

grand lui-même, sans toutefois atteindre 90°.

Pour $\alpha = 90^\circ$, on aurait

$\tan \alpha = \infty$, ce qui est impossible tant que OG' n'est pas nul. La différence p des poids étant supposée fixe pour un cas donné, la valeur de $\tan \alpha$, et, par suite, celle de α , dépend de la valeur de la fraction $\frac{OG'}{P \times OG}$, qui est d'autant plus grande que son numérateur surpasse davantage son dénominateur. Les conditions de la sensibilité d'une balance juste peuvent donc se réduire à trois chefs :

- 1° Le fléau doit être très-long ;
- 2° Le poids du fléau doit être très-léger ;
- 3° Le centre de gravité du fléau doit être aussi rapproché que possible du point d'appui.

C'est en se conformant aux conditions que nous venons de passer en revue, et en y ajoutant les soins d'une ingénieuse exécution, que d'habiles constructeurs, notamment MM. Fortin et Deleuil, sont parvenus à fabriquer des balances sensibles à l'addition d'un milligramme dans un bassin, lors même que ces bassins contiennent chacun un poids de 10 kilo.

— **Construction d'une bonne balance.** L'axe de suspension du fléau consiste en un couteau d'acier dont le tranchant, tourné vers le bas, repose par ses extrémités sur deux petits plans d'acier ou d'agate ; de cette manière, le fléau n'éprouve que le moindre frottement possible. Le fléau se termine, à chaque extrémité, par un couteau dont l'arête, cette fois, est tournée vers le haut ; c'est sur ces deux arêtes que reposent les crochets auxquels sont fixées les chaînes qui soutiennent les bassins. Au fléau est adaptée une longue aiguille qui, participant à toutes ses oscillations, permet de les constater et d'en apprécier l'amplitude le long d'un arc immobile et gradué. Enfin, pour ménager le couteau de suspension et conserver le poli des plans sur lesquels il repose, on adapte à la balance une pièce mobile nommée *fourchette*, dont les deux branches viennent saisir le fléau par dessous, et le maintiennent soulevé pendant que l'on change les poids des bassins, ou quand l'appareil ne fonctionne plus. On complète ces précautions en enfermant le système dans une cage de verre destinée à le garantir des agitations de l'air et à le préserver de l'humidité et de la poussière.

— **Utilisation d'une balance fautive.** Sans vous inquiéter de savoir si votre balance est rigoureusement juste, il est facile d'en obtenir, par deux méthodes différentes, des résultats aussi exacts qu'avec le plus parfait appareil. La première méthode, due à Borda, est celle des *double pesées*. Placez dans l'un des bassins le corps à peser, et dans l'autre des grains de plomb, ou du sable fin, ou toute autre substance capable d'être ajoutée ou retirée par petites quantités. Quand l'équilibre a lieu, enlevez le corps, et remplacez-le par des grammes en nombre suffisant pour que l'équilibre se rétablisse. Ces grammes expriment évidemment le poids du corps, puisqu'ils font équilibre à la même charge dans les mêmes conditions.

La deuxième méthode consiste à extraire la racine carrée du produit des deux poids que l'on obtient en pesant le corps successivement dans les deux bassins. En effet, désignons par a et b les longueurs des deux bras du fléau ; par P le poids que le corps semble avoir à l'extrémité du bras a ; par P' le poids qu'il semble avoir à l'extrémité du bras b ; et soit x le poids réel qu'il s'agit de trouver. D'après les principes de l'équilibre du levier, on a

$$\begin{aligned} ax &= bP' \\ \text{et} \quad bx &= aP, \\ \text{dont le produit} \quad abx^2 &= abPP' \\ \text{se réduit à} \quad x^2 &= PP', \\ \text{ou} \quad x &= \sqrt{PP'}. \end{aligned}$$

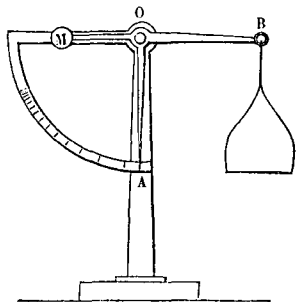
Ainsi, par exemple, si la première pesée a donné $P = 38$ gr., et la seconde $P' = 42$ gr., le véritable poids sera

$$\sqrt{38 \times 42} = \sqrt{1596} = 39 \text{ gr. 95.}$$

En réalité, on ne parvient jamais à faire des balances dont les deux bras soient rigoureusement égaux, ou même le soient assez pour des pesées de précision ; c'est pourquoi les chimistes, dans leurs recherches délicates, considèrent toujours les meilleures balances comme mauvaises, et s'astreignent à employer constamment la méthode des doubles pesées. Et quand on emploie cette méthode, il faut avoir soin que le fléau ne fasse pas de grands mouvements à l'instant où l'on remplace par des poids le corps à peser, car ces mouvements suffiraient pour déplacer quelque peu le point de suspension du fléau, et changer par conséquent la longueur de ses deux bras pendant la durée de la pesée.

