

le débouche rapidement, l'eau s'y précipite avec une grande vitesse, atteint bientôt le même niveau au dedans qu'au dehors et, de plus, s'élanche encore notablement plus haut. C'est ici le point capital. Ensuite l'eau retombe, remonte encore et, après quelques oscillations, finit par s'arrêter. Dans cette position, — position d'équilibre — l'eau se trouve dans le tube aussi haut qu'au dehors.

Comment expliquer ce fait que l'eau monte dans le tube au-dessus du niveau extérieur?

Supposons, pour plus de simplicité, que le tube n'ait pas de poids et que ses parois soient infiniment minces. Si nous plongeons ce tube dans l'eau sans le boucher du haut, nous ne devons pour cela exercer aucune pression. Dans la position finale, l'eau aura la même hauteur en dedans qu'en dehors. Mais, pour enfoncer le tube bouché du haut, nous avons à vaincre une pression, nous devons dépenser de la force musculaire, en d'autres termes nous devons produire un travail. Quel est ce travail? C'est que nous soulevons au-dessus du niveau un poids d'eau égal à celui que déplace le tube. Dans notre expérience, ce travail est comme emmagasiné ou mis en réserve pendant que nous enfonçons le tube. Il est remis en liberté à l'instant où nous enlevons le doigt qui bouchait le tube, et c'est lui qui soulève, de nouveau dans le tube une colonne d'eau au-dessus du niveau extérieur.

- 26. Bouchez du doigt la pointe du tube étiré, enfoncez-le dans l'eau, par le bout ouvert, aussi bas que possible, écartez vivement le doigt de la pointe et observez ce qui se passe.

L'eau s'élanche encore dans le tube au-dessus du niveau extérieur. Mais elle doit se resserrer dans la pointe, la pression sur chacune des particules liquides augmenté et l'eau est refoulée plus haut que si le tube n'avait pas de pointe. Mais en même temps, remarquons-le bien, la masse d'eau ainsi élevée diminue.

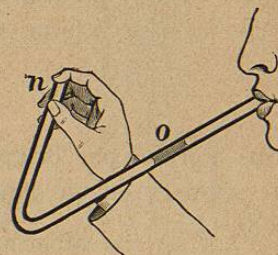
- 27. Bouchez du doigt le bout le plus large du tube étiré, enfoncez-le dans l'eau par la pointe aussi bas que possible, écartez vivement le doigt et observez ce qui se passe.

L'eau tend encore à se précipiter dans le tube avec une grande vitesse, mais la petitesse de l'ouverture qu'elle doit

traverser lui oppose un obstacle permanent. Le travail emmagasiné se dépense en partie à vaincre cette résistance: l'eau ne fait que monter lentement jusqu'au niveau extérieur.

### Elasticité de l'air.

- 28. Introduisez une goutte d'eau dans le tube coudé, fermez du doigt l'un des bouts et soufflez dans le tube par l'autre: observez la goutte d'eau. (V. la fig.)



28.

Pour introduire dans le tube une goutte d'eau, le moyen le plus simple est de le plonger dans l'eau et de l'en retirer; une goutte reste suspendue au bout et l'on peut, en inclinant le tube, amener cette goutte dans la position qu'on veut. Quand on souffle dans le tube fermé à l'autre bout, l'air compris entre la bouche et la goutte d'eau se comprime d'abord. La goutte supporte donc du côté de la bouche une pression plus grande que du côté du doigt: par suite elle se déplace et s'avance du côté du doigt. Mais par là, l'espace entre la goutte et le doigt diminuant, l'air s'y comprime et sa tension augmente en proportion. La goutte s'arrêtera quand les pressions des deux côtés seront égales.

- 29. Introduisez une goutte d'eau dans le tube coudé, fermez du doigt l'un des bouts et aspirez dans le tube par l'autre: observez la goutte d'eau.

L'aspiration raréfie l'air entre la bouche et la goutte d'eau, cet air perd donc de sa force élastique. La goutte supporte donc du côté de la bouche une pression plus faible que du côté du doigt: elle se déplace par suite et s'avance vers la bouche. Mais par là, l'espace entre la goutte et le doigt augmentant, l'air s'y raréfie aussi et perd de sa tension. La goutte arrive donc bientôt à une position où elle supporte des deux côtés la même pression, et elle s'y arrête.



