

Une des possibilités pour comprimer le CO_2 est d'utiliser un compresseur à pistons.

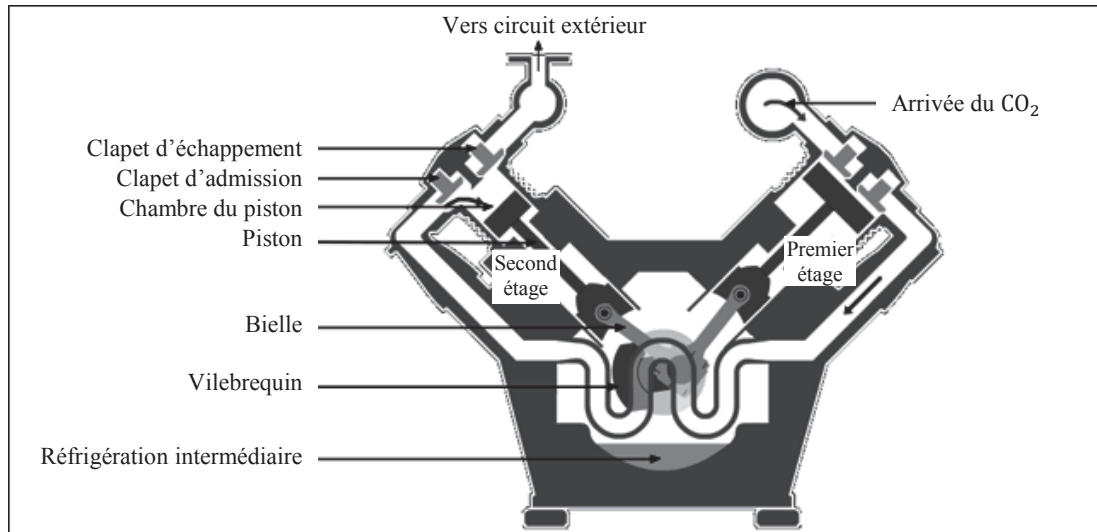


Figure 9 - Schéma d'un compresseur multi-étages à double effet à pistons

Un compresseur est un système actionné par un moteur et destiné à augmenter la pression d'un fluide. Dans un compresseur à pistons, chaque piston est animé d'un mouvement alternatif dans un cylindre au moyen d'une bielle et d'un vilebrequin. Lors de l'aller, le piston aspire le fluide à une certaine pression puis le comprime de façon adiabatique. Pour cela, chaque piston est muni d'une entrée et d'une sortie à clapet anti-retour.

Ces clapets autorisent le passage du CO_2 dans un seul sens :

- le clapet d'admission ne peut laisser passer le fluide que vers la chambre du piston : il est fermé lorsque la pression P dans la chambre (supposée uniforme à l'intérieur de la chambre) est supérieure à la pression d'entrée en amont (supposée uniforme et constamment égale à P_e) ;
- à l'inverse, le clapet d'échappement ne peut laisser passer le fluide que vers le circuit extérieur : il ne s'ouvre que lorsque la pression P à l'intérieur de la chambre du piston devient supérieure à la pression de sortie notée P_s .

Les approximations retenues pour cette étude sont volontairement simplificatrices :

- durant toute l'étude, le CO_2 est assimilé à un gaz parfait ;
- le CO_2 subit des transformations qui sont supposées réversibles ;
- la température du CO_2 dans la chambre en fin d'aspiration est supposée connue et notée T_B ;
- les chambres de chaque piston sont supposées parfaitement calorifugées.

On note γ le coefficient adiabatique du CO_2 , c_p sa capacité thermique massique à pression constante et c_v sa capacité thermique massique à volume constant.

On rappelle la relation de Mayer :

$$c_p - c_v = \frac{R}{M}$$

dans laquelle M désigne la masse molaire du gaz parfait et R la constante des gaz parfaits.

Dans un premier temps, on ne s'intéresse qu'à un seul des pistons du compresseur. Les frottements du piston sur le cylindre sont négligés. On suppose la pression de sortie P_s constante. On donne l'allure du cycle du compresseur dans le diagramme (P, V) ci-dessous :

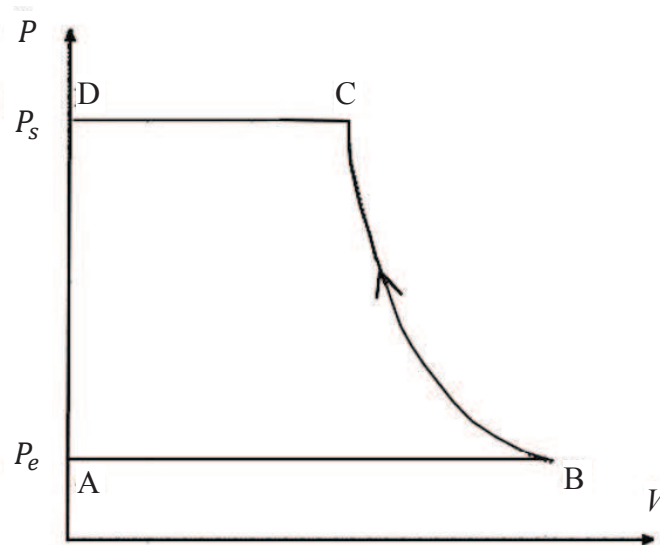


Figure 10 - Cycle simplifié d'un piston

Ce diagramme représente l'évolution de la pression P dans la chambre en fonction de son volume V .

