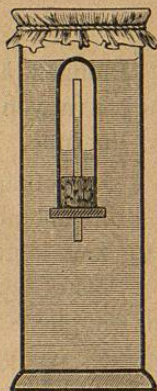


Le ludion ou plongeur de Descartes.

56. Préparez le plongeur pour l'expérience.
(V. la fig.)

Placé dans l'eau tel qu'il est, le flotteur surnage, une partie du verre surpassant la surface. Or pour les expériences auxquelles il doit servir, il faut qu'il flotte dans l'eau de manière qu'il soit juste sur le point de s'y enfoncer. Il faut que, par le moindre choc, il descende jusqu'au fond du vase pour remonter ensuite lentement. Il faut donc augmenter son poids. Le moyen le plus simple, c'est d'y verser de l'eau. Il suffira alors, pour le réglage exact, d'enfoncer ou de retirer un peu le bouchon.



56.

Tout cela demande de l'habitude, on doit l'acquérir par l'exercice personnel.

La chose essentielle à considérer dans le plongeur, c'est la masse d'air qu'il contient. Dans notre appareil, cette masse d'air est renfermée dans un verre à essais, fermé en bas par un bouchon que traverse un petit tube. C'est cette bulle d'air qui soutient dans l'eau le tube, le bouchon avec son disque métallique et son tube, et enfin l'eau qu'on y a versée. Elle supportera d'autant moins de poids qu'elle sera plus petite, et on peut la rendre plus petite en versant de l'eau ou en enfonçant le bouchon.

57. Donnez au plongeur un choc pour le faire descendre jusqu'au fond du vase, et pendant son mouvement observez le niveau de l'eau dans le tube intérieur.

Plus le plongeur descend, plus la couche d'eau qui l'entoure devient élevée. La bulle d'air ne peut plus, avec sa tension primitive, faire équilibre à la pression de la colonne d'eau qui agit à l'orifice du tube intérieur. L'eau monte donc dans ce tube et comprime l'air jusqu'à ce que sa pression devienne égale à celle de l'eau. Le niveau de l'eau dans le tube intérieur monte donc quand le plongeur descend et réciproquement.

58. Placez le plongeur dans la grande éprouvette remplie d'eau, fermez l'ouverture du vase avec du papier parchemin mouillé, et faites descendre le plongeur en pressant sur le papier.

Le papier parchemin doit être appliqué bien juste sur le bord et lié par quelques tours de fil. On peut le remplacer par un morceau de vessie d'animal ou par une feuille de gomme comme celles qu'on trouve dans le commerce pour fermer les sachets à glace employés dans certaines fièvres pour abaisser la température. On peut aussi prendre un morceau d'une de ces vessies en caoutchouc qui servent au jeu de ballon. Enfin, on peut aussi réussir en appliquant sur le bord du vase la paume de la main; seulement celle-ci ne ferme pas suffisamment pour qu'on puisse maintenir la pression d'une manière continue.

On voit aisément pourquoi la pression sur la membrane qui ferme le vase fait descendre le plongeur. Cette pression comprime l'air dans le vase et augmente sa tension. Cette tension agit sur la surface de l'eau et s'y propage dans toutes les directions. Elle exerce par exemple une pression sur les parois latérales et sur le fond du vase. Elle agit de même à l'ouverture du tube intérieur du ludion. L'air contenu dans ce dernier, n'ayant que sa tension primitive, doit céder à cet excès de pression. L'eau monte par le tube et comprime l'air intérieur dont la tension augmente jusqu'à faire équilibre à la pression de l'eau. Donc la bulle d'air a gardé son poids, mais elle a diminué de volume. Quant au reste de l'appareil (tubes de verre, bouchon, disque métallique et eau contenue), il n'a changé ni de poids ni de volume. Avant la pression, le flotteur étant sur le point de s'enfoncer, déplaçait un poids d'eau égal au sien (v. l'Exerc. 15). Par la pression, son volume diminue, il déplace moins d'eau; son poids restant le même, il doit donc s'enfoncer.

59. Le plongeur étant bien réglé, il peut arriver que, par un léger choc, il descende au fond, mais ne remonte plus. Comment peut-on le faire revenir à la surface?

