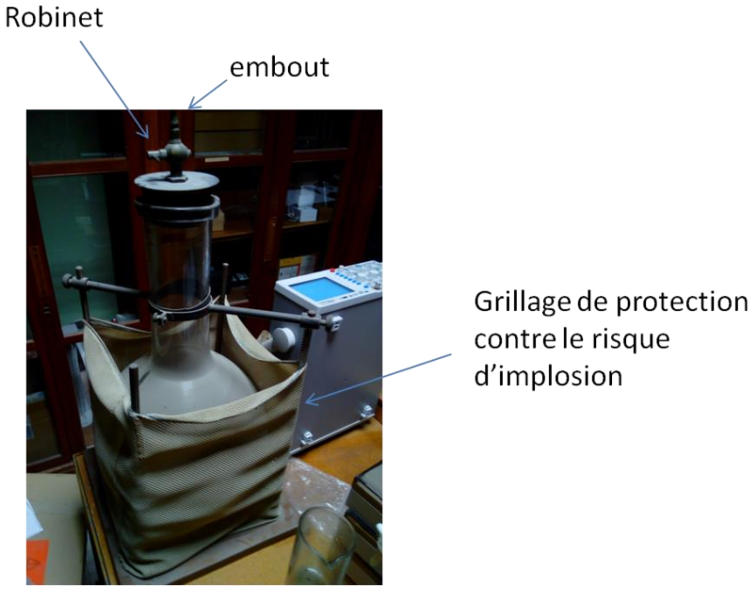
La pression atmosphérique

I **La masse volumique de l'air**

Expérience 1:



Ballon utilisé autrefois au lycée Passy-Buzenval de Rueil

Matériel :

- 1 ballon en verre de contenance 7,5 L muni d'un embout et d'un robinet d'arrêt et à l'intérieur duquel peut être fait un vide poussé (voir photo ci-dessus)
- 1 pompe à vide
- Une balance de précision (au moins au décigramme)

Protocole opératoire :

On pèse le ballon initialement rempli d'air à la pression atmosphérique ambiante. On note la valeur m_1 de la masse du ballon en grammes.

On fixe sur l'embout et de façon bien hermétique un tuyau en caoutchouc relié à une pompe à vide.

On fait le vide dans le ballon.

On pèse à nouveau le ballon et on note la nouvelle valeur m_2 de la masse du ballon.

<u>Résultat de l'expérience</u> :

On trouve :

$m_1 - m_2 = 9{,}7\ g$

Cette valeur s'interprète comme étant la masse des 7,5 L d'air contenus initialement dans le ballon.

On en déduit la masse volumique de l'air à la pression et à la température ambiante du jour où on a fait l'expérience :

$$\boxed{\rho_{air} = \frac{9{,}7\ g}{7{,}5\ L} \approx 1{,}3\ g/L = 1{,}3\ kg/m^3}$$

Il est à noter que cette valeur est environ le millième de celle de l'eau pure ($1\ kg/L$)

<u>Remarque</u> : sur une expérience qui peut devenir « foireuse »

On trouve souvent décrite une expérience faite avec un ballon déformable comme un ballon de basket, telle que décrite ci dessous, mais cette expérience peut ne pas fonctionner pour les raisons qui vont être analysées.

<u>Expérience 2</u> :

Matériel :

- 1 ballon de basket
- 1 pompe à vélo muni d'un embout à gonfler les ballons
- Un cristallisoir
- Un tube flexible muni d'un embout à gonfler les ballons
- Une bouteille d'eau de 1 L
- Une balance de précision (au moins au décigramme)

<u>Protocole opératoire</u> :

On pèse le ballon initialement bien gonflé. On note la valeur m_1 de la masse du ballon en grammes.

On enfonce l'embout du tube flexible dans le ballon et on presse le ballon pour qu'il se vide d'un peu de son air, ce dernier venant chasser l'eau de la bouteille préalablement remplie et retournée dans le cristallisoir (voir schéma)

On pèse à nouveau le ballon et on note la nouvelle valeur m_2 de la masse du ballon.

Résultat de l'expérience :

Dans l'expérience censée fonctionner, on peut lire sur le schéma précédent :

$$m_1 = 310{,}0\ g, \quad m_2 = 308{,}7\ g$$

Et on en déduit par différence la masse d'un litre d'air comme étant 1,3 g.