37. On considère les 3 étapes de la transformation : $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$. Préciser pour chaque étape si le système est ouvert ou fermé, la position de chaque clapet ainsi que le mouvement du piston.

38. Justifier que les lois de Laplace sont applicables au cours de l'étape $B \rightarrow C$.

39. On note T_B la température du CO_2 au moment de la fermeture du clapet d'admission et T_C la température au moment de l'ouverture du clapet d'échappement. Montrer que :

$$T_C = T_B \times \chi^{1-\frac{1}{\gamma}}$$

avec $\chi = \frac{P_s}{P_e}$ le taux de compression.

40. Définir le travail indiqué. Justifier que le travail indiqué est nul sur les transformations $A \rightarrow B$ et $C \rightarrow D$.

41. On rappelle l'expression du premier principe pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie :

$$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_{pp} = w_i + q_e$$

avec Δh la variation d'enthalpie massique entre l'entrée et la sortie ;

Δe_c la variation d'énergie cinétique massique entre l'entrée et la sortie ;

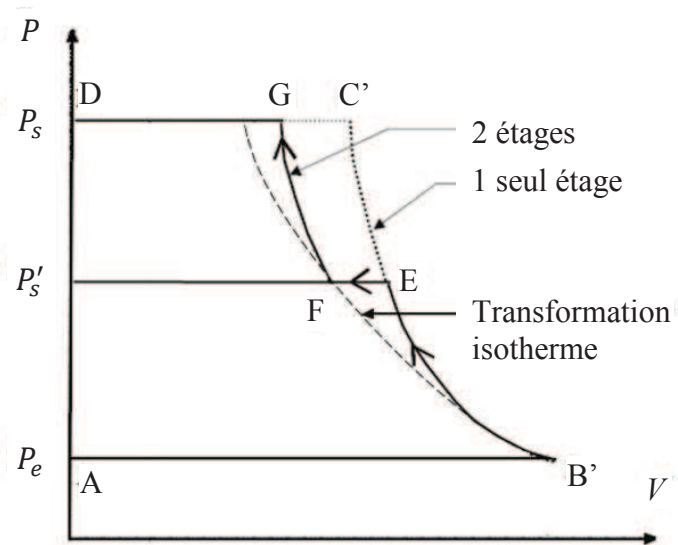
Δe_{pp} la variation d'énergie potentielle de pesanteur massique entre l'entrée et la sortie ;

w_i le travail indiqué massique ;

q_e le transfert thermique massique.

En négligeant les variations d'énergies cinétique et potentielle, exprimer le travail indiqué par unité de masse w_i sur un cycle en fonction notamment de la température T_B , du coefficient adiabatique γ et d'autres grandeurs données dans l'énoncé de la partie II.B.

On s'intéresse dans un second temps aux deux pistons du compresseur multi-étages. Le piston de droite comprime une première fois le CO_2 qui est ensuite refroidi de manière isobare puis de nouveau comprimé par le piston de gauche. Le cycle du compresseur dans le diagramme (P, V) s'en trouve ainsi modifié :



http://www.energie-environnement-upmc.fr/userfiles/file/cours/Travauxpratiques/TP_compresseur.pdf

Figure 11 - Comparaison du cycle du compresseur à un ou deux étages

L'accroissement du nombre d'étages avec refroidissement intermédiaire permet de se rapprocher d'une compression isotherme, représentée en pointillés sur la figure 11.

42. Quelle relation existe-t-il entre les températures $T_{B'}$ et T_F ? Justifier.

43. A l'aide de la question 41, exprimer les travaux indiqués par unité de masse $w_{i,B'E}$ et $w_{i,FG}$ respectivement sur les transformations $B' \rightarrow E$ et $F \rightarrow G$ en fonction des pressions P_e , P'_s et P_s et des données. On supposera que le coefficient adiabatique γ est le même pour les deux transformations.

44. En déduire le travail indiqué total par unité de masse $w_{i,tot}$ sur un cycle du compresseur à deux étages.

45. En comparant les cycles du compresseur à un seul étage et du compresseur à deux étages de la figure 11, justifier que le travail à fournir pour un même taux de compression α est plus faible pour un compresseur à deux étages.

46. En utilisant la loi des gaz parfaits, montrer que la température de sortie T_G du compresseur à deux étages est plus faible que la température de sortie $T_{C'}$ du compresseur à un seul étage. Quel en est l'avantage ?