

Mécanique.

L'équilibre.

1. Placez une règle sur l'arête du prisme en verre de telle manière qu'elle soit en équilibre. (V. la fig.)



1.

Quand on prend la règle en main et qu'on la lâche, elle tombe. Pour nous expliquer ce fait, nous admettons que la terre attire tous les corps, et par conséquent la règle. — Tenons maintenant la règle fixe par un point voisin de l'un des bouts, par exemple en passant un fil par un trou pratiqué en ce point. Naturellement toutes les particules du bois de la règle seront encore attirées par la terre et tendront à tomber. Si le bois n'était pas assez résistant, la règle se briserait au point fixe et tomberait à terre. Mais la solidité du bois empêche la rupture et les particules de la règle peuvent seulement tomber aussi bas que le permet leur distance au point fixe: nous voyons la règle tourner autour de ce point. Donc chaque fois qu'un corps solide est fixé par un de ses points, l'attraction de la terre ne peut produire qu'un changement dans sa *position*. La position finale qu'il prend s'appelle *position d'équilibre*. Ce qui caractérise cette position, c'est que le corps y revient quand une cause extérieure quelconque l'en écarte un peu. Nous en avons un exemple bien connu dans le pendule d'une horloge. Au repos, il est dans sa position d'équilibre par rapport à son point fixe, le point de suspension. Un choc l'écarte de cette position, mais il finit toujours par y revenir.

Tenons la règle fixée par un point plus rapproché du milieu. Toutes les particules du bois tendent encore à tomber, mais nous voyons aisément qu'elles ne peuvent tomber toutes à la fois.

Si, par exemple, les particules situées à gauche du point d'appui tendent à se mouvoir dans la direction de la pesanteur ou vers le bas, les particules de droite doivent pour cela se mouvoir en sens opposé ou vers le haut. En d'autres termes, si l'attraction de la terre n'agissait que sur la partie gauche de la règle, celle-ci tournerait du côté gauche; elle tournerait du côté droit si l'attraction n'agissait que sur la partie droite. Mais l'attraction agissant sur les deux côtés à la fois, la rotation se fera dans le sens où l'impulsion est la plus forte. (Cette impulsion dépend du nombre des particules et de leur distance au point fixe.) Si l'impulsion est la même des deux côtés, aucune rotation n'est possible: la règle restera dans sa position primitive.

C'est cette position qu'il faut trouver par l'expérience dans notre Exercice. On y arrivera d'autant plus vite que la règle sera plus longue et plus pesante. Pour essayer la sensibilité de l'appareil ainsi disposé, on déposera, à la fin, de petits morceaux de papier sur l'un des côtés de la règle.

2. Placez une carte rectangulaire sur une pointe de telle manière qu'elle soit en équilibre.

Quand un corps solide est fixé par un de ses points, nous savons qu'il prend, par l'attraction de la terre, une position bien déterminée, à laquelle il revient quand une action extérieure l'en a écarté. Or, il existe pour chaque corps un point bien déterminé — et un seul — tel que le corps, fixé en ce point, se trouve en équilibre dans toute position. Ce point s'appelle *centre de gravité*.

On démontre par le calcul que tout corps, quelle que soit sa forme, a *toujours un* centre de gravité et qu'il n'en a *qu'un seul*. La position de ce point dépend de la figure et de la matière du corps. Il n'est pas nécessairement situé à l'intérieur du corps. Quand il se trouve en dehors, il faut se le représenter comme relié au corps par une tige quelconque inflexible et sans poids.

Le centre de gravité d'une sphère parfaitement homogène, c'est-à-dire dont la matière est partout la même, est le centre géométrique; seulement on ne peut fixer une sphère par son centre pour vérifier la propriété indiquée plus haut. — Le centre de gravité d'un cube est le point d'intersection de ses diagonales. — Le centre de gravité d'un cône droit à base circulaire

se trouve sur la droite qui joint le sommet au centre de la base et à une distance de ce centre égale au quart de la droite. Ainsi, si l'on pouvait tenir le cône par ce point, il serait en équilibre dans toute position, que la pointe fût en haut, en bas, ou de côté.

