Chapitre 5.2 – La pression d'un gaz

La pression d'un gaz

Un ballon contient de l'air comprimé.

Lorsqu'on emprisonne un gaz dans un ballon, le gaz applique une force sur la membrane du ballon, car celle-ci se déforme à mesure que le gaz entre dans le ballon. Ainsi, un gaz comprimé applique une pression sur son contenant.

Au lieu de parler de force appliquée par le gaz sur son contenant, nous pouvons concevoir la pression d'un gaz comme un phénomène de collision :

> *La pression d'un gaz comprimé est une mesure statistique du nombre moyen de collisions effectuées par toutes les molécules d'un gaz sur les différentes surfaces de son contenant.*

- Le **nombre de collisions** effectuées par le gaz est **directement proportionnel** à **énergie cinétique** du gaz, car une augmentation de l'énergie augmente la vitesse du gaz ce qui permet aux molécules de percuter les parois plus fréquemment.
- Dans un ballon élastique, une augmentation du nombre de collisions internes augmente le volume du ballon.
- Dans un ballon élastique, une diminution du nombre de collisions internes diminue le volume du ballon.

La pression et l'énergie cinétique

Si l'on analyse les unités de la pression, on réalise que la **pression** d'un gaz est une mesure statistique de **l'énergie cinétique** totale d'un gaz **par unité de volume** :

$$[P] = \mathrm{Pa} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{m}^3} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3} = \frac{[K]}{[V]}$$

<u>Remarque :</u>

❖ Une augmentation de l'énergie cinétique d'un gaz entraîne une augmentation de la pression exercée par ce gaz. ($\uparrow K \;\Rightarrow\; \uparrow P$)

❖ Une diminution du volume occupé par un gaz entraîne une augmentation de la pression exercée par ce gaz. ($\downarrow V \;\Rightarrow\; \uparrow P$)

Puisqu'on utilise la **température** T pour **mesurer l'énergie cinétique moyenne** d'un **gaz**, alors on peut affirmer que la **température** T est <u>**proportionnel**</u> au **produit** de la **pression** P d'un gaz et du **volume** V qu'il occupe :

$$P \propto \frac{K}{V} \qquad \Rightarrow \qquad PV \propto K \qquad \Rightarrow \qquad PV \propto T$$

La loi des gaz parfaits

Un **gaz parfait**[1] est un **modèle** en thermodynamique permettant de décrire le **comportement** d'un **gaz** effectuant **peu de collisions** entre les molécules du gaz et ayant une **faible interaction électrique** entre les molécules du gaz. Cette équation est applicable uniquement lorsque le gaz est à l'équilibre thermique (lorsque la température du système est constante en tout point) :

$$PV = nRT$$

où P : Pression du gaz (Pa)

V : Volume du gaz (m^3)

n : Quantité de particule de gaz (mol)

R : Constante des gaz parfait 8,31 $\mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$

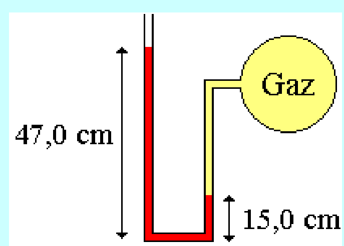
T : Température du gaz (K) $(0\ \mathrm{C} = 273\ \mathrm{K})$ $\qquad (T(K) = T(C) + 273)$

Théorème de la pression d'un gaz à l'équilibre thermique

Le théorème de la pression d'un gaz à l'équilibre thermique s'énonce de la façon suivante :

> *À **l'équilibre thermique**, la pression d'un gaz à l'intérieur d'un volume est constante en tout point si l'on considère la masse du gaz comme étant négligeable.*

Situation A : *La quantité inconnue de gaz.* Un gaz est contenu dans une sphère de 5 cm de rayon à une température de 22 C. Lorsque cette sphère est raccordée à un manomètre en U contenant du mercure ($\rho = 13600\ \mathrm{kg/m^3}$), la colonne de mercure prend la position suivante à l'équilibre (voir schéma ci-contre). On désire déterminer le nombre de mole de gaz enfermé dans la sphère. On suppose que la colonne de gaz est de volume négligeable.



