TRAITÉ
DE
PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

NOTIONS DE MÉCANIQUE

I. — MOUVEMENTS. — FORCES.

1. **Mouvement en général.** — On appelle *trajectoire* d'un point en mouvement, la ligne formée par les positions successives de ce point. — Le mouvement est dit *rectiligne* ou *curviligne*, selon que la trajectoire est une ligne droite ou une ligne courbe.

Pour que le mouvement d'un point soit complètement défini, il ne suffit pas de connaître la trajectoire, il faut connaître encore la loi suivant laquelle il la parcourt. Dans chacun des mouvements simples que nous allons étudier, il est facile d'obtenir une relation entre les valeurs du *temps t*, compté à partir d'un instant déterminé, et les valeurs correspondantes de l'*espace e* qui sépare le point mobile d'un point fixe pris sur la trajectoire, cet espace étant compté sur la trajectoire elle-même. — Une pareille relation prendra le nom d'*équation du mouvement sur la trajectoire*.

Dans ce qui va suivre, nous supposerons les temps évalués en *secondes*, et les espaces évalués en *mètres*.

2. **Mouvement uniforme.** — Un mouvement est dit *uniforme*, lorsque les espaces parcourus dans des intervalles de temps égaux sont égaux, quels que soient ces temps. — On appelle *vitesse* d'un mouvement uniforme, l'espace parcouru dans un intervalle de temps égal à l'unité.

La définition même du mouvement uniforme donne immédiatement la forme de l'équation de ce mouvement. Soit v le nombre constant qui exprime la vitesse, et convenons, pour plus de simplicité, de compter les espaces à partir du point où se trouve le mobile à l'instant pris pour origine du temps ; au bout d'un nombre t de secondes, la distance e qui sépare le mobile de l'origine des espaces sera

$$e = vt.$$

Remarque. — Étant donné un point animé d'un pareil mouvement, il suffira, pour déterminer la valeur de la vitesse v, de mesurer l'espace parcouru en un nombre déterminé de secondes, et de diviser cet espace par ce nombre de secondes. Si, par exemple, un point parcourt, d'un mouvement uniforme, 24 mètres en 8 secondes, sa vitesse est $\frac{24}{8}$ ou 3 mètres par seconde.

3. **Mouvement varié. — Vitesse moyenne entre deux instants déterminés. — Vitesse à un instant déterminé.** — Un mouvement est dit *varié*, lorsque les espaces parcourus dans des intervalles de temps égaux ne sont pas égaux.

Soit AB (*fig.* 1) la trajectoire d'un mobile animé d'un mouvement varié. Soit A le point où se trouve le mobile à l'instant pris pour origine du

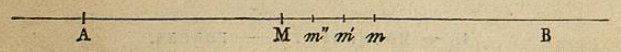

Fig. 1.

temps, et convenons de compter les espaces à partir de ce point. Soit M la position du mobile à l'instant t; désignons la longueur AM par e, cette quantité étant comptée positivement dans le sens AB. Soit Am l'espace parcouru à l'instant $t + \theta$; désignons-le par $e + \varepsilon$. La longueur Mm ou ε est celle que le mobile a parcourue pendant l'intervalle de temps θ. Or, on peut concevoir un second mobile parcourant cette même longueur, non plus d'un mouvement varié, mais d'un mouvement uniforme, dans le même intervalle de temps : d'après ce qu'on vient de voir, la vitesse de ce mobile serait $\frac{\varepsilon}{\theta}$. Cette vitesse est ce qu'on nomme la *vitesse moyenne* du premier mobile, entre les deux instants t et $t + \theta$: elle s'obtient, comme on voit, en divisant l'accroissement ε de l'espace parcouru, par l'accroissement θ du temps.