Il faut, avant tout, rechercher pourquoi le ludion ne remonte pas. Pour enfoncer dans un tonneau plein d'eau un morceau de bois, il faut vaincre une pression qui augmente tant qu'il reste une partie du bois hors de l'eau, mais qui devient

constante dès que le bois est entièrement immergé. Supposons le morceau de bois maintenu, par un fil métallique, à une profondeur quelconque. Evidemment rien ne sera changé si nous le supposons entouré tout à coup d'un tube ouvert aux deux bouts et atteignant verticalement jusqu'à la surface de l'eau. Dès lors, et d'après ce qui a été dit à l'Exercice 8, nous voyons qu'il y a une colonne qui presse le bois de bas en haut, mais qu'il y en a aussi une qui le presse de haut en bas. Le poids de cette dernière est moindre que celui de la première, mais la différence est toujours la même, savoir le poids de l'eau déplacée par le bois. En effet, si l'on enfonce le bois davantage, l'une des colonnes gagne en hauteur ce que l'autre aura perdu.

C'est cette différence entre les pressions de bas en haut et de haut en bas que nous avons appelée la *poussée* du liquide. Nous pouvons donc dire: Un corps de poids et de volume constant, entièrement immergé dans un liquide, supporte toujours la même poussée, à quelque profondeur qu'il soit plongé. (La poussée peut toutefois varier pour de très grandes profondeurs. Au fond d'une mer profonde, l'eau est comprimée par le poids de la masse d'eau qu'elle supporte et devient plus dense. Pour enfoncez notre morceau de bois à de telles profondeurs, il faudrait en réalité augmenter peu à peu la pression, car la poussée, ou le poids de l'eau déplacée, va toujours en augmentant.)

Les choses se passent tout autrement pour un appareil disposé comme notre plongeur, quand on l'enfonce de plus en plus dans l'eau. Son poids reste, il est vrai, constant, mais son volume diminue, comme nous l'avons vu dans l'Exercice 57. Il déplace donc moins d'eau au fond qu'à la surface, et, par suite, la force qui le pousse en haut est moindre au fond. Par conséquent, si un plongeur flotte à la surface mais ne remonte pas quand il est au fond, c'est que son poids est tout au plus égal à la poussée à la surface et supérieur à la poussée au fond.

La cause qui empêche le plongeur de remonter est donc que son volume est devenu trop petit par suite d'une trop grande pression de l'eau. Pour le faire remonter, il faut diminuer cette pression. C'est ce qu'on peut réaliser en faisant écouler de l'eau hors du vase au moyen du siphon. Quand le niveau aura suffisamment baissé, le plongeur remontera à la surface, et, naturellement, il y restera quand on remplira de nouveau le vase.

Le volume du plongeur augmente aussi quand la pression de l'air extérieur diminue; on le verra parfois remonter quand on observera une forte baisse barométrique.

60. Montrez par l'expérience qu'un plongeur peut encore flotter dans l'eau salée quand il va au fond dans l'eau pure.

Comparez avec l'Exercice 19. — S'il n'y a qu'un faible excès de poids entre le plongeur et l'eau qu'il déplace, il remonte bientôt du fond quand on jette dans l'eau une cuillerée de sel de cuisine. Si l'on ne remue pas l'eau, le fond seul se charge d'abord de sel, le plongeur remonte, mais seulement jusqu'à la couche de séparation des deux liquides, où il flotte sans monter ni descendre. (V. plus loin l'Exerc. 91.)

Cohésion, Adhésion, Tension superficielle.

61. Faites monter une bulle d'air dans le tube coudé pendant qu'il plonge dans l'eau, et observez la forme et la vitesse de cette bulle.

On plongera dans l'eau la grande branche du tube coudé, puis, bouchant du doigt la petite branche, on retirera le tube hors de l'eau, et on enlèvera, par exemple avec le tube capillaire, une ou deux gouttes d'eau à l'ouverture de la grande branche, on replongera celle-ci dans l'eau à la même profondeur qu'auparavant, et on enlèvera le doigt qui bouche la petite branche. On remarquera à l'ouverture de la grande branche une bulle d'air que la poussée de l'eau fera lentement monter dans le tube. Elle a une forme analogue à celle d'un pain de sucre, la pointe en haut.

Pour que la bulle monte, il faut que l'eau placée au-dessus d'elle puisse couler à côté de l'air ascendant. On facilite ce mouvement de l'eau en tenant le tube un peu incliné. La bulle monte alors plus vite que quand le tube est vertical, et l'on distingue nettement l'eau qui coule sur la paroi inférieure du tube.