À partir de la solution à la situation B du chapitre 2.8a (**Situation B : *La pression du gaz***), nous avons obtenu la pression suivante pour le gaz :

$$P_{gaz} = 143{,}65 \times 10^3\ \mathrm{Pa}$$

Ce gaz est enfermé dans le volume d'une sphère : (on néglige le volume de la petite colonne)

$$V_{sphère} = \frac{4\pi R^3}{3} \quad \Rightarrow \quad V_{sphère} = \frac{4\pi (0{,}05)^3}{3} \quad \Rightarrow \quad \boxed{V_{sphère} = 5{,}24 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}^3}$$

[1] Lorsqu'un gaz n'est plus parfait, les liaisons entre les molécules du gaz ne sont plus négligeables ce qui influence la pression du gaz.

Avec la loi des Gaz Parfaits s'appliquant dans la situation présente :

$$PV = nRT \quad \Rightarrow \quad n = \frac{PV}{RT}$$

$$\Rightarrow \quad n = \frac{\left(143{,}65 \times 10^{3}\right)\left(5{,}24 \times 10^{-4}\right)}{\left(8{,}31\right)\left(22 + 273\right)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{n = 0{,}0307 \ \text{mol}}$$

Pression produite par une membrane extensible

Une **membrane extensible** est comparable à un **ressort**. Lorsqu'elle est étirée, elle applique des forces sur l'objet qui l'étire. Lorsque c'est la pression d'un gaz qui étire une membrane, c'est le gaz qui subit alors cette force. La membrane atteint l'équilibre et cesse d'être déformée lorsque :

$$P_{\text{gaz}} = P_{\text{ext}} \pm P_{\text{membrane}}$$

où P_{gaz} : Pression du gaz à l'intérieur de la membrane (Pa)

P_{ext} : Pression appliquée à l'extérieur de la membrane (Pa)

P_{membrane} : Pression exercée par la déformation de la membrane sur le gaz (Pa)

Convention de signe : Membrane étirée : $P_{\text{gaz}} = P_{\text{ext}} + P_{\text{membrane}}$

Membrane comprimée : $P_{\text{gaz}} = P_{\text{ext}} - P_{\text{membrane}}$

- Une membrane est habituellement toujours étirée et jamais comprimée.
- Lorsque la membrane extérieure est en contact avec l'atmosphère, on peut remplacer la pression extérieure (P_{ext}) par la pression atmosphérique (P_{atm}).

La déformation d'une membrane

La **pression exercée** par une **membrane** sur un gaz est une **mesure** de la **déformation** de la membrane (le volume occupé par la membrane). Voici deux situations où l'on observe un pneu étiré de la même façon :

1) Pneu sur la Terre :

$P_{gaz} = 350 \ \text{kPa}$

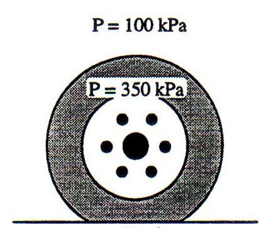
$P_{pneu} = 250 \ \text{kPa}$

$P_{atm} = 100 \ \text{kPa}$

À Équilibre :

$P_{\text{intérieur}} = P_{\text{extérieur}}$

$P_{gaz} = P_{pneu} + P_{atm}$



2) Pneu dans l'espace :

$P_{gaz} = 250 \ \text{kPa}$

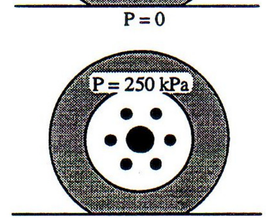
$P_{pneu} = 250 \ \text{kPa}$

$P_{vide} = 0 \ \text{kPa}$

À l'équilibre :

$P_{\text{intérieur}} = P_{\text{extérieur}}$

$P_{gaz} = P_{pneu} + P_{vide}$



Pression relative ou manométrique

La **pression relative** est une mesure de pression sans l'influence de la pression atmosphérique. Cette mesure est pertinente puisque la pression atmosphérique est relativement constante à la surface de la Terre :

$$P_{\text{relative}} = \tilde{P} = P - P_{\text{atm}}$$

Où $\tilde{P}$: Pression relative (sans l'influence de la pression atmosphérique) (Pa)
P : Pression totale (pression absolue) (Pa)
P_{atm} : Pression atmosphérique (Pa)

Remarque :

$$\tilde{P} > 0 \quad \Rightarrow \quad P > P_{\text{atm}}$$
$$\tilde{P} < 0 \quad \Rightarrow \quad P < P_{\text{atm}}$$

Cette définition de la pression est utilisée dans :

- La pression sanguine.
- Chambre à pression négative dans les hôpitaux.
- Pression mesurée par les garagistes dans les pneus.

