

# THERMODYNAMIQUE

## I. Étude d'un compresseur à CO<sub>2</sub> (d'après CCP TSI 2015)

### I.1. Effet d'un unique piston

- $A \rightarrow B$  : Le piston recule par rapport aux clapets, le clapet d'admission est ouvert, le clapet d'échappement est fermé.  
 $B \rightarrow C$  : Le piston avance vers les clapets, qui sont fermés tous les deux.  
 $C \rightarrow D$  : Le piston avance vers les clapets. Le clapet d'admission est toujours fermé. Le clapet d'échappement est ouvert.
- Le gaz est parfait donc d'après la première loi de Joule,  $\Delta_{AB}U = mc_v(T_B - T_A)$ .  
 La transformation est isobare avec  $P_A = P_B = P_e$ , donc  $W_{AB} = P_e(V_A - V_B)$ . En utilisant la loi des gaz parfaits et  $c_p = \gamma c_v$ , cela donne  $W_{AB} = nR(T_A - T_B) = mc_v(\gamma - 1)(T_A - T_B) = m(c_p - c_v)(T_A - T_B)$ .  
 Le premier principe donne alors  $Q_{AB} = \Delta_{AB}U - W_{AB}$ , d'où  $Q_{AB} = mc_p(T_B - T_A) = \Delta_{AB}H$ .
- De  $B$  à  $C$ , le gaz subit une compression adiabatique mécaniquement quasi-statique, donc qui vérifie la loi de Laplace :  $P_C^{1-\gamma} T_C^\gamma = P_B^{1-\gamma} T_B^\gamma$ , d'où  $T_C = T_B x^{1-\frac{1}{\gamma}}$  avec  $x = \frac{P_e}{P_C}$ .
- Le premier principe pour une transformation adiabatique d'un gaz parfait donne ici  $W_{BC} = \Delta_{BC}U = mc_v(T_C - T_B)$ , d'où  $W_{BC} = mc_v T_B (x^{1-\frac{1}{\gamma}} - 1)$ .
- Les caractéristiques de la transformation sont les mêmes qu'en 2.. On obtient donc :  
 $\Delta_{CD}U = mc_v(T_D - T_C)$ ,  $W_{CD} = m(c_p - c_v)(T_D - T_C)$  et  $Q_{CD} = mc_p(T_D - T_C) = \Delta_{CD}H$ .  
 Par ailleurs, comme  $V_D = V_A$ , on a  $T_D = T_A \frac{P_e}{P_C} = T_A x$ . On a aussi  $T_C = T_B x^{1-\frac{1}{\gamma}}$ . Cela conduit à  
 $\Delta_{CD}U = mc_v(T_A x - T_B x^{1-\frac{1}{\gamma}})$ ,  $W_{CD} = m(c_p - c_v)(T_A x - T_B x^{1-\frac{1}{\gamma}})$  et  
 $Q_{CD} = mc_p(T_A x - T_B x^{1-\frac{1}{\gamma}}) = \Delta_{CD}H$ .
- $w_{i,BC} = \Delta_{BC}h = c_p(T_C - T_B)$  d'où  $w_{i,BC} = c_p T_B (x^{1-\frac{1}{\gamma}} - 1)$ .

### I.2. Compresseur à deux étages

- Les lois de Laplace conduisent à  $T_E = T_{B'} \left(\frac{P'_s}{P_e}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} = T_{B'} z_1$  et  $T_G = T_F \left(\frac{P_s}{P'_s}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} = T_{B'} z_2$  car  $T_F = T_{B'}$ .  
 D'après 6., on aura donc  $w_{i,tot} = c_p T_{B'} (z_1 + z_2 - 2)$ .
- En considérant  $T_{B'} = T_B$ , la différence entre le travail indiqué à 1 et à 2 étages est du signe de la fonction  $f_z(z_1) = z - z_1 - \frac{z}{z_1} + 1$ , sachant que  $z_1 \in [1, z]$ . Or  $f'_z(z_1) = \frac{z}{z_1^2} - 1 \geq 0 \Leftrightarrow z_1 \leq \sqrt{z}$ , donc  $f_z$  est croissante puis décroissante avec un maximum en  $z_1 = \sqrt{z}$ . De plus  $f_z(z_1 = 0) = f_z(z_1 = z) = 0$ . Donc  $f_z(z_1) \geq 0$  sur tout le domaine utile. **Le travail indiqué est donc plus faible pour un compresseur à deux étages. Sa valeur est minimale (optimale) pour  $z_1 = \sqrt{z}$  donc  $\frac{P'_s}{P_e} = \sqrt{\frac{P_s}{P_e}}$ .**
- On a  $z_2 < z$ , donc  $T_G = T_{B'} z_2 < T_{B'} z = T_{C'}$ .  
 Il est préférable de travailler avec des températures plus basses pour la sécurité et la durabilité du matériel (vieillessement).

## Bilan du DS - Compresseur à pistons

- On ne doit JAMAIS associer le symbole  $\Delta$  aux symboles  $Q$  et  $W$ , car ce sont des fonctionnelles mais pas des variations dans le cas général. Sous forme infinitésimale on les écrira  $\delta Q$  et  $\delta W$ .
- On ne dit pas qu'« un système est adiabatique », mais que « les parois sont calorifugées donc la transformation adiabatique ».
- Le principale erreur est un problème de compréhension physique : ce n'est pas parce que les parois du cylindre sont calorifugées, que toutes les transformations sont adiabatiques. Les système est renouvelé à chaque « cycle ». Les phases d'admission de l'air extérieur et d'échappement se font au contact de l'atmosphère extérieur, qui joue le rôle de thermostat. Donc ces transformations sont l'occasion de transferts thermiques.
- Ces phases sont isobares, donc on peut immédiatement calculer le transfert thermique via  $\Delta H = Q$ . Ce point n'étant pas encore assimilé au moment du DS, beaucoup d'entre vous refont le calcul via le premier principe. Ce n'est pas grave mais c'est plus long... et des erreurs (de signe notamment) peuvent s'interposer.
- La deuxième erreur fréquente (mais qui n'avait que peu de conséquences cette fois), et dans la compréhension du mécanisme du compresseur : beaucoup ont indiqué que le piston était immobile entre A et B, puis entre C et D. C'est impossible : il faut faire entrer ou chasser le gaz dans le/du piston. Par ailleurs le piston doit revenir dans sa position initiale. Il ne peut s'arrêter qu'à deux instants, quand il rebrousse chemin.
- Il faut faire un effort, comme toujours en physique depuis le début de l'année, pour exprimer les résultats en fonction des données du problème. Ici on donnait les capacités massiques  $c_p$  et  $c_v$ ,  $\gamma$ , et la masse du système. Donc les réponses en fonction du nombre de moles  $n$  et de la masse molaire  $M$  sont incomplètes.