

réaction du point d'appui; c'est la force de liaison. On doit donc avoir (15) :

$$\frac{P}{R} = \frac{OB}{OA}$$

L'équilibre subsiste encore quand la machine est animée d'un mouvement uniforme (19). Au bout d'un intervalle de temps déterminé, le levier occupera la position A'B'; la similitude des triangles AOA', BOB', donne la relation :

$$\frac{OB}{OA} = \frac{BB'}{AA'}$$

qui, combinée avec la relation précédente, donne :

$$P \times AA' = R \times BB'$$

— Le travail moteur de la puissance $P \times AA'$ est donc égal au travail résistant $R \times BB'$. En d'autres termes, la machine produit en B un travail égal à celui qu'elle reçoit en A. — Il en est ainsi dans toute machine en mouvement uniforme; nous en rencontrerons d'autres exemples.

L'égalité du travail moteur et du travail résistant, dans une machine en mouvement uniforme, est d'ailleurs une conséquence du principe des forces vives. En effet, les différents points qui constituent la machine ont une force vive constante; la somme algébrique des travaux des forces est donc nulle. D'autre part, le travail de la force de liaison est nul, puisque son point d'application est fixe. Donc le travail positif de la puissance est égal, en valeur absolue, au travail négatif de la résistance.

Une machine composée est un système dont les divers organes sont des machines simples; telle est la machine à vapeur. — Généralement, le mouvement est périodique; c'est-à-dire que, à des intervalles de temps réguliers, appelés périodes, les différents points de la machine reprennent les mêmes positions relatives et sont animés des mêmes vitesses. Au commencement et à la fin de chaque période, la force vive totale reprend donc la même valeur; la somme algébrique des travaux des forces est nulle, c'est-à-dire que le travail moteur et le travail résistant sont égaux en valeur absolue, pendant la durée de chaque période. Dans la première partie de la période, le travail moteur est plus grand que le travail résistant, la force vive de la machine augmente; à la fin de la période, la force vive diminue, le travail résistant est supérieur au travail moteur.

Une machine, simple ou composée, ne crée donc pas de travail. Dans la plupart des cas, l'avantage des machines est de permettre de vaincre, avec une force motrice relativement petite, une résistance considérable; mais ce qu'on gagne en force, on le perd en chemin parcouru.

II. — CONSTITUTION DES CORPS. — ÉNERGIE

25 Divisibilité des corps. — Atomes. — Molécules. — Les corps, en général, peuvent être divisés en parties de plus en plus petites, sans perdre les propriétés qui les caractérisent. — Cependant, bien que l'on puisse diviser la matière en parties d'une petitesse

extrême, l'étude des propriétés des corps a conduit à admettre que chacun d'eux est formé d'atomes (à négatif, τέμνω couper), c'est-à-dire de particules insécables, disposées par groupes, chaque groupe constituant une molécule (diminutif de moles, masse) (*).

Parmi les corps connus, il en est qu'on n'a jamais pu décomposer en éléments différents : tels sont l'hydrogène, l'oxygène, le fer, etc.; on les nomme corps simples; leurs molécules sont formées d'atomes tous identiques. — Les corps composés sont ceux dans lesquels on peut mettre en évidence la présence de plusieurs substances différentes. Par exemple, en soumettant l'eau à l'action d'un courant électrique, on la décompose en deux gaz, l'oxygène et l'hydrogène, dont les propriétés n'ont plus rien de commun avec celles de l'eau. Il est naturel de considérer les molécules d'eau comme formées d'atomes d'hydrogène et d'atomes d'oxygène.

On admet que les molécules ne sont pas en contact les unes avec les autres, mais qu'elles sont séparées par des intervalles dont les dimensions sont comparables à celles des molécules elles-mêmes. — Cette hypothèse permet, par exemple, de se rendre compte des propriétés suivantes : 1° tous les corps éprouvent une diminution de volume quand on exerce sur eux une pression suffisante; 2° tous les corps éprouvent une variation de volume quand on fait varier leur température. Ces variations de volumes s'expliquent par les variations de grandeur des intervalles qui existent entre leurs molécules.

On peut assimiler les molécules d'un corps à des points matériels, exerçant les uns sur les autres des actions mutuelles. On admet généralement que, entre deux points quelconques, s'exercent deux forces dirigées suivant la droite qui les joint, égales, de sens contraires, et dont la grandeur dépend de la distance des points et de la nature des molécules. C'est ce qu'on appelle les forces intérieures du corps; les autres forces qui peuvent agir sur le corps (poids du corps, pressions, tractions, etc.) sont appelées des forces extérieures.

