39. **Fil à plomb.** — La verticale en un lieu quelconque se détermine par le *fil à plomb*. On nomme ainsi un fil auquel est suspendue une petite balle de plomb (fig. 7). Ce fil, étant fixé par son extrémité supérieure et abandonné à lui-même, prend naturellement la direction de la verticale ; car on verra bientôt qu'un corps qui n'a qu'un point d'appui, ne peut être en équilibre qu'autant que son centre de gravité et le point d'appui sont situés sur une même verticale (43).


Fig. 7.

Le fil à plomb ne peut indiquer si la direction de la pesanteur en un lieu est constante. En effet, si l'on observait que le fil à plomb d'abord parallèle au mur d'un édifice, par exemple, a cessé de l'être, on ne saurait dire si c'est la pesanteur qui a changé de direction, ou si c'est le mur qui s'est incliné. Mais en traitant des propriétés des liquides, nous verrons que leur surface ne peut demeurer horizontale, ou *être de niveau,* qu'autant qu'elle est perpendiculaire à la direction de la pesanteur (86). Par conséquent, si celle-ci changeait, il en serait de même du niveau des mers. La stabilité de ce niveau est donc une preuve que la direction de la pesanteur est constante.

Toutefois, près d'une grande masse de matière, comme une montagne, le fil à plomb est dévié : la Condamine et Bouguer ont constaté que la montagne le Chimboraço imprime au fil à plomb une déviation de 7″,5.

---

## CHAPITRE II.

### DENSITÉ, POIDS, CENTRE DE GRAVITÉ, BALANCES.

40. **Densité absolue et densité relative.** — La *densité* d'un corps est sa masse sous l'unité de volume (4). On ne peut dire quelle est la *densité absolue,* c'est-à-dire la quantité réelle de matière qu'un corps renferme ; on ne peut déterminer que sa *densité relative,* c'est-à-dire la quantité de matière qu'il contient, à volume égal, par rapport à un autre corps pris pour terme de comparaison. Ce corps, pour les solides et les liquides, est l'eau distillée, prise à 4 degrés au-dessus de zéro ; pour les gaz, c'est l'air. Par conséquent, quand on dit que la densité du zinc est 7, cela signifie que, sous le même volume, ce métal contient 7 fois plus de matière que l'eau.

En représentant par V le volume d'un corps, par M sa masse absolue, et par D sa quantité de matière sous l'unité de volume, c'est-à-dire sa densité absolue, il est évident que la quantité totale de matière contenue dans le volume V est V fois D ; d'où $M = VD$. De cette égalité on tire $D = \frac{M}{V}$ ; d'où l'on peut dire encore que *la densité absolue d'un corps est le rapport de sa masse à son volume.*



41. **Poids.** — On distingue, dans tout corps, le *poids absolu*, le *poids relatif* et le *poids spécifique.*

Le *poids absolu* d'un corps est la pression qu'il exerce sur l'obstacle qui l'empêche de tomber. Cette pression n'est autre chose que la résultante des actions de la pesanteur sur chacune des molécules du corps ; d'où il résulte qu'elle est d'autant plus grande, que le corps contient plus de matière : ce qu'on exprime en disant que *le poids d'un corps est proportionnel à sa masse.*

Le *poids relatif* d'un corps est celui qui se détermine au moyen de la balance ; c'est le rapport du poids absolu du corps à un autre poids déterminé qu'on a choisi pour unité. Dans le système métrique, cette unité est le gramme. Ainsi, quand on trouve qu'un corps pèse 58 grammes, 58 est son poids relatif. En adoptant une autre unité, le poids relatif changerait, mais le poids absolu serait le même.

Enfin, le *poids spécifique* d'un corps est le rapport de son poids sous un certain volume, à celui d'un égal volume d'eau distillée et à 4 degrés au-dessus de zéro. Par exemple, si l'on dit que le poids spécifique du zinc est 7, cela exprime qu'à volume égal le zinc pèse 7 fois plus que l'eau distillée, prise à 4 degrés.

Le poids des corps, à volume égal, étant proportionnel à leur masse, il en résulte que si un corps contient deux, trois fois plus de matière que l'eau, il doit être deux, trois fois plus pesant ; par conséquent, le rapport entre les poids, ou le poids spécifique, doit être le même que le rapport entre les masses, ou la densité relative. C'est pourquoi les expressions *densité relative* et *poids spécifique* sont souvent regardées comme équivalentes. Toutefois, si la pesanteur était détruite, il n'y aurait plus ni poids absolu ni poids relatif, tandis qu'il y aurait toujours lieu de considérer les densités. Celles-ci ne pourraient se déterminer alors par la balance ; mais on a vu (35) que le rapport des masses est le même que le rapport des forces qui imprimeraient à ces masses une même vitesse dans le même temps, ce qui permettrait encore de déterminer les densités.