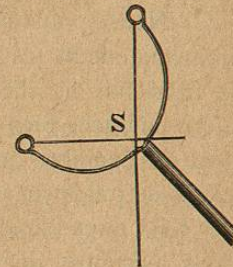
Dans notre Exercice, on trouve facilement que le centre de gravité, ou le point à soutenir, est l'intersection des diagonales du rectangle. On placera la pointe (du tourniquet électrique) sur la tige du support. On prendra une carte de la grandeur d'une carte postale.

3. Placez une carte triangulaire sur une pointe de telle manière qu'elle soit en équilibre.

Joignez deux des sommets du triangle au milieu des côtés opposés: l'intersection des deux droites ainsi menées est le point d'appui cherché.

4. Déterminez le centre de gravité de l'excitateur. (V. la fig.)

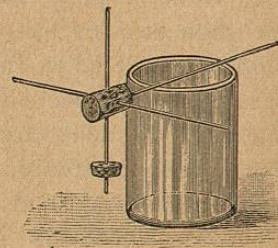
Nous suspendrons l'excitateur par un fil passé dans l'un des anneaux, et nous marquerons, par exemple par un fil, la direction de la verticale ou du fil à plomb passant par le point d'appui. En opérant de même à l'autre anneau, nous aurons deux directions dont l'intersection sera le centre de gravité cherché. Il se trouve entre les deux branches, un peu au-dessus du manche, et par conséquent en dehors du corps lui-même.



4.

5. Construisez, d'après la figure ci-contre, le modèle d'une balance dont le centre de gravité coïncide avec le point de suspension. (V. la fig.)

Enfonçons dans un bouchon une des extrémités d'une aiguille à tricoter; perpendiculairement à celle-ci, enfonçons en une seconde dont le milieu se trouve sur le prolongement de la première. En plaçant la première aiguille sur un verre à boire, nous avons le modèle d'une balance



5.

dont le centre de gravité se trouve sur l'axe de suspension. Nous remarquons, que l'aiguille oscillante — le fléau — reste en équilibre dans toute position, comme nous pouvions nous y attendre d'après les considérations précédentes sur la nature du centre de gravité. — Si maintenant nous enfonçons perpendiculairement au fléau une troisième aiguille, comme le montre la figure, de telle manière que son milieu se trouve aussi dans le prolongement de la première, notre modèle de balance aura encore son centre de gravité sur l'axe de suspension. Cette troisième aiguille représente l'aiguille ou l'index de la balance. Nous remarquerons que le fléau reste encore en équilibre dans toute position. Mais une semblable balance ne serait pas maniable: il faut que le fléau, à vide, reprenne toujours la position horizontale.

6. Construisez le modèle d'une balance dont le centre de gravité se trouve *au-dessus* de l'axe de suspension.

Nous pouvons, dans notre modèle de balance, réaliser immédiatement cette position du centre de gravité en relevant la troisième aiguille dans le bouchon jusqu'en haut. Si l'aiguille a été enfoncée bien exactement à la place voulue, tout l'ensemble sera en équilibre quand le fléau sera horizontal, mais le moindre excès de poids sur l'un des côtés du fléau le fait aussitôt trébucher de telle sorte que l'aiguille se trouve en bas. Une balance dont le centre de gravité est au-dessus de l'axe de suspension est donc impossible à employer.

7. Construisez le modèle d'une balance dont le centre de gravité soit *en dessous* de l'axe de suspension.

Il suffit pour cela d'enfoncer la troisième aiguille dans le bouchon jusqu'en bas. Si alors on écarte le fléau de sa position horizontale et qu'on l'abandonne ensuite à lui-même, il reviendra à sa position première après quelques oscillations. Une semblable balance peut donc être employée. Il faut donc, dans une balance bien construite, que le centre de gravité du fléau soit toujours verticalement en dessous de l'axe de suspension. — Pour que la balance soit maniable en pratique, il faut encore d'autres conditions qu'il serait trop long d'énumérer ici.