30. Fermez par un piston un bout du tube large, plongez-le dans l'eau par l'autre bout, enfoncez lentement le piston et observez l'air dans le tube.

Le piston se fera d'une baguette de bois entourée de fil de laine ou d'étoupe imbibée d'huile. On peut aussi couper une tranche de pomme de terre crue, y découper un disque en y enfonçant le tube et le fixer à la baguette.

Cette expérience est analogue à celle du n° 11. On observera aussi la forme des bulles d'air qui s'élèvent à travers l'eau.

31. Fermez par des pistons les deux bouts du tube large, enfoncez-en un dans le tube et observez l'autre.

C'est la sarbacane des enfants. Quand on enfonce l'un des pistons, l'air contenu dans le tube est comprimé et sa tension augmente. La pression sur le piston libre finit par devenir assez forte pour vaincre la pression extérieure et le frottement contre les parois: le piston est lancé hors du tube avec une forte détonation.

32. Remplissez à moitié d'eau une petite bouteille, par exemple une de ces bouteilles dont les pharmaciens se servent pour leurs potions; bouchez-la avec un bouchon à travers lequel le tube en pointe passe en atteignant presque jusqu'au fond. Soufflez dans la bouteille par la pointe du tube, et observez l'effet produit.

C'est l'appareil nommé *ballon de Héron*. En soufflant dans la bouteille, on fait passer, à travers le tube et l'eau, une certaine quantité d'air comprimé qui va se joindre à l'air déjà contenu dans la bouteille. La pression de l'air à l'intérieur de la bouteille devient donc peu à peu supérieure à la pression de l'air environnant. Si alors on cesse de souffler et qu'on retire vivement de la bouche la pointe du tube, l'air comprimé dans la bouteille refoule l'eau à travers le tube et la fait jaillir à une certaine hauteur.

33. Insufflez l'air dans le ballon de Héron au moyen d'un second tube traversant le bouchon. (V. la fig.)

On emploiera le tube coudé, dont on fera arriver la petite branche dans la bouteille au-dessus de l'eau, comme le montre la figure.



### Le poids ou la pression de l'air.

34. Fermez par un piston l'un des bouts du tube large, enfoncez ce bout dans l'eau, soulevez le piston et observez ce qui se passe dans le tube.

Si l'on emploie comme piston un disque de pomme de terre crue, on y fera passer un fil pour le soulever. L'élévation du piston produit d'abord en dessous du piston un espace vide d'air. Il n'y a donc plus aucune pression sur la surface de l'eau dans l'intérieur du tube. Mais, à l'extérieur, l'eau supporte le poids de l'air qui la presse vers le piston: elle monte, dans le tube à la suite du piston.

La couche d'air qui entoure le globe terrestre — l'atmosphère — a une épaisseur de deux à trois cents kilomètres. L'air est, il est vrai, très léger par rapport à l'eau, mais des colonnes d'une telle hauteur doivent, on le conçoit, exercer une pression considérable sur les surfaces qui les supportent. L'air presse sur la surface de la terre avec un poids égal à celui d'une couche d'eau de 10 mètres environ de hauteur. Supprimons, par la pensée, l'air que nous ne voyons pas et, à sa place, figurons nous, au-dessus de notre vase, une colonne d'eau de 10 mètres: nous verrons clairement avec quelle force l'eau est pressée vers le haut en dessous du piston. Mais nous verrons aussi que pour soulever le piston, il faut soulever en même temps cette colonne d'eau qui le recouvre. Comment donc ne sentons-nous pas du tout ce poids et levons-nous si facilement le piston? C'est que la colonne d'eau de 10 mètres presse aussi la face inférieure du piston. C'est elle qui fournit presque tout le travail nécessaire



pour soulever la colonne qui pèse sur la face supérieure. (V. les Exerc. 8 et suiv.)

Signalons encore une conséquence de tout ceci. Concevons que le tube s'allonge indéfiniment vers le haut et qu'en même temps le piston y soit élevé de plus en plus: la colonne d'eau montera-t-elle toujours à la suite du piston? Evidemment non. Quand le piston atteindra dix mètres ou un peu plus, la masse d'eau extérieure, haute elle-même de 10 mètres, ne pourra plus soulever davantage l'eau dans le tube. Le niveau serait alors le même au dedans et au dehors.