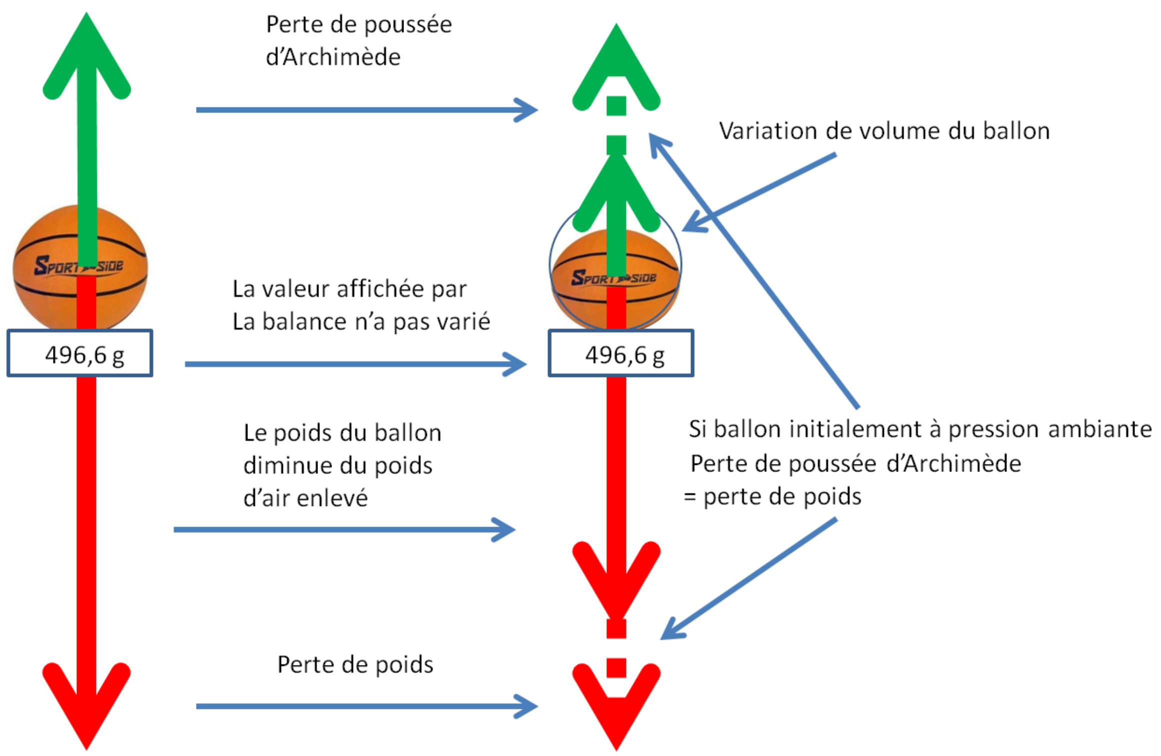
Toutefois, dans l'expérience que nous avons conduit personnellement et à de multiples reprises avec un ballon de basket et une éprouvette graduée de 400 mL soit ¼ de litre, nous avons obtenu :

$$m_1 = 496{,}6\ g, \quad m_2 = 496{,}6\ g$$

Autrement dit, la masse n'a pas varié, ce qui semble très étrange. C'est un peu comme si on se pesait avec un manteau, puis, une fois le manteau enlevé, on se pesait à nouveau et on trouvait le même résultat.

Y aurait-il quelque chose qui cloche dans cette expérience ?

En fait oui, en voici les explications :



Avant de chasser de l'air du ballon ce dernier appuie sur la balance avec une force qui résulte de deux actions :

- Le poids du ballon avec l'air qu'il contient (représenté par une flèche rouge dirigée vers le bas sur le schéma)
- La poussée d'Archimède égale au poids du volume d'air déplacé par le ballon (représentée per une flèche verte dirigée vers le haut (le dessin ne respecte pas l'échelle car la poussée d'Archimède est bien plus faible que le poids du ballon, poids de quelques grammes d'air contre poids de l'enveloppe du ballon d'environ 500 g.

Or, une fois l'air chassé, le volume du ballon diminue et s'il diminue d'une quantité très voisine du volume d'air chassé à l'extérieur, ce qui était probablement le cas de notre ballon plus tout à fait hermétique, on voit apparaitre une diminution du poids certes, mais également une diminution de la poussée d'Archimède (le volume déplacé est moindre car le ballon s'est déformé en perdant du volume).

Ainsi les deux effets se compensent et il n'y a pas de changement dans la force exercée par le ballon sur la balance qui affiche donc la même masse.

