Description d'un système thermodynamique à l'équilibre

TD 25

SAVOIR-FAIRE

Savoir-faire 1 - Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits

Préalablement à la résolution d'un exercice de thermodynamique, il est primordial de faire un schéma représentant la constitution du système à l'état initial et à l'état final. Ces deux états, états d'équilibre, sont pertinents pour l'étude des variations de fonctions d'état qui ne dépendent pas du chemin suivi entre les deux.

Étape 1 : Le système étudié est le gaz contenu dans un pneu.

Étape 2 : Description de la composition du système à l'état initial et final.

État initial		État final
n_i		n_f
$P_i = 2,2$ bar	Évolution du système →	$P_f = ?$
$T_i = 40°\text{C}$		$T_f = 20°\text{C}$
V_i		V_f

Étape 3 : Résolution de l'exercice.
Les pneus ne se sont pas crevés, on considère donc dont que le gaz contenu dans les pneus est un système fermé : $n_i = n_f$.
Le volume du système reste constant : $V_i = V_f$.

En considérant le gaz comme un gaz parfait, on peut écrire :

$$P_iV_i = n_iRT_i \qquad \text{et} \qquad P_fV_f = n_fRT_f$$

On en déduit ainsi :

$$\frac{P_i}{T_i} = \frac{P_f}{T_f} \qquad \text{soit} \qquad \boxed{P_f = \frac{T_f}{T_i}P_i}$$

L'application numérique donne ainsi :

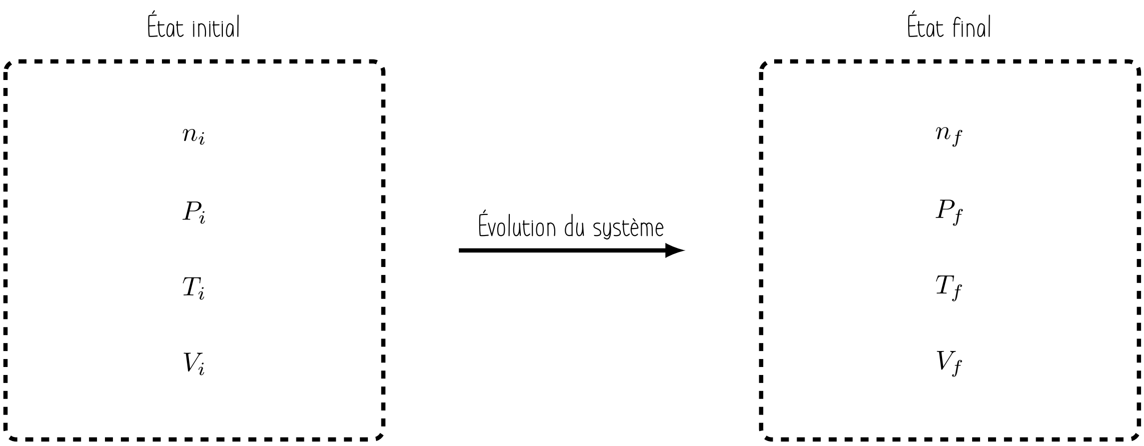
$$P_f = 2,1 \text{ bar}$$

Les pneus sont alors sous gonflés. Il ne faut pas gonfler ses pneus à chaud !

Savoir-faire 2 - Déterminer les paramètres d'état à l'équilibre

1/ **Étape 1 :** Le système est défini dans l'énoncé, c'est le gaz contenu dans le récipient.

Étape 2 : Description de la composition du système à l'état initial et final.



Étape 3 : Résolution de l'exercice.
Le gaz est contenu dans un récipient, le système est donc fermé : $n_f = n_i$.

À l'état final, le système est à l'équilibre thermodynamique avec l'extérieur.
L'équilibre thermique implique donc $T_f = T_0$.
L'équilibre mécanique implique, lui, que la somme des forces appliquées sur la paroi mobile est nulle. Or, cette paroi est soumise à :

- L'action de la pression atmosphérique : $\overrightarrow{F}_{ext} = -P_0 S\vec{n}$ avec S la surface de la paroi et $\vec{n}$ un vecteur unitaire orthogonal à cette paroi.
- L'action de l'air contenu dans le récipient sur cette paroi : $\overrightarrow{F}_{int} = P_f S\vec{n}$

L'équilibre mécanique impose :

$$P_0 = P_f$$

Il nous reste à déterminer V_f, la loi des gaz parfaits donne alors :

$$V_f = \frac{n_f R T_f}{P_f} = \frac{n_i R T_0}{P_0}$$

Or, en appliquant la loi des gaz parfaits au système à l'état initial, on peut remplacer n_i par son expression en fonction des données de l'énoncé :

$$\boxed{V_f = \frac{T_0 P_i V_i}{T_i P_0}}$$

2/ Les étapes 1 et 2 sont identiques ici. Le fait que le système soit fermé et que l'équilibre thermique impose une égalité des températures est toujours vérifié. Ainsi, en rajoutant un prime sur toutes les grandeurs pour caractériser la situation correspondant à la deuxième question, on obtient :

$$n'_f = n_i \qquad \text{et} \qquad T'_f = T_0$$

L'équilibre mécanique est un peu modifié toutefois. La paroi est soumise à :

- L'action de la pression atmosphérique : $\overrightarrow{F}_{ext} = -P_0 S\vec{n}$ avec S la surface de la paroi et $\vec{n}$ un vecteur unitaire orthogonal à cette paroi.
- L'action de l'air contenu dans le récipient sur cette paroi : $\overrightarrow{F}_{int} = P'_f S\vec{n}$
- L'action de la masse sur la paroi mobile qui, en isolant la masse, correspond au poids de cette masse : $\overrightarrow{P} = -mg\vec{n}$

L'équilibre mécanique se traduit ainsi :

$$P'_f = P_0 + \frac{mg}{S}$$

L'obtention du volume final V'_f suit toutefois la même démarche, par le même raisonnement, on obtient ainsi :

$$\boxed{V'_f = \frac{T_0}{T_i}\frac{P_i V_i}{P_0 + \frac{mg}{S}}}$$