On a vu également (35) que la masse d'un corps est égale au rapport constant de la force qui le sollicite à l'accélération de vitesse qu'elle lui imprime ; si donc on représente par P le poids absolu d'un corps, c'est-à dire la force qui tend à le faire tomber, par $g$ l'accélération de vitesse que la pesanteur lui imprime, accélération qui peut être prise pour intensité de cette force, enfin par M la masse du corps, on a

$$\frac{P}{g} = M, \text{ d'où } P = Mg.$$

Cette formule fait voir que le poids d'un corps est proportionnel à sa masse et à l'intensité de la pesanteur. En y remplaçant M par sa valeur VD (40), on a $P = VDg$. Avec un autre corps dont le poids, la densité et le volume seraient P′, V′ et D′, on aurait de même $P' = V'D'g$. Pour $D = D'$, on a $\frac{P}{P'} = \frac{V}{V'}$ [1]; et pour $P = P'$, on a $VD = V'D'$, d'où $\frac{V}{V'} = \frac{D'}{D}$ [2]. De l'égalité [1], on conclut qu'*à densité égale, les poids sont proportionnels aux volumes;* et de l'égalité [2], qu'*à poids égal, les volumes sont en raison inverse des densités.*

On verra bientôt les procédés à l'aide desquels on détermine les poids spécifiques des solides et des liquides par rapport à l'eau. Quant aux gaz, leurs poids spécifiques se prennent par rapport à l'air.

42. **Centre de gravité, sa détermination expérimentale.** — Le

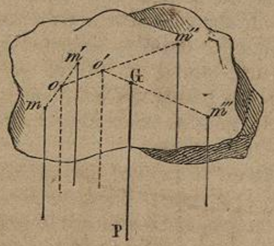

Fig. 8.

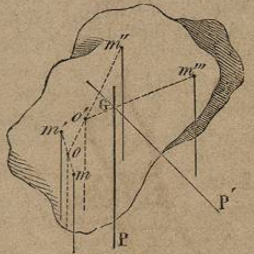

Fig. 9.

*centre de gravité* d'un corps est le point par lequel passe constamment la résultante des actions de la pesanteur sur les molécules de ce corps, dans toutes les positions qu'il peut prendre.

Tout corps a un centre de gravité unique. En effet, soit une masse quelconque (fig. 8), et $m$, $m'$, $m''$, $m'''$...., ses molécules. Toutes celles-ci étant sollicitées par la pesanteur suivant des directions verticales, il en résulte un système de forces parallèles dont on obtient la résultante en cherchant d'abord celle des forces qui sollicitent deux molécules quelconques $m$ et $m'$ (27), puis la résultante de la force ainsi obtenue et de celle qui sollicite une troisième molécule $m''$, et ainsi de suite jusqu'à la résultante finale P, appliquée en G et représentant le poids du corps. Or, si l'on donne au corps une autre position, comme le montre la figure 9, les molécules $m$, $m'$, $m''$...., étant encore sollicitées par les mêmes forces que lorsque le corps était dans la position représentée dans la figure 8, la résultante des forces qui sollicitent $m$ et $m'$ continue à passer en $o$, puis la résultante suivante en $o'$, et ainsi de suite jusqu'à la résultante P, qui passe encore en G, où elle coupe la direction GP′ qu'avait la même résultante, par rapport au corps,



dans la première position. La même chose ayant lieu dans toutes les positions qu'on donne au corps, c'est le point G, où passe constamment la direction du poids, qui est le centre de gravité.

La recherche du centre de gravité d'un corps quelconque est du domaine de la géométrie; mais, dans plusieurs cas, on peut le déterminer immédiatement. Par exemple, dans une ligne droite homogène, le centre de gravité se trouve au milieu de la droite; dans un cercle, il est au centre; il en est de même pour une sphère. Dans les cylindres, il est au milieu de l'axe. En statique, on fait voir que, dans un triangle, le centre de gravité se trouve sur la


Fig. 10.

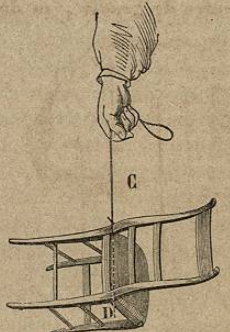


Fig. 11.

ligne qui joint un des sommets au milieu du côté opposé, et aux deux tiers de cette ligne à partir du sommet. Dans les pyramides, il est placé sur la droite qui joint le sommet au centre de gravité de la base, et aux trois quarts de cette droite à partir du sommet; il en est de même dans les cônes.