Conclusion :

Si on veut pouvoir tirer profit de la deuxième expérience, il faut s'assurer que le ballon de basket est bien gonflé, idéalement à une pression entre 2 et 3 bars comme un pneu de voiture de telle sorte qu'en prélevant 1 L d'air, son volume varie de façon négligeable.

Aussi, compte tenu de ces difficultés, l'expérience la plus fiable est celle faite avec un ballon en verre indéformable.

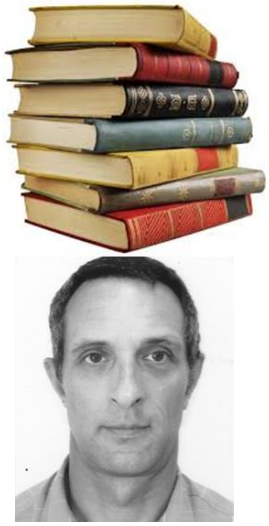
Pour finir, la masse volumique de l'air dépend de son taux d'humidité, de sa température et de sa pression. Pour de l'air sec et à la pression de référence p_0 = 1 013,25 hPa, le tableau ci-dessous donne ses valeurs à différentes températures

en °C	**ρ en kg/m^3**	**en °C**	**ρ en kg/m^3**
−10	1,341	+40	1,127
−5	1,316	+45	1,110
0	1,292	+50	1,092
+5	1,269	+55	1,076
+10	1,247	+60	1,060
+15	1,225	+65	1,044
+20	1,204	+70	1,029
+25	1,184	+75	1,014
+30	1,164	+80	1,000
+35	1,146	+85	0,986

On peut ainsi retenir qu'aux alentours de 0° C la masse volumique de l'air est plutôt 1,3 g/L et aux alentours de 20 ° C, 1,2 g/L

II <u>La pression atmosphérique</u> :

<u>Idée intuitive</u> :



Pour comprendre cette notion par l'intuition, commençons par imaginer cette expérience : Mettez un livre sur votre tête, il appuie. Mettez en un second, l'ensemble appuie plus fortement sur le haut de votre crâne. Mettez en 20, là, vous la sentez cette pression sur votre crâne.

C'est un peu la même chose avec l'air. Considérer un mètre-carré de sol, soit un carré d'un mètre de côte, bien disposé horizontalement. Ce carré doit porter l'air qui est au-dessus de lui. Imaginez des tranches d'air d'un mètre-carré un peu comme des livres empilés les uns sur les autres et appuyant sur ce carré. Voilà d'où vient la pression atmosphérique. On peut la définir par cet intitulé :

La pression atmosphérique est la force qu'exerce l'air en un lieu sur une surface d'un mètre-carré. C'est donc le poids de la colonne d'air verticale qui appuie sur le mètre- carré du lieu considéré, cette colonne s'étendant de ce lieu jusqu'aux limites de l'atmosphère (une centaine de kilomètres environ)

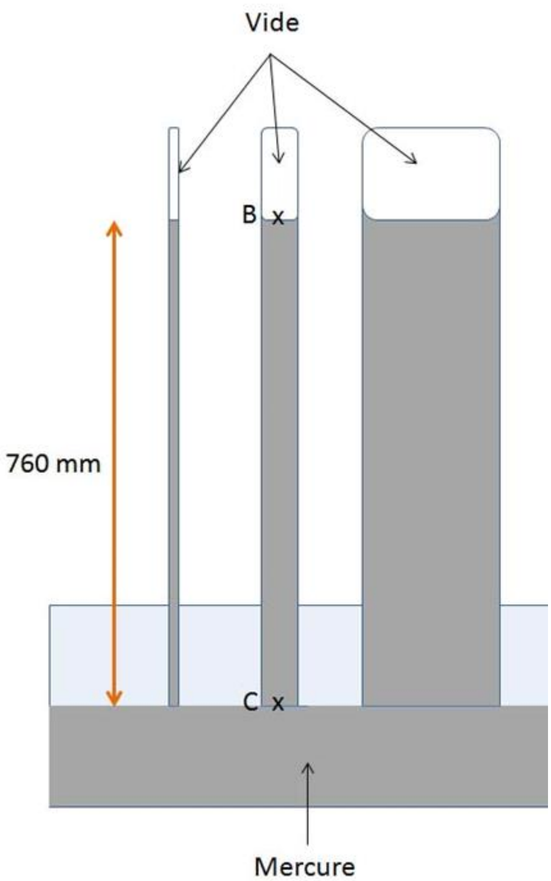
A noter que peu importe l'orientation de la surface. Si vous avez fait l'expérience de plonger à 3 m sous l'eau, vous avez ressenti cette pression sur vos tympans et quelque soit l'orientation de votre tête, rien n'y faisait pour vous soulager, si ce n'est la manœuvre bien connue (dite de **Valsalva**) des plongeurs consistant à faire rentrer de l'air via la trompe d'Eustache dans l'oreille interne en pinçant son nez et en soufflant dedans très fort pour rééquilibrer la pression des deux côtés du tympan.