Considérons maintenant, au lieu de l'accroissement θ donné au temps t, un accroissement plus petit θ' ; l'espace parcouru AM sera accru seulement de Mm' ou ε', et la vitesse moyenne, entre le temps t et le temps $t + \theta'$, sera $\frac{\varepsilon'}{\theta'}$. De même, pour un accroissement de temps encore plus petit θ'', l'accroissement d'espace étant Mm'' ou ε'', la vitesse

moyenne entre le temps t et le temps $t + \theta''$ sera $\frac{\varepsilon''}{\theta''}$, et ainsi de suite. Or, si l'on fait décroître indéfiniment les intervalles θ, θ', θ''..., les quotients $\frac{\varepsilon}{\theta}$, $\frac{\varepsilon'}{\theta'}$, $\frac{\varepsilon''}{\theta''}$.... tendent en général vers une limite déterminée ; cette limite est ce qu'on nomme la *vitesse à l'instant t*. — On appelle donc *vitesse à un instant déterminé*, la limite vers laquelle tend le rapport de l'accroissement ε de l'espace à l'accroissement θ du temps, lorsque θ converge vers zéro.

On voit que la vitesse doit être considérée comme positive ou négative, selon que ε est lui-même positif ou négatif.

4. **Mouvement uniformément varié.** — Un mouvement est dit *uniformément varié*, lorsque la vitesse varie de quantités égales en des temps égaux, quels que soient ces temps. — Le mouvement est *uniformément accéléré* ou *uniformément retardé*, selon que la variation est un accroissement ou une diminution de vitesse.

On appelle *accélération*, dans un pareil mouvement, la variation de la vitesse dans l'unité de temps. — Si l'on considère, en particulier, le cas où la vitesse reste constamment positive, on voit que le mouvement sera uniformément accéléré ou uniformément retardé, selon que l'accélération sera positive ou négative.

Considérons, par exemple, un mobile animé d'un mouvement *uniformément accéléré*. Soit v_0 sa vitesse initiale, c'est-à-dire sa vitesse à l'instant pris pour origine du temps. Soit γ l'accélération. Si l'on désigne par v la vitesse au bout du temps t, on a, d'après la définition même de l'accélération,

$$(1) \qquad v = v_0 + \gamma t.$$

Cette équation, qui donne la vitesse à chaque instant, peut se transformer en une autre qui donne l'espace parcouru e, espace que nous supposerons compté à partir du point où se trouvait le mobile à l'origine du temps. — On démontre, en effet, que la relation (1) conduit, par un raisonnement simple, à la relation équivalente

$$(2) \qquad e = v_0 t + \frac{\gamma t^2}{2},$$

qui donne les positions successives du mobile aux divers instants (*).

(*) Pour déduire la relation (2) de la relation (1), on peut raisonner comme il suit. — Partageons le temps t en intervalles égaux θ, assez petits pour que la vitesse puisse être considérée comme restant sensiblement constante pendant la durée de chacun, et comme variant seulement aux instants qui séparent chaque intervalle de l'intervalle suivant. Soit n le nombre de ces intervalles, en sorte qu'on ait $t = n\theta$. On pourra calculer les longueurs $a_1, a_2, a_3 ... a_n$ parcourues pendant chacun de ces

Remarque. — Si l'on considère le cas particulier où la vitesse initiale est nulle, on a $v_0 = 0$; alors la formule (1) devient

$$v = \gamma t,$$

c'est-à-dire que, dans ce cas particulier, *les vitesses sont proportionnelles aux temps.*

La formule (2) devient, dans la même hypothèse,

$$e = \frac{\gamma t^2}{2},$$

c'est-à-dire que *les espaces sont proportionnels aux carrés des temps.*

Enfin, si l'on élimine le temps t entre les deux équations que l'on vient d'obtenir, on a

$$v = \sqrt{2\gamma e},$$

c'est-à-dire que *les vitesses sont proportionnelles aux racines carrées des espaces parcourus.*

L'une quelconque de ces trois lois, qui se déduisent les unes des autres, suffit pour caractériser le mouvement. — Ces divers résultats

intervalles de temps successifs, au moyen de la formule du mouvement uniforme, à la condition de donner à la vitesse, entre chaque intervalle de temps et le suivant, l'accroissement constant $\gamma\theta$. On aura ainsi :

$$\begin{aligned} a_1 &= v_0\theta, \\ a_2 &= (v_0 + \gamma\theta)\theta. \\ a_3 &= (v_0 + 2\gamma\theta)\theta. \\ &\ldots\ldots\ldots \\ a_n &= [v_0 + (n-1)\gamma\theta]\theta. \end{aligned}$$

