cision. Nous donnerons la description et la théorie d'un type usuel de chacune de ces catégories.

2° *Description d'une balance ordinaire*. — La balance ordinaire (fig. 130) consiste en un levier du premier genre *mn*, nommé *fléau*, aux deux extrémités duquel sont suspendus des *bassins* ou *plateaux* P, Q, de poids égaux, destinés à recevoir, l'un des objets à peser, l'autre des poids marqués. Le fléau est traversé en son

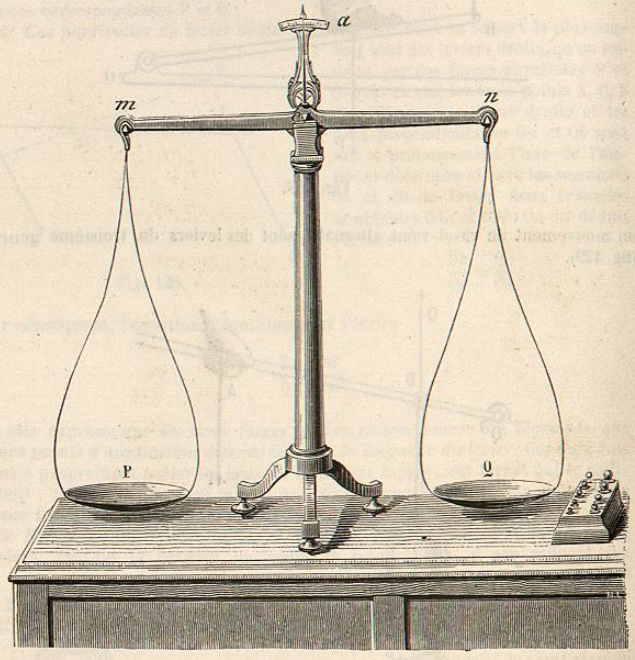

Fig. 130.

milieu par un prisme d'acier *ok* (fig. 132), qu'on nomme *couteau*, dont l'arête vive constitue l'*axe de suspension* du fléau; elle repose à ses deux bouts sur deux pièces polies *x*, *y*, d'agate ou d'acier, qui constituent la *chape* : et ce dispositif diminue le frottement de l'axe. Aux extrémités du fléau sont adaptés deux prismes plus petits, dont les arêtes vives sont tournées en haut et sont parallèles à celle du couteau central. C'est sur ces arêtes que reposent, à l'aide de crochets, les plateaux P et Q (fig. 131). Enfin,

à la partie supérieure du fléau et perpendiculairement à sa direction, est fixée une longue aiguille qui oscille devant un arc gradué *a*, fixe et porté par une colonne de laiton sur laquelle reposent la chape et le fléau (fig. 130). Quand ce dernier est bien horizontal, la pointe de l'aiguille correspond au milieu de l'arc. La colonne est portée par un pied à trois vis calantes à l'aide desquelles on lui donne la position verticale.

3° *Boîtes de poids marqués*. — A chaque instrument est jointe une boîte, dite *boîte de poids*, contenant une série de masses (vul-

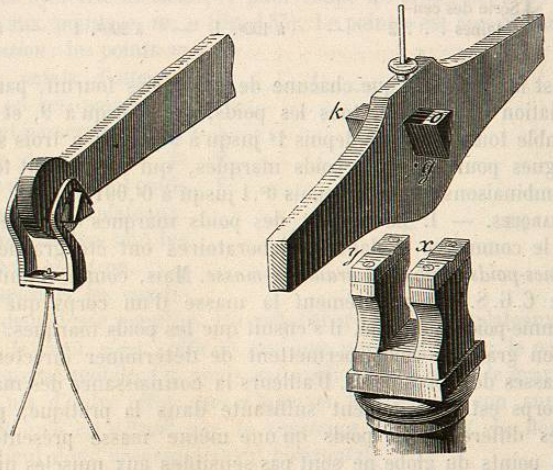

Fig. 131. Fig. 132.

gairement, *poids marqués*) graduées en unités C. G. S., c'est-à-dire en grammes-masse.

Les poids usuels forment trois séries : les *gros poids*, qui vont du kilogramme à 50 kilogrammes; les *poids moyens*, du gramme au kilogramme, et les *petits poids*, du milligramme et de ses subdivisions au gramme. Les premiers ne sont pas utilisés dans les laboratoires, ils ne servent qu'aux usages industriels et commerciaux, dans les gros instruments de pesage, appelés *balances de magasin*, *balances de comptoir* et *balances-bascules* : nous n'en parlerons pas davantage. Ceux des autres séries servent dans les balances de laboratoire, et sont contenus dans les *boîtes de poids marqués*.

