

également quelques idées dont la connaissance est indispensable pour l'étude de la physique et de la physiologie, et qui conduisent à la définition de certaines grandeurs mécaniques qui dépendent des unités principales précédentes et de l'unité de masse.

X. **Mesure des longueurs. Vernier.** — La mesure de la longueur d'un objet rectiligne AB (fig. 2) se fait, comme on sait, en plaçant à côté de cet objet une règle graduée (étalonnée), en centimètres et millimètres le plus généralement, quelquefois en demi-millimètres, de manière que

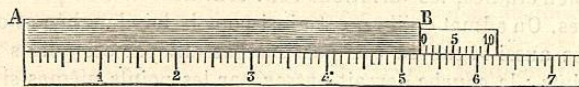


Fig. 2.

le zéro des divisions soit en face de l'une des extrémités A de l'objet; le numéro de la division qui est en face de l'autre extrémité B donne la longueur cherchée.

La précision sur laquelle on peut compter par ce moyen est déterminée par la longueur des divisions : elle ne dépasse donc pas le millimètre ou le demi-millimètre. On ne saurait aller plus loin en cherchant à avoir des divisions plus rapprochées sur la règle, parce que les traits se confondraient à cause de leur épaisseur.

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir une précision plus grande dans la mesure d'une longueur rectiligne, on emploie le *vernier* (fig. 2).

Le vernier est une petite règle qui glisse le long de la règle principale : le plus souvent lorsque la règle est divisée en millimètres, elle a une longueur de 9 millimètres et cette longueur est divisée en 10 parties égales; chaque division vaut donc $0^{\text{mm}},9$ et la différence entre les longueurs d'une division de la règle et d'une division du vernier est de $0^{\text{mm}},1$; comme nous allons le dire, c'est l'approximation sur laquelle on peut compter.

L'extrémité B de la longueur à mesurer AB étant comprise entre deux divisions de la règle (les divisions 52 et 53 sur la figure), il faut savoir de combien l'extrémité B dépasse le trait 52. A cet effet on fait glisser le vernier jusqu'à ce que son extrémité vienne s'appliquer contre l'extrémité B, et l'on cherche quelle division du vernier se trouve en face d'une division de la règle; ici c'est la division 4. On en conclut que la distance du trait 52 au point B est de $0^{\text{mm}},4$, et que par suite la longueur AB est de $52^{\text{mm}},4$.

Pour s'en rendre compte, il suffit de remarquer que, à cause de la valeur de la différence ($0^{\text{mm}},1$) entre une division du vernier et une division de la règle, les traits du vernier qui précèdent de 1, 2, 3, celui pour lequel il y a coïncidence sont distants des traits précédents de la règle respectivement de $0^{\text{mm}},1$; $0^{\text{mm}},2$; $0^{\text{mm}},3\dots$, et que par suite le trait zéro qui précède de 4 est distant du trait 52 de $0^{\text{mm}},4$.

S'il n'y a nulle part coïncidence on prend le numéro du trait du vernier qui est le plus voisin d'un trait de la règle.

Indépendamment du vernier que nous venons d'indiquer, on emploie quelquefois un vernier donnant le $\frac{1}{20}$ de millimètre. Si la règle est divisée en millimètres, le vernier a une longueur de 19 millimètres et est divisé en 20 parties; si la règle est divisée en demi-millimètres, le vernier a une longueur de $4^{\text{mm}},5$ (9 divisions de la règle) et est divisé en 10 parties : on a alors une approximation de $\frac{1}{10}$ de demi-millimètre ou $\frac{1}{20}$ de millimètre.

XI. — Lorsqu'on veut avoir une précision supérieure à celle que donne le vernier, on fait usage d'une *vis micrométrique*. On désigne sous ce nom une vis dont le pas est très régulier.

On sait que lorsqu'une vis se déplace dans un écrou fixe, la quantité dont se déplace la pointe de la vis est proportionnelle à l'angle dont tourne la vis. Si le pas de la vis est de 1 millimètre par exemple, pour chaque centième de tour, la vis avancera de $0^{\text{mm}},01$.

C'est sur ce principe qu'est basé le sphéromètre (fig. 3) qui sert à mesurer les petites épaisseurs, les diamètres des fils fins et, indirectement, les rayons des surfaces sphériques.

Il consiste essentiellement en un écrou porté sur trois pieds munis de pointes : l'un de ces pieds porte une règlette qui sert de repère. La vis, qui pénètre dans l'écrou et est terminée en pointe à sa partie inférieure, porte à son extrémité supérieure un large plateau dont la circonférence, qui est divisée en parties égales, vient affleurer à la règlette. Le nombre des divisions qui passent devant la règlette lorsqu'on fait mouvoir la vis indique de quelle fraction de tour cette vis a tourné, et, par suite, de combien la pointe a avancé.

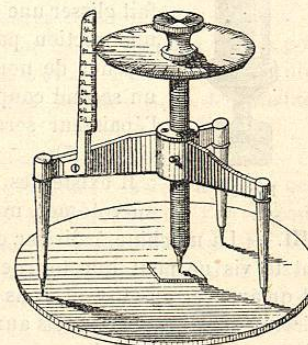


Fig. 3.

L'appareil repose sur une plaque de verre absolument plane; au début d'une mesure on amène la pointe de la vis en contact avec cette surface. On relève cette pointe pour introduire au-dessous l'objet dont on veut mesurer l'épaisseur, et celle-ci est déterminée par la quantité dont a tourné la vis.

On peut avoir des sphéromètres donnant jusqu'au millième de millimètre; la vis a alors un pas de un demi-millimètre et la tête est divisée en 500 parties égales.

XII. — On désigne sous le nom de *Palmer* un appareil basé absolument sur le même principe et qui, dans l'industrie, sert à mesurer les diamètres des fils et des tiges fines (fig. 4).

La vis D passe dans un écrou qui fait partie d'une pièce métallique ABC coudée deux fois à angle droit. L'objet dont on veut mesurer l'épaisseur ou le diamètre est placé contre la partie opposée à l'écrou; on tourne alors la vis jusqu'à ce que sa pointe vienne toucher l'objet; il n'y a plus qu'à lire sur la tête de la vis quelle est la division qui est en face d'un repère fixe; le numéro correspondant donne l'épaisseur cherchée, parce que lorsque la vis est enfoncée complètement sans interposition d'aucun corps, c'est le zéro des divisions qui est en face du repère.

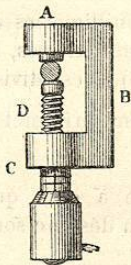


Fig. 4.

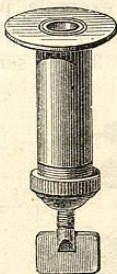


Fig. 5.

La vis micrométrique est également employée dans la construction des microtomes, appareils permettant de faire dans un objet des coupes d'épaisseur déterminée pour les observations microscopiques. La substance est fixée d'une manière quelconque à une vis micrométrique dont l'action a pour effet de la faire avancer de manière à dépasser d'une quantité déterminée une surface métallique plane, sur laquelle on fait glisser une lame de rasoir bien acérée, qui produit une section parfaitement plane et nette. En faisant tourner de nouveau la vis, la substance débordera et un second coup de rasoir détachera une tranche dont l'épaisseur sera égale à l'avancement produit par la vis (fig. 5).

Il existe des modèles plus ou moins compliqués de microtomes, mais tous reposent sur le même principe.

XIII. — La machine à diviser est basée sur le même principe : seulement la vis ne peut que tourner sans avancer, tandis que l'écrou ne peut qu'avancer en glissant, sans tourner. Dans ce cas, les déplacements de l'écrou sont proportionnels aux angles dont tourne la vis.

L'écrou entraîne un plateau sur lequel on place à volonté un microscope ou une machine à tracer : l'objet à diviser est placé au-dessous, parallèlement à la vis. On amène le réticule du microscope au-dessus d'une des extrémités de la longueur à diviser, puis on fait tourner la vis jusqu'à ce que le microscope arrive au-dessus de l'autre extrémité. De la quantité dont a tourné la vis, on déduit la quantité dont le microscope s'est déplacé, ce qui donne la longueur cherchée. On calcule aisément alors, d'après le nombre de divisions à obtenir, quelle doit être la longueur d'une division, et de combien la vis doit tourner pour produire un déplacement égal à cette longueur. A l'aide de la machine à tracer, on fera un trait chaque fois que l'écrou se sera déplacé de cette quantité, par suite d'une rotation convenable de la vis.

Des dispositions de détail rendent faciles ces diverses parties de l'opération sur lesquelles il n'y a pas lieu d'insister ici.

XIV. — Pour mesurer la longueur d'une ligne courbe, le procédé le plus simple consiste à appliquer sur cette ligne un fil ou un ruban

flexible, de manière que le contact soit bien établi partout. On redresse alors le fil ou le ruban et on le mesure à l'aide d'un des procédés que nous avons indiqués.

Dans la mesure des angles, on a très fréquemment à mesurer des longueurs qui sont comptées sur une circonférence de rayon déterminé. Dans ce cas, la circonférence est divisée en parties égales et on n'a qu'à compter le nombre de divisions qui existent entre deux points pour pouvoir en déduire la distance qui sépare ces points en suivant la circonférence.

Dans ce cas, lorsqu'on veut obtenir la mesure avec plus de précision, on peut adapter à l'appareil un vernier circulaire (fig. 6) dont le principe est le même que celui du vernier rectiligne (X) et dont on fait usage d'une façon entièrement semblable.

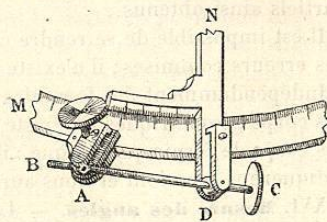


Fig. 6.

XV. **Mesure des surfaces et des volumes.** — Dans un assez grand nombre de cas, il est nécessaire de mesurer une surface : laissant de côté les cas où cette surface a une forme géométrique connue pour laquelle il existe des formules que nous n'avons pas à indiquer, nous signalerons seulement quelques méthodes simples pour les surfaces quelconques.

Supposons qu'il s'agisse d'abord d'une surface plane :

Le meilleur procédé, au point de vue pratique, consiste à tracer cette surface sur une feuille de papier bien homogène que l'on découpe suivant la forme indiquée par le périmètre et que l'on pèse. On pèse, d'autre part, un carré coupé dans le même papier et dont on a mesuré le côté avec soin, dont, par suite, on peut calculer la surface. Par une proportion entre les poids et les surfaces, on aura immédiatement la valeur cherchée.

Si la surface à déterminer était trop grande pour être reportée sur une feuille de papier, en tracerait sur celle-ci une surface semblable dont les éléments seraient, par exemple, 10 fois plus petits que ceux de la surface donnée : l'aire ainsi obtenue serait 100 fois plus petite que l'aire de cette dernière, et l'on opérerait de la même façon : il suffirait ensuite de multiplier par 100 le résultat obtenu.

On peut aussi tracer la surface sur un papier quadrillé dont on connaît l'aire d'un carreau. En comptant le nombre des carreaux qui sont à l'intérieur de la ligne qui limite la surface et tenant compte approximativement de ceux qui sont coupés par cette ligne, on a la mesure de l'aire cherchée. Mais ce procédé n'est pas exact, parce qu'il y a une grande incertitude dans la manière de tenir compte des carreaux qui ne sont pas entièrement à l'intérieur du périmètre considéré¹.

1. Nous ne faisons qu'indiquer sans insister l'emploi du *planimètre*, appareil dont la théorie dépend du calcul intégral, et qui donne des mesures d'aire avec exactitude et sans complication.

S'il s'agit d'une surface courbe quelconque, non géométrique, il n'existe aucun moyen précis de mesurer son aire. La seule méthode, approximative, consiste à subdiviser cette surface en éléments assez petits pour qu'on puisse les regarder comme sensiblement plans; on mesure alors l'aire de chacun d'eux et on fait la somme des résultats partiels ainsi obtenus.

Il est impossible de se rendre compte, par ce procédé, de la grandeur des erreurs commises; il n'existe pas, d'ailleurs, de méthode plus exacte.

Indépendamment des formules qui permettent de calculer le volume des corps géométriques, il existe divers moyens de mesurer le volume des corps de forme quelconque : ils reposent sur des propriétés que nous indiquerons plus loin et nous aurons alors à les faire connaître.

XVI. Mesure des angles. — La mesure des angles s'effectue généralement en évaluant la longueur de l'arc ayant pour centre le sommet de l'angle et compris entre les côtés de celui-ci. On fait usage à cet effet de cercles divisés, les divisions tracées sur la circonférence ayant une longueur telle qu'elles correspondent à 1° ou quelquefois à un demi-degré. Le rapporteur employé dans le dessin géométrique est le modèle le plus simple de ce genre d'appareils.

Lorsqu'on a à évaluer l'angle dont tourne une pièce déterminée, on monte celle-ci sur une alidade mobile autour du centre du cercle divisé et portant un repère qui permet de noter le nombre des divisions comprises entre les positions extrêmes. Dans ce cas, un vernier circulaire (XIV) lié à l'alidade permet d'obtenir une plus grande approximation.

Il existe d'autres méthodes et, dans le chapitre de l'optique, nous en décrirons plusieurs basées sur les lois de la réflexion de la lumière.

XVII. Mesure du temps. — Sans qu'il soit nécessaire d'insister, on sait que la mesure du temps est basée sur la succession des phénomènes astronomiques. L'unité de temps adoptée, la seconde, est la $86\,400^{\text{e}}$ partie du jour solaire moyen. Pour produire l'unité de temps, il suffit donc d'avoir un phénomène quelconque qu'on puisse reproduire toujours identique à lui-même et dont on puisse faire varier continuellement la durée, de manière à amener celle-ci à une valeur telle que, le phénomène étant incessamment reproduit, il ait lieu $86\,400$ fois dans la durée d'un jour solaire moyen.

Considérons un vase contenant un liquide dont, par un procédé quelconque, on maintient le niveau constant, et qui s'écoule par un orifice invariable. Si les dimensions de l'orifice et la hauteur du niveau ont été choisies de manière qu'il s'écoule exactement $86\,400$ grammes de liquide par jour, la durée d'une seconde est celle qui correspondrait à l'écoulement de 1 gramme d'eau.

Les clepsydres qui servaient à mesurer le temps chez les anciens étaient basées sur des considérations analogues.

Actuellement les méthodes employées pour la mesure du temps reposent sur le mouvement de corps oscillants, les oscillations ayant lieu soit sous l'influence de la pesanteur, soit sous celle de l'élasticité de ressorts.

Les instruments qui sont le plus souvent employés pour mesurer le temps, les horloges et les chronomètres ou montres, comprennent tous un organe essentiel, le *régulateur*, dont le mouvement a lieu régulièrement, périodiquement, et des rouages destinés principalement à compter le nombre des oscillations, rouages dont l'ensemble constitue un *compteur*.

Le compteur comprend un ressort qui, étant bandé, tend à faire tourner une série de roues dentées dont la dernière porte une aiguille qui se meut sur un cadran. Le mouvement de ce rouage et de l'aiguille serait continu si le rouage n'était mis en relation avec le régulateur par l'intermédiaire d'une roue dentée, de telle façon qu'une dent de cette roue seulement puisse échapper à chaque oscillation du régulateur. Le rouage et l'aiguille marcheront donc par saccades, chacune de celles-ci correspondant à une oscillation du régulateur.

Dans les horloges, le régulateur est un *pendule*, corps qui peut être de forme quelconque, et qui, suspendu à un axe horizontal fixe et écarté de sa position d'équilibre, exécute, sous l'influence de la pesanteur, des oscillations de part et d'autre de cette position. On comprend que tant que ces oscillations auront rigoureusement la même amplitude, c'est-à-dire tant que le corps s'écartera du même angle de sa position d'équilibre, la durée des oscillations sera constante : les conditions restant les mêmes, l'effet ne peut changer. Mais l'expérience montre que, par suite de diverses circonstances, les oscillations diminuent peu à peu d'amplitude et arrivent même à cesser tout à fait. Pour empêcher cette variation d'amplitude qui, si elle était notable, pourrait avoir pour effet d'entraîner une variation de la durée d'oscillation, le rouage est disposé de manière à agir sur le pendule à chaque contact et à lui communiquer une petite impulsion qui maintient l'amplitude, au moins très sensiblement, à la même valeur et assure ainsi l'égalité de durée des oscillations.

Disons d'ailleurs que de petites variations d'amplitude n'auraient pas d'effet à cause de la loi d'isochronisme des petites oscillations du pendule que nous énoncerons plus loin (LVI).

On a donc bien un phénomène qui peut se reproduire indéfiniment en conservant toujours la même durée.

Ajoutons que l'on peut faire varier à volonté cette durée par des changements dans la longueur du pendule, dans la répartition de la masse, etc., et ces variations peuvent être aussi minimales que l'on veut. On peut donc toujours trouver un pendule qui exécute exactement $86\,400$ oscillations par jour, dont par conséquent chaque battement a une durée de 1 seconde. Il s'écoulera donc aussi 1 seconde entre deux mouvements consécutifs de l'aiguille du compteur.

XVIII. — Dans les chronomètres et les montres, le régulateur est constitué par une roue AB (fig. 7) appelée *balancier* pouvant tourner autour d'un axe C perpendiculaire à son plan. A cet axe est fixée l'extrémité d'un ressort enroulé en spirale dont l'autre extrémité D est fixe : sous l'influence de ce ressort le balancier prend une position d'équilibre stable. Si on l'en écarte, il oscille de part et d'autre de cette position en

tournant autour de son axe, tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre. Là encore les oscillations sont de même durée si elles ont la même amplitude; mais, aussi, l'amplitude irait peu à peu en diminuant si l'action du rouage moteur ne venait, à chaque oscillation, donner une petite impulsion qui perpétue le mouvement dans les mêmes conditions.

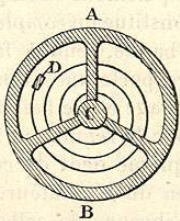


Fig. 7.

Ici aussi, comme dans le pendule, il y a isochronisme des oscillations tant que les variations sont faibles; ici aussi, en modifiant progressivement la longueur ou la tension du ressort spiral, on fait varier insensiblement la durée des oscillations. On peut donc régler cette durée de manière que le balancier effectue 86 400 oscillations en un jour.

Dans le pendule et dans le balancier les variations de température auraient pour effet de changer la durée des oscillations; mais, par diverses dispositions, on peut s'opposer à ces changements.

L'aiguille dont nous avons parlé avance d'une division à chaque seconde : le cadran sur lequel elle se meut est divisé en 60 parties, elle effectue donc un tour en une minute. On sait que, pour pouvoir évaluer des temps supérieurs à une minute, le compteur comporte deux autres aiguilles dont l'une tournant 60 fois plus lentement fait un tour en une heure et dont l'autre fait un tour en douze heures. Ces deux aiguilles existent même toujours, tandis que la première est supprimée dans les appareils qui ne servent pas à évaluer le temps avec précision.

Dans les montres destinées à faire des estimations exactes, on trouve souvent une disposition commode : l'aiguille des secondes est normalement au 0 des divisions; pour évaluer la durée d'un phénomène, on met cette aiguille en mouvement, en pressant sur un bouton, au moment où le phénomène commence; en pressant une seconde fois à la fin du phénomène l'aiguille s'arrête et on peut lire commodément la durée par la position fixe qu'a prise l'aiguille. Celle-ci revient immédiatement au zéro en poussant une troisième fois sur le bouton : le compteur est alors prêt pour une autre expérience.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer des espaces de très courte durée on utilise les vibrations isochrones exécutées par les verges élastiques, par les diapasons notamment. En parlant de ceux-ci (voir ACOUSTIQUE), nous dirons quelles dispositions il convient d'adopter.

CHAPITRE II

NOTIONS DE MÉCANIQUE

La connaissance de la mécanique est indispensable pour l'étude des phénomènes physiques et des appareils utilisés pour observer et mesurer ceux-ci; elle est nécessaire également en physiologie à plus d'un titre. Aussi nous croyons utile de résumer, aussi rapidement que possible d'ailleurs, les données mécaniques dont nous aurons à faire usage ultérieurement : nous ne donnerons aucune démonstration, renvoyant pour une étude complète aux traités spéciaux et nous nous bornerons à donner les définitions et les énoncés, insistant seulement quelque peu sur les idées générales les plus importantes.

Nous nous occuperons successivement de :

La *cinématique*, étude du mouvement considéré indépendamment de ses causes;

La *dynamique*, étude du mouvement considéré dans ses rapports avec ses causes, les forces.

Nous ferons entrer dans le même chapitre le rappel des notions relatives à la *pesanteur*, les questions qui s'y rattachent nous paraissant réellement d'ordre mécanique.

ART. I. — CINÉMATIQUE

XIX. — La cinématique comprend l'étude du mouvement considéré indépendamment de ses causes; son étude repose sur les mesures de longueur et de temps seulement.

Bien que, en réalité, nous observions seulement des *corps* en mouvement, nous occuperons d'abord de l'étude du mouvement d'un *point*. Nous considérerons un corps comme formé par la réunion de points matériels, et le mouvement du corps sera déterminé quand nous connaîtrons le mouvement de chacun des points qui le composent.

Un corps est dit un *solide invariable* lorsque les distances des différents points qui le composent ne changent pas, quelles que soient les actions subies par le corps. Il n'existe pas rigoureusement de solide invariable, mais il y a des corps tels que les distances des différents points entre eux varient de quantités assez petites pour être pratiquement négligeables : ce sont de tels corps que l'on considère comme des solides invariables.

XX. **Repos, mouvement d'un point, d'un corps.** — Un point M est en *repos* par rapport à un solide invariable lorsque ses distances à tous les points de celui-ci restent constantes.

Un point M est en mouvement par rapport à un solide invariable lorsque ses distances aux points de celui-ci varient en totalité ou en partie.