Or la somme $a_1 + a_2 + a_3 + \ldots. + a_n$ n'est autre chose que l'espace total e, parcouru pendant le temps $n\theta$, espace compté à partir du point où se trouvait le mobile à l'instant zéro. On a donc, en faisant la somme des seconds membres :

$$e = nv_0\theta + \gamma\theta^2 [1 + 2 + 3 + \ldots. (n-1)],$$

ou, en effectuant la somme des termes de la progression arithmétique qui est dans le second membre,

$$e = nv_0\theta + \gamma\theta^2 \frac{n(n-1)}{2},$$

ce qu'on peut écrire

$$e = v_0 n\theta + \frac{\gamma}{2} n\theta (n\theta - \theta);$$

ou enfin, en remplaçant maintenant $n\theta$ par t,

$$e = v_0 t + \frac{\gamma}{2} t (t - \theta).$$

Or cette formule donne la valeur de l'espace parcouru e, avec d'autant plus d'exactitude que θ est plus petit : à la limite, si l'on fait θ égal à zéro, il vient

$$e = v_0 t + \frac{\gamma t^2}{2}. \qquad (2)$$

trouveront leur application dans l'étude des mouvements des corps sous l'action de la pesanteur.

5. **Principe de l'inertie.** — *Un corps ne peut modifier de lui-même ni son état de repos, ni son état de mouvement.* — Par cet énoncé général, on doit entendre :

1° Qu'un point en repos, si aucune cause n'agit sur lui, demeure en repos : c'est ce qu'on peut appeler l'*inertie dans le repos;*

2° Qu'un point en mouvement, si aucune cause n'agit sur lui, conserve indéfiniment un mouvement rectiligne et uniforme : c'est ce qu'on peut appeler l'*inertie dans le mouvement.*

Le principe de l'inertie dans le mouvement a été énoncé pour la première fois par Képler : il paraît, au premier abord, contredit par un certain nombre de faits d'observation ; un examen attentif montre qu'il n'y a là qu'une contradiction apparente.

6. **Forces. — Effets dynamiques et effets statiques.** — On appelle *force*, toute cause capable de produire le mouvement, ou d'en modifier la nature.

L'existence des forces peut nous être révélée par des phénomènes très divers. Si un point matériel, primitivement en repos, se met en mouvement, c'est qu'une force agit sur lui. Si un point matériel est animé d'un mouvement accéléré, c'est qu'il est soumis à l'action d'une force, dans la direction du mouvement, et dans le même sens ; s'il est animé d'un mouvement retardé, c'est qu'il est soumis à l'action d'une force, dans la direction du mouvement, mais en sens contraire ; etc. — Ces effets des forces, se manifestant par la production ou les modifications du mouvement, peuvent être désignés sous le nom d'*effets dynamiques.*

Lorsque les points soumis à l'action des forces sont assujettis de façon à rester immobiles, l'existence des forces se manifeste par d'autres effets, auxquels on donne le nom d'*effets statiques.* — Ainsi, un corps pesant, placé en repos sur un plan horizontal, produit une *pression*, qui arriverait à rompre le plan si le poids du corps dépassait une certaine limite. Le même corps, suspendu à un fil et en repos, produit sur ce fil une *tension.* Enfin, un corps pesant, suspendu à un ressort comme celui de la figure 3, produit sur lui une *flexion* (*). — Ces divers effets peuvent servir, non seulement à constater l'existence des forces, mais aussi à les mesurer, comme nous allons le voir.

(*) Dans chacun de ces cas, la résistance offerte par le plan, par le fil, ou par le ressort, doit être considérée comme développant une *réaction*, égale et contraire à l'*action* que la pesanteur exerce sur le corps. Il est clair en effet que, si l'on supprimait le plan, le fil ou le ressort, on devrait, pour maintenir le corps en repos, lui appliquer une force égale et contraire à son poids. — Newton a montré que c'est là un principe général. Une force quelconque, appliquée à un corps en repos ou en mouvement, détermine toujours une *réaction*, représentée par une force égale et contraire.