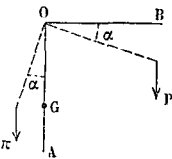
— **Balance à levier coudé.** Une autre sorte de balance, sans poids, employée souvent comme *pèse-lettres*, repose sur une application un peu différente des mêmes principes. Elle consiste en un levier coudé AOB tournant autour du point O : l'une des branches AO a la forme d'une aiguille, et se meut le long d'un cadran convenablement gradué ;

l'autre branche OB porte le poids à son extré-



mité. Un contre-poids M est placé à une distance quelconque OM sur le prolongement de la branche OB, de manière à faire équilibre au poids de celle-ci lorsque la balance est à vide et que la ligne OA est verticale.

La condition d'équilibre de cette machine est facile à établir. On reconnaît d'abord aisément que le poids M, faisant d'abord équilibre au poids de la branche OB et du plateau vide, aura, dans toutes les situations de la balance, un moment égal à la somme de celui de cette branche et de ce plateau ; on peut donc en faire abstraction et chercher simplement la condition d'équilibre entre le poids de la branche OA et le poids P appliqué en B.



Soit α l'angle dont la balance s'incline sous l'influence de ce poids P ; soit π le poids de la branche OA, que nous pouvons supposer au centre de gravité G de celle-ci ; soit enfin OG = λ et OB = l . Le moment du poids P est égal à

$$\begin{aligned} P l \cos \alpha, \\ \text{celui du poids } \pi \text{ est} \\ \pi \lambda \sin \alpha. \end{aligned}$$

On a donc l'égalité

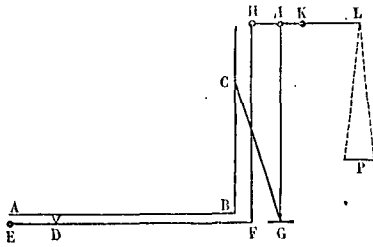
$$P l \cos \alpha = \pi \lambda \sin \alpha,$$

d'où

$$\tan \alpha = P \cdot \frac{l}{\pi \lambda}.$$

Cette équation montre que, si grand que soit P, jamais l'angle α ne sera droit et jamais OA ne sera horizontal. Elle donne aussi le moyen de graduer le cadran CD ; mais il vaut mieux effectuer cette graduation empiriquement. L'instrument est d'autant moins sensible que le poids P est plus grand. Ce poids n'a d'autre limite que celle qui est imposée par l'imparfaite résistance des matériaux.

— **Balance de Quintenz.** Cette balance, ainsi nommée du nom de son inventeur, se voit dans les magasins de gros et dans les bureaux des messageries ou des chemins de fer. Elle sert à peser les bagages et les corps volumineux. Un plateau AB (fig. 2), dont un des



bords se relève en BC, s'appuie, d'une part, en D sur le levier EF, et, d'une autre part, sur la pièce G au moyen de la barre CG. Le levier EF, mobile en E, est engagé dans l'extrémité inférieure de la tringle FH ; et la pièce G est également accrochée à l'extrémité inférieure de la tringle GI ; de sorte que le poids d'un corps posé sur le plateau tend à abaisser ces deux tringles, et, par suite, le bras de levier HK, auquel elles sont attachées. Le levier HL est mobile autour du point K ; une de ses extrémités supporte, comme nous venons de le voir, le poids du corps à peser ; l'autre soutient un plateau P destiné à recevoir des kilogrammes. Les choses sont combinées de façon à avoir les rapports

$$\frac{ED}{EF} = \frac{IK}{HK} \text{ et } \frac{IK}{KL} = \frac{1}{10}.$$

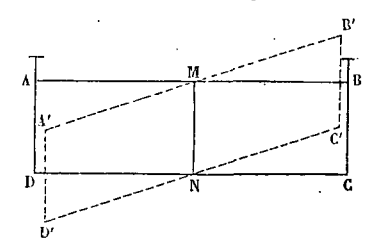
Cela posé, admettons que le plateau AB ne portant aucun corps, le levier HL soit en équilibre et dans une position horizontale. Si maintenant l'on place un corps sur le plateau AB, le poids de ce corps se répartira entre les deux points d'appui D, G du plateau. La portion de ce poids qui incombe au point G donnera lieu à une pression égale appliquée en I. L'autre portion, que nous appellerons π , agissant au point D, donnera lieu à une pression $\pi \times \frac{ED}{EF}$, ou $\pi \times \frac{IK}{HK}$ appliquée à l'extrémité F du le-

vier EF. Cette dernière pression se transmettra au point H, et y produira le même effet qu'une pression $\pi \times \frac{IK}{HK} \times \frac{IK}{IK} = \pi$, appliquée en I ; en sorte que ce sera comme si la seconde portion du poids agissait directement sur le point I. Le levier HL se trouve donc exactement dans les mêmes conditions que si le poids du corps était tout entier appliqué en I. Et, à cause du rapport $\frac{IK}{KL} = \frac{1}{10}$, il faudra,

pour établir l'équilibre, mettre sur le plateau P un poids dix fois moindre que celui du corps.