Arrêtons-nous cependant encore un instant à observer les oscillations du fléau. Nous pouvons déplacer son centre de

gravité en enfilant un morceau de bouchon au bas de la troisième aiguille. Après quelques tâtonnements, nous remarquerons que les oscillations deviennent d'autant plus lentes que le centre de gravité est plus voisin de l'axe. Dans une balance sensible, le fléau oscille très lentement, parce que le centre de gravité, tout en restant au-dessous de l'axe, doit en être le plus rapproché possible.

Pour terminer, indiquons encore comment on peut peser juste avec une balance fautive. Plaçons 500 gr. sur le plateau de gauche, et sur l'autre plateau assez de poids — marqués ou non — pour établir l'équilibre. (Le poids de droite sera évidemment différent de 500 gr., puisque la balance n'est pas juste.) Enlevons maintenant le poids du plateau de gauche, et mettons-y par exemple du sucre jusqu'à ce que l'équilibre se rétablisse: la quantité de sucre ainsi ajoutée pèsera juste 500 gr.

La poussée des liquides.

8. Enfoncez à moitié dans de l'eau salée le large tube ouvert, bouchez du doigt la partie inférieure, retirez le tube, enfoncez-le à moitié dans de l'eau pure, ôtez le doigt et comparez la hauteur de l'eau salée dans le tube avec le niveau de l'eau à l'extérieur.

Pour préparer l'eau salée, on remplit à moitié de sel de cuisine un verre à boire dans lequel on verse ensuite de l'eau jusqu'au bord. En remuant souvent, le sel se dissout complètement en une heure environ. L'eau salée est plus pesante que l'eau pure.

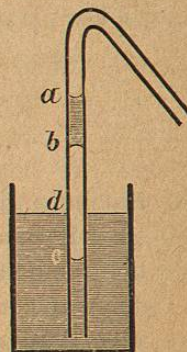
Si le tube était plein d'eau pure, le niveau à l'intérieur serait évidemment le même qu'à l'extérieur. Supposons maintenant que l'on ferme hermétiquement le bas du tube par une planchette et que l'eau dans le tube soit enlevée; la planchette sera pressée contre le bord du tube et cette pression sera égale au poids de la colonne d'eau enlevée. (C'est avec cette pression que l'eau tend à entrer dans le tube.) Si alors on verse, par en haut, de l'eau salée dans le tube, il ne faudra pas, pour équilibrer la pression environnante, en verser jusqu'au niveau que l'eau pure occupe à l'extérieur, mais moins haut, juste assez

pour que le poids de la colonne d'eau salée soit égal à celui de la colonne d'eau pure qu'on a enlevée. Enlevons maintenant la planchette, cela ne changera rien à l'état de l'eau salée dans le tube. Son niveau y est donc *plus bas* que celui de l'eau pure environnante.

- 9. Enfoncez à moitié dans de l'eau pure le large tube ouvert, bouchez du doigt la partie inférieure, retirez le tube, enfoncez-le pas tout à fait à moitié dans de l'eau salée, ôtez le doigt et comparez la hauteur de l'eau pure dans le tube avec le niveau de l'eau salée à l'extérieur.

D'après les explication de l'Exercice 8, l'eau sera plus élevée dans le tube qu'à l'extérieur.

- 10.* Introduisez dans le tube coudé une petite colonne d'eau *a b*, bouchez du doigt la partie supérieure et enfoncez le tube dans l'eau. Retirez alors le doigt et observez la position finale. (V. la fig.)



