



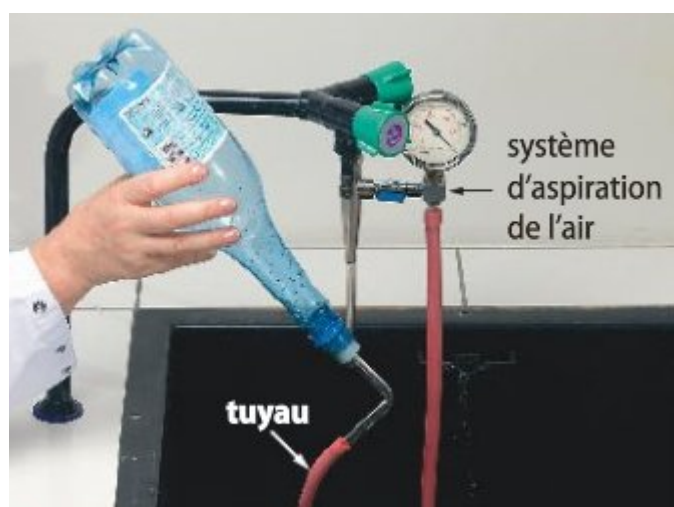
## Action mécanique des fluides (correction)

Les gaz et les liquides (qu'on appelle plus généralement fluides) agissent sur les corps qui les entourent. Comment peut-on modéliser les actions mécaniques mises en jeu ?

### 1 – Action mécanique des fluides

#### Expérience n°1

Une bouteille en plastique « vide » est reliée par son goulot à un dispositif d'aspiration de l'air (aspirateur puissant, pompe à vide). On « fait le vide » dans la bouteille.



Avant aspiration



Après aspiration

1. Qu'observe-t-on ?

La bouteille s'écrase... ou bien est écrasée ?

2. Peut-on conclure quant à la présence d'une action mécanique ? Justifier.

L'effet d'effondrement indique qu'il y a une action mécanique.

3. Qu'est-ce qui exerce cette action mécanique et sur quoi ? Gare aux apparences... souvent trompeuses. Les fontainiers de Florence<sup>1</sup> ont bien dû se rendre à l'évidence !

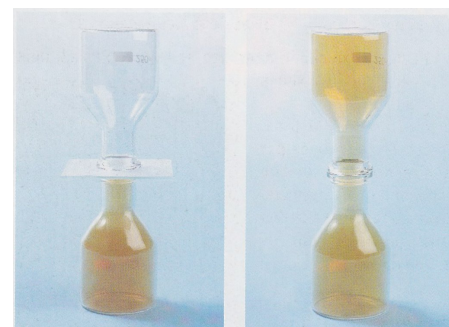
La pompe aspire l'air, mais pas la bouteille : ce n'est pas l'acteur qui écrase la bouteille. L'air initialement présent dans la bouteille « vide » se raréfie, son absence doit être responsable de l'écrasement... dont l'acteur ne peut être... que l'air extérieur à la bouteille !

#### Expérience n°2 (écolo-vidéo !)

Au laboratoire, on fabrique un gaz roux, le dioxyde d'azote  $\text{NO}_2(\text{g})$  ; ce gaz est enfermé dans un ballon sur lequel on connecte un deuxième ballon « vide ».

1. Qu'observe-t-on ?

Au bout de quelques minutes, le gaz roux emplit le deuxième compartiment.

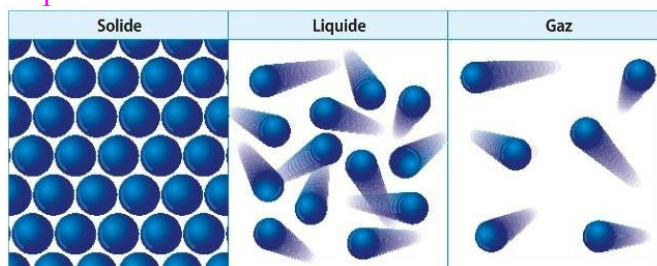


<sup>1</sup> Voir les Réflexions de ce chapitre...