On peut, dans plusieurs cas, déterminer le centre de gravité par l'expérience. Pour cela, on suspend le corps à un cordeau, successivement dans deux positions différentes, comme le montrent les figures 10 et 11; puis on cherche le point où le cordeau CD, dans la seconde position, va couper la direction AB, qu'avait le cordeau dans la première : ce point est le centre de gravité cherché. En effet, dans chaque position, l'équilibre ne pouvant s'établir qu'autant que le centre de gravité vient se placer au-dessous du point d'attache du cordeau et sur sa direction (43), il en résulte que le centre de gravité doit être placé à la fois sur les deux directions du cordeau, et, par conséquent, à leur point de rencontre.

Dans les corps dont la forme et l'homogénéité sont invariables, la position du centre de gravité est constante; dans le cas contraire, la position de ce point change. C'est ce qui arrive chez les animaux, où la position du centre de gravité varie avec les attitudes.

43. **Équilibre des corps pesants.** — L'action de la pesanteur sur un corps se réduisant à une force unique, verticale, dirigée de haut en bas, et appliquée au centre de gravité, il suffit, pour qu'il y ait équilibre, que cette force soit détruite par la résistance d'un point fixe par lequel elle passe.

Il se présente ici deux cas, suivant que le corps pesant est soutenu par un seul point d'appui ou par plusieurs. Dans le premier cas, le centre de gravité doit coïncider avec le point d'appui, ou se trouver sur la verticale qui passe par ce point. Dans le second, il suffit que la verticale menée par le centre de gravité passe dans l'intérieur de la *base*, c'est-à-dire du polygone qu'on obtient en joignant entre eux les points d'appui.

Dans les tours de Pise et de Bologne, qui sont tellement inclinées à l'horizon, qu'elles semblent menacer les passants de leur chute, l'équilibre persiste, parce que la verticale menée par le centre de gravité passe dans l'intérieur de la base.

Un homme est d'autant plus ferme sur ses pieds, que ceux-ci présentent une base plus grande; car il peut alors donner à ses mouvements plus d'amplitude, sans que la verticale menée par son centre de gravité se trouve en dehors de cette base. S'il se pose sur un pied, la stabilité diminue; elle diminue encore s'il s'élève sur la pointe du pied. Dans cette position, un très-faible balancement suffit pour que le centre de gravité ne soit plus au-dessus de la base, et pour rompre l'équilibre.

44. **Divers états d'équilibre.** — Selon la position du centre de gravité par rapport au point d'appui, il se présente trois états d'équilibre : l'état d'*équilibre stable*, celui d'*équilibre instable*, et celui d'*équilibre indifférent*.

L'*équilibre stable* est l'état d'un corps qui, dévié de sa position d'équilibre, y revient de lui-même aussitôt qu'aucun obstacle ne s'y oppose. Cet état se présente toutes les fois qu'un corps est dans une position telle, que son centre de gravité est plus bas que dans toute autre position voisine. Si le corps est alors déplacé, son centre de gravité ne peut être que relevé, et comme la pesanteur tend sans cesse à l'abaisser, elle le ramène, après une suite d'oscillations, à sa position première, et l'équilibre se rétablit. Tel est le cas d'un balancier d'horloge, ou celui d'un œuf sur un plan horizontal, lorsque son grand axe est sensiblement parallèle à ce plan.

Comme exemple d'équilibre stable, on construit de petites figures



d'ivoire (fig. 12), qu'on fait tenir sur un pied en les chargeant de deux boules de plomb placées assez bas pour que, dans toutes les positions, le centre de gravité $g$ des boules et des petites figures se trouve au-dessous du point d'appui.

L'*équilibre instable* est l'état d'un corps qui, dévié de sa position d'équilibre, ne tend qu'à s'en écarter davantage. Cet état se présente toutes les fois qu'un corps est dans une position telle, que son centre de gravité est plus haut que dans toute autre position voisine; car, par un déplacement quelconque, le centre de gravité étant abaissé, la pesanteur ne tend qu'à l'abaisser davantage. Tel est le cas d'un œuf reposant sur un plan horizontal de manière que son grand axe soit vertical. C'est aussi celui d'un bâton qu'on fait tenir en équilibre debout sur un doigt.


Fig. 12 (h = 21).

Enfin, on nomme *équilibre indifférent*, celui qui persiste dans toutes les positions que peut prendre un corps. Ce genre d'équilibre se rencontre lorsque, dans les diverses positions du corps, son centre de gravité n'est ni relevé ni abaissé, ainsi qu'il arrive pour une roue de voiture soutenue par son essieu, ou pour une sphère reposant sur un plan horizontal.

La figure 13 représente trois cônes, A, B, C, placés respectivement dans les positions d'équilibre stable, instable et indifférent. Dans tous les trois, la lettre $g$ désigne la position du centre de gravité.

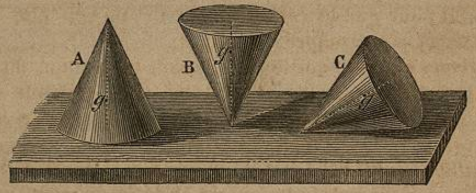


Fig. 13.