Cette expérience demande une certaine adresse. La difficulté consiste à maintenir en place la colonne liquide et à déboucher le tube au moment voulu. En enfonceant le tube dans l'eau, on comprime l'air; il faut donc déboucher peu à peu le tube, car si on l'ouvrait subitement après l'avoir trop enfoncé, la colonne d'eau serait projetée en haut hors du tube. En faisant abstraction du poids de l'air, il y aura équilibre quand l'espace *c d*, c'est à-dire l'espace occupé par l'air en dessous du niveau de l'eau, sera égal à l'espace *a b*, occupé par l'eau au-dessus du niveau. Cela résulte des considérations exposées au n° 8.

- 11. Tenez le tube coudé dans le grand vase rempli d'eau, et soufflez dans le tube le plus doucement possible, de manière que les bulles d'air montent dans l'eau une à une. Observez comment il faut augmenter la force du souffle à mesure que le tube plonge plus profondément dans l'eau.

En soufflant, nous expulsions du tube la colonne d'eau qui s'y trouvait: nous devons exercer sur elle exactement la même

pression que si nous voulions l'élever séparément (V. l'Exerc. 8). Cette pression doit donc être d'autant plus forte que la colonne d'eau est plus haute et, par suite, plus pesante.

- 12. Observez la différence de pression qu'il faut exercer pour enfoncez dans l'eau le tube large d'abord ouvert, puis bouché par en bas.

Quand nous enfoncez dans l'eau le tube ouvert en haut et en bas, nous n'avons à exercer *avec la main* aucune pression, car, si nous lâchons le tube, il tombe de lui-même dans l'eau. Le poids du tube suffit pour vaincre la poussée de l'eau. Mais, quand le tube est fermé par en bas, — ce qu'on peut faire avec un bouchon ou avec une rondelle de pomme de terre crue enfoncée dans le tube — nous devons déplacer une colonne d'eau d'un volume égal à celui de la partie immergée. Cette colonne s'étend sur toute la surface supérieure dont, par conséquent, la hauteur augmente. Il faut donc, pour enfoncez le tube, élever cette masse d'eau, et, pour cela, exercer une pression. (Peu importe, comme le montre le calcul, que ce soient précisément les particules liquides déplacées par le tube qui s'élèvent au-dessus de la surface ou d'autres particules quelconques.) La pression à vaincre augmente à mesure qu'on enfonce le tube plus profondément. La main n'a à vaincre qu'une partie de cette pression, l'autre étant surmontée par le poids du tube.

- 13. Adaptez un morceau de feuille d'étain à l'ouverture inférieure du tube large et enfoncez-le rapidement dans l'eau.

La feuille d'étain ne ferme qu'imparfaitement le tube, mais, si on l'enfonce rapidement, l'eau ne peut pas monter aussitôt dans le tube à la hauteur du niveau extérieur; l'eau extérieure exerce donc une pression contre la colonne d'eau située à l'intérieur et la feuille d'étain est pressée contre le bord du tube. Mais peu à peu l'eau pénètre dans le tube et finit par atteindre en dedans le même niveau qu'en dehors. A ce moment la colonne intérieure fait équilibre à la pression extérieure; au bas du tube les pressions de haut en bas et de bas en haut se détruisent, la feuille d'étain n'est plus pressée contre le bord et tombe au fond, le métal étant plus lourd que l'eau.

14. Mettre en évidence la poussée des liquides.

Supposons un verre d'eau placé sur le plateau de droite d'une balance, et sur l'autre plateau assez de poids pour l'équilibrer. Enfonçons dans l'eau le prisme de verre: il faut pour cela, nous le savons, exercer sur l'eau une pression. Cette pression est nettement accusée par la balance, car le plateau de droite s'abaisse. Mais l'eau exerce sur le prisme une pression en sens contraire: elle tend à repousser le prisme au dehors. C'est à cette pression qu'on donne le nom de *poussée*. La balance la met aussi très bien en évidence; seulement il faut pour cela y suspendre non plus le verre d'eau mais le prisme.