- 35. Placez sur une table une planchette de caisse à cigares, dépassant d'environ 5 centimètres le bord de la table; étendez au-dessus et sur la table une mince feuille de papier, un journal par exemple. Cherchez alors à faire basculer la planche en donnant sur la partie qui dépasse un coup fort et sec avec la main ou avec un marteau.

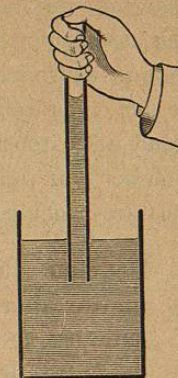
Cette expérience met en évidence d'une manière très simple la grandeur de la pression de l'air. En la faisant avec les précautions voulues, on cassera plutôt la partie extérieure de la planchette que de la faire basculer. Supposons, pour plus de simplicité, que le papier soit appliqué hermétiquement contre la table — quoique cela ne soit pas nécessaire pour réussir l'expérience. Le poids de l'air repose sur la face supérieure du papier; or, pour faire basculer la planchette, il faut soulever la feuille étendue au-dessus, c'est-à-dire soulever aussi, au premier instant du choc, la colonne d'air qui la surmonte.

- 36. Mettez une couple de gouttes d'eau sur une plaque de verre, placez par dessus une seconde plaque, pressez les deux plaques l'une contre l'autre et essayez de les séparer en soulevant la plaque supérieure.

Cette expérience est analogue à la précédente. L'eau expulse l'air d'entre les plaques. On prendra le verre bleu et la glace sans enduit.

- 37. Enfoncez dans l'eau le tube large, bouchez-le du doigt par en haut, et soulevez-le verticalement jusque près du niveau de l'eau. (V. la fig.)

L'eau ne s'écoule pas. L'explication découle de l'Exercice 34. — Avec un peu d'adresse, on peut même soulever hors de l'eau le tube rempli. On y réussit en tout cas avec le tube coudé ou avec le tube en pointe. — Comparez avec l'Exercice 66.



37.

- 38. Plongez dans l'eau un verre à boire, tournez le fond vers le haut et soulevez le verre verticalement jusque près du niveau de l'eau.

Expérience analogue à la précédente. Le fond du verre remplace le doigt. L'eau ne s'écoule que quand le bord du verre commence à s'élever au-dessus de la surface.

- 39. Plongez dans l'eau une petite bouteille et laissez-la se remplir; soulevez-la ensuite verticalement jusque près du niveau, appliquez une feuille de papier sur le goulot, et soulevez la bouteille hors de l'eau, l'ouverture en bas, en pressant du doigt le papier; retirez alors le doigt.

La feuille de papier reste attachée à l'ouverture, et l'eau ne s'écoule pas. Le papier est nécessaire pour que l'eau ne s'écoule pas par les côtés et que l'air ne pénètre pas à sa place.

- 40. Remplissez d'eau une petite bouteille, retournez-la vivement et observez comment l'eau s'écoule par saccades.

L'eau ne peut s'écouler que lorsque l'air peut arriver à la partie supérieure de la bouteille. On voit donc toujours une bulle d'air monter avant que l'eau ne s'écoule.

- 41. Plongez dans l'eau le tube étiré, la pointe en bas, bouchez-le du doigt par en haut, soulevez-le hors de l'eau et laissez écouler l'eau par intermittences, en enlevant et remplaçant le doigt à plusieurs reprises.

Quand on n'écarte pas le doigt, l'eau doit rester dans le tube, d'après l'Exercice 37. Quand on ouvre le tube, l'air peut presser d'en haut sur l'eau, et celle-ci tombe par son poids.



Quand on rebouche le tube avant que toute l'eau ne soit écoulée, l'eau ne supporte plus par en haut que la pression de la petite colonne d'air emprisonnée. L'eau continuant à couler un instant, cet air se raréfie et perd de sa tension: l'eau s'arrête donc quand cette tension devient égale à la pression de l'air extérieur diminuée du poids de la colonne d'eau restée dans le tube. C'est le principe du tâte-vin.