45. **Levier.** — Avant de faire connaître la théorie des balances, nous rappellerons ici une autre théorie qui appartient au cours de mécanique, celle du levier, sans laquelle ce qui a rapport aux balances ne peut être bien compris.

On nomme *levier*, toute barre AB (fig. 14), droite ou courbe, s'appuyant sur un point fixe $c$, autour duquel elle est sollicitée à tourner en sens contraire par deux forces parallèles ou concourantes. L'une de ces forces, celle qui agit comme moteur, est la *puissance,* l'autre est la *résistance.* D'après la position du point d'appui par rapport aux points d'application de la puissance et de la résistance, on distingue trois genres de leviers : 1° le *levier du premier genre,* quand le point d'appui est placé entre la puissance et la résistance ; 2° le *levier du second genre,* lorsque la résistance est entre le point d'appui et la puissance ; 3° le *levier du troisième genre,* quand la puissance se trouve entre le point d'appui et la résistance.

Dans les trois genres de leviers, les distances respectives de la puissance et de la résistance au point d'appui se nomment *bras de levier.* Si le levier est droit et perpendiculaire aux directions de ces deux forces, comme dans la figure 14, les deux portions Ac et Bc du levier sont elles-mêmes les bras de levier ; mais si le levier est incliné par rapport à la direction des forces (fig. 15), les bras

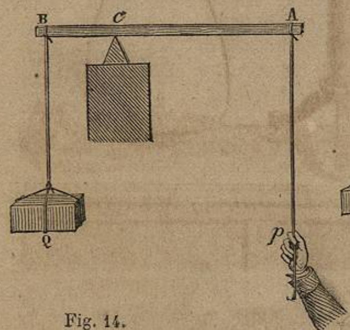


Fig. 14.

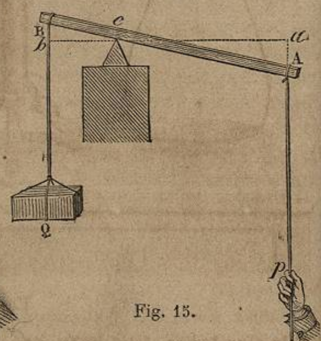


Fig. 15.

de levier sont les perpendiculaires *ca* et *cb* abaissées du point fixe sur ces directions.

Or, on démontre en mécanique qu'une force qui tend à faire tourner un levier autour de son point d'appui, produit d'autant plus d'effet que sa direction passe plus loin de ce point d'appui, ou, ce qui est la même chose, qu'*elle agit sur un plus grand bras de levier.* Il découle de là que lorsque la puissance et la résistance ont même intensité, et agissent sur des bras de levier égaux, elles produisent le même effet, mais en sens contraire, et dès lors se font équilibre ; mais si elles agissent sur des bras de levier inégaux, si, par exemple, le bras de levier de la puissance est deux, trois fois plus grand que celui de la résistance, il découle du principe ci-



dessus que les effets ne seront égaux qu'à la condition que la puissance soit deux, trois fois plus petite que la résistance, ce qu'on exprime en disant que *pour que deux forces se fassent équilibre, à*


Fig. 16.

*l'aide d'un levier, leurs intensités doivent être en raison inverse des bras de levier auxquels elles sont appliquées.*

C'est-à-dire que, dans la figure 15, on a $\frac{P}{Q} = \frac{bc}{ac}$, d'où $P \times ac = Q \times bc$. Or, en mécanique, le produit $P \times ac$ d'une force par la perpendiculaire abaissée du centre de rotation *c* sur sa direction, se nomme *moment* de cette force par rapport à ce point. On peut donc énoncer l'égalité ci-dessus, en disant que lorsque deux forces se font équilibre à l'aide d'un levier, *les moments de la puissance et de la résistance par rapport au point d'appui sont égaux.*

Ces notions données, nous passons à la théorie des balances.

46. **Balances.** — On nomme *balances,* des appareils qui servent à déterminer le poids relatif des corps. On en construit de plusieurs sortes.

La balance ordinaire (fig. 16) consiste en un levier du premier genre *mn*, nommé *fléau,* dont le point d'appui est au milieu; aux deux extrémités du fléau sont suspendus des *bassins* ou *plateaux* P, Q, de même poids, destinés à recevoir, l'un les objets à peser, l'autre des poids cotés. Le fléau est traversé, en son milieu, par un prisme d'acier *ok* (fig. 18) qu'on nomme *couteau;* pour diminuer le frottement, l'arête vive de celui-ci, qui est l'*axe de suspension* du fléau, repose à ses deux bouts sur deux pièces polies *x*, *y*, d'agate ou d'acier, qui constituent la *chape*. Aux extrémités du fléau

Fig. 17.