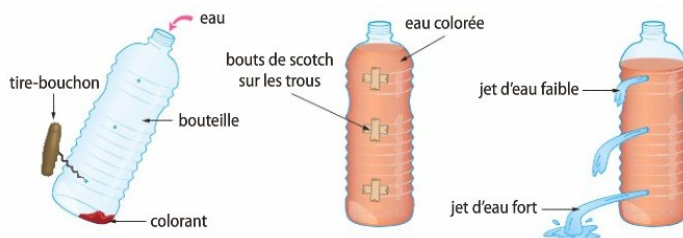
2. Comment expliquer ce phénomène microscopiquement ? Quelles différences faites-vous entre les molécules d'un gaz, d'un liquide et d'un solide ?
3. Comment peut-on interpréter l'expérience précédente microscopiquement ? A quoi est due l'action mécanique en question ?

Dans un solide, les molécules sont intimement liées ; dans un liquide, leurs liens sont plus lâches ; dans un gaz, les molécules sont libres de se déplacer dans tous les sens... liberté dont elles ne se privent pas : animées d'un mouvement erratique (désordonné et aléatoire), à des allures folles, elles se cognent et cognent dans les parois du récipient. Ce mouvement brownien est responsable à la fois de la diffusion du gaz roux (et de tous les gaz, qui occupent tout l'espace qui leur est offert – d'ailleurs l'air diffuse tout autant que le gaz roux dans l'expérience précédente) et de l'action mécanique observée dans l'expérience n°1.



### Expérience n°3

A l'aide d'un fer à souder ou d'un tire-bouchon, une bouteille en plastique est percée de trois trous à différentes hauteurs. Les trous sont bouchés avec du scotch, puis la bouteille est remplie d'eau colorée. Lorsque le scotch est enlevé, on observe des jets d'eau qui se forment par les trois trous.



1. Comment sont orientés les jets d'eau à la sortie des trous ?

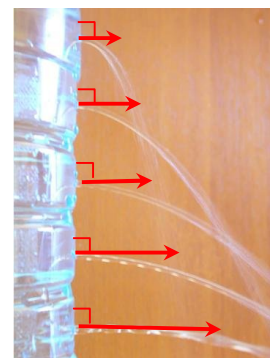
Les jets d'eau sont perpendiculaires à la surface de la bouteille.

2. En déduire l'orientation (direction et sens) de la force pressante qui modélise l'action mécanique exercée par l'eau colorée sur la bouteille.

La force pressante qui modélise l'action mécanique de l'eau sur la bouteille est perpendiculaire à la paroi et dirigée de l'eau vers la paroi (force « pressante »).

3. Les jets d'eau ont-ils la même intensité ? De quel paramètre semble dépendre l'intensité de la force pressante qui modélise l'action mécanique exercée par l'eau colorée sur la bouteille ?

Les jets d'eau sont d'autant plus intenses que le trou est bas sur la bouteille : la force pressante est d'autant plus intense (et le jet également) que la hauteur d'eau est importante au-dessus du point d'application.



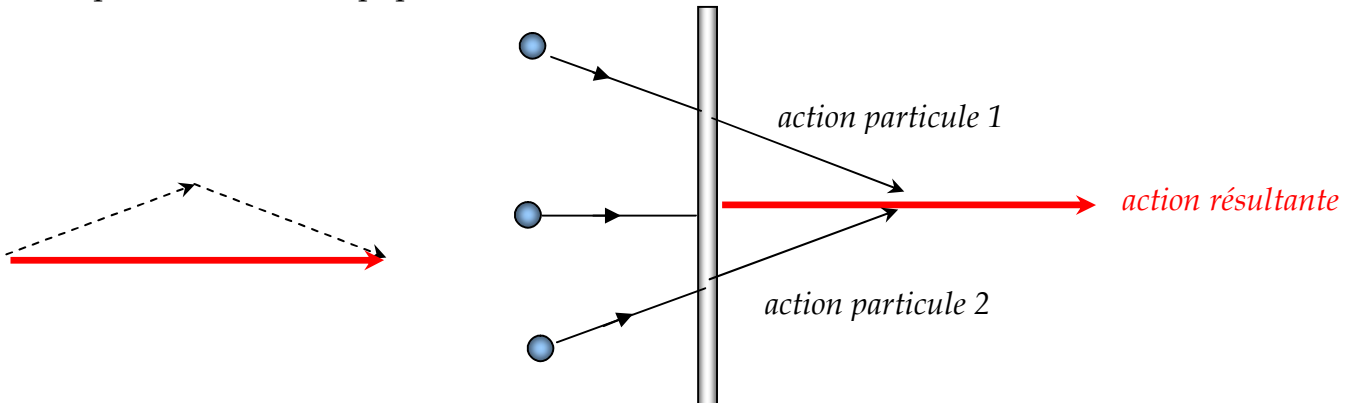


### Conclusion

Donner des éléments permettent de décrire la force pressante qui modélise l'action mécanique d'un fluide (gaz ou liquide) sur une surface à l'aide d'un vecteur force.