Les poids moyens sont de cuivre jaune et ont la forme de cy-

lindre; quelques-uns aussi sont à godets, en forme de cône tronqué et rentrent les uns dans les autres. Les petits *poids marqués* sont en platine ou en cuivre jaune; ce sont généralement des plaques carrées, très minces, dont un des angles est relevé, afin qu'on puisse les saisir avec des pinces. Une boîte de poids de laboratoire contient d'ordinaire plusieurs séries de quatre poids :

Poids moyens.	Série des unités.	2 poids égaux à	1g.	1 p. égal à	2g.	1 p. égal à	5g.
	Série des dizaines . .	2	—	à 10g.	1	—	à 20g.	1	—	à 50g.
	Série des centaines . . .	2	—	à 100g.	1	—	à 200g.	1	—	à 500g.

Il est facile de voir que chacune de ces séries fournit, par une association convenable, tous les poids, de 1 jusqu'à 9, et leur ensemble tous les poids depuis 1g jusqu'à 999g. On a trois séries analogues pour les petits poids marqués, qui permettent toutes les combinaisons de poids depuis 0g,1 jusqu'à 0g,001.

Remarques. — I. La plupart des poids marqués qu'on trouve dans le commerce et dans les laboratoires ont été gradués en *grammes-poids* et non en *grammes-masse*. Mais, comme l'unité de masse C. G. S. est précisément la masse d'un corps qui pèse 1 gramme-poids métrique, il s'ensuit que les poids marqués, gradués en grammes-poids, permettent de déterminer directement les masses des corps pesés. D'ailleurs la connaissance des masses des corps est parfaitement suffisante dans la pratique, parce que les différences de poids qu'une même masse présente en divers points du globe ne sont pas sensibles aux muscles ni aux engins mécaniques employés pour la soulever. Ce n'est qu'exceptionnellement, dans les recherches scientifiques, qu'on a besoin de passer des masses aux poids exacts, au moyen de la formule $P = Mg$.

II. Tous les poids marqués sont censés *échantillonnés dans le vide :* cela veut dire qu'ils n'ont réellement la valeur marquée sur chacun d'eux qu'à la condition d'être employés dans le vide. Or, comme on fait toutes les pesées dans l'air, il en résulte une diminution dans la valeur de chaque poids marqué, à cause d'une poussée verticale que l'atmosphère exerce sur tous les corps qui y sont plongés. Nous apprendrons plus tard à mesurer cette cause d'erreur des pesées et à la corriger.

4° *Conditions de justesse.* — Une balance ne peut servir à peser les corps avec exactitude et précision qu'autant qu'elle est à la fois *juste* et *sensible.*

Définition de la justesse. — Une balance est dite *juste*, lorsque son fléau se maintient horizontal, les plateaux étant vides ou chargés de poids égaux.

Énoncé des conditions. — Il y a deux conditions de justesse, nécessaires et suffisantes :

I. *Le centre de gravité de la partie mobile (fléau, plateaux et accessoires) doit être sur la verticale du point de suspension, quand le fléau est horizontal;*

II. *Les deux bras du fléau doivent être rigoureusement égaux.*

Démonstration. — Si l'on conçoit un plan vertical qui passe par l'axe de symétrie du fléau, ce plan coupe les arêtes des trois couteaux aux points o, m, n (fig. 133). Le point o est appelé *point de suspension;* les points m et n, *points d'attache.* C'est en ces points que doivent passer les résultantes du poids de la partie mobile et des poids placés dans les plateaux. Les *bras du fléau* sont les distances om et on.

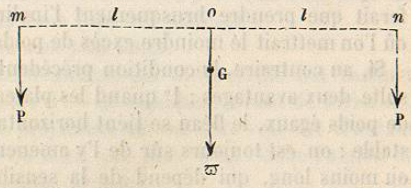

Fig. 133.

Supposons les conditions de justesse remplies. On voit d'abord que, si les plateaux sont vides, le fléau n'est sollicité que par une seule force, le poids ϖ de la partie mobile. Ce poids est appliqué au centre de gravité G, et il n'a d'autre effet que d'appuyer le fléau sur son support. On dit qu'*il est détruit par la résistance du support.* Le fléau se maintient donc nécessairement horizontal.

Si les plateaux sont chargés de poids égaux, P, le fléau est soumis à trois forces parallèles. La force ϖ passe toujours par le point o. Les deux forces P ont une résultante parallèle, égale à leur somme et appliquée aussi au point o, puisque ce point divise en deux parties égales la distance mn de leurs points d'application. Toutes ces forces sont donc détruites par la résistance du support, et le fléau se maintient horizontal.

Remarques. — I. *Utilité des couteaux.* — Il ne suffit pas que les bras du fléau soient égaux pendant qu'il est en équilibre, il faut aussi qu'ils restent égaux pendant ses oscillations. C'est pour satisfaire à cette condition qu'on fait reposer les plateaux sur deux prismes, dont les arêtes vives constituent, dans toutes les inclinaisons du fléau, les points d'attache des plateaux (fig. 134 et 135).