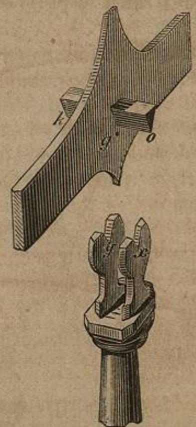

Fig. 18.

sont en outre adaptés deux prismes plus petits, dont l'arête vive est en haut. C'est sur cette arête que reposent, à l'aide de crochets, les deux plateaux P et Q (fig. 17). Enfin, à la partie supérieure du fléau est fixée une longue aiguille qui oscille devant un petit arc gradué *a*, fixe et porté par la colonne C, sur laquelle reposent la chape et le fléau. Quand ce dernier est bien horizontal, la pointe de l'aiguille correspond au milieu de l'arc.

Ces détails connus, il reste à chercher les conditions auxquelles doit satisfaire une balance : 1° pour être *précise,* c'est-à-dire pour donner des pesées exactes; 2° pour être *sensible,* ou pour osciller sous l'influence d'une très-petite différence de poids dans les deux plateaux.

47. **Conditions de précision.** — 1° *Les deux bras du fléau doivent être rigoureusement égaux en longueur et en poids,* sinon, d'après la théorie du levier, il faudrait, dans les bassins, des poids inégaux



pour se faire équilibre. Pour reconnaître si les bras du fléau sont égaux, on place des poids dans les deux plateaux, de manière que le fléau prenne une position horizontale. Transposant ensuite les poids respectivement d'un bassin dans l'autre, le fléau restera horizontal si les bras sont égaux, car, dans ce cas, les poids le sont asusi; sinon il inclinera du côté du bras leplus long.

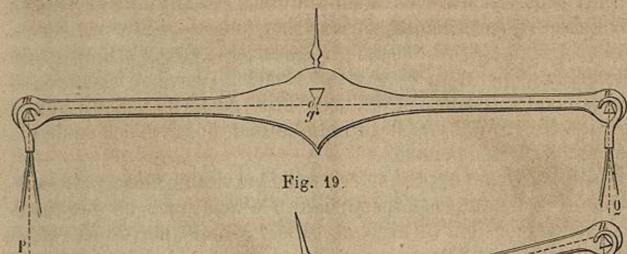

Fig. 19.

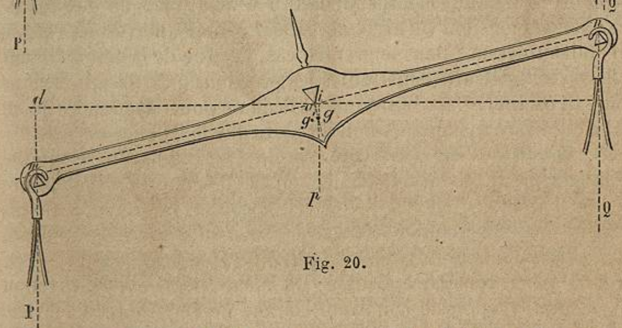

Fig. 20.

2° *Les arêtes m, n, o, des trois prismes doivent être en ligne droite* (fig. 19). En effet, les bras de levier étant égaux, comme on vient de le voir, lorsque les poids P et Q placés dans les deux plateaux sont eux-mêmes égaux, leur résultante P + Q, ou 2P, est exactement appliquée à l'axe de suspension *o* (27). Or, cet axe étant fixe, la résultante se trouve alors détruite, et, par suite, le fléau prend exactement la même position que lorsque les plateaux sont vides.

3° *Le centre de gravité g du fléau doit se trouver au-dessous de l'axe ok* (fig. 18 et 19), *sur la droite og perpendiculaire à la ligne mn, qui passe par les axes de suspension des trois prismes.* En effet, ces deux conditions étant satisfaites, que les plateaux soient vides ou chargés de poids égaux, le fléau prend nécessairement la position horizontale, puisque son centre de gravité tend toujours à se placer au-dessous de l'axe de suspension, sur la verticale menée par cet axe, position où l'équilibre est stable (44).

Dans le cas où les poids P et Q placés dans les deux plateaux sont inégaux, et où P, par exemple, est plus grand que Q, le fléau incline (fig. 20), et son centre de gravité est alors relevé de $g'$ en $g$, jusqu'à ce que le poids $p$ du fléau fasse équilibre à l'excès de poids P — Q, condition qui finira toujours par se réaliser. En effet, ayant mené la droite $doi$ perpendiculaire aux directions P et $p$, le bras de levier $oi$, à l'extrémité duquel est appliqué le poids $p$, augmentant avec l'inclinaison du fléau, tandis que le bras de levier $do$ diminue, les moments $p \times oi$ et $(P - Q) \times do$ finiront nécessairement par être égaux (45). Donc, la dernière condition ci-dessus étant satisfaite, et les deux bras de levier étant égaux, la position horizontale du fléau indique bien l'égalité des poids placés dans les deux plateaux.