Tout fluide exerce en tout point d'une surface avec laquelle il est en contact une action mécanique que l'on peut modéliser par une force pressante perpendiculaire à cette surface et dirigée du fluide vers la surface.

### Interprétation microscopique

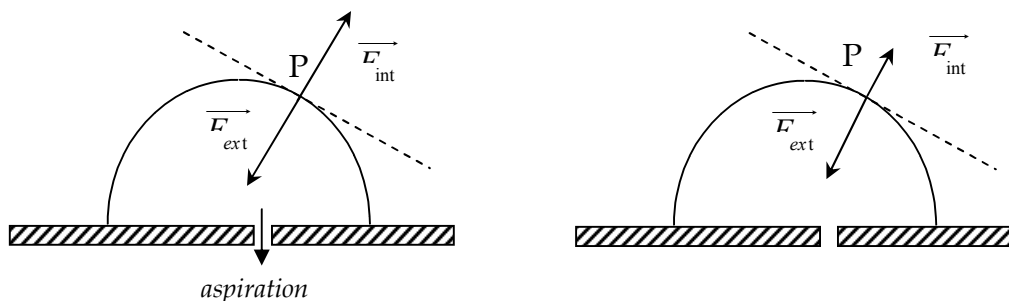


Exemple d'illustration : le ballon ou le *chamallow* gonflent sous la cloche à vide.

La cloche est l'interface entre deux milieux, disons l'air intérieur et l'air extérieur.

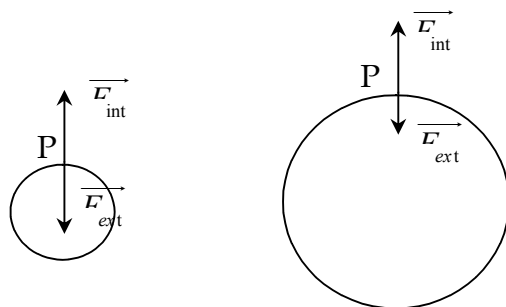
Initialement, tous les points du plateau et de la cloche subissent la force pressante de l'air atmosphérique : les molécules du gaz ont alors la même action sur la cloche. Si on considère un point P de la cloche, il subit l'action de la force pressante  $\vec{F}_{\text{int}}$  due à l'air intérieur (qui pousse la cloche vers l'extérieur) et de la force pressante  $\vec{F}_{\text{ext}}$  due à l'air extérieur (qui pousse la cloche vers l'intérieur), et ces deux forces se compensent exactement, puisque l'air intérieur et l'air extérieur présentent les mêmes caractéristiques.

Lorsqu'on fait le vide sous la cloche, les molécules d'air intérieur se raréfient : elles bombardent moins la cloche, de sorte que la force pressante  $\vec{F}_{\text{int}}$  diminue progressivement. Dans ce cas, la force  $\vec{F}_{\text{ext}}$  est plus intense et appuie la cloche sur le plateau, ce qui explique qu'on ne puisse plus la soulever.



Initialement, tous les points du ballon subissent la force pressante de l'air intérieur qu'il contient et de l'air extérieur qui l'entoure. Ces deux forces se compensent alors.

Lorsqu'on fait le vide sous la cloche, l'air qui entoure le ballon se raréfie. La force pressante qu'il exerce sur le ballon devient donc inférieure à celle qu'exerce l'air intérieur : ce dernier pousse donc sur le ballon, vers l'extérieur, ce qui provoque le gonflement du ballon.



**Remue-méninge** : Expliquer pourquoi, dans le cas de la bouteille d'eau percée, l'eau ne coule plus si l'on bouche la bouteille... et voir le problème des fontaines de Florence !

→ C'est la force pressante exercée sur la surface de l'eau et en sortie du trou qui permet à l'eau de couler dans l'expérience de la bouteille percée ; si l'on bouche la bouteille, l'eau continue à couler, mais la pression de l'air dans la bouteille (au-dessus de l'eau) diminue et finit par n'être plus suffisante pour permettre l'écoulement par le trou (ou la pression de l'air est alors plus élevée).