- 42. Bouchez du doigt le haut du tube large, plongez-le à moitié dans l'eau, débouchez-le vivement, puis rebouchez-le quand l'eau y sera montée le plus haut possible. Retirez alors le tube de l'eau autant que vous le pourrez.

Cette expérience s'explique par les Exercices 25 et 37. Si l'eau a dans le vase une hauteur de 10 centimètres, elle montera peut-être dans le tube jusqu'à 16. Cet artifice permet donc de remplir le tube à une hauteur qui dépasse celle de l'eau dans le vase. Nous nous en servons encore plus loin (Exerc. 59).

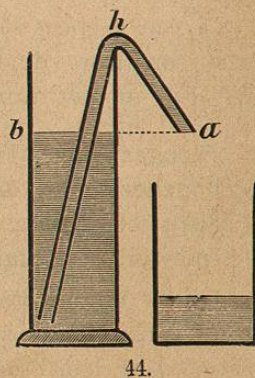
- 43. Plongez dans l'eau la grande branche du tube coudé, aspirez avec la bouche à l'autre branche, et observez ce qui se passe dans le tube.

Pendant l'aspiration, la poitrine se dilate, l'air se raréfie dans les poumons, dans la bouche et dans le tube; la pression supportée par l'eau dans le tube diminue donc et par suite la pression de l'air extérieur pousse l'eau dans le tube et l'y fait monter.

### Le siphon.

- 44. Remplissez d'eau jusqu'au bord la grande éprouvette, plongez-y aussi bas que possible la grande branche du tube coudé, aspirez par la petite branche jusqu'à ce que l'eau vous arrive à la bouche. Abandonnez alors l'appareil à lui-même, et observez ce qui se passe. (V. la fig.)

L'aspiration fait arriver l'eau juste à l'ouverture de la petite branche, ouverture qui se trouve plus bas que le niveau de



l'eau dans le vase. Il y a donc, suspendue au vase, une colonne d'eau de la hauteur de la petite branche et qui tend à tomber. Peut-elle le faire? L'air presse sur cette colonne par la grande branche, car il presse sur la surface de l'eau dans le vase et cette pression se transmet dans le tube; mais il presse aussi immédiatement à l'ouverture de la petite branche. Ces deux pressions, étant égales, se détruisent et par suite ne font pas obstacle à la chute de la colonne d'eau. Mais il y a aussi dans le tube, à partir du point le plus élevé  $h$  jusqu'au niveau, une colonne d'eau qui tend également à tomber. Si les deux colonnes d'eau tombaient réellement, il se produirait en  $h$  un espace vide. Les surfaces supérieures de ces colonnes ne supporteraient donc aucune pression, tandis que, nous le savons, leurs surfaces inférieures en supportent une de la part de l'air. L'air soulèverait donc ces colonnes et les réunirait de nouveau. L'eau ne peut donc pas se diviser en  $h$ .

Mais il peut encore arriver deux choses: les deux colonnes d'eau peuvent couler ensemble par la branche extérieure ou rentrer dans le vase; cela ne dépendra évidemment que de leur hauteur. La colonne extérieure, étant la plus haute, tombera en attirant après elle la colonne intérieure et en entraînant de plus autant d'eau que le lui permet sa hauteur. L'eau s'écoule donc par la petite branche et cela d'une manière continue, car les particules d'eau qui ont dépassé le point  $h$  du tube viennent combler la perte de hauteur produite par l'écoulement. Le tube coudé ainsi disposé se nomme un *siphon*.

Combien de temps durera l'écoulement? La réponse est facile si l'on remonte à la cause. L'eau s'arrêtera évidemment lorsque les colonnes d'eau intérieure et extérieure auront la même hauteur, car elles se feront alors équilibre. En d'autres termes, le siphon cessera de couler quand le niveau de l'eau dans le vase sera à la même hauteur que l'ouverture de la branche extérieure, comme le montre la figure.

Les considérations exposées au n° 34 montrent que le point  $h$  le plus élevé du siphon ne peut pas se trouver à plus de 10 mètres du niveau de l'eau, sans quoi le siphon cesse de couler.



- 45. Pendant que le siphon coule, modifiez la hauteur de l'orifice d'écoulement, et observez comment varie la vitesse avec laquelle l'eau s'écoule.