Jusqu'ici, on a supposé le centre de gravité du fléau non-seulement sur la droite $go$ perpendiculaire à $mno$, mais au-dessous de l'axe de suspension. Qu'arriverait-il s'il coïncidait avec cet axe, ou s'il était au-dessus? Dans le premier cas, l'action de la pesanteur sur le fléau étant détruite dans toutes les positions qu'il prendrait, il ne pourrait osciller. Dans le second, le fléau ne pourrait prendre qu'un état d'équilibre instable, et l'on dit alors que la balance est *folle*.

48. **Conditions de sensibilité.** — Les conditions de sensibilité de la balance se déduisent facilement de la condition d'équilibre du levier (45). En effet, P — Q étant, comme ci-dessus, l'excès de poids qui fait incliner la balance (fig. 20), $p$ le poids du fléau, $od$ la perpendiculaire abaissée du point $o$ sur la direction de P — Q, et $oi$ la perpendiculaire abaissée du même point sur la direction de $p$, on a, d'après la condition connue de l'équilibre du levier,

$$\frac{P-Q}{p} = \frac{oi}{od}, \text{ ou } (P-Q) \times od = p \times oi.$$

Or, il est à remarquer que, dans le premier membre de cette deuxième égalité, P — Q est la puissance qui tend à faire incliner le fléau, et $od$ la projection de la moitié $om$ du fléau sur laquelle elle agit; tandis que, dans le second membre, $p$ est la résistance qui tend à maintenir le fléau horizontal, et $oi$ la projection de la distance $og$ du centre de gravité du fléau à l'axe de suspension. Or, comme, dans la théorie du levier, l'effet que tend à produire une force dépend non-seulement de son intensité, mais de la longueur du bras de levier auquel elle est appliquée, il s'ensuit que l'inclinaison du fléau doit être d'autant plus considérable, que les quantités P — Q et $om$ sont plus grandes, et au contraire que $p$ et $og$ sont plus petits. De là, les quatre conditions de sensibilité suivantes :



*Toutes choses égales d'ailleurs, une balance est d'autant plus sensible,*

1° *Que l'excès de poids* P — Q *est plus grand;*
2° *Que le bras du fléau est plus long;*
3° *Que le poids du fléau est plus petit;*
4° *Que le centre de gravité du fléau est plus rappoché de l'axe de suspension.*

5° A ces conditions ajoutons celle-ci, qu'*une balance est d'autant plus sensible, que le frottement du couteau sur ses points d'appui est plus faible.* C'est pour cela qu'on le fait reposer sur deux supports bien polis d'agate ou d'acier trempé.

Enfin, observons que, abstraction faite du frottement et de la flexibilité du fléau, *la sensibilité d'une balance est indépendante de la grandeur des poids* P *et* Q *placés dans les plateaux.* En effet, ces poids étant égaux, leur résultante 2 P est appliquée au point $o$, milieu du fléau, et, par suite, est détruite par la résistance des points d'appui.

Mais, lorsque ces poids sont un peu considérables, la sensibilité diminue : 1° parce que le frottement du couteau sur la chape augmente; 2° parce que le fléau commençant à se courber, son centre de gravité s'abaisse, ce qui augmente la résistance $p \times oi$.

* 49. **Balance de précision.** — La balance représentée dans la figure 16 est celle employée dans le commerce, auquel elle offre une précision suffisante; mais en physique, en chimie surtout, pour les analyses, on doit faire usage de balances plus précises.

La figure 21 montre une balance de précision construite par M. Deleuil, et tellement sensible, qu'elle incline pour un excès de poids d'un milligramme, même lorsqu'elle est chargée d'un kilogramme dans chaque plateau.

Afin de garantir une pareille balance des agitations de l'air, on la recouvre d'une cage de verre qui la préserve en même temps de la poussière et de l'humidité. La face antérieure de la cage est à coulisse et se soulève légèrement pour introduire les objets à peser.

Pour ne pas fatiguer le tranchant du couteau lorsque la balance ne fonctionne pas, on soulève le fléau au moyen d'une pièce mobile qu'on nomme *fourchette*. Pour en faire comprendre le mécanisme, commençons par observer que la pièce AA est fixe, ainsi que les deux tiges verticales qui sont à ses extrémités. Deux pièces DD sont adaptées au fléau et destinées à recevoir la poussée de la fourchette. Celle-ci consiste en une barre $aa$, à laquelle sont fixées deux traverses horizontales EE, qui montent avec la fourchette et viennent soulever les deux pièces DD, et avec elles le fléau. La fourchette est guidée dans son mouvement par deux boulons AA qui la traversent à frottement doux à ses extrémités. Quant au mouvement de la fourchette, il s'obtient au moyen d'un bouton O, qu'on fait marcher avec la main, et qui transmet son mou-