Dans le cas des fontaines de Florence, Galilée et Torricelli se sont aperçus qu'en utilisant une pompe il n'était pas possible de faire remonter l'eau à la surface si elle se situe à une profondeur de plus de 10 m. Certes, l'eau va monter dans le tuyau, mais arrivée à une certaine hauteur, le poids de la colonne d'eau équilibre la force pressante exercée par l'atmosphère.

Pour les curieux : la loi de statique des fluides prévoit que la pression d'une hauteur h de liquide est  $P = \rho gh$  ; pour l'eau,  $\rho = 1,000.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  et si  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ , il vient que pour obtenir une pression équivalente à la pression atmosphérique, il faut une colonne d'eau de hauteur

$$h = \frac{P_{atm}}{\rho g} = \frac{1,0.10^5}{1,0.10^3 \times 9,8} = 10 \text{ m}$$

**Un exemple historique** : les hémisphères de Magdebourg

Et voici l'explication de l'expérience des **hémisphères de Magdebourg** ! C'est bel et bien l'air extérieur aux hémisphères qui exerce une force pressante plus intense que celle exercée par l'air intérieur...



En 1680 Otto de Guericke réalise l'expérience des deux hémisphères. Il faut 24 chevaux pour séparer les deux hémisphères de 50 cm de diamètre, entre lesquels on a réalisé le vide.

Gravure tirée des Merveilles de la science, de Louis Figuier ()



Hémisphères de Magdebourg du cabinet de Sigaud de la Fond (XVIII<sup>ème</sup> siècle), Lycée Alain-Fournier (Bourges)



### Différences entre liquides et gaz

Exp. 1 : On adapte un ballon dégonflé sur une bouteille pleine d'air et un autre sur une bouteille pleine d'eau. On cherche à comparer l'évolution du volume de l'air et de l'eau lorsqu'ils sont chauffés. Que pouvez-vous en conclure ?

Alors que le volume occupé par une quantité donnée de gaz augmente avec la température, celui occupé par une quantité donnée de liquide varie nettement moins avec la température. L'influence de la température sur les liquide est moins visible que son influence sur les gaz.

Exp.2 : on veut ajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air et de l'eau dans une bouteille pleine d'eau. Pensez-vous que c'est possible ?

Les gaz sont compressibles, alors que les liquides ne le sont pas... Il y a toujours de la place entre deux molécules de gaz, puisqu'elles ne sont pas liées (d'après notre modèle microscopique des gaz), alors que les molécules de liquide le sont...

## 2 - La pression

Le Yéti, abominable homme des neiges, a inspiré de nombreux auteurs. L'hypothèse de son existence repose sur l'observation d'empreintes étranges dans les neiges de l'Himalaya au cours du XX<sup>ème</sup> siècle.

Sur la représentation ci-contre, les empreintes de tous les personnages semblent aussi profondes les unes que les autres.

→ L'artiste est-il en accord avec le phénomène physique ?



Tintin au Tibet, Hergé, 1960.

**De quel(s) paramètre(s) dépend la déformation subie par la surface d'un support déformable (par exemple une surface de neige ou de sable) ?**

### Mise en situation expérimentale

A l'aide de deux disques rigides d'aires différentes, de deux masses marquées et d'un bac rempli de sable mouillé, proposer un protocole expérimental permettant d'identifier des paramètres ayant une influence sur la déformation d'un support déformable.

Après validation générale, le mettre en œuvre et noter vos observations.

La profondeur de l'empreinte laissée semble dépendre de deux paramètres : la force d'appui (ou force pressante), et la surface d'appui.

Au cours d'une expérience, il est important de ne faire varier qu'un paramètre à la fois, afin d'éviter les interférences entre les résultats obtenus.

– Influence de la force pressante

Pour faire varier ce paramètre, on utilise des masses marquées différentes, mais la surface – l'autre paramètre – doit rester constant : on utilise pour cela un disque métallique sur lequel on posera les différentes masses.

Conclusion : la masse la plus grande laisse l'empreinte la plus profonde.



- Influence de la surface pressée

Pour faire varier ce paramètre, on utilise une seule masse marquée, que l'on pose sur des disques métalliques de surfaces différentes.

Conclusion : la surface la plus grande laisse l'empreinte la moins profonde.