62. Faites monter une bulle d'air dans le tube coudé pendant qu'il plonge dans l'eau, soulevez et abaissez le tube pendant que la bulle monte et observez la position qu'elle prend.

On commencera comme dans l'Exercice précédent. — La rapidité avec laquelle monte la bulle dépend de la poussée de l'eau et de la vitesse avec laquelle peut s'écouler l'eau qui surmonte la bulle dans le tube. Ces deux grandeurs ne varient presque pas par le mouvement du tube ouvert aux deux bouts, l'ascension de la bulle ne variera guère non plus. Elle restera donc à égale distance du niveau, quand même on soulèverait rapidement le tube. — Nous avons dit que les conditions de l'expérience ne varient *presque pas*, parce que en soulevant par exemple le tube, on retarde un peu l'écoulement de l'eau. On verra pourquoi dans l'Exercice suivant.

63. Placez sur une table un verre d'eau au milieu duquel vous déposerez un petit bâton de bois, faites tourner le verre sur lui-même avec la main et observez les changements de position du bâton.

Comme le bâtonnet s'attache aisément aux parois, à cause de la courbure de la surface, on peut le remplacer par de la sciure de bois etc. qu'on fait flotter sur l'eau. Le corps flottant ne sert ici qu'à indiquer le mouvement de l'eau. On voit de suite que l'eau tourne beaucoup plus lentement que le verre. En effet, elle n'est mise en mouvement *que* par le frottement exercé sur elle par les parois du verre.

Plus d'un qui croyait cette expérience trop simple pour valoir la peine d'être essayée, s'était imaginé que le flotteur et l'eau tourneraient aussi vite que le verre. Si l'on n'y réfléchit pas, on considère aisément le verre d'eau comme un seul tout, tandis qu'en réalité ce sont deux corps différents reliés ensemble.

64. Graissez légèrement une moitié de la plaque de verre bleu, plongez successivement les deux moitiés dans l'eau et observez sur laquelle l'eau reste attachée quand on retire la plaque.

Cette expérience fera comprendre ce qu'on entend par adhésion et par cohésion. Qu'est-ce que la *cohésion*? Tout corps se compose d'un nombre immense de petites parcelles (atomes); l'œil

et les autres sens ne perçoivent que des amas de ces parcelles. Pour que leur réunion forme un corps solide, liquide ou gazeux, il faut qu'elles soient reliées entre elles par une attraction réciproque. Cette attraction s'appelle cohésion. La cohésion est donc l'attraction des particules de matière qui est nécessaire pour former un corps. Ainsi pour diviser un corps en deux autres en le coupant ou en le sciant, il faut vaincre la cohésion des particules à la surface de séparation. Pour enfoncer dans l'eau une plaque de verre, il faut vaincre non seulement la poussée de l'eau, mais aussi la cohésion des parcelles liquides que le verre déplace.

Qu'est-ce que *l'adhésion*? C'est l'attraction réciproque des plus petites parcelles de matière appartenant à des corps différents. C'est par l'adhésion que l'encre tient au papier et l'eau à la surface du verre.

Entre la cohésion et l'adhésion, il n'y a donc pas grande différence. La cohésion s'exerce entre les particules d'un seul et même corps, l'adhésion, entre les particules de deux corps différents.

En exécutant l'expérience 64, nous trouverons que l'eau n'adhère pas à la couche de graisse mais seulement au verre net. Dans le premier cas, la cohésion des particules de l'eau entre elles l'emporte sur leur adhésion aux particules de la graisse étendue sur le verre. Dans le second cas, l'adhésion entre les particules de l'eau et celles du verre l'emporte sur la cohésion des particules de l'eau entre elles. Pendant l'immersion, la couche d'eau en contact avec la plaque y adhère plus fortement qu'à la couche d'eau avoisinante; c'est pour cela qu'elle se sépare du reste du liquide.

65. En vidant lentement un verre plein d'eau, on est souvent gêné par le liquide qui découle le long de la paroi extérieure. Comment peut-on remédier à cet inconvénient?