II. *Condition de commodité.* — A ces conditions on ajoute ordinairement la suivante : *le centre de gravité de la partie mobile doit*

être au-dessous de l'arête du couteau. Mais ce n'est pas, à proprement parler, une *condition de justesse;* c'est plutôt une *condition de commodité.* Si elle n'était pas remplie, la balance n'en serait pas moins juste, mais elle ne serait pas d'un usage commode. Ce serait un instrument peu pratique. En effet, si le centre de gravité était au-dessus de l'arête de suspension, le fléau ne pourrait prendre qu'un état d'équilibre instable (90), très difficile à établir et très facile à rompre. La moindre trépidation suffirait pour faire trébucher le fléau de 90°, même dans le cas où les plateaux seraient chargés de poids égaux. On dirait alors que la balance est *folle.* Si le centre de gravité coïncidait avec l'arête du couteau, l'effet de la pesanteur sur le fléau se trouvant détruit dans toutes les positions qu'on lui donne, il ne pourrait pas osciller, et ne ferait que prendre brusquement l'inclinaison maximum du côté où l'on mettrait le moindre excès de poids.

Si, au contraire, la condition précédente est remplie, il en résulte deux avantages : 1° quand les plateaux sont vides ou chargés de poids égaux, le fléau se tient horizontal dans un état d'équilibre stable : on est toujours sûr de l'y amener au bout d'un temps plus ou moins long, qui dépend de la sensibilité; 2° quand les poids sont inégaux, le fléau penche vers le plus grand poids et il prend une nouvelle position d'équilibre, dont l'inclinaison est à peu près proportionnelle à la différence des poids.

En effet, soient P et Q ces deux poids, P étant plus grand que Q; soient o, m et n le point de suspension et les points d'attache (fig. 134), ϖ le poids du fléau,

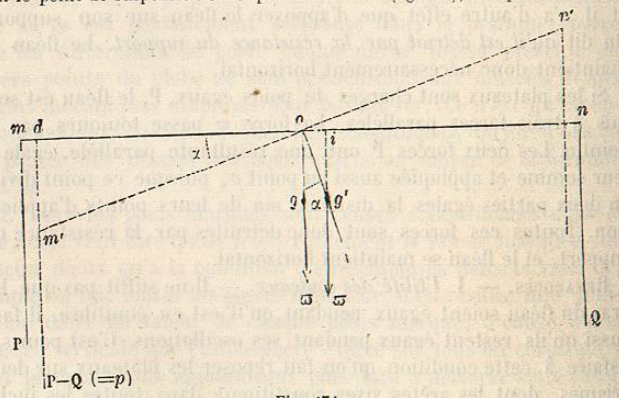

Fig. 134.

mn sa direction horizontale, g la position qu'occupe alors son centre de gravité, et g' celle qu'occupe ce point quand le fléau est incliné suivant $m'n'$. On eut regarder ce dernier comme un levier sollicité en sens contraire par deux

forces parallèles, l'une (P — Q), appliquée en m', et l'autre ϖ, appliquée en g'. Leurs moments par rapport au centre d'oscillation o sont respectivement $(P - Q) \times od$ et $\varpi \times oi$. Or, tandis que les facteurs P — Q et ϖ sont des quantités constantes, les facteurs od et oi varient avec l'inclinaison, od décroissant de om à zéro, et oi croissant de zéro à og'; l'un des moments croît donc d'une manière continue et l'autre décroît à mesure que l'inclinaison augmente : donc il y aura toujours un angle d'inclinaison, mom', pour lequel les deux moments seront égaux. A cet instant l'équation d'équilibre du levier sera satisfaite : le fléau aura atteint une nouvelle position d'équilibre (133, 2°).

5° *Conditions de sensibilité. — Définition de la sensibilité.* — On dit qu'une balance est *sensible*, lorsqu'elle accuse par une notable inclinaison du fléau une faible différence entre les poids qu'on veut comparer.

Conditions. — Une balance est d'autant plus sensible, pour un même excès de poids mis dans l'un des plateaux :

1° *Que les bras du fléau sont plus longs.*

En effet, on a vu précédemment que la force qui fait incliner le fléau est l'excès de poids (P — Q) appliqué au bras de levier od; mais celui-ci, qui est la projection de om' sur om, est d'autant plus grand, que le bras du fléau est plus long : donc l'action de (P — Q) croît avec la longueur du fléau.

2° *Que le poids de la partie mobile est moindre.*

3° *Que le centre de gravité du fléau est plus rapproché de l'axe de suspension.*

En effet, la résistance qui s'oppose à l'inclinaison du fléau est précisément le poids ϖ appliqué au bras de levier oi, et oi est la projection de og' $(= og)$: donc plus les quantités ϖ et og seront petites, plus la résistance à l'inclinaison sera faible.