26. États physiques des corps. — Les divers états physiques sous lesquels les corps se présentent à nous peuvent se rapporter à trois types : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.

1° État solide. — Nous appellerons état solide, celui d'un corps dont le volume et la forme demeureraient constants, quelque grandes que fussent les forces extérieures qui lui seraient appliquées.

Les corps solides sur lesquels peuvent porter nos expériences ne sont

(*) On doit se représenter ces molécules comme ayant des dimensions tellement petites, qu'elles échappent toujours à nos regards, même avec le secours des microscopes les plus puissants. Le physicien anglais William Thomson a été conduit par le calcul à cette conclusion, que si l'on pouvait voir une goutte d'eau avec un grossissement tel, qu'elle apparût avec la grosseur de la Terre, ses molécules n'acquerraient encore que des dimensions comparables à celles de grains de sable.

jamais rigoureusement conformes à cette définition; une tige d'acier, soumise à des actions mécaniques, comme une pression ou une traction énergique, éprouve une déformation plus ou moins sensible. Mais elle revient à sa forme primitive dès que ces actions sont supprimées: c'est la propriété qu'on désigne sous le nom d'*élasticité*. — L'élasticité elle-même se manifeste chez les divers corps d'une manière très inégale: le plomb en est à peu près dénué.

2° *État liquide*. — Nous appellerons *état liquide*, celui d'un corps dont le volume demeurerait constant, quelles que fussent les forces extérieures qui lui seraient appliquées, mais dont la forme dépendrait essentiellement de celle des parois solides avec lesquelles il serait en contact.

Des expériences précises prouvent que les liquides sur lesquels nous pouvons opérer éprouvent des variations de volume, très petites d'ailleurs et toujours temporaires, quand on les soumet à des pressions considérables. Sous le rapport de l'invariabilité du volume, ils ne satisfont donc pas rigoureusement à la définition précédente. — Mais ils ont une forme essentiellement variable, comme l'indique la définition. La mobilité de leurs molécules est telle, qu'il suffit de faire passer une masse d'eau d'un vase dans un autre, pour la voir prendre la forme du second vase, sous la seule action de son poids (*).

3° *État gazeux*. — On appelle *corps gazeux*, des corps qui ont, comme les liquides, la propriété d'avoir une forme essentiellement variable, mais qui se distinguent des liquides en ce qu'ils tendent toujours à occuper le plus grand volume possible. — En d'autres termes, quand une masse de gaz est introduite dans une enveloppe quelconque, elle se répand dans tout l'espace qui lui est offert, et continue encore à exercer sur les parois une pression tendant à les écarter. La force qui sollicite alors, de dedans en dehors, l'unité de surface de la paroi supposée plane, est ce qu'on nomme la *force élastique* du gaz.

Pour mettre en évidence la force élastique des gaz, prenons une vessie presque dégonflée, c'est-à-dire contenant peu d'air, et ficelons-en solide-

(*) La mobilité des molécules n'appartient cependant pas non plus, au même degré, aux divers liquides que nous pouvons soumettre à l'expérience. — Si l'on prend des flacons partiellement remplis d'eau ou d'éther, qu'on les agite et qu'on les abandonne ensuite au repos, on voit disparaître presque instantanément l'écume qui avait été produite par l'interposition de bulles d'air dans la masse: l'écume persiste plus longtemps avec l'huile, l'eau de savon, à cause de la résistance qu'éprouvent les molécules pour reprendre les positions que tend à leur donner la pesanteur. Cette résistance au mouvement, qu'on désigne sous le nom de *viscosité*, se manifeste dans tous les liquides, à un degré plus ou moins marqué.

On peut remarquer enfin que les diverses substances présentent une série d'intermédiaires, entre les corps qui se rapprochent de l'état liquide idéal et ceux qui sont voisins de l'état solide parfait: les corps *mous*, comme le potassium, le sodium, le phosphore, que l'on classe généralement parmi les corps solides, se rapprochent des corps liquides en ce qu'il suffit de forces très faibles pour leur faire subir des déformations.

ment l'ouverture. Il semble que l'air enfermé dans la vessie n'exerce aucune pression sur ses parois; mais si l'on place la vessie sous une cloche reposant sur le plateau de la machine pneumatique (fig. 15), et qu'on enlève progressivement l'air de la cloche, on voit la vessie se distendre, jusqu'à remplir presque entièrement la cloche (fig. 16). Donc,

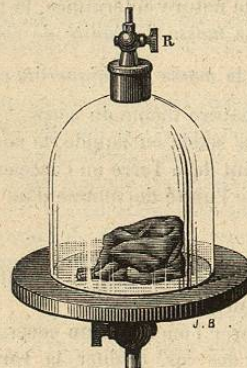


Fig. 15.