Pour pouvoir chercher le remède, il faut savoir d'abord pourquoi, lorsqu'on incline le verre, l'eau coule au-dessus du bord, puis se sépare du verre. Cette séparation exige une pression pour vaincre l'adhésion de l'eau pour le verre. Or lors qu'on incline lentement le verre, le mouvement de l'eau étant lent, la pression avec laquelle l'eau tend à dépasser le bord est moindre que l'adhésion: par suite, l'eau coule le long du verre. Pour l'en empêcher,

il faut ou bien diminuer l'adhésion de l'eau pour le bord du vase, ou bien la vaincre d'une manière convenable. D'après l'Exercice 64, on obtiendra le premier résultat en enduisant de graisse le bord du verre. On pourra alors verser librement l'eau en mince filet.

On peut encore vaincre l'adhésion entre l'eau et la paroi par l'artifice suivant. Si, près du bord du vase, nous plaçons le tube coudé dans la direction que doit prendre le jet, l'eau paraît avoir le choix de couler le long du tube ou le long de la paroi. Mais l'adhésion étant la même des deux côtés, la direction primitive du mouvement de l'eau l'emportera; au lieu de dévier, elle suivra le tube et s'écoulera librement au bout. Nous pouvons donc verser librement l'eau hors du verre en mince filet en plaçant un tube de verre près du bord dans la direction de l'écoulement.

66. Remplissez d'eau salée le tube large, comme dans l'Exercice 42, soulevez-le entièrement hors de l'eau et observez si l'eau reste dans le tube.

Avec l'eau pure, l'expérience demande beaucoup d'adresse: l'eau s'écoule et l'air pénètre à sa place. Mais la cohésion de l'eau salée et l'adhésion entre elle et le verre est plus forte que pour l'eau pure; aussi l'eau salée ne s'écoule-t-elle pas aussi aisément. Nous verrons qu'elle reste dans le tube tant qu'il reste bouché par en haut.

67. Enfoncez à moitié dans l'eau salée le tube large ouvert aux deux bouts, bouchez-le du doigt par le haut, soulevez-le hors du liquide, et observez si celui-ci reste dans le tube.

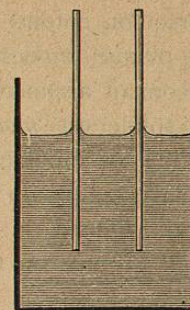
L'eau salée reste dans le tube, par la raison donnée dans l'Exercice 66.

68. Essayez de remplir à moitié d'eau salée le tube large, comme dans l'Exercice 67, mais de manière que le liquide occupe le haut du tube.

L'essai ne réussira pas, l'eau salée s'écoulera aussitôt le long du tube. Pour que les expériences 66 et 67 réussissent, il doit donc y avoir une autre raison que celle donnée au n° 66. Les deux expériences ont cela de commun que le liquide soutenu arrive jusqu'au bord inférieur du tube: la résistance à l'écoule-

ment doit donc y être plus grande qu'au milieu du tube. — C'est ce que vont expliquer les Exercices suivants.

69. Sur un imprimé quelconque, un journal par exemple, placez un verre d'eau; tenez verticalement le tube large au-dessus de l'eau, et plaçant l'œil à l'ouverture du tube, regardez les caractères à travers le tube et l'eau. Enfoncez alors le tube dans l'eau et observez comment les lettres changent de grandeur et de place. (V. la fig.)

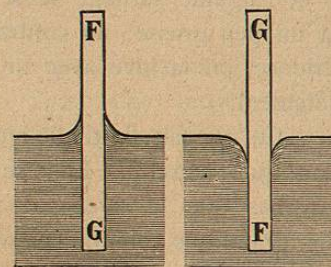


69.

Dans la première position, les caractères se présentent à peu près comme ils le font d'ordinaire à cette distance de l'œil. Mais au moment où le tube touche l'eau, nous voyons les caractères diminuer et se déformer. La seule chose qui ait pu changer, c'est la surface de l'eau dans le tube; nous devons donc conclure de notre observation que cette surface s'est modifiée quand le tube a touché l'eau. En y regardant de plus près, nous remarquerons en effet que l'eau dans le tube se tient plus haut près des parois qu'au milieu.

La fig. 69 montre la position de l'eau dans le tube et au dehors.

70. Graissez légèrement une moitié de la plaque de verre bleu, enfoncez successivement les deux moitiés dans l'eau et observez la courbure de la surface de l'eau en contact avec le verre. (V. la fig.)



70.

On observera que la surface de l'eau est courbée, comme le montre la figure. Cette courbure qui se produit toujours à la surface d'un liquide au contact d'un solide est la position d'équilibre que prennent les particules liquides sous l'action de la cohésion et de l'adhésion. C'est ce qu'on appelle les phénomènes de *tension superficielle*.