On peut modifier la hauteur de l'orifice en élevant, en abaissant ou en inclinant le siphon, ou aussi en inclinant le vase. L'eau s'écoule d'autant plus rapidement que l'orifice se trouve plus bas au-dessous du niveau.

- 46. Placez sous l'orifice extérieur du siphon un verre à moitié plein d'eau, et observez, pendant l'écoulement, les bulles d'air qui se produisent sous la surface de l'eau dans le verre.

Si les bulles d'air ne se produisent pas tout d'abord, il ne s'en formera pas tant que le jet depuis l'orifice jusqu'à la surface de l'eau ne présentera pas d'interruption. On les remarquera seulement quand le jet commencera à se diviser en gouttes; alors en effet il y aura derrière chaque goutte d'eau une couche d'air que la chute de la goutte entraînera sous la surface de l'eau.

- 47. Pour démontrer par l'expérience la justesse de l'explication précédente, remplissez et disposez le tube large comme dans l'Exercice 42, écartez le doigt et observez comment la colonne d'eau qui tombe entraîne avec elle une grande quantité d'air sous le niveau de l'eau.

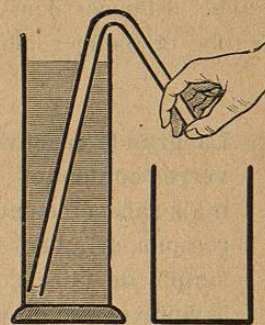
Cette expérience confirme l'explication précédente. La colonne d'eau qui se trouve au-dessus du niveau remplace ici la petite goutte d'eau de l'Exercice précédent.

- 48. Remplissez et placez le tube large comme dans l'Exercice 42, soulevez un instant le doigt et abaissez-le de nouveau: observez la pression de l'air produite sur le doigt par la colonne d'eau qui tombe.

En levant le doigt, on détermine une chute de la colonne d'eau. Au moment où l'on rebouche le tube, l'eau a acquis une certaine vitesse qu'elle ne peut pas perdre aussitôt. On dit qu'elle a de la *force vive*. Elle tombe donc encore un peu plus bas et produit ainsi une raréfaction de l'air qui la surmonte.

L'air extérieur presse donc sur le doigt plus fort que l'air contenu dans le tube. On le sent bien nettement au moment où l'on ferme le tube, le doigt est pressé contre le bord.

- 49. Déterminez l'écoulement du siphon, non par aspiration, mais en utilisant la force vive de l'eau, de la manière indiquée à l'Exercice 25. (V. la fig.)



On remplira d'eau la grande éprouvette jusque près du bord. On bouchera la petite branche du siphon et on enfoncera l'autre dans l'eau le plus bas possible. En débouchant alors la petite branche, on verra l'eau monter, puis s'échapper par la petite branche. Naturellement l'écoulement continue ensuite.

- 50. Remplissez d'eau la grande éprouvette, mais pas assez haut pour pouvoir réaliser l'expérience précédente. Comment peut-on encore, dans bien des cas, déterminer l'écoulement du siphon?

En commençant par incliner le vase et opérant ensuite comme au n° 49.

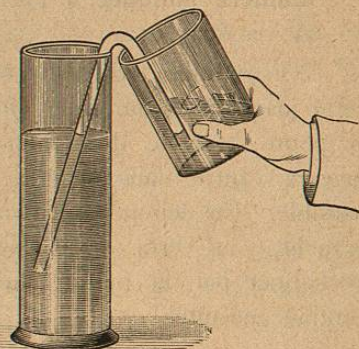
- 51. Au moyen du siphon, mais sans l'amorcer par aspiration, videz d'eau un verre autant que possible.

Quand on ne peut déterminer l'écoulement d'aucune des deux manières indiquées aux nos 49 et 50, on peut encore employer deux moyens. On peut d'abord remplir d'eau le siphon, n'importe comment, fermer l'une des ouvertures et le placer dans l'eau de manière que l'ouverture extérieure soit au-dessous du niveau. On peut alors, en inclinant le verre, le vider presque complètement. — Voici un autre moyen plus intéressant. On enfonce la grande branche dans l'eau le plus bas possible, on bouche la petite branche et l'on soulève hors de l'eau le siphon avec la colonne d'eau qui se trouve dans la grande branche. On bouche



alors celle-ci et on introduit la petite dans l'eau. On débouche enfin la grande branche: la colonne d'eau qui s'y trouve tombe et aspire après elle l'eau hors du verre, ce qui détermine l'écoulement. Si cette colonne d'eau était trop courte et ne pouvait, par suite, agir assez longtemps, il faudrait d'abord, en inclinant le tube, l'amener dans la grande branche jusque près du coude du tube et plonger alors la petite branche dans l'eau.