7. **Mesure des forces.** — On dit, en général, que deux forces sont *égales*, lorsque, agissant sur un même corps, dans les mêmes conditions, elles produisent un même effet.

Pour comparer entre elles des forces inégales, il faut admettre le principe suivant, qui est confirmé par la vérification de ses conséquences : *Lorsque plusieurs forces agissent simultanément sur un point, l'action de chacune d'elles est la même que si elle agissait seule.*

Ce principe étant admis, on dit qu'une force F est égale à *n fois* une autre force *f*, lorsqu'elle produit, dans les mêmes conditions, le même effet que *n* forces égales à *f*, agissant simultanément.

8. **Dynamomètres.** — On désigne sous le nom de *dynamomètres*, des instruments qui sont destinés à mesurer les forces par les effets de flexion qu'elles font éprouver à un ressort.

La figure 2 représente un dynamomètre formé d'une lame d'acier flexible ABC, recourbée en forme de V; à chacune de ses extrémités, A, C, est fixé un arc métallique qui traverse une ouverture pratiquée près

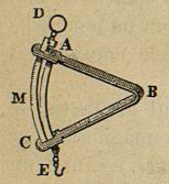

Fig. 2.

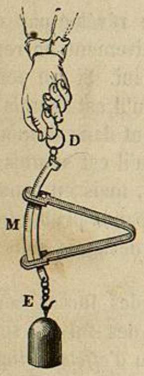

Fig. 3.

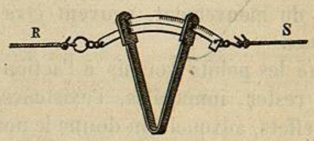

Fig. 4.

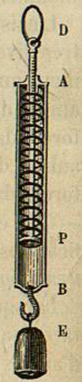

Fig. 5.

de l'autre extrémité. L'un de ces arcs se termine par un anneau D, qui sert à soutenir l'instrument (*fig.* 3); l'autre, par un crochet E. Pour graduer l'instrument, on suspend successivement, au crochet E, des poids de 1, 2, 3, 4 kilogrammes, etc.; le ressort s'infléchit de plus en plus, et l'on marque, à chaque fois, le point de l'arc extérieur MD qui correspond à l'ouverture de la branche A qu'il traverse. — Si maintenant on attache l'anneau à un point fixe, à l'aide d'une corde R par exemple (*fig.* 4), et si l'on applique au crochet une force quelconque par l'intermédiaire d'une autre corde S, il se produit, comme précédemment, une flexion du ressort; selon que cette flexion est égale à celle que déterminait un poids de 2, 4, 10 kilogrammes, on dit que *l'intensité de la force est de* 2, 4, 10 *kilogrammes.*

On emploie quelquefois aussi des dynamomètres (*fig.* 5) formés par un ressort à boudin, dont l'une des extrémités s'appuie contre la base supérieure A d'un cylindre métallique AB, auquel est fixé le crochet E; l'autre extrémité s'appuie sur un disque P, fixé à une tige terminée par un anneau D. Cette tige, qui traverse librement la base supérieure du cylindre, sort d'une quantité plus ou moins grande, selon que la force appliquée au crochet est plus ou moins grande.

9. **Une force constante, agissant seule sur un point matériel entièrement libre, lui imprime un mouvement uniformément accéléré.** — La démonstration de ce théorème repose sur le principe suivant, qu'on doit encore considérer comme confirmé par la vérification de ses conséquences : *L'action d'une force sur un point est indépendante du mouvement dont ce point est primitivement animé ; elle est la même que si le point était primitivement au repos.*

Ce principe étant admis, soit une force F agissant sur un point que nous supposerons d'abord au repos : cette force lui imprime, au bout d'une seconde, une certaine vitesse γ. Si la force cessait alors d'agir, le point continuerait à se mouvoir, d'un mouvement rectiligne et uniforme, avec la vitesse γ (5,2°); si donc la force F agit sur lui pendant un nouvel intervalle de temps égal à une seconde, son action étant indépendante du mouvement dont le point est animé, elle lui communique, au bout de ce temps, une nouvelle vitesse γ s'ajoutant à la première, en sorte que la vitesse au bout de deux secondes est 2γ, et ainsi de suite. Donc, au bout du temps t, la vitesse est

$$v = \gamma t,$$

c'est-à-dire que le mouvement est uniformément accéléré.