Telles sont les conditions proprement dites de sensibilité. Pour que celle-ci reste indépendante de la charge totale, il faut encore réaliser la condition suivante :

4° *Les trois points de suspension des plateaux et du fléau doivent être en ligne droite.*

5° *Démonstration géométrique de la quatrième condition de sensibilité.* — Supposons en effet que les trois points forment une ligne brisée mon (fig. 135 et 136). Il y a deux cas à considérer :

I. Celui où le point de suspension o est *au-dessus des deux autres*, de manière que l'angle $mog = \beta$, qui est la moitié de l'angle mon, soit un angle aigu : alors *la sensibilite diminue quand la charge totale augmente.*

II. Celui où le point de suspension est *au-dessous des deux autres*, de manière que l'angle β soit un angle obtus : *la sensibilité s'accroit en même temps que la charge totale.*

β *est aigu.* — Supposons que P soit plus grand que Q, et qu'on ait $P = Q + p$. Soit mon la position normale d'équilibre du fléau, quand les plateaux sont vides ou chargés de poids égaux. Supposons qu'on mette les poids Q et P $= Q + p$) dans les plateaux.

Le fléau est alors soumis à trois forces verticales, l'une Q appliquée en n, l'autre P $(=Q+p)$ appliquée en m, la troisième ϖ appliquée au centre de gravité g de la partie mobile. On peut composer les deux forces parallèles Q en une seule force égale à 2Q et appliquée en un point K, au milieu de la droite mn.

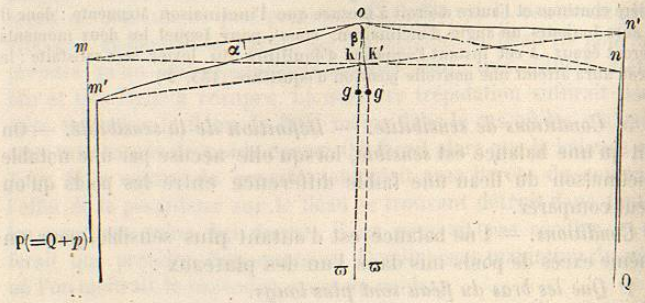

Fig. 135.

Cette force 2Q, ainsi que le poids ϖ, vont passer par le point d'appui o dans la position normale. Ces deux forces sont détruites par la résistance du point o. Il ne reste donc que la force p, appliquée en m. C'est elle qui fait pencher le fléau de ce côté. Dès qu'il s'est incliné d'un angle α, les points g et K viennent n g' et K', c'est-à-dire en dehors de la verticale du point d'appui. La forcee

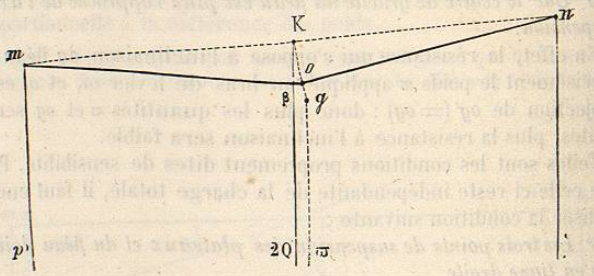

Fig. 136.

2Q, maintenant appliquée en K', agit alors dans le même sens que le poids ϖ pour annuler l'effet de l'excès p et pour fixer le fléau dans une nouvelle position d'équilibre. L'inclinaison, dans la position finale, est donc d'autant plus faible, toutes choses égales d'ailleurs, que la charge totale $(2Q+p)$ est plus grande, et la sensibilité de l'instrument en est diminuée d'autant.

β *est obtus.* — Si le point o est au-dessous de la droite mn (fig. 136), on pourra décomposer de même les poids P et Q en un poids résultant 2Q, appliqué au milieu K de mn et en un excès de poids p appliqué en m et qui fait trébucher le fléau ; or on voit que, dans la position inclinée du fléau (fig. 136), le poids 2Q, toujours appliqué en K, agit dans le même sens que p pour faire pencher le fléau et accroître la sensibilité. Cependant cette disposition est à rejeter, parce que, la somme des moments de p et de 2Q par rapport au point o étant en gé-

néral plus grande que le moment de ϖ par rapport au même point, l'équation d'équilibre ne pourrait pas être satisfaite, le poids ϖ serait impuissant à faire équilibre à la somme des poids $p+2Q$, et le fléau trébucherait complètement, de sorte que la balance serait folle dans le plus grand nombre des cas.

β *est droit.* — Au contraire, lorsque les points m, o et n sont en ligne droite (fig. 134), le poids 2Q, toujours appliqué au point o même, est détruit par la résistance de ce point et le fléau s'incline par la seule action de l'excès de poids p appliqué en m. La pression exercée en o par la résultante 2Q étant détruite, et p étant toujours très petit, il en résulte que *la sensibilité de la balance est indépendante de la charge totale* P + Q. Toutefois cette conclusion n'est rigoureuse qu'autant qu'on néglige le frottement du couteau sur la chape ; car ce frottement est d'autant plus grand, que la balance est plus chargée.