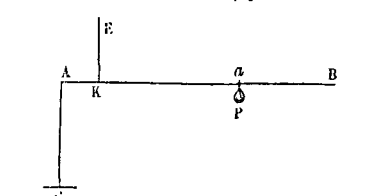
C'est d'après les mêmes principes que sont construits les *points à bascule*, sur lesquels on installe, pour être pesées, des voitures avec leur chargement complet.

— **Balance de Roberval.** En 1670, le *Journal des Savants* annonça « une nouvelle manière de balance inventée par M. de Roberval, professeur de mathématiques dans l'Université de Paris, laquelle est très-différente des autres et semble d'abord renverser les principes de la statique ; car, dans cette nouvelle balance, soit que les poids soient absolument égaux ou inégaux, soit qu'on les approche ou qu'on les éloigne du centre de la balance, s'ils sont une fois en équilibre, ils y demeurent toujours ; s'ils ne sont pas d'abord en équilibre, on ne les y peut jamais mettre ; et, ce qu'il y a de plus surprenant, les poids, étant mis tous deux du même côté du centre de la balance, peuvent faire équilibre l'un contre l'autre... » C'est cette balance paradoxale, dont nous ne décrirons pas la construction primitive, que l'on voit aujourd'hui sur tous les comptoirs, enfermée dans une caisse en bois, d'où sortent, aux deux extrémités, deux tiges métalliques supportant les plateaux. Pour faire comprendre le principe sur lequel repose la disposition de cet appareil, rappelons que, si deux forces, agissant aux extrémités d'un bras de levier mobile, se font équilibre, elles sont entre elles dans le rapport inverse des chemins parcourus, dans le même temps, par leurs points d'application ; en sorte que, si les chemins parcourus sont égaux, les forces (qui sont ici représentées l'une par le poids d'un corps, l'autre par des grammes) seront égales. Imaginons donc un parallélogramme ABCD (fig. 3) formé de



quatre tiges solides, articulées les unes aux autres à leurs extrémités, et soutenu par un axe MN, également articulé aux milieux des côtés AB et DC. De cette manière, quelle que soit la déformation du parallélogramme, telle que A'B'C'D', les côtés verticaux AD, BC restent encore verticaux en A'D', B'C', et il est, de plus, évident que deux points quelconques de ces côtés se déplacent, en même temps, de la même quantité, l'un en montant, l'autre en descendant. Si donc les tiges verticales sont surmontées de plateaux, l'appareil sera en équilibre, et le fléau AB horizontal, quand les charges mises sur les plateaux auront même poids.

— **Balance romaine.** La romaine, ainsi nommée à cause du grand usage qu'en faisaient les Romains, se compose d'un fléau AB (fig. 4), suspendu par une anse EK, qui le divise en



deux bras inégaux. Le bras le plus court porte un bassin C, ou un crochet destiné à soutenir l'objet qu'on veut peser ; et l'on fait équilibre à l'aide d'un poids constant P, qui glisse, au moyen d'un anneau, sur le bras le plus long. Cette machine a l'avantage de n'employer qu'un seul poids pour peser les corps les plus divers en pesanteur ; car, d'après la théorie du levier, l'équilibre a lieu lorsque le fléau étant horizontal, le poids constant P a été placé de manière à donner la proportion $\frac{P}{Q} = \frac{AK}{KQ}$, dans laquelle Q représente le poids de l'objet. Par exemple, si le corps pesé égale 10 kilo. et que P soit égal à 1 kilo., l'équilibre aura lieu lorsque la partie K a sera égale à dix fois le bras AK. La proportion ci-dessus sert donc à déterminer, le long du plus grand bras, une graduation qui indique aussitôt le poids cherché. Pour que cette balance soit juste, il faut qu'elle soit en équilibre et dans une position horizontale, indépendamment du poids fixe ou du corps à peser.

— **Balance danoise.** Cette machine, dont l'usage est très-répandu dans le nord de l'Europe, diffère de la romaine en ce que le peson et le corps à peser restent fixes aux deux extrémités du fléau, et que le point de suspension seul est mobile et sert à déterminer le rapport des bras.