Conclusions

La déformation traduit l'existence d'une pression notée  $p$ . On appelle  $F$  la valeur de l'intensité de la force qui modélise l'action mécanique exercée et  $S$  l'aire de la surface pressée.

Quelle relation semble exister entre ces grandeurs ? Expliquer votre choix.

- a.  $p = F.S$                       b.  $p = F/S$                       c.  $p = S/F$                       d.  $p = F + S$

La relation d est incohérente : il est impossible d'ajouter des newtons ( $F$ ) et des metres-carrés ( $S$ ). EN revanche, la relation doit indiquer que la pression est d'autant plus grande que la force pressante l'est, et que la surface est faible. C'est le cas de la relation (b) où la force  $F$  est au numérateur et la surface  $S$  au dénominateur.

$$\text{pression (N/m}^2 \text{ ou N.m}^{-2}\text{)} \longrightarrow p = \frac{F}{S} \longleftarrow \text{surface pressée (m}^2\text{)}$$



Plus ou moins de clous pour le confort du fakir ?  
Son poids est alors réparti sur une surface plus grande, et la pression est moindre !



Marcher avec des raquettes, il fallait tout de même oser...

L'unité de pression est le newton par mètre-carré, nommé pascal en l'honneur de Blaise Pascal (XVII<sup>ème</sup> siècle)

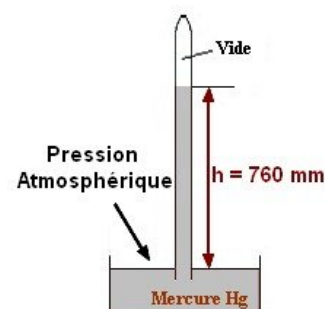
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$$

Cette unité n'est pas toujours adaptée aux pressions rencontrées tous les jours.

L'air, en tant que fluide comme les autres (si ce n'est qu'il est difficile de faire sans lui sur Terre !), exerce une force pressante sur tout corps présent sur Terre, ce qui se traduit par l'existence d'une pression atmosphérique.

Les premiers baromètres (voir ci-contre) l'évaluaient en millimètres de mercure.

Aujourd'hui, les manomètres de laboratoire la mesurent à l'aide de capteurs électroniques : il suffit d'allumer le pressiomètre du laboratoire pour remarquer qu'il indique une valeur non nulle, de plus de 1 000 hPa...





Dans des conditions de référence, la pression atmosphérique est

$$P_0 = 101\,325 \text{ Pa} = 1\,013,25 \text{ hPa}$$

Cette valeur élevée de pression (équivalente au poids d'une masse de 10 tonnes par mètre-carré) a poussé à définir d'autres grandeurs adaptées, comme le bar ou l'atmosphère

$$1 \text{ bar} = 1.10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1\,013,25 \text{ hPa}$$

Quelques ordres de grandeur...

- dans un pneu de VTT :  $7.10^5 \text{ Pa}$
- dans un pneu de voiture :  $3,5.10^5 \text{ Pa}$
- pression atmosphérique à 2 000 m d'altitude : 750 hPa
- gaz dans une ampoule de lampe à incandescence : 100 hPa

#### Remarques

La pression atmosphérique dépend de l'altitude (diminution d'un hPa tous les 8 m environ). Pour comparer les pressions atmosphériques, qui peuvent être mesurée suivant les endroits à des altitudes différentes, on calcule une pression fictive qui est celle que l'on mesurerait au niveau de la mer : c'est la pression réduite. Les météorologistes expriment les pressions en hectopascals (hPa). La pression atmosphérique moyenne est ainsi égale à 1 013 hPa. On appelle **isobare** une ligne qui relie les points de la surface de la Terre ayant, à un instant donné, la même pression réduite.