6° *Démonstration algébrique des conditions de sensibilité.* — I. *Cas d'un fléau droit.* — Soit α l'angle mom' (fig. 134), qui représente l'inclinaison du fléau, et p la différence P — Q des poids placés dans les plateaux. On a déjà vu que, le fléau étant en équilibre dans la position inclinée $m'n'$, la condition d'équilibre est exprimée par l'équation

$$[1] \qquad p \,.\, od = \varpi \,.\, oi.$$

On n'a qu'à substituer aux lignes od et oc leurs valeurs trigonométriques, en fonction de α et des éléments de la balance. Or le triangle rectangle dom' donne $od = om' \cos\alpha$, et le triangle oig' donne $oi = og' \sin\alpha$ (car l'angle $og'i$ est égal à l'angle α, comme ayant ses côtés perpendiculaires). Portant ces valeurs dans l'égalité [1], et remplaçant om' et og' par les lettres l et d, on obtient

$$[2] \qquad pl \cos\alpha = \varpi d \sin\alpha, \quad \text{d'où} \quad \operatorname{tang}\alpha = \frac{pl}{\varpi d}.$$

Or l'angle α est généralement assez petit pour qu'on puisse remplacer sa tangente trigonométrique par l'arc α, qui mesure l'inclinaison et, par suite, la sensibilité de la balance : on voit donc par l'égalité [2] que cette sensibilité est directement proportionnelle à l, inversement proportionnelle à ϖ et à d, ce qui comprend les trois premières conditions. Elle est d'ailleurs indépendante de la charge totale, puisque celle-ci, $(2Q+p)$, n'entre pas dans la formule.

II. *Cas d'un fléau coudé.* — Supposons, par exemple, que l'angle β soit aigu (fig. 137) et adoptons les mêmes notations que dans le cas précédent. Soit α l'inclinaison du fléau mon sous l'influence de l'excès p. La condition d'équilibre est la même que précédemment, mais son expression algébrique sera différente par suite de l'introduction de l'angle β dans la valeur des moments.

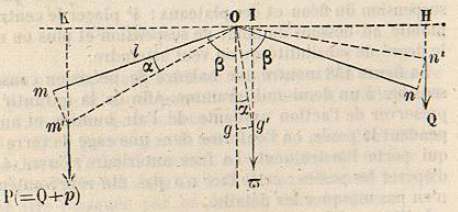

Fig. 137.

En effet, les bras de levier ne sont plus les bras mêmes du fléau : ce sont leurs projections OI, OH et OK sur l'horizontale du point d'appui. L'équation est donc

$$(Q+p)\ OK = Q.OH + p.OI.$$

En remplaçant OK, OH et OI par leurs valeurs en fonction des éléments de la balance, il vient

$$(Q+p)\ l \sin(\beta-\alpha) = Q.l \sin(\beta+\alpha) + \varpi d \sin\alpha.$$

On en tire facilement

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{pl \sin\beta}{(2Q+p)\ l\cos\beta + \varpi d}.$$

La présence du terme $(2Q+p)$ dans cette équation prouve que, lorsque le fléau n'est pas droit, la *sensibilité* n'est pas indépendante de la *charge totale* $(2Q+p)$.

On voit de plus que, dans le cas où nous nous sommes placés, c'est-à-dire lorsque β est aigu, la *sensibilité diminue* quand la *charge totale augmente* parce que le coefficient $\cos\beta$ est >0. Au contraire, si β *était obtus* (fig. 136), comme le terme $(2Q+p)\ l\cos\beta$ serait alors <0, la *sensibilité augmenterait* en même temps que la charge totale.

7° Remarques. — Pour que les conditions précédentes aient une efficacité réelle et durable, il faut, en outre, réaliser dans la construction de la balance les deux conditions mécaniques suivantes :

1° *Dans la limite de charge de la balance, le fléau doit rester inflexible;* car, s'il fléchit, non seulement son centre de gravité peut s'abaisser, mais encore les points d'attache des plateaux.

2° *Le frottement aux points d'appui du couteau et aux points d'attache des plateaux doit être le plus petit possible.* C'est pour obtenir ce résultat que, dans les balances de précision, on fait usage de chapes bien polies d'agate ou d'acier.

135. **Balance de précision.** — Dans les recherches de physique et de chimie on fait usage de balances plus précises. Les règles pratiques qui doivent diriger la construction de cet instrument se déduisent de la théorie exposée ci-dessus. On doit : 1° faire les deux bras du fléau rigoureusement égaux ; 2° leur donner à la fois une grande longueur et une grande légèreté ; 3° établir dans un même plan horizontal et dans des directions parallèles les trois axes de suspension du fléau et des plateaux ; 4° placer le centre de gravité de la partie mobile au-dessous du point de suspension et plus ou moins près de lui, suivant le degré de sensibilité qu'on veut atteindre.