La courbure de la surface dépend donc de la prédominance éventuelle de la cohésion ou de l'adhésion, suivant ce qui a

été dit au n° 64. Si l'adhésion l'emporte, comme lorsqu'on plonge dans l'eau le verre propre G (fig. 70), le liquide s'élève autour de la plaque; si c'est la cohésion qui prévaut, comme lorsqu'on enfonce le verre gras F, l'eau est déprimée autour de la plaque au-dessous de son niveau. D'après le n° 64, on reconnaît aisément si c'est l'adhésion qui prédomine, car alors le solide est *mouillé*. On peut donc dire: quand un corps solide est mouillé par un liquide et qu'on l'y plonge, le liquide s'élève autour du solide. Un exemple encore pour éclaircir tout ceci. Quand on enfonce une plaque de verre dans du mercure bien propre, on ne voit aucune goutte de mercure adhérer à la plaque lorsqu'on la retire. Nous en concluons qu'on observera une dépression du mercure autour de la plaque quand on l'y enfoncera. Si l'on enroulait la plaque sur elle-même en forme de tube, le mercure se tiendrait plus haut au milieu du tube que près de la paroi. C'est ce qu'on voit dans le tube des baromètres.

71. Faites flotter sur l'eau une fine aiguille.

Avec un peu d'adresse, on peut déposer simplement l'aiguille sur l'eau avec la main. Pour réussir plus sûrement, on peut placer sur l'eau une bande de papier brouillard de la longueur de l'aiguille et sur cette bande l'aiguille elle-même. Le papier s'imprègne d'eau, tombe au fond: on l'aidera un peu au besoin — et l'aiguille surnage seule. Elle flotte plus facilement si elle est un peu grasse; au contraire elle ne flotte pas si, avant l'expérience, on la lave avec un peu d'alcool qui la dégraisse complètement.

Ce qui fait flotter l'aiguille, c'est la tension superficielle de l'eau qui l'entoure. Elle se trouve dans une sorte de sillon, plus bas que le niveau de l'eau. Le volume de ce sillon est plus grand que celui de l'aiguille parce que des deux côtés de l'aiguille l'eau se tient à une certaine distance. L'aiguille flottera donc si elle a le même poids ou un poids moindre que celui de l'eau déplacée par ce sillon.

72. Enfoncez dans l'eau le tube coudé, et observez si l'eau s'y tient à l'intérieur à la même hauteur qu'au dehors.

L'eau se tient plus haut à l'intérieur. Cela résulte immédiatement des explications données au n° 70.

73. Plongez dans l'eau le tube coudé du siphon et le tube capillaire, et observez de combien l'eau s'élève dans chacun.

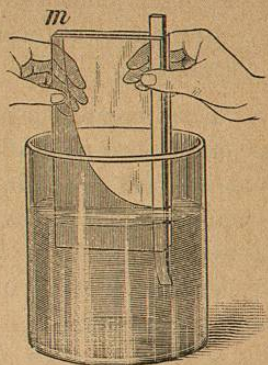
L'eau monte plus haut dans le tube le plus étroit. Les tubes très étroits sont nommés tubes *capillaires*, et les phénomènes qui s'y produisent, phénomènes de *capillarité*. — D'après le n° 70, le liquide ne monte pas toujours dans les tubes capillaires. L'eau, par exemple, y serait déprimée si le tube était graissé ou huilé à l'intérieur. Il en sera de même si l'on plonge le tube capillaire dans du mercure.

La mèche des lampes est une application bien connue des phénomènes capillaires. Le tissu de la mèche présente dans ses mailles une foule de petits intervalles qui se remplissent d'huile et la font ainsi monter du réservoir au bord supérieur de la mèche. Dans la nature, peu de phénomènes sont aussi fréquents que les phénomènes capillaires. Les tissus qui constituent les organes de tous les animaux et de toutes les plantes sont disposés à cet effet. Néanmoins la théorie de la capillarité est encore loin d'être bien claire et complète.

74. Enfoncez successivement le tube fin dans différents liquides et observez à quelle hauteur chaque liquide s'y élève.

On marquera les hauteurs avec un petit morceau de bouchon, enfilé sur le tube. On peut prendre l'eau salée, le pétrole, l'alcool, etc. Les différents liquides montent à des hauteurs différentes. — Un autre fait qui se rapporte à ceci, c'est que l'huile de colza monte dans une mèche presque aussi haut que le pétrole, et que cependant on ne peut pas la brûler dans les lampes à pétrole. C'est que ce dernier monte plus vite dans la mèche; l'huile grasse monte plus lentement et n'arrive pas assez vite en haut pour remplacer l'huile consommée par la combustion.