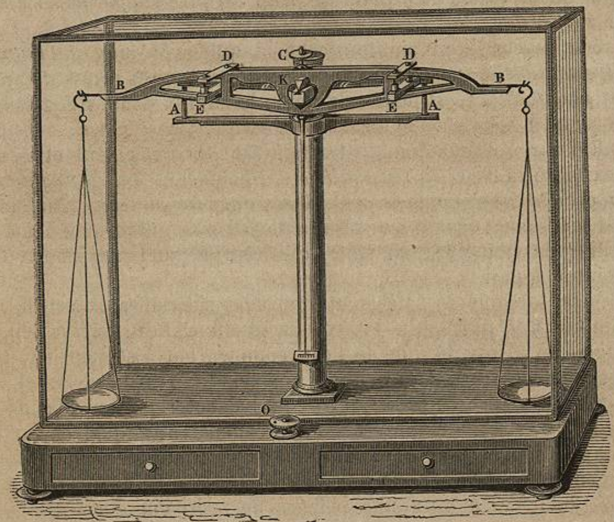


Fig. 21.

vement à une vis placée dans l'intérieur de la colonne. C'est cette vis qui, en tournant, soulève la fourchette, et avec elle les deux pièces EE, qui elles-mêmes soulèvent le fléau BB.

On juge de l'horizontalité du fléau au moyen d'une longue aiguille qui y est fixée par sa partie supérieure, et dont l'extrémité inférieure correspond à un arc de cercle gradué, qui est placé sur le pied de la balance.

Enfin, un bouton à vis C, placé sur le fléau, sert à augmenter la sensibilité de la balance ; en remontant ce bouton, on relève le centre de gravité du fléau, ce qui, ainsi qu'on l'a vu ci-dessus (48), rend la balance plus sensible.

* 50. **Balances à suspension inférieure.** — Dans les balances décrites ci-dessus, les points de suspension sont au dessus des bassins. Or, on fabrique depuis quelques années, et l'usage s'en



répand de plus en plus dans le commerce, des balances dont les points de suspension sont en dessous. Ces balances, représentées dans la figure 22, sont d'une forme gracieuse; elles n'encombrent pas les comptoirs comme les balances à colonne, et sont surtout

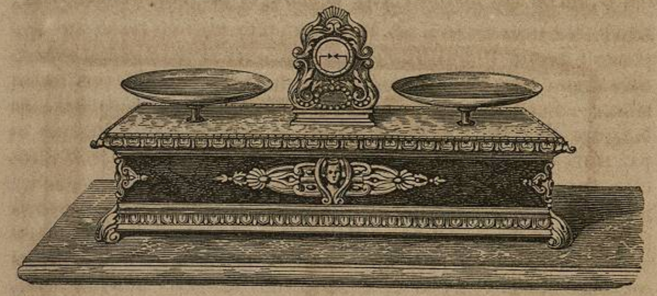

Fig. 22.

commodes pour peser les objets volumineux, ce qu'on ne peut faire sans obstacle avec les balances ordinaires, à cause des chaînes ou des cordons qui soutiennent les bassins. Toutefois les balances à suspension inférieure ne sont pas des balances de précision, elles ont trop de frottement pour cela, mais elles peuvent donner des pesées à quelques décigrammes près, ce qui est suffisant pour le commerce.

Les premières balances à suspension inférieure ont paru sous le

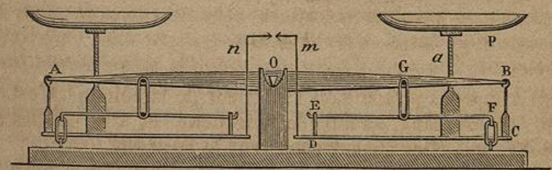


Fig. 23.

nom de *balances anglaises,* et aussi sous celui de *balances de Roberval,* parce qu'elles étaient, en effet, une application d'un principe sur les leviers donné par ce géomètre, professeur de mathématiques à Paris, dans le XVII^e^ siècle. La balance que nous allons décrire (fig. 22 et 23) est une combinaison de la balance de Roberval et de celle de Quintenz, due à M. Béranger, fabricant à Lyon. Ce constructeur s'est attaché : 1° à ce que le mouvement des bassins ait lieu exactement en ligne droite; 2° à ce que l'état d'équilibre de la balance soit indépendant de la position de la charge dans les bassins, condition qui existe théoriquement dans la balance de Roberval, mais qui n'a pas rigoureusement lieu dans la pratique, à cause des frottements.