La figure 138 montre une balance de précision construite par M. Deleuil, et sensible à un demi-milligramme. Afin de la garantir de la poussière et de la préserver de l'action oxydante de l'air humide et aussi des agitations de l'air pendant la pesée, on l'enferme dans une cage de verre reposant sur une tablette qui porte l'instrument. La face antérieure s'ouvre à volonté pour permettre d'opérer les pesées : cette face n'a pas été représentée dans le dessin, afin de n'en pas masquer les détails.

I. *Fléau.* — Deux montants de fonte A et B portent à leur sommet chacun un plateau d'agate dont les deux surfaces forment un même plan horizontal sur lequel s'appuie et oscille le fléau *aa*. Ce fléau a été taillé dans une règle plate de bronze ou d'acier et a reçu la forme d'un losange allongé. Pour en diminuer le poids, on y a pratiqué de larges entailles qui ne laissent subsister que les côtés du losange. On a ainsi un fléau long et léger qui conserve une grande résistance à la flexion. Son axe de suspension est réalisé d'une manière

très précise à l'aide d'un prisme triangulaire d'acier trempé qu'on y a encastré perpendiculairement en son milieu, et dont l'arête inférieure, bien rectiligne, s'appuie sur les deux plans d'agate.

Fourchette. — A chaque extrémité du fléau est fixé un prisme d'acier, l'arête en dessus, destiné à supporter une chape d'agate, à laquelle est attaché chaque plateau (fig. 140). Si ces prismes restaient en contact avec les plans d'agate, leurs arêtes s'émousseraient, et la balance perdrait de sa sensibilité.

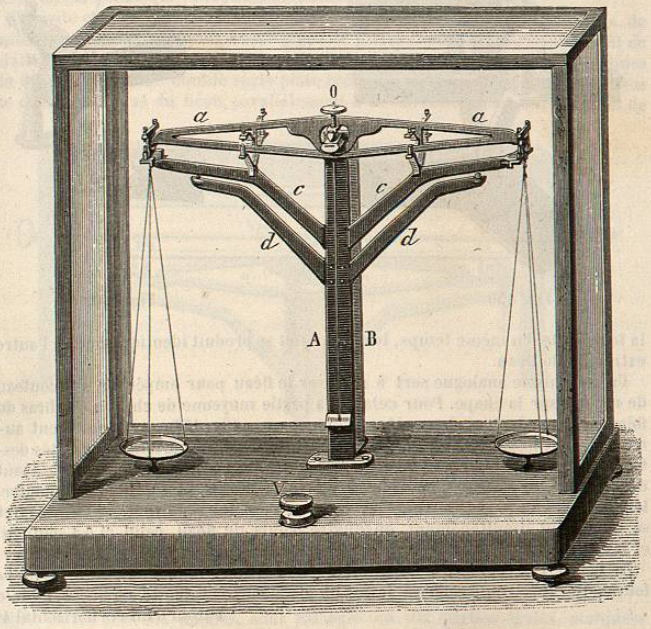

Fig. 138.

Pour éviter cet inconvénient, on adapte aux balances de précision un accessoire important, la *fourchette*, pièce mobile, qui permet de soulever les plateaux et le fléau toutes les fois que la balance ne fonctionne pas.

Les deux bras *d*, *d* (fig. 138), portés par le montant A, sont fixes et ne servent qu'à guider la fourchette. Celle-ci consiste en une pièce de fonte *c*, *c*, aussi longue que le fléau : elle s'élève et s'abaisse à frottement doux le long du montant A, à l'aide d'une tige masquée par ce dernier dans le dessin.

Pour faire mieux comprendre le jeu de la fourchette, la figure 140 représente sur une plus grande échelle le système qui sert à soulever les plateaux, et la figure 139 celui qui sert à soulever le fléau. A l'extrémité du fléau *a* (fig. 140) est un prisme d'acier *i*, et au-dessus de celui-ci une pièce *pq*, qui porte un des plateaux ; dans la face inférieure de cette pièce est encastré un plan d'agate qui s'appuie sur le prisme quand la balance fonctionne. Au-dessous du fléau *a* est le bout de la fourchette *c*, qui porte deux boulons cylindriques, *m*, *n*, dis-

posés avec précision au-dessous de deux pièces coniques liées à la chape *pq*. Par suite, lorsque la fourchette monte, les boulons *m* et *n*, entaillés de cavités convenablement disposées, reçoivent les deux cônes fixés à la pièce *pq*, soulèvent celle-ci et avec elle le plateau, qui se trouve ainsi porté tout entier par

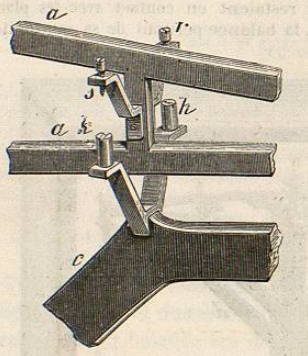

Fig. 139.