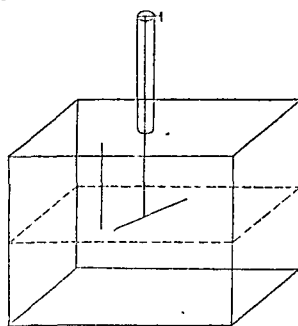
— **Balance hydrostatique.** Cette balance, imaginée par Galilée pour vérifier le principe d'Archimède (v. ARCHIMÈDE), et obtenir les *pesanteurs spécifiques* des corps, n'est autre chose qu'une balance ordinaire, dont le fléau peut, par une disposition particulière, s'élever ou s'abaisser à volonté, en même temps que les deux plateaux. Au-dessous d'un des plateaux est adapté un crochet auquel on suspend un cylindre creux ; au-dessous de ce cylindre, on suspend de même un cylindre métallique plein, capable de remplir exactement le cylindre creux. On établit l'équilibre en mettant des poids dans l'autre plateau. Cela fait, on abaisse le fléau de manière à faire plonger entièrement le cylindre plein dans un vase rempli d'eau. L'équilibre est aussitôt rompu ; pour le rétablir, il suffit de remplir d'eau le cylindre creux. On vérifie par là que le cylindre plein, plongé dans l'eau, y perd de son poids une portion égale au poids du liquide qu'il déplace. La balance hydrostatique sert aussi d'aréomètre. (V. ce mot.) En effet, l'appareil sans poids ni corps étant en équilibre, si, avec un crin ou un fil très-délié dont la pesanté peut être négligée, on attache sous un des bassins l'objet dont on cherche la densité, et qu'on établisse l'équilibre par des poids gradués placés dans l'autre bassin, on aura d'abord le poids absolu du corps. Si maintenant on plonge le corps dans l'eau, l'équilibre est encore troublé, et les poids qu'il faut mettre sur le bassin du côté du corps font connaître le poids de l'eau déplacée. Il reste donc à diviser le poids du corps par le poids de cette eau.

Nous avons vu jusqu'ici le mot *balance* appliqué à des appareils servant à estimer les poids des corps. Mais, par analogie, on a étendu la signification de ce mot, afin de lui faire désigner d'autres instruments propres à mesurer des forces très-différentes de la pesanteur. Les plus importants de ces appareils sont les suivants :

— **Balance bifile.** Quelques physiciens ayant annoncé qu'ils avaient trouvé en défaut les lois de Coulomb relatives aux attractions et aux répulsions électriques (v. ci-dessous BALANCE DE TORSION), un Anglais, sir William Harris, construisit, pour les vérifier, une balance, à laquelle il donna le surnom de *bifile*, parce que le fil unique de Coulomb y est remplacé par deux fils parallèles, auxquels l'aiguille mobile est suspendue. Un ingénieux système de roues et de cercles gradués permet de tordre les fils et de lire avec la plus grande précision les déviations de l'aiguille et les angles de torsion des deux fils, que des arrêts de liège empêchent de se rapprocher. Au moyen de cet appareil, Harris crut d'abord reconnaître que les lois de Coulomb ne se vérifiaient pas toujours ; mais, depuis, la mise en défaut de ces lois a été rejetée sur des causes accidentelles, et la belle découverte de Coulomb a été de nouveau confirmée.

— **Balance électro-magnétique.** Cet appareil, imaginé par M. Becquerel, est d'une grande simplicité pour faire connaître les intensités des courants électriques. Qu'on se figure une balance ordinaire très-sensible. Au-dessous de chaque bassin est suspendu un aimant qui pèse sans frottement dans un tube de verre vertical, entouré, comme une bobine, d'un très-long fil de cuivre recouvert de soie, et passant d'un tube à l'autre. L'instrument étant bien équilibré, si l'on fait passer un courant, en sens opposé, autour des tubes, l'un des aimants est soulevé et l'autre abaissé ; il faut alors, pour rétablir l'équilibre, mettre dans le bassin correspondant à l'aimant soulevé des poids qui représentent l'intensité des courants.

— **Balance de torsion.** Appareil ainsi nommé par son inventeur Coulomb, et construit en vue d'estimer les forces magnétiques des aimants naturels ou artificiels, ainsi que les forces électriques. Il est fondé sur la torsion des fils de cuivre ou d'argent, c'est-à-dire sur l'effort que fait, pour revenir sur lui-même, un fil tendu verticalement par un poids que l'on fait tourner horizontalement. Cet effort, appelé *force de torsion*, est proportionnel à l'angle de torsion. La balance (fig. 1), dans ses



éléments essentiels, consiste en un fil d'argent, dont la partie supérieure est enroulée