Il est à noter que plus on s'élève en altitude, plus la pression baisse, car la colonne d'air responsable de cette pression a un poids moindre

Mesure de la pression atmosphérique à la surface de la Terre.

Les hommes ont fini par se poser la question de mesurer la pression atmosphérique. Il y eut en 1654 cette fameuse expérience des sphères de Magdebourg où deux attelages de 15 chevaux ne parvinrent à séparer les deux demi-sphères accolées à l'intérieur desquelles on avait fait un vide d'air poussé. On se doutait alors que la force exercée sur un mètre carré devait être colossale.

Le premier qui parvint à mesurer la pression atmosphérique fut l'italien Torricelli. Il constata d'abord le fait suivant. Des colonnes remplies de mercure et retournées sur un bac rempli de mercure présentent toute une même hauteur de mercure par rapport à la surface du mercure dans le bac. Cette hauteur, variable selon la pression au moment où on fait l'expérience est environ de 76 cm.



Les conséquences qui peuvent en être tirées sont les suivantes : Une colonne de 1 mètre carré de section exercerait par son poids une force qui serait la même que celle exercée par la colonne d'air d'un mètre-carré de section. Ainsi la pression atmosphérique à l'endroit de l'expérience est égale au poids de cette colonne de mercure qui peut être facilement calculé à partir des données, comme suit :

Masse volumique du mercure : $\rho_{mercure} = 13\,500\ kg/m^3$

Volume de la colonne de mercure : $V = 0{,}76 \times 1 = 0{,}76\ m^3$

Accélération de la pesanteur à la surface de la Terre : $g = 9{,}8\ m/s/s$

On en déduit :

La masse de la colonne de mercure :

$$m = \rho_{mercure}\ V = 13\,500 \times 0{,}76 \approx 10\,260\ kg$$

Le poids de cette colonne de mercure (attention le poids est une force exprimée en Newton (symbole N) :

$$P = m\,g = 10\,260\ \times 9{,}8 \approx 100\,000\ N$$

La valeur de la pression atmosphérique au niveau de la Terre est donc d'environ 100 000 Newton par mètre-carré ce que l'on appelle des Pascals (symbole Pa) et la valeur de 100 000 définit le bar, unité de pression très employée notamment en plongée. Ainsi

$$\boxed{\boldsymbol{pression\ atmosphérique \approx 100\,000\ Pa = 1000\ hPa = 1\ bar}}$$

La valeur moyenne de la pression atmosphérique à la surface de la Terre définit une autre unité qui est l'atmosphère (symbole atm) :

$$\boxed{\boldsymbol{pression\ atmosphérique = 1atm = 101325\ Pa\ \approx 1013\ hPa}}$$

Il est à noter que $100\,000\ N$ correspondent au poids d'une colonne d'eau de 10 mètres environ. Ainsi, un mètre-carré disposé horizontalement à 10 m sous l'eau doit supporter en plus du poids de la colonne d'air, le poids d'une colonne d'eau, ce qui se traduira par une pression de 2 bars. A 20 m sous l'eau ce sera 3 bars et ainsi de suite.

En résumé et pour simplifier, nous pouvons établir un schéma avec trois colonnes, une colonne d'air, une colonne d'eau de 10 m et une colonne de mercure de 76 cm, les trois ayant à peu près un même poids de 10 000 kg soit 10 tonnes. Pour la colonne d'air, nous pouvons admettre qu'en ramenant dans la troposphère l'air se situant dans la stratosphère et dans l'ionosphère, nous aurions une colonne d'air homogène de masse volumique environ égale à $1\ g/L$ et de hauteur 10 000 m donc ayant un poids d'environ 10 tonnes.

$$\rho_{air} = 1000\ kg/m^3, \qquad \rho_{eau} = 1000\ kg/m^3, \qquad \rho_{mercure} = 13\,500\ kg/m^3$$