Le mécanisme adopté par M. Béranger se compose, pour chaque bassin, de trois leviers AB, EF et DC (fig. 23). Le levier DC, qui porte le bassin P, s'abaisse ou se relève en même temps de quantités égales à ses deux bouts, quand l'extrémité B descend ou remonte, comme il est facile de s'en rendre compte à l'inspection de la figure. Ce levier DC se meut donc parallèlement à lui-même, et par suite la tige $a$ va et vient exactement dans le sens de la verticale. Quant à la position de la charge dans les plateaux, elle n'a pas la même influence que dans la balance de Roberval, d'après la combinaison des trois leviers. Cependant, dans toute balance, il est préférable de placer la charge au milieu des bassins. Deux tringles recourbées $m$ et $n$, fixées de chaque côté au levier horizontal DC, montent et descendent avec lui, et se trouvent en regard l'une de l'autre quand la balance est en équilibre.

51. **Méthode des doubles pesées.** — On doit à Borda, physicien français, mort à Paris, en 1799, un procédé qui permet d'obtenir des pesées exactes avec une balance dont les bras sont inégaux. Pour cela, on place le corps dont on veut connaître le poids dans un des plateaux, et on lui fait équilibre, dans l'autre, avec de la grenaille de plomb ou du sable; puis on enlève du premier plateau le corps à peser, et on le remplace par des grammes et des subdivisions de gramme jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse de nouveau. Le poids obtenu ainsi est exactement celui du corps; car, dans cette double pesée, le corps et les grammes agissent tour à tour sur le même bras du fléau pour faire équilibre à la même résistance.

On peut aussi déterminer le poids d'un corps avec précision par la méthode suivante, qui consiste à peser deux fois le corps, en le plaçant successivement dans chacun des plateaux, ce qui revient encore à une double pesée; puis à déduire par le calcul le poids cherché des deux résultats obtenus.

En effet, ayant posé le corps à peser dans l'un des plateaux, et dans l'autre des grammes jusqu'à ce qu'il y ait équilibre, soient $x$ le poids cherché, $p$ le nombre des grammes qui lui font équilibre, et $a$ et $b$ les longueurs des bras de levier correspondant respectivement aux poids $x$ et $p$. D'après le principe d'équilibre du levier donné plus haut (45), on a $\frac{x}{p}=\frac{b}{a}$, ou $ax=bp$ [1]. De même, si l'on représente par $p'$ le nombre des grammes qui font équilibre au corps après l'avoir changé de plateau, on a $bx=ap'$ [2]. Multipliant membre à membre les égalités [1] et [2], et supprimant le facteur commun $ab$, on a :

$$x^2=pp', \text{ d'où } x=\sqrt{pp'}.$$

Ce qui fait voir que *le poids cherché est moyen proportionnel entre les deux poids $p$ et $p'$.*



Les deux bras d'une balance n'étant jamais parfaitement égaux, on doit toujours, dans les pesées de précision, faire usage de l'une des deux méthodes ci-dessus. Toutefois cela ne suffit pas pour obtenir rigoureusement le poids d'un corps. En effet, on verra bientôt (161) que tout corps pesé dans l'air perd une partie de son poids égale au poids de l'air qu'il déplace; d'où il résulte que tout poids obtenu par la balance n'est qu'un poids apparent, moindre que le poids réel. On verra plus tard (168) comment on peut, par le calcul, déduire le poids réel du poids apparent.

---

## CHAPITRE III.

### LOIS DE LA CHUTE DES CORPS, INTENSITÉ DE LA PESANTEUR, PENDULE.

52. **Lois de la chute des corps.** — En négligeant la résistance de l'air, c'est-à-dire en supposant que les corps tombent dans le vide, leur chute est soumise aux trois lois suivantes :

1[re] LOI. — *Tous les corps, dans le vide, tombent également vite.* Cette loi se démontre par l'expérience, au moyen d'un tube de verre de 2 mètres de longueur environ, fermé à l'une de ses extrémités et terminé, à l'autre, par un robinet de cuivre. On y introduit des corps de densités différentes, par exemple du plomb, du liége, du papier, une barbe de plume ; puis on fait le vide avec la machine pneumatique. Retournant ensuite le tube brusquement, on voit tous les corps qu'on y a introduits tomber également vite (fig. 24). Mais si, après avoir fait rentrer un peu d'air, on renverse de nouveau le tube, on remarque un faible retard pour les corps les plus légers. Enfin, ce retard devient très-apparent lorsqu'on a laissé rentrer tout à fait l'air. On conclut de là que si, dans les conditions ordinaires, les corps tombent inégalement vite, cela provient uniquement de la résistance de l'air, et non de ce que la pesanteur s'exerce avec plus d'intensité sur certaines substances que sur d'autres. Un corps qui a deux fois plus de masse qu'un autre est bien, en réalité, attiré vers la terre par une force double; mais cette force double devant mettre en mouvement une quantité de matière double, on a vu (35) qu'elle ne peut lui donner que le même degré de vitesse que reçoit l'autre corps d'une force deux fois plus petite.

La résistance que l'air oppose à la chute des corps est surtout