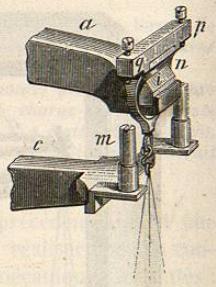

Fig. 140.

la fourchette. En même temps, le même effet se produit identiquement à l'autre extrémité du fléau.

Un mécanisme analogue sert à soulever le fléau pour empêcher son couteau de reposer sur la chape. Pour cela, à la partie moyenne de chacun des bras du fléau *aa* sont adaptées deux pièces coniques *r*, *s* (fig. 139), et, exactement au-dessous, sont fixés à la fourchette *c* deux boulons *k*, *h*, portant des cavités destinées à recevoir les cônes *r* et *s*. Par cette disposition, la fourchette ayant déjà soulevé les plateaux, comme on l'a vu ci-dessus, et continuant à monter, les boulons *k* et *h* rencontrent les cônes *s*, *r*, et les soulèvent. Le même effet se produisant simultanément en quatre points du fléau, celui-ci est soutenu, et les trois prismes restent sans charge tant que la fourchette est remontée.

La figure 141 représente le mécanisme à l'aide duquel on manœuvre la fourchette. Il se compose d'un levier *ab* placé sous la tablette. Ce levier, mobile autour d'un axe horizontal A, est articulé par un bout à une tige D reliée à la fourchette et la faisant marcher; de l'autre, il porte un appendice *a* sur lequel presse une pièce cylindrique C entaillée en hélice à sa base. On fait tourner cette pièce à l'aide d'un bouton V représenté en avant de la balance (fig. 138). Lorsque le bord incliné de la pièce C vient presser sur l'appendice *a* et l'abaisse, la tige D est soulevée et avec elle la fourchette. Si l'on tourne en sens contraire, la tige D s'abaisse et la fourchette descend.

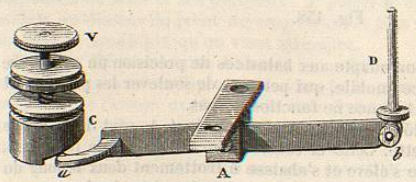

Fig. 141.

Sur l'arête supérieure du fléau et au-dessus du point de suspension, on a fixé verticalement une vis à pas très petit. Un bouton fileté, taraudé en écrou, peut

être mû sur la vis. Comme il fait partie intégrante du fléau, quand on le fait monter ou baisser, le centre de gravité de la partie mobile monte ou descend sur la verticale. Cela permet de régler la sensibilité de la balance (134, 5°).

Poids marqués de précision. — Aux balances de précision sont jointes nécessairement des boîtes de poids parfaitement justes. Dans les séries des sous-multiples du gramme (décigrammes, centigrammes, milligrammes) on substitue d'ordinaire un poids 2 à l'un des poids 1, parce que le poids 2 est plus maniable que le poids 1 : c'est un avantage pratique sensible, à cause de l'extrême petitesse de ces poids, qui vont jusqu'au *dixième de milligramme*.

On évite encore mieux cette difficulté de maniement, pour les fractions de milligramme, en employant à leur place de petits cavaliers C formés d'un fil de platine, pesant exactement 1^{mmg} (fig. 142). On les fait glisser soit sur les bras mêmes du fléau, soit sur une double règle plate métallique $O_1 m_1$, $O_1 n_1$, fixée au-dessus de chacun des bras du fléau, parallèlement à sa direction. Les deux moitiés de

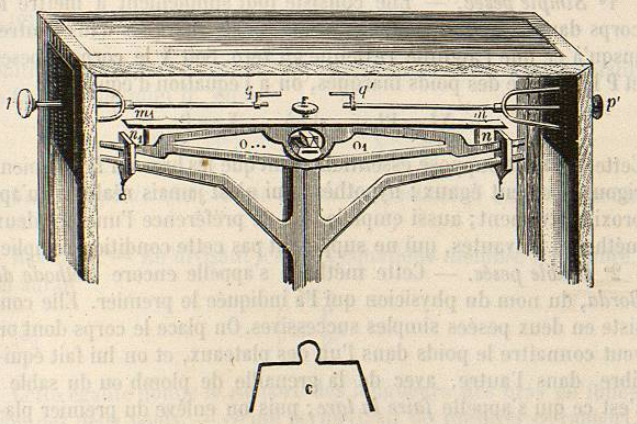

Fig. 142.

