE			
Réaliser :Savoir mener les calculs analytiques, numériques, résolutions d'équations	1			
Valider : Vérifier la pertinence du résultat obtenu (critique de la valeur et de sa dimension)	NE			
Communiquer à l'oral dans un langage courant, scientifique et approprié	1	4	2,0	
Rédiger proprement ses démarches au tableau	1			

ajustement	+	-	note	13
		*		

Remarques : objectif lors de la prochaine colle : faire un max de questions tout seul

Compresseur polytropique à 3 étages

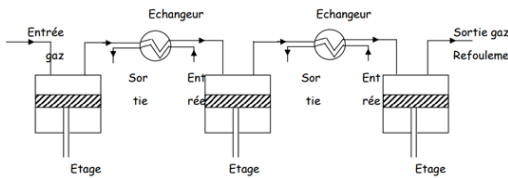
Afin de décrire de manière plus réaliste une compression, on prend le modèle polytropique $PV^k = Cte$ avec $1 < k < \gamma$. Ce modèle apporte la correction permettant de rendre compte du caractère adiabatique imparfait de la compression.



On note c_p la capacité thermique massique du gaz supposé parfait. On néglige les variations d'énergie cinétique et potentielle.

On va considérer un compresseur à trois étages :

- Assurant 3 compressions polytropiques telles que $\frac{P_{i+1}}{P_i} = Cte$
- Assurant 3 refroidissements isobare



Donner l'expression du travail massique total indiqué.

Avec un étage :

$$w_i = c_p(T_{i+1} - T_i)$$

Avec : $P^{1-k}T^k = Cte$ on a : $w_i = c_p T_i \left(\left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{1-k}{k}} - 1 \right)$

Donc avec les trois étages :

$$w_i = 3c_p T_i \left(\left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{1-k}{k}} - 1 \right)$$

On a aussi : $\frac{P_4}{P_3} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_2}{P_1}$ donc $\frac{P_4}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} \frac{P_3}{P_1} = \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^3$

Donc si N étages

$$w_i = Nc_p T_i \left(\left(\frac{P_{fin}}{P_{ini}} \right)^{\frac{1-k}{Nk}} - 1 \right)$$

Si $k = \gamma$ alors :

$$w_i = \frac{NR\gamma T_i}{M(\gamma-1)} \left(\left(\frac{P_{fin}}{P_{ini}} \right)^{\frac{1-\gamma}{N\gamma}} - 1 \right)$$

On pose $\left(\frac{P_{fin}}{P_{ini}} \right)^{\frac{1-\gamma}{N\gamma}} = r^{\frac{1}{N}}$ avec $r = \frac{P_{fin}}{P_{ini}}$ et $k = \frac{1-\gamma}{\gamma}$ donc $w_i = \frac{NR\gamma T_i}{M(\gamma-1)} \left(r^{\frac{1}{N}} - 1 \right)$

Et on pose $a = k \ln(r)$ donc $r = \exp\left(\frac{a}{k}\right)$ et $w_i = \frac{NR\gamma T_i}{M(\gamma-1)} \left(\exp\left(\frac{a}{N}\right) - 1 \right)$

Avec N grand, on peut faire le DL : $w_i = \frac{NR\gamma T_i}{M(\gamma-1)} \frac{a}{N} = -\frac{RT_i}{M} \ln(r)$

Et on retrouve le travail isotherme.

A63	niveau de maîtrise	poids compétence	note compétence	note globale
Savoir énoncer les résultats importants du cours	2	10	10,0	#DIV/0!
Connaître les hypothèses d'application des résultats	2			
Savoir appliquer directement son cours sur un exemple simple	2			
S'approprier : faire un schéma, identifier les grandeurs physiques et les hypothèses	NE	6	3,0	
Analyser : adapter l'écriture des relations, théorèmes ou principes à la situation proposée	1			
Réaliser :Savoir mener les calculs analytiques, numériques, résolutions d'équations	1			
Valider : Vérifier la pertinence du résultat obtenu (critique de la valeur et de sa dimension)	NE			
Communiquer à l'oral dans un langage courant, scientifique et approprié	NE	4	#DIV/0!	
Rédiger proprement ses démarches au tableau	NE			

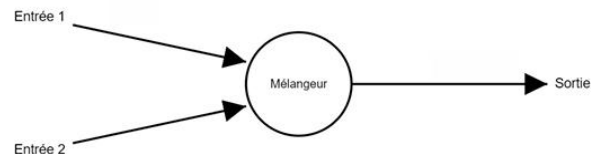
ajustement	+	-	note	#DIV/0!
	*			

Remarques : Exercice pas simple mais il faut savoir se confronter à ce type d'exo !

Exercice : Mélangeur

On considère un mélangeur à deux entrées et une sortie :

- A la 1^{re} entrée le fluide 1 est de capacité thermique massique à pression constante c , une température T_1 et un débit massique D_{m1}
- A la 2^e entrée le fluide 2 est de même capacité thermique massique à pression constante c , une température T_2 et un débit massique D_{m2}
- A la sortie, le mélange est à une température T_3 et un débit massique D_{m3}
- On suppose le mélangeur parfaitement calorifugé, horizontal et on néglige les variations d'énergie cinétique. L'écoulement est stationnaire



- 1) Effectuer un bilan de masse et en déduire une relation entre les débits massiques.
- 2) Démontrer le 1^{er} principe des systèmes en écoulement et obtenir que $D_{m3}h_3 = D_{m1}h_1 + D_{m2}h_2$
- 3) En déduire la température T_3 en fonction de T_2, T_1, D_{m1}, D_{m2}
- 4) AN $T_1 = 80^\circ\text{C}, T_2 = 20^\circ\text{C}, D_{m1} = 3,0\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, D_{m2} = 7\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

- 1) On considère le système fermé à t et $t + dt$:

$$\delta m_1 + \delta m_2 + m_c(t) = \delta m_3 + m_c(t + dt)$$

Avec l'hypothèse stationnaire :

$$\delta m_1 + \delta m_2 = \delta m_3$$

Et donc : $D_{m1} + D_{m2} = D_{m3}$

- 2) On effectue un bilan d'énergie à partir du 1^{er} principe :

$$E_{tot}(t + dt) - E_{tot}(t) = P_1 v_1 \delta m_1 + P_2 v_2 \delta m_2 - P_3 v_3 \delta m_3 + \delta W_i + \delta Q$$

Avec $E(t) = E_{com}(t) + \delta m_1 u_1 + \delta m_2 u_2$

Et $E(t + dt) = E_{com}(t + dt) + \delta m_3 u_3$

Donc $\delta m_3 h_3 - \delta m_1 h_1 - \delta m_2 h_2 = \delta W_i + \delta Q$

Ici $\delta W_i + \delta Q = 0$

$$D_{m3}h_3 = D_{m1}h_1 + D_{m2}h_2$$

- 3) On a un liquide de capacité thermique massique connue :

$$(D_{m1} + D_{m2})h_3 = D_{m1}h_1 + D_{m2}h_2$$

$$D_{m1}(h_3 - h_1) = D_{m2}(h_2 - h_3)$$

$$D_{m1}(T_3 - T_1) = D_{m2}(T_2 - T_3)$$

$$T_3 = \frac{D_{m2}T_2 + D_{m1}T_1}{D_{m1} + D_{m2}}$$

$$4) T_3 = \frac{7 \times 20 + 3 \times 80}{10} = 38^\circ\text{C}$$