75. Placez une bande étroite de papier entre deux plaques de verre, sur leur longueur; serrez bien les plaques entre les mains, enfoncez-les un peu dans l'eau, et observez comment l'eau monte entre les plaques par la capillarité. (V. la fig.)



75.

On prendra le verre bleu et la glace sans enduit. Sur leur longueur, les plaques se touchent d'un côté; de l'autre, elles sont séparées par la bande de papier. Leur distance varie donc d'un bord à l'autre. Or, d'après le n° 73, l'eau s'élève d'autant moins que les plaques sont plus écartées. La surface de l'eau entre les plaques prend donc la forme d'une courbe, comme l'indique la figure.

76. Plongez dans l'eau la grande branche du tube capillaire, soulevez-le lentement dehors et observez tout ce qui se produit.

Le tube étant plongé dans l'eau, l'eau y est plus élevée qu'au dehors. Quand on le soulève lentement, la colonne d'eau retombe dans le tube d'une hauteur correspondante. A un instant donné, le bout du tube touche le niveau de l'eau. Si l'on continue à soulever lentement le tube, il faut que la colonne d'eau dans le tube s'écoule entièrement ou qu'elle s'arrache de la masse liquide pour rester dans le tube. C'est ce dernier cas qui se réalise. L'adhésion entre la colonne d'eau et la paroi du tube est plus grande que la cohésion des particules liquides situées à l'orifice. De fait, nous voyons que pour arracher de la masse environnante la colonne d'eau restée dans le tube, il faut un certain effort de traction, car, avant la séparation, l'eau qui se trouve en dessous de l'orifice est soulevée avec le tube: il se forme une petite éminence au-dessus du niveau.

77. Faites fonctionner comme siphon le tube capillaire en faisant couler l'eau, d'abord par la grande branche, puis par la petite, et observez la position finale.

On remplira le vase jusqu'au bord. Quand l'eau s'écoule par la grande branche, elle en sort d'abord en mince filet, mais,

si elle s'écoule par la petite, elle sort dès le commencement par gouttes. Dans ce dernier cas, l'orifice d'écoulement est à une moindre hauteur du niveau du liquide, c'est une moindre colonne d'eau qui tend à tomber. Mais à cette chute s'oppose le frottement de l'eau dans le siphon, et ce frottement est tellement grand que l'eau ne peut s'écouler que lentement, c'est-à-dire goutte à goutte. — Finalement et quelle que soit la branche plongée dans l'eau, le siphon cesse de couler. En observant de près cette position finale, on verra que l'eau dans le vase est encore au-dessus de l'orifice d'écoulement. La pression dans le siphon est alors égale au frottement; en d'autres termes, l'adhésion de la colonne d'eau dans le tube fait équilibre à la colonne d'eau suspendue à l'extérieur.

78. Humectez d'eau une feuille de papier sur l'une de ses faces seulement, et observez ce qui se produit.

Quand on mouille le papier, l'eau en pénètre les pores; de là, une extension du papier. Mais comme cette extension ne se produit que sur une face, la bande de papier doit se courber, le côté sec à l'intérieur. L'expérience démontre la justesse de cette déduction.

Le Pendule.

79. Suspendez un poids par un fil, mettez-le en branle par un choc, et observez ce qui se passe.

On prendra un fil d'un mètre de long environ, on l'attachera à un clou enfoncé par exemple dans le linteau d'une porte. L'appareil ainsi disposé se nomme un *pendule*. Quand on donne au poids un choc, il se meut d'abord en avant dans la direction du choc, mais bientôt son mouvement se ralentit, il s'arrête un instant, revient dans la direction opposée, repasse au point de départ (position d'équilibre), son mouvement se ralentit de nouveau, il s'arrête un instant, reprend son chemin et repasse à la position primitive. Alors le pendule a fait une *oscillation complète*. Il recommence ensuite la même série de mouvements.

Cependant on remarque que l'arc décrit à chaque oscillation diminue toujours, et qu'enfin le pendule s'arrête. Si rien ne s'opposait au mouvement du pendule, il oscillerait indéfiniment.