Enlevons donc le verre d'eau; au plateau où il se trouvait suspendons le prisme et équilibrons-le par des poids placés sur l'autre plateau. Sous le prisme, plaçons ensuite le verre d'eau et élevons-le de manière que le prisme plonge dans l'eau. A l'instant où le prisme commence à s'immerger, le plateau de droite s'élève et monte d'autant plus haut que le prisme plonge plus profondément dans l'eau. On pourrait croire que le prisme est devenu plus léger, car il faut enlever des poids à gauche pour rétablir l'équilibre, mais ce serait là une observation très superficielle. Le poids du prisme doit évidemment rester le même, qu'il se trouve dans l'eau ou dans l'air. La pression qu'il n'exerce plus sur le plateau de la balance, il l'exerce maintenant sur l'eau — comme nous l'avons vu en commençant; et la main qui tient le verre doit vaincre cette pression.

Pour observer nettement ce fait, le meilleur moyen serait de placer le verre d'eau sur le plateau de droite d'une seconde balance, et de mettre sur le plateau de gauche un poids suffisant pour établir l'équilibre à l'instant où le prisme touche la surface de l'eau. Alors si l'on enfonce davantage le prisme, le plateau de droite de la seconde balance baissera, et, pour la ramener en équilibre, il faudra mettre sur son plateau de gauche les poids qu'on aura dû enlever de la première balance.

On peut, à défaut de balance, faire plus simplement quelques-unes de ces expériences importantes. Au milieu d'un léger bâton de bois, attachons un fil que nous accrocherons à un support quelconque, par ex. au bouton d'un tiroir. A l'un des bouts du bâton, suspendons le prisme par un fil, et à l'autre bout un contrepoids suffisant pour amener le bâton dans la position horizontale. En approchant un verre d'eau en dessous

du prisme, de manière à ce que celui-ci finisse par plonger dans le verre, nous verrons s'élever le côté auquel est attaché le prisme.

15. Versez dans le tube à essais assez d'eau pour qu'il flotte verticalement.

En enfonçant dans l'eau le tube vide et le lâchant ensuite, nous le voyons remonter hors de l'eau. Nous en concluons, d'après l'Exercice 8, que le poids du tube ne suffit pas pour vaincre la poussée de l'eau quand le tube y est enfoncé plus bas. Pour le faire flotter, il faut augmenter son poids, et pour cela le moyen le plus simple est d'y verser de l'eau. Alors le tube s'enfonce jusqu'à une hauteur déterminée, et flotte droit dans l'eau. Il plonge alors juste assez pour que son poids, augmenté du poids de l'eau qu'il contient, fasse équilibre à la pression de l'eau environnante. Pour l'enfoncer davantage, il faut augmenter la pression en le poussant du doigt ou augmenter son poids en y ajoutant de l'eau. Ainsi le tube flottera toujours quand son poids total sera égal au poids de l'eau qu'il déplace. C'est la loi qui s'applique à tous les corps flottants.

16. Quand le tube à essais flotte dans l'eau pure, plongez-le dans de l'eau salée et observez de combien il s'y enfonce.

L'eau salée est plus pesante que l'eau pure, il en faut donc une moindre quantité pour faire équilibre au poids du tube: il s'y enfoncera moins profondément.

17. Placez un œuf frais d'abord dans de l'eau pure, puis dans de l'eau salée.

L'œuf s'enfonce dans l'eau pure, mais il surnage dans l'eau salée; il est donc plus lourd que l'eau pure, mais plus léger que l'eau salée.

18. Enfoncez le tube large jusqu'au fond d'un verre à moitié plein d'eau, versez par le tube de l'eau salée dans le verre et observez la disposition que prennent les deux liquides.

L'eau salée, étant plus pesante, occupe le fond du vase et fait monter en proportion l'eau pure qui est plus légère. Avec un peu d'attention, on distingue nettement la surface de séparation des deux liquides.

19. Placez un œuf frais dans le verre rempli moitié d'eau salée et moitié d'eau pure (d'après l'Exerc. 18), et observez la position de l'œuf dans les deux liquides.

D'après l'Exercice 17, l'œuf est plus léger que l'eau salée mais plus lourd que l'eau pure: il flottera donc entre les deux liquides.