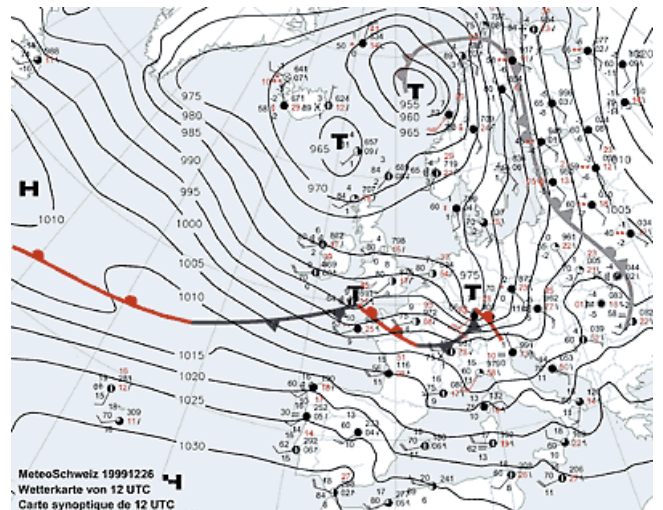
#### Anticyclones et dépressions

Les anticyclones et les dépressions sont dus aux variations de la pression atmosphérique suivant le lieu. Un anticyclone est une zone de hautes pressions : la pression réduite y est supérieure à la pression atmosphérique moyenne. Plus on s'approche du centre de l'anticyclone, plus la pression augmente. Dans l'hémisphère Nord, les vents tournent dans le sens des aiguilles d'une montre autour des anticyclones ; c'est le contraire dans l'hémisphère Sud.

Les anticyclones sont en général synonymes de beau temps. Une dépression est une zone de basses pressions (inférieures à 1 013 hPa en moyenne). Plus on s'approche de son centre, plus la pression diminue. Le sens des vents est inversé par rapport à un anticyclone.

#### Cyclones

Un cyclone est une dépression isolée quasi-circulaire, de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre. La pression au centre peut être très faible, inférieure à 900 hPa : c'est l'œil du cyclone, où l'air est calme. En revanche, des vents violents (plus de 120 km/h) soufflent autour de l'œil.



**Enigme** : comment expliquer que l'on puisse renverser un verre plein d'eau et recouvert d'une feuille, sans que l'eau ne tombe ??

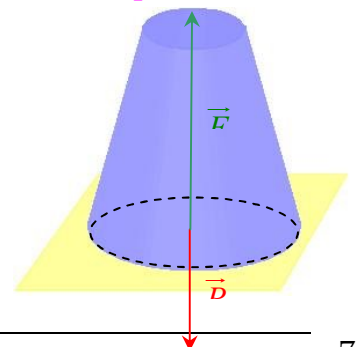
En première approche, on peut montrer que le poids de l'eau reste inférieur à la force pressante exercée par l'air sur la feuille ; à cela d'ajoutent des effets de tension superficielle, que montre très bien l'expérience sans feuille dans le petit tube à essai...

**Justification** : prenons un verre cylindrique tel que  $R = 3,0 \text{ cm}$  et  $h = 10,0 \text{ cm}$ .

Nous avons  $S = \pi R^2 = 2,8.10^{-3} \text{ m}^2$  et  $V = S \times h = 2,8.10^{-4} \text{ m}^3$ .

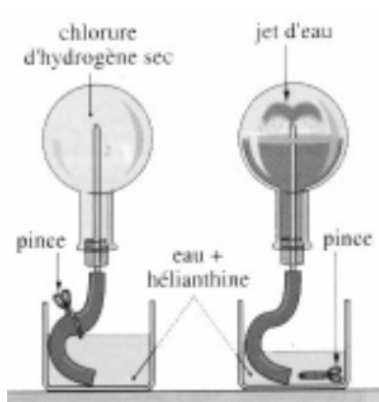
$$F_{\text{eau}} = P_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \times g = \rho_{\text{eau}} \times V \times g = 1\,000 \times 2,8.10^{-4} \times 10 = 2,8 \text{ N}$$

$$F_{\text{air}} = P_{\text{atm}} \times S = 1.10^5 \times 2,8.10^{-3} = 2,8.10^2 \text{ N} = 280 \text{ N}$$





Une autre expérience qui s'explique... le « jet d'eau »



On remplit un ballon avec du chlorure d'hydrogène sec, puis on le ferme avec un bouchon percé d'un tube en verre. Un tube de caoutchouc fermé par une pince isole le gaz d'un cristalliseur rempli d'eau à laquelle on a ajouté quelques gouttes d'hélianthine.

On ouvre la pince.

Un jet d'eau se forme à l'intérieur du ballon.

Le chlorure d'hydrogène se met rapidement en solution et, par conséquent, une dépression se crée dans le ballon. La surface de l'eau du cristalliseur est soumise à la pression atmosphérique. Sous l'effet de la différence de pression ainsi engendrée entre l'intérieur et l'extérieur du ballon, l'eau se précipite dans le ballon.