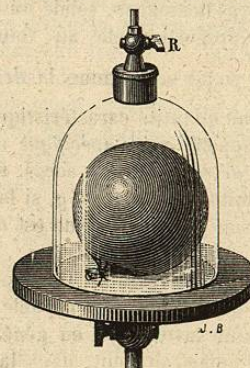


Fig. 16.

si elle ne se distendait pas d'abord, c'est que la force élastique de l'air qu'elle contient était équilibrée par la pression de l'air environnant. — D'ailleurs, si l'on ouvre le robinet R de la cloche, de manière à laisser rentrer l'air autour de la vessie, on la voit s'affaisser de nouveau.

Cette expérience montre donc, non seulement que l'air possède une *force élastique*, mais aussi qu'il est *compressible*, c'est-à-dire que son volume diminue quand la pression qui s'exerce sur lui vient à augmenter. — C'est ce que nous allons constater également dans l'expérience suivante.

27. *Expérience du briquet à air*. — La force élastique d'un gaz augmente quand on diminue son volume. — Le *briquet à air* se compose d'un tube de verre épais (fig. 17), fermé à l'une de ses extrémités, et dans lequel on introduit un piston garni de cuir et bien graissé. On enferme ainsi, dans le tube, une certaine quantité d'air. — En appuyant, avec la main, sur la tige du piston, on arrive à le faire pénétrer dans le tube jusqu'à une certaine profondeur, ce qui prouve que l'air est *compressible*. — Mais, en enfonçant ainsi progressivement le piston, on éprouve une résis-

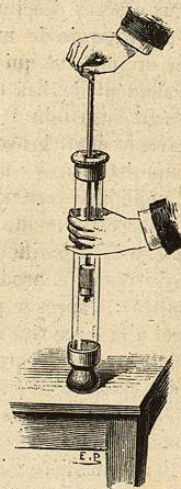


Fig. 17. — Briquet à air.

tance croissante, et bientôt même il devient difficile de pousser le piston plus loin. Donc la *force élastique* de l'air qui, pour chaque position du piston, fait équilibre à la pression exercée sur lui, devient *de plus en plus grande*, à mesure que le volume de l'air devient *plus petit* (*).

28. Densité, poids spécifique d'un corps solide ou liquide. — Pour tout corps homogène, solide ou liquide, de nature déterminée, la masse m est proportionnelle au volume v . La *masse de l'unité de volume*, $\frac{m}{v}$, est ce qu'on nomme la *densité* ou la *masse spécifique* du corps; c'est une quantité caractéristique de la nature même du corps.

On appelle *poids spécifique* d'un corps solide ou liquide, le *poids de l'unité de volume* de ce corps. En un point de la Terre où l'accélération de la chute des corps est g , si la masse de l'unité de volume d'un corps est d , son poids spécifique est dg .

29. De l'énergie. — On appelle *énergie d'un corps*, la quantité de travail que ce corps est capable de produire.

Nous ne savons pas, en général, mesurer l'énergie d'un corps, ainsi définie; mais on peut, dans la plupart des cas, évaluer la *variation d'énergie* qu'il éprouve, dans des conditions déterminées. — C'est ce que nous allons faire comprendre sur quelques exemples simples, qui nous permettront de montrer, en même temps, que l'énergie peut être de deux espèces différentes.

30. Énergie de mouvement, ou énergie actuelle. — Considérons, par exemple, ce qui se passe quand un marteau, de masse m , lancé verticalement de bas en haut, avec une vitesse v , rencontre un corps pesant suspendu à l'extrémité d'un long fil. Au moment du choc, le marteau étant brusquement arrêté, le corps pesant, de poids p , s'élève à une hauteur h : c'est l'effet qu'aurait pu produire une force égale à p , appliquée verticalement au corps, de bas en haut, et le faisant parvenir à cette même hauteur h . Donc, s'il n'y a aucun autre effet produit, à la disparition de la force vive de translation du marteau $\frac{1}{2}mv^2$, correspond la production d'un travail ph , sur le corps qu'il a rencontré: d'après le principe des forces vives (25), le travail produit est égal à la force vive qui a disparu. — Dans tous les cas de ce genre, on peut dire qu'un corps en mouvement possède, par cela même, une certaine quantité d'énergie, égale à sa force vive, et qui prendra le nom d'*énergie de mouvement*. — On l'appelle plus ordinairement *énergie actuelle*.