règle, ou les bras eux-mêmes, sont partagés en dix parties égales, marquées par des crans, dont le premier est en O_1 sur la verticale du point de suspension, et les derniers sur les verticales des points d'attache $m_1 m$ et $n_1 n$. D'après la théorie du levier, un cavalier de 1 centigramme, placé au dernier cran, c'est-à-dire sur l'une des verticales *m* ou *n*, pèsera sur le plateau de tout son poids; placé sur la verticale du milieu du bras O*m*, le cavalier n'exercera plus sur le plateau qu'un effort de 1/2 centigramme, c'est-à-dire de 5^{mmg}; placé au premier cran, à partir du point O_1, il pèsera sur le plateau comme 1/10 de centigramme, ou 1^{mmg} : en un mot, le cavalier, qu'on déplace sur le fléau, *exerce un effort proportionnel à sa distance à l'axe de suspension.* — On pourra donc de cette manière apprécier commodément le milligramme et même le dixième de milligramme, si la sensibilité de la balance le permet.

Ces cavaliers peuvent être maniés de l'extérieur de la cage : des tiges latérales *pq*, *p'q'* permettent de les saisir par la boucle supérieure.

Limite de précision de la balance. — Les balances de précision qui sont sensibles au milligramme pour une charge totale de 1 kilogramme, sont des instruments de construction courante : or elles sont déjà sensibles au *millionième*.

Deleuil a jadis construit pour Regnault une balance sensible à 1^{mmg}, sous une charge de 10 kilogrammes[1] : la sensibilité était donc de $\frac{1}{10^7}$.

On a poussé la précision beaucoup plus loin au Bureau international des poids et mesures. En prenant certaines précautions, et en observant à distance des balances dont la cage ne s'ouvrait pas, on est arrivé à peser 100 kilogrammes à 1^{mmg} près, c'est-à-dire avec une précision de *un cent-millionième*.

136. **Différentes méthodes de pesée.** — On peut effectuer la pesée d'un corps par trois méthodes :

La *simple pesée*, employée pour les mesures courantes ; la *double pesée* et la méthode *de transposition*, employées pour les mesures de précision.

1° *Simple pesée.* — Elle consiste tout simplement à mettre le corps dans l'un des plateaux et des poids marqués dans l'autre, jusqu'à ce que l'aiguille revienne au zéro. Soit X le corps à peser et P la somme des poids marqués, on a l'équation d'équilibre

$$Xl = Pl, \qquad \text{d'où} \qquad X = P.$$

Cette méthode suppose essentiellement que les bras du fléau soient rigoureusement égaux : hypothèse qui n'est jamais réalisée qu'approximativement ; aussi emploie-t-on de préférence l'une des deux méthodes suivantes, qui ne supposent pas cette condition remplie.

2° *Double pesée.* — Cette méthode s'appelle encore *méthode de Borda*, du nom du physicien qui l'a indiquée le premier. Elle consiste en deux pesées simples successives. On place le corps dont on veut connaître le poids dans l'un des plateaux, et on lui fait équilibre, dans l'autre, avec de la grenaille de plomb ou du sable : c'est ce qui s'appelle *faire la tare ;* puis on enlève du premier plateau le corps à peser, et on le remplace par des poids marqués jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse de nouveau. La somme de ces poids représente exactement le poids du corps ; car, dans ces deux opérations, le corps et les grammes agissent tour à tour sur le même bras de levier pour faire équilibre à la même résistance. On s'en rend compte plus nettement, en écrivant les équations qui expriment ces deux équilibres successifs. Soient l et l' les deux bras du fléau, T le poids de la tare, P la somme des poids marqués et X le poids du corps. On a successivement

$$[1] \qquad Xl = Tl',$$
$$[2] \qquad Pl = Tl'.$$

En divisant membre à membre, il vient

$$X = P.$$

1. Violle, *Physique*, t. Ier.

3° *Méthode de transposition.* — On pèse deux fois le corps par *simple pesée*, en le plaçant successivement dans chacun des plateaux.

Écrivons les deux équations d'équilibre ; soient X le point cherché, P′ le poids marqué mis dans l'autre plateau, l et l' les longueurs des bras de levier qui leur correspondent respectivement. La première équation d'équilibre est

$$[1] \qquad lX = l'P.$$

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

$$[2] \qquad l'X = lP'.$$

Multipliant membre à membre les égalités [1] et [2], et supprimant le facteur commun ll', on a

$$X^2 = PP', \qquad \text{d'où} \qquad X = \sqrt{PP'}.$$

Donc *le poids cherché est moyen proportionnel entre les poids* P *et* P′.

Remarque. — En divisant les deux équations membre à membre, on aurait

$$[3] \qquad \frac{l}{l'} = \frac{P}{P'}.$$

Cette égalité donne le rapport des longueurs des bras en fonction des deux poids, — ce qui permettrait de mesurer ce rapport.

Si $P = P'$, on a $l = l'$: de là un procédé pour vérifier l'une des conditions de justesse de la balance, en supposant que l'autre soit remplie.