52. La grande éprouvette et le verre contenant de l'eau, mais sans être entièrement remplis, trouver un moyen simple de faire couler par le siphon l'eau du vase dans le verre et réciproquement. (V. la fig.)

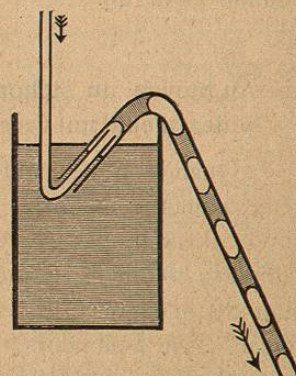


52.

On plongera la grande branche du siphon dans le grand vase et la petite dans le verre.

Si l'on soulève le verre, l'eau s'écoule dans le vase; si l'on abaisse le verre de manière que le niveau de l'eau y soit plus bas que dans le vase, l'eau retourne dans ce dernier. Si les vases ne contiennent qu'une petite quantité d'eau, il faudra les incliner.

53. Pendant que l'eau coule du verre dans la grande éprouvette (d'après l'Exercice précédent), introduisez, comme le montre la figure, le tube mince recourbé dans la petite branche du siphon, et observez comment l'eau en s'écoulant entraîne de l'air qui entre par le petit tube.



53.

Cette expérience intéressante représente l'essentiel d'une trompe à eau. En fermant subitement l'orifice d'écoulement, on voit le tube plein de bulles d'air. Si le tube capillaire est trop large, il pénètre trop d'air dans le siphon, la pres-

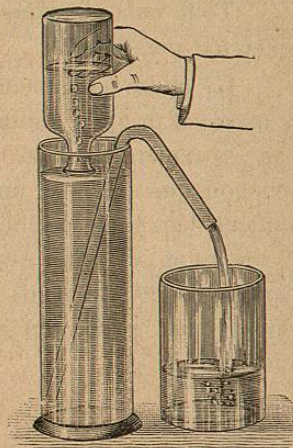
sion de l'eau décroît peu à peu et finalement l'écoulement cesse. Une petite ouverture pratiquée n'importe où dans le siphon, par exemple au point *h* de la fig. 44, produirait le même effet que l'introduction du petit tube.

54. Plongez à moitié dans l'eau le tube étiré en pointe et, au moyen du tube coudé, soufflez fortement sur la pointe du tube.

Le courant d'air passant sur la pointe entraîne une partie de l'air contenu dans le tube. L'air se raréfie aussi au-dessus de l'eau dans le tube et l'air extérieur y fait monter l'eau du vase.

Cette expérience trouve une application dans le pulvérisateur employé pour réduire en particules très fines différents liquides, par exemple certains parfums ou certains médicaments à injecter dans la gorge ou d'autres organes.

55. L'eau s'écoulant par le siphon de la grande éprouvette remplie presque jusqu'au bord, maintenir le niveau constant dans le vase au moyen d'une petite bouteille. (V. la fig.)



55.

On a ainsi un appareil à niveau constant et, par suite, à écoulement constant. On remplira entièrement la bouteille, on la bouchera et on introduira l'ouverture un tant soit peu au-dessous du niveau de l'eau. Si alors on débouche l'ouverture, l'eau ne s'écoule pas — d'après des explications précédentes. Mais quand le siphon fonctionne, le niveau de l'eau baisse dans le vase, met à découvert l'ouverture de la bouteille et y donne accès à l'air. Des bulles montent dans la bouteille et un égal volume d'eau s'en écoule aussi longtemps que le goulot dépasse le niveau. L'ouverture du siphon étant moindre que celle de la bouteille, l'eau de celle-ci s'écoule dans le vase en quantité égale à celle qui en sort par le siphon. Le niveau dans le vase reste donc constant, aussi longtemps qu'il reste de l'eau dans la bouteille.