D'une manière générale, pour un corps *non déformable*, la force vive,

(*) Cet appareil a reçu le nom de *briquet à air*, à cause de la chaleur que dégage la compression de l'air. Lorsqu'on enfonce brusquement la tige, l'élévation de température peut devenir assez grande pour allumer un morceau d'amadou fixé à la partie inférieure du piston.

ou énergie actuelle, ne saurait diminuer ou augmenter, qu'autant que ce corps produit ou reçoit un travail extérieur.

31. Énergie de position, ou énergie potentielle. — Considérons maintenant un corps solide *déformable*, tel qu'un ressort d'acier, amené à un état de tension déterminé, et fixé invariablement à l'une de ses extrémités. Si on l'abandonne à lui-même, il est capable, en se détendant, d'imprimer un mouvement à un corps mis en contact avec son extrémité libre, c'est-à-dire de produire un travail. Or, une fois cet effet produit, et le ressort revenu à l'état de repos, la force vive de chacun de ses points est redevenue nulle comme auparavant: au travail effectué par le ressort, ne correspond donc aucune diminution de son énergie actuelle. Mais la détente du ressort constitue une *déformation*, après laquelle les molécules occupent d'autres positions relatives: puisqu'il y a eu accomplissement d'un travail extérieur *résistant*, sans diminution de force vive, c'est que les forces *intérieures* (25) ont agi pendant la détente comme *motrices*. Cette énergie que possède un ressort tendu, et qui disparaît en totalité ou en partie après une détente totale ou partielle, dépend évidemment de la position relative des molécules: on lui donne, pour cette raison, le nom d'*énergie de position*. — On l'appelle aussi *énergie potentielle* (énergie en puissance).

Remarque. — En général, on reconnaîtra que, dans la déformation d'un corps, il y a *diminution d'énergie potentielle*, lorsque les forces intérieures agiront comme forces *motrices*. — Inversement, dans toute déformation, il y aura *accroissement d'énergie potentielle*, lorsque les forces intérieures agiront comme forces *résistantes*.

32. — Énergie totale d'un corps. — Principe de la conservation de l'énergie. — D'après ce qu'on vient de voir, un corps peut posséder de l'énergie de deux espèces. L'*énergie totale* d'un corps est la somme de son énergie actuelle et de son énergie potentielle.

Si un corps, ou un système de corps, est soustrait à toute action extérieure (chaleur, électricité, lumière,) et si, de plus, aucune force extérieure n'agit sur lui, son *énergie totale demeure constante*. — Ce principe, absolument général, qui domine l'étude de la physique, est une conséquence immédiate du théorème des forces vives (25). En effet, l'énergie actuelle ne peut augmenter ou diminuer, que si les forces intérieures, les seules qui puissent agir, ont donné lieu à un travail moteur ou résistant; mais alors l'énergie potentielle a diminué ou augmenté de la même quantité (31, *Rem.*).

Soit, par exemple, un corps de masse m , suspendu par un fil au-dessus du sol: il constitue, avec la Terre, un système dans lequel le poids P ou mg du corps doit être considéré comme une force intérieure. Le corps étant en repos, la force vive ou énergie actuelle est nulle. Si l'on vient à couper le fil, le corps tombe, et parcourt un espace e ; le travail moteur de la force intérieure, c'est-à-dire la diminution de l'énergie

potentielle (51, Rem.) est Pe ou mge ; mais, d'autre part, la vitesse étant devenue $v = \sqrt{2ge}$, l'énergie actuelle s'est accrue de $\frac{1}{2}mv^2$ ou mge ; l'énergie totale est donc demeurée constante. Après que le corps a rencontré le sol, si le sol est parfaitement rigide et que le corps soit parfaitement élastique, il rebondit à sa hauteur primitive : alors, c'est l'énergie potentielle qui augmente, tandis que l'énergie actuelle diminue, etc....

Il est cependant des cas où ce principe semble en défaut. Quand une masse de plomb tombe sur le sol, d'une certaine hauteur, sa force vive s'anéantit sans que le corps rebondisse, et par conséquent sans qu'il y ait accroissement d'énergie potentielle; mais, dans ce cas, le plomb s'échauffe, c'est-à-dire qu'il *apparaît de la chaleur*. Nous verrons, par la suite, que ce n'est là qu'une manifestation particulière de l'énergie qui semble avoir disparu.

Une analyse attentive des phénomènes conduit à considérer la chaleur, l'électricité, la lumière, comme n'étant que des modes divers de l'énergie. C'est là une des conquêtes les plus remarquables de la science moderne.

L'énergie ne disparaît donc jamais : elle se transforme, mais elle est indestructible comme la matière.

On peut dire que le but de la Chimie est l'étude des modifications de la matière. — Le but de la Physique est l'étude de l'énergie et des phénomènes qui accompagnent ses diverses transformations.