Situation A : ***Le pneu d'Albert sur Mars.*** Albert a construit un pneu qui peut supporter jusqu'à 420 kPa sur la Terre à 1 atm. Albert voulant contribuer à la recherche spatial, il désire utiliser son pneu sur le prochain module roulant sur Mars. Sachant que la pression atmosphérique sur Mars est de 600 Pa, on désire évaluer la pression maximale que pourra supporter le pneu sur la planète Mars.

Sur la Terre, le pneu supporte la pression relative suivante. Cette mesure est une caractéristique du pneu valable quelque soit le milieu :

$$\tilde{P} = P - P_{\text{atm}} \quad \Rightarrow \quad \tilde{P} = P - (1\ \text{atm})$$
$$\Rightarrow \quad \tilde{P} = (420\times10^{3}) - (1{,}01\times10^{5})$$
$$\Rightarrow \quad \boxed{\tilde{P} = 3{,}19\times10^{5}\,\text{Pa}}$$

On peut maintenant évaluer la pression maximale supportée par le pneu sur Mars :

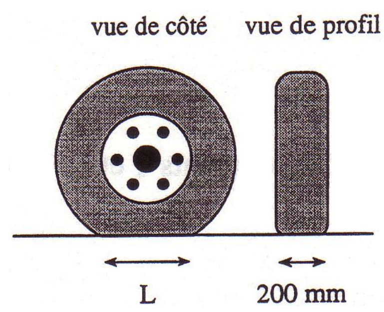
$$\tilde{P} = P - P_{\text{atm}} \quad \Rightarrow \quad P = \tilde{P} + P_{A}$$
$$\Rightarrow \quad P = (3{,}19\times10^{5}) + (600)$$
$$\Rightarrow \quad \boxed{P = 3{,}196\times10^{5}\,\text{Pa}}$$

Exercices

Référence : Mécanique Tome 2 de Pierre Fourneaux, Page 6-76, Question 1

Les pneus d'une fourgonnette de 2100 kg (poids réparti uniformément sur les quatre pneus) sont gonflés à une pression de 250 kPa (pression sans l'influence de la pression atmosphérique). La largeur de ces pneus est de 200 mm. (**P.S.** Prenez g = 10 N/kg)

a) Quelle est la surface de contact en cm^2, d'un pneu avec le sol ?
b) Quelle est la longueur de contact, en cm, du pneu avec le sol (L sur le schéma)?



Solutions

Référence : Mécanique Tome 2 de Pierre Fourneaux, Page 6-76, Question 1

Appliquons la 2$^{\text{ième}}$ loi de Newton à l'ensemble des 4 pneus :

$$\sum F_y = n - mg = ma_y = 0 \quad \Rightarrow \quad n = mg$$

Puisque le poids est réparti uniformément sur les 4 pneus :

$$n_{pneu} = \frac{n}{4} = \frac{(mg)}{4} \quad \Rightarrow \quad n_{pneu} = \frac{mg}{4}$$

La **partie du caoutchouc** en **contact** avec le **sol n'est pas étirée**. Ceci implique qu'à cet endroit, la membrane n'applique pas de force sur le gaz. Par contre, la force normale applique une pression sur le gaz. C'est cette pression qui sera égale à la pression du gaz à l'intérieur du pneu :

$$P_{normale} = P_{gaz\ pneu} = 250\times10^3\ \text{Pa} \quad \Rightarrow \quad P_{normale} = \frac{F_{normale}}{A} = \frac{n_{pneu}}{A} = 250\times10^3\ \text{Pa}$$

$$\Rightarrow \quad A = \frac{n_{pneu}}{250\times10^3} = \frac{mg/4}{250\times10^3}$$

$$\Rightarrow \quad A = \frac{(2100)(10)/4}{250\times10^3} = 0{,}021\ \text{m}^2$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{A = 210\ \text{cm}^2} \qquad \text{a)}$$

Nous pouvons avoir la longueur de contact :

$$A = hL \quad \Rightarrow \quad L = \frac{A}{h} = \frac{(0{,}021)}{(0{,}200)} = 0{,}105\ \text{m} \quad \Rightarrow \quad \boxed{L = 10{,}5\ \text{cm}} \qquad \text{b)}$$