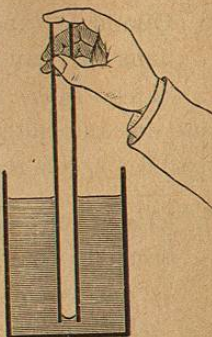
20. Bouchez d'un doigt l'ouverture inférieure du tube large et versez-y de l'eau jusque près du bord supérieur; bouchez alors le haut avec un autre doigt et observez la bulle d'air ainsi emprisonnée dans les positions du tube les plus diverses.

L'air étant plus léger que l'eau, la bulle d'air tend à occuper, dans chaque position du tube, la partie la plus élevée. Si elle se tient au milieu du tube, le haut de celui-ci est exactement horizontal.

C'est le principe du niveau d'eau.

Compressibilité ou élasticité de l'air.

21. Bouchez du doigt le haut du tube large, enfoncez-le aussi profondément que possible dans un vase plein d'eau et observez à quelle hauteur l'eau s'élève dans le tube. (V. la fig.)



En enfonçant verticalement dans l'eau le tube bouché par le haut, nous séparons de l'air environnant l'air contenu dans le tube. Si alors nous l'enfonçons davantage, l'eau qui entoure le tube tend, nous le savons, à y pénétrer. L'air, plus léger, reste toujours en haut et l'eau en dessous. Donc, pour que l'eau entre dans le tube, il faut que l'espace occupé par l'air diminue: l'air est comprimé. Mais nous voyons que cet air comprimé exerce aussi une pression, car l'eau ne s'élève pas aussi haut dans le tube qu'au dehors. Cette expérience prouve donc qu'il faut une pression pour comprimer l'air, et que réciproquement l'air comprimé tend à reprendre son volume. C'est ce qu'on exprime en disant: l'air est *élastique*.

22. Fermez du doigt la petite branche du tube coudé, plongez la grande branche dans la grande éprouvette remplie d'eau et observez à quelle hauteur l'eau monte dans le tube quand on l'enfonce à différentes profondeurs.

Le niveau de l'eau s'élève d'autant plus lentement que la profondeur devient plus grande.

23. Dans un bassin rempli d'eau, plongez un verre à boire renversé, le fond en haut, et observez à quelle hauteur l'eau s'élève dans le verre.

C'est une représentation de la cloche à plongeur dans ce qu'elle a d'essentiel. — Si l'on dispose d'un vase profond, par exemple un tonneau à eau de pluie, on sent nettement qu'on doit, pour enfoncer le verre dans l'eau, exercer une pression et que cette pression augmente tant qu'il y a encore une partie du verre hors de l'eau. Mais dès que le verre est entièrement immergé, la pression nécessaire pour l'enfoncer davantage diminue constamment, parce que l'air contenu dans le verre se comprime de plus en plus. — Nous observerons encore mieux tout ceci dans les expériences avec le ludion.

24. Dans un large bassin rempli d'eau, plongez un verre à boire renversé, le fond en haut, fermez du doigt la longue branche du tube coudé et introduisez la petite branche sous le verre jusqu'au-dessus du niveau de l'eau; écartez alors le doigt et observez ce qui se passe dans le verre.

On sait, par les Exercices précédents, que l'air est comprimé dans le verre. Quand on débouche la longue branche du tube, l'air emprisonné dans le verre est mis en communication avec l'air extérieur, exactement comme si l'on avait percé un trou à la partie supérieure. Une partie de l'air s'échappe donc par le tube et l'eau remonte dans le verre aussi haut qu'en dehors.

Travail emmagasiné, puis remis en liberté.

25. Fermez du doigt un bout du tube large, enfoncez le tube dans l'eau par l'autre bout aussi bas que possible, écartez vivement le doigt et observez ce qui se passe.

Quand le tube bouché par en haut est plongé dans l'eau, le liquide s'y tient beaucoup plus bas qu'à l'extérieur. Si on