III. — SYSTÈME D'UNITÉS C.G.S.

33. Du choix des unités. — Dans tout système de mesures, on doit toujours fixer arbitrairement trois unités *fondamentales*, qui correspondent à trois grandeurs de natures différentes. Conformément aux conventions usitées en Mécanique, nous avons pris jusqu'ici, comme unités fondamentales : 1° l'unité de *longueur* (mètre), 2° l'unité de *temps* (seconde), 3° l'unité de *force* (poids du kilogramme).

Ces trois unités fondamentales une fois choisies, toutes les autres unités (*unités dérivées*) s'en déduisent, par des formules de définition. Par exemple, l'unité de masse et l'unité de travail sont définies par les formules précédemment établies (11 et 22) :

$$m = \frac{F}{\gamma} = \frac{P}{g}, \quad W = Fe,$$

ce qui revient à dire que l'*unité de masse* est la masse d'un corps qui, à Paris, pèse 981,81; que l'*unité de travail* est le travail qu'il faut effectuer pour soulever un poids de 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur. Cette unité de travail est aussi l'*unité d'énergie*.

Mais ce système d'unités présente l'inconvénient de faire dépendre l'unité de masse et diverses autres unités dérivées, de l'accélération de la chute des corps, laquelle n'est pas la même en tous les points du globe. Aussi lui a-t-on substitué un système différent, dont les bases, posées par Gauss, ont été adoptées par les physiciens réunis en congrès à Paris, en 1881.

34. Unités fondamentales C.G.S. — Dans ce nouveau système, les trois unités fondamentales ne sont plus les unités de longueur, de force et de temps, mais les unités de *longueur*, de *masse* et de *temps* (l'unité de force devient une unité dérivée).

L'unité de longueur est le *centimètre*.

L'unité de masse est la masse du *gramme*, c'est-à-dire la masse d'un centimètre cube d'eau distillée, à la température de 4°. Cette unité prend le nom de *gramme-masse*.

L'unité de temps est la *seconde* de temps moyen.

Le système constitué par cet ensemble d'unités *fondamentales* et par les unités *dérivées* a reçu le nom de système C.G.S. (centimètre, gramme, seconde).

35. Unités dérivées C.G.S. — D'après la formule de définition, $v = \frac{e}{t}$, l'*unité de vitesse* C.G.S. est la vitesse d'un mobile qui parcourt, d'un mouvement uniforme, un centimètre en une seconde.

L'*unité d'accélération* C.G.S. est l'accélération d'un mobile qui se meut d'un mouvement uniformément accéléré, et dont la vitesse varie d'une unité pendant une seconde (4). Dans le système C.G.S., l'accélération de la chute des corps à Paris n'est plus mesurée par le nombre 9,81, mais par un nombre cent fois plus grand, 981.

L'*unité de force* est définie (12) par la relation $F = m\gamma$. Si l'on pose $m = 1$ et $\gamma = 1$, on aura $F = 1$. L'unité de force, appelée *dynes* (du grec δύναμις, force), est donc la force qui imprimerait à l'unité de masse une accélération d'une unité.

Pour avoir une idée de la grandeur de la dyne, calculons la valeur F de l'ancienne unité de force (le poids du kilogramme, à Paris) exprimée en dynes. — Cette force F , appliquée à une masse égale à 1000 grammes-masses, lui imprime une accélération égale à 981. En appliquant la formule $F = m\gamma$, on a $F = 1000 \times 981$ dynes. — Le nombre 981 étant approximativement égal à 1000, on voit que le poids d'un kilogramme représente à peu près un million de dynes. En d'autres termes, la dyne équivaut sensiblement au poids d'un millionième de kilogramme, ou au *poids de 1 milligramme*. — Exactement, le poids du gramme vaut 981 dynes.

L'*unité de travail* ou *d'énergie* est définie (22) par la relation $W = Fe$. Si l'on pose $F = 1$, et $e = 1$, on aura $W = 1$. L'unité d'énergie, appelée *erg* (du grec ἔργον, travail), est le travail accompli

par une force d'une dyne qui déplace son point d'application de 1 centimètre.

La dyne étant à peu près équivalente au poids de 1 milligramme, lorsque un milligramme tombe de 1 centimètre de hauteur, le travail est à peu près de 1 erg; quand on soulève un milligramme à un centimètre de hauteur, on augmente son énergie de 1 erg.

Il est facile de calculer la valeur du kilogrammètre au moyen de cette nouvelle unité. — Dans la formule $W = Fe$, faisons F égal à 1 kilogramme, c'est-à-dire à 1000×981 dynes, et faisons e égal à 1 mètre, c'est-à-dire 100 centimètres : nous aurons : $W = 1000 \times 981 \times 100$ ergs; le kilogrammètre vaut donc sensiblement 10^8 ergs.

Pour définir l'unité de pression, il suffit de considérer une disposition semblable à celle du briquet à air (fig. 17); lorsque le piston est arrivé à une position d'équilibre, la force F , qui s'exerce sur lui de haut en bas, est équilibrée par la force élastique du gaz. Si S est la surface du piston, la force exercée par unité de surface est exprimée par le quotient $\frac{F}{S}$: c'est ce quotient qui définit la pression extérieure (par unité de surface); il représente également la force élastique du gaz. D'après cette formule de définition, dans le système C.G.S., l'unité de pression ou de force élastique est une pression telle que chaque centimètre carré soit sollicité par une force d'une dyne.

L'unité de densité est fixée par la définition qui a été donnée (28) de la densité $d = \frac{m}{v}$. Si l'on fait $m = 1$ et $v = 1$, on a $d = 1$. Dans le système C.G.S., l'unité de densité est donc la densité d'un corps tel que, sous le volume de 1 centimètre cube, la masse soit de 1 gramme. (On voit que, d'après la définition du gramme-masse (34), la densité de l'eau, à 4° , est précisément l'unité.)

36. Unités pratiques du système C.G.S. — Dans les usages pratiques, certaines des unités qui viennent d'être définies (unités absolues) étant très petites par rapport aux grandeurs de même espèce qu'elles doivent servir à mesurer, on serait conduit à exprimer les résultats de ces mesures par des nombres extrêmement grands. — On a trouvé plus commode de substituer, dans certains cas, à l'unité absolue C.G.S., une unité pratique, égale à l'unité absolue multipliée par une puissance de 10. Cette puissance a d'ailleurs pu être choisie parfois de telle façon, que l'unité pratique ainsi obtenue se rapprochât de l'ancienne unité adoptée en Mécanique : on y trouve alors l'avantage que les déterminations numériques anciennement effectuées peuvent être conservées comme des évaluations approximatives en unités C.G.S. Dans tous les cas d'ailleurs, les résultats exacts pourront s'obtenir en multipliant par un facteur numérique constant. — Nous indiquerons seulement ici quelques-unes de ces unités pratiques, no s réservant d'indiquer les autres quand nous aurons à en faire usage.

L'unité absolue de force, la *dyne*, équivaut à peu près (55) au poids d'un milligramme, ou d'un millionième de kilogramme. Dans la mesure de la plupart des forces appliquées à nos machines, l'emploi de cette unité conduirait à des nombres extrêmement grands, incommodes à introduire dans les calculs. — Si, au lieu de la dyne, on prend comme unité pratique une force un million de fois plus grande ou égale à $1 \text{ dyne} \times 10^6$, la *mégadyne*, on aura une unité voisine du poids du kilogramme. Les nombres, un million de fois plus petits, qui représenteront les mesures des forces en mégadynes, seront peu différents des anciennes mesures en kilogrammes (*).

L'unité absolue de travail ou d'énergie, l'*erg*, équivaut à peu près (55) à la cent-millionième partie du kilogrammètre : pour l'étude des moteurs industriels, par exemple, c'est une unité beaucoup trop petite. — Dans la pratique, on s'est accordé pour lui substituer une unité dix millions de fois plus grande, égale à $1 \text{ erg} \times 10^7$, qui a reçu le nom de *joule* : c'est à peu près la dixième partie du kilogrammètre. Par suite, le nombre qui exprimera la mesure d'un travail, en joules, sera à peu près dix fois plus grand que la mesure en kilogrammètres (**).

IV. — INSTRUMENTS DE MESURE

37. Mesure des longueurs. — Vernier. — Pour mesurer une longueur rectiligne, le procédé général consiste à porter sur cette longueur, autant de fois que possible, le mètre et ses subdivisions. La plus petite subdivision usitée est le millimètre, en raison de la nécessité de donner aux traits une épaisseur qui les rende visibles à l'œil nu. Or il arrive, le plus souvent, que la longueur à mesurer contient, avec un nombre entier de millimètres, une fraction de millimètre, que ce mode de division ne permet pas d'évaluer avec exactitude. L'emploi du vernier est destiné à pousser plus loin l'approximation, sans modifier les subdivisions de la règle.

Imaginons deux règles (fig. 18), l'une AB divisée en millimètres, l'autre CD plus courte et mobile le long de la première. Supposons que la longueur de CD soit égale à celle de 9 divisions de AB, et qu'elle

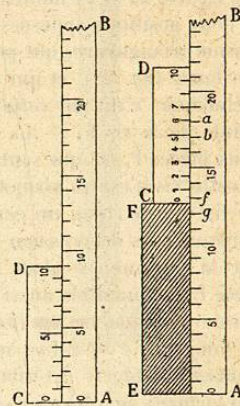


Fig. 18. Vernier. Fig. 19.

(*) Plus exactement, si la mesure d'une force en kilogrammes est exprimée par le nombre N , la valeur de cette force en mégadynes sera $N \times 0,981$.

(**) Plus exactement, si la mesure en kilogrammètres est exprimée par le nombre N , la mesure en joules sera $N \times 9,81$.

soit partagée en 10 parties égales, dont chacune vaut ainsi $\frac{9}{10}$ de millimètre; cette petite règle est le *vernier*.

Soit EF (fig. 19) la longueur qu'on veut mesurer, à partir de l'origine des divisions de la grande règle; l'extrémité F tombant, par exemple, entre les deux traits *g* et *f*, la longueur EF est égale ici à 12 millimètres, plus une fraction additionnelle qu'il s'agit d'évaluer. Or le zéro du vernier étant amené à l'extrémité F, comme le représente la figure, cherchons, parmi les traits du vernier, quel est celui qui se trouve en regard de l'un des traits de la règle: supposons, par exemple, que ce soit le septième. Puisqu'une division de AB équivaut à 1 millimètre, et une division de CD à $0^{\text{mm}},9$, il est clair que la distance des traits marqués 6 et *a* est $0^{\text{mm}},1$; celle des traits marqués 5 et *b* est $0^{\text{mm}},2$..; enfin la distance du zéro du vernier au trait *g* est de $0^{\text{mm}},7$. En général, le numéro d'ordre de la division du *vernier* qui coïncide avec un trait de la grande règle, donne la fraction additionnelle, en dixièmes de millimètre (*).

38. Cathétomètre. — Le *cathétomètre*, imaginé par Dulong et Petit, est destiné à mesurer la distance verticale de deux points, c'est-à-dire la distance des plans horizontaux qui passent par ces points.

Le cathétomètre (fig. 20 et 21) se compose essentiellement d'une lunette horizontale AB mobile le long d'une règle verticale divisée MN, laquelle tourne librement elle-même autour d'un axe vertical. — Les figures 20 et 21 montrent deux vues d'un même instrument, prises de deux positions opposées: la colonne verticale MN a ici la forme d'un prisme triangulaire, qui porte une division en millimètres sur l'une de ses faces (fig. 21), et qui est traversé suivant son axe par une barre métallique: c'est sur cette barre que se fait la rotation, autour de la pointe de la vis R. — La lunette est portée par un chariot formé de deux pièces P, Q, qui sont liées entre elles par une vis *g* (fig. 21): en *r*, cette vis n'est qu'assujettie dans une sorte de collier; en *s*, le filet de la vis tourne dans un écrou fixé à la pièce P. La pièce inférieure Q porte une vis de pression F (fig. 20) qui permet de la fixer solidement sur la colonne, et alors la vis *g* peut faire monter ou descendre la pièce P, de quantités aussi petites qu'on veut. Un vernier est tracé sur l'arête de la fenêtre *mn* (fig. 21). — A l'intérieur de la lunette, au foyer de l'objectif, c'est-à-dire au point où viennent se former nettement les images des objets extérieurs, on a tendu en croix deux fils très fins, qui forment le réticule. — Trois vis calantes permettent de faire en sorte que la colonne soit bien verticale. La vis *e*, en faisant basculer la

(*) Si l'on prenait un vernier dont la longueur totale fût égale à 49 millimètres, et que l'on divisât cette longueur en 50 parties égales, on pourrait de même effectuer des mesures en cinquantièmes de millimètre. Il n'y a d'ailleurs aucun avantage à dépasser cette limite, parce que eu égard à la largeur des traits eux-mêmes, les coïncidences paraîtraient réalisées simultanément pour plusieurs traits consécutifs du vernier et de la règle.

pièce *ab*, permet d'établir l'horizontalité de l'axe de la lunette, qu'on apprécie d'ailleurs avec le niveau à bulle d'air *cd*. — Avant de faire une expérience, on commence par assurer toutes ces conditions, c'est-à-dire par régler l'instrument, opération assez délicate et dans le détail de laquelle nous n'entrerons pas.

Pour mesurer la distance verticale de deux points, on installe le

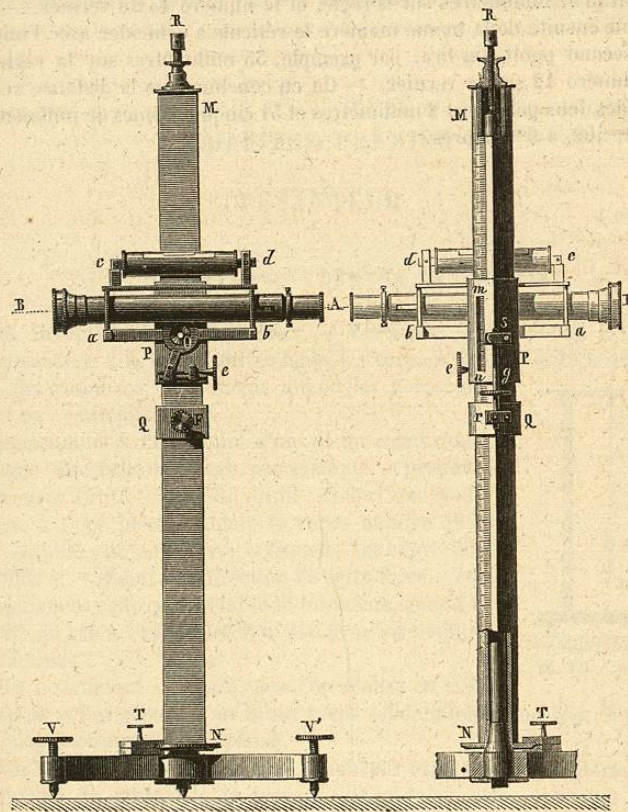


Fig. 20.

Cathétomètre.

Fig. 21.

cathétomètre à une distance telle que ces deux points puissent être distingués nettement dans la lunette, et l'on règle l'instrument. — On place alors la lunette de manière que le *croisé* des fils du réticule vienne coïncider exactement avec l'image du premier point; pour cela, on transporte le chariot le long de la règle jusqu'à ce que la lunette

soit arrivée à une position approchée; on fixe ensuite la pièce Q, et au moyen de la vis *g* on fait monter ou descendre la pièce P jusqu'à ce que la coïncidence paraisse rigoureusement établie. On note alors la division de la règle qui est immédiatement au-dessous du zéro du vernier *mn* et le numéro du vernier qui coïncide avec une division de la règle. Supposons par exemple que, le vernier étant au cinquantième, on ait lu 37 millimètres sur la règle, et le numéro 43 du vernier. — On amène ensuite de la même manière le réticule à coïncider avec l'image du second point. On lira, par exemple, 35 millimètres sur la règle et le numéro 12 sur le vernier. — On en conclura que la distance verticale des deux points est 2 millimètres et 31 cinquantièmes de millimètre, ou 2^{mm},62, à 0^{mm}02 près.

LIVRE PREMIER

PESANTEUR ET HYDROSTATIQUE

CHAPITRE PREMIER

PESANTEUR

I. — PESANTEUR. — CENTRE DE GRAVITÉ

39. Direction de la pesanteur. — Verticale. — On donne le nom de *pesanteur* à la cause qui sollicite les corps à tomber vers le sol, et qui détermine ce mouvement quand les corps ne sont pas soutenus.

Suspendons à l'extrémité d'un fil un corps quelconque, une balle de plomb, par exemple, et prenons à la main l'autre extrémité du fil : l'effort que nous avons à faire pour soutenir le corps montre qu'il est sollicité par une *force*, à laquelle cet effort fait équilibre. — Quant à la direction de cette force, c'est évidemment celle que prend le fil lui-même, quand il arrive au repos : cette direction est ce qu'on nomme la *verticale*.

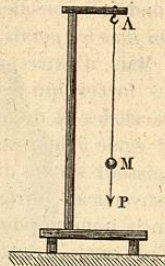


Fig. 22. Fil à plomb.

Cet instrument si simple, que l'on réalise en suspendant à l'extrémité d'un fil un corps solide quelconque (*fig. 22*), est ce qu'on nomme un *fil à plomb*.

40. Tout se passe comme si la pesanteur était due à une attraction émanant du centre de la terre. — Lorsqu'on place plusieurs fils à plomb à côté les uns des autres, ils paraissent parallèles, c'est-à-dire que leurs directions semblent ne jamais devoir se rencontrer, quelque loin qu'on les prolonge. — Mais, d'autre part, l'observation montre que, en chaque point du globe, la *verticale est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles*. Or, la surface des eaux qui recouvrent une partie considérable du globe est sensiblement sphérique; donc, en chaque point, les directions prolongées de toutes les verticales iraient passer sensiblement par le centre de la Terre.