Il est clair que la même démonstration s'applique au cas où le point serait animé d'une vitesse initiale v_0 : dans ce cas, la vitesse au bout du temps t serait exprimée par $v_0 + \gamma t$.

10. **Deux forces constantes sont entre elles comme les accélérations qu'elles impriment à un même mobile.** — Soient deux forces F, F'; supposons qu'elles aient une commune mesure f, et qu'on ait

$$F = nf, \quad F' = n'f, \quad \text{et par suite } \frac{F}{F'} = \frac{n}{n'}.$$

Si la force f agissait seule sur le mobile considéré, elle lui imprimerait un mouvement uniformément accéléré, dont nous pouvons représenter l'accélération par α. Donc, si n forces égales à f agissent simultanément sur ce même mobile, puisque l'action de chacune d'elles est indépendante de celle des autres (7), elles lui imprimeront une accélération n fois plus grande, c'est-à-dire $n\alpha$. De même, si n' forces égales à f agissent simultanément sur le même mobile, l'accélération produite sera $n'\alpha$. On a donc, en désignant par γ et γ' les accélérations imprimées par F et par F',

$$\gamma = n\alpha, \quad \gamma' = n'\alpha;$$

on en déduit :

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{n}{n'},$$

et par suite,

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{F}{F'}.$$

Ce principe étant démontré pour le cas où les forces ont une commune mesure, quelque petite qu'elle soit, nous le considérerons par cela même comme général.

11. **Masse.** — L'équation que nous venons d'obtenir peut s'écrire :

$$\frac{F}{\gamma} = \frac{F'}{\gamma'}.$$

Or, si l'on faisait agir sur le même corps une autre force F'', le rapport de cette force à l'accélération γ'' qu'elle produirait serait encore le même ; on a donc, pour toutes les forces appliquées à une même corps :

$$\frac{F}{\gamma} = \frac{F'}{\gamma'} = \frac{F''}{\gamma''} = \ldots = m.$$

Ce rapport constant m est ce qu'on nomme la *masse* du corps. — On appelle donc, d'une manière générale, *masse* d'un corps, *le nombre constant qui exprime le rapport d'une force quelconque à l'accélération qu'elle imprime à ce corps.*

Si maintenant on considère, en particulier, parmi les forces qui peuvent agir sur un corps, celle qui résulte de l'action de la pesanteur sur lui, c'est-à-dire son poids P, et si l'on désigne par g l'accélération qu'il prend sous cette action (accélération que nous verrons être la même *pour tous les corps, en un même lieu*), on aura

$$\frac{P}{g} = m.$$

On peut donc appeler, en particulier, *masse* d'un corps, *le rapport de son poids à l'accélération qu'il prend sous l'action de la pesanteur.*

12. **Mesure des forces constantes, par les accélérations qu'elles produisent.** — Outre l'emploi des *dynamomètres*, qui permettent de mesurer les forces par les flexions qu'elles produisent sur un ressort (8), nous avons maintenant un autre moyen de mesure, fondé sur l'observation des effets de mouvements.

Soit un corps dont on connaisse préalablement le poids P, en un lieu déterminé : en divisant le nombre P par le nombre g qui exprime l'accélération due à la pesanteur dans le même lieu, on connaîtra la masse de ce corps, $m = \frac{P}{g}$. Dès lors, si l'on peut observer l'accélération γ qu'imprime à ce même corps la force qu'on se propose de mesurer, on aura, entre la valeur inconnue F de la force et l'accélération connue γ, la relation

$$\frac{F}{\gamma} = m,$$

d'où l'on déduira *la valeur de la force*

$$F = m\gamma.$$

13. **Unité de masse. — Système d'unités C. G. S.** — L'expression $\frac{P}{g}$, par laquelle on peut représenter la valeur de la masse d'un corps, comprend, d'une part, la quantité P, qui dépend de l'*unité de force*; d'autre part, la quantité g, qui dépend de l'*unité de longueur* et de l'*unité de temps* (puisque l'accélération est la variation éprouvée par la vitesse dans l'unité de temps). Si ces trois unités sont choisies arbitrairement, comme on le fait en Mécanique, l'*unité de masse* se trouve définie par la même. Les trois premières unités, fixées indépandemment les unes des autres, prennent alors le nom d'*unités fondamentales*, et l'unité de masse est une unité *dérivée*. — Prenons, par exemple, comme unité de force le *kilogramme*, comme unité de longueur le *mètre*, et comme unité de temps la *seconde*. Alors, pour le corps dont la masse sera représentée par 1, on doit avoir $P = g$; c'est-à-dire que l'*unité de masse* est la masse d'un corps dont le poids en un lieu déterminé est exprimé, en kilogrammes, par le nombre qui exprime en mètres l'accélération de la chute libre dans le même lieu. La valeur de l'accélération à Paris étant $9^{m},81$, l'unité de masse est donc la masse d'un corps dont le poids absolu, à Paris, est $9^{kil},81$.[1]

Mais ce système d'unités, qui avait été adopté par les physiciens jusqu'à ces dernières années, présente l'inconvénient de faire dépendre l'unité de masse, et les autres unités dérivées qui se rattachent à ce système, de la valeur que présente l'intensité de la pesanteur. Cet inconvénient devient particulièrement manifeste, comme l'a fait remarquer Gauss, quand il s'agit d'évaluer les actions magnétiques ou électriques, qui n'ont aucune relation directe avec la pesanteur elle-même. — Ces considérations ont conduit à substituer, au système d'unités qui précède, un système différent, dont les bases, posées par Gauss, ont été adoptées par l'ensemble des physiciens réunis en Congrès.

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).

Après des discussions approfondies, les trois unités fondamentales ont été fixées de la manière suivante. — 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 degrés : cette unité prend le nom de *gramme-masse*. L'unité de temps est la *seconde* de temps moyen. Ces trois unités fondamentales déterminent, sans conventions nouvelles, toutes les unités *dérivées*, comme nous le verrons par la suite. — Le système constitué par cet ensemble d'unités, fondamentales ou dérivées, a reçu le nom de *système C. G. S.* (dénomination formée par les initiales des trois unités fondamentales).

En particulier, l'*unité de force* du système C. G. S. est la force qui imprimerait à l'unité de masse une accélération égale à l'unité de longueur ; en d'autres termes, c'est la force qui, en agissant sur un gramme pendant une seconde, lui communiquerait une vitesse d'un centimètre par seconde. On lui donne le nom de *dyne* (du grec δυνάμις, force). — Pour nous faire une idée de la grandeur de la dyne, calculons la valeur F de l'ancienne unité de force (le kilogramme, à Paris), exprimée en dynes. Puisque la force F, appliquée à la masse d'un décimètre cube d'eau ou 1000 grammes-masses, lui imprime une accélération de $9^m,81$, ou de 981 centimètres, on a, en appliquant la formule $F = m\gamma$,

$$F = 1000 \times 981.$$

Le nombre 981 étant approximativement égal à 1000, on voit qu'une force d'un kilogramme représente sensiblement un million de dynes, ou ce qu'on appelle une *mégadyne* (*). — En d'autres termes, la dyne équivaut sensiblement à une force d'un millionième de kilogramme, ou 1 milligramme.

II. — COMPOSITION DES FORCES.

14. **Représentation géométrique des forces.** — Une force est complètement définie, lorsqu'on donne : 1° son *point d'application*, c'est-à-dire le point sur lequel s'exerce son action ; 2° sa *direction*, c'est-à-dire la direction du mouvement qu'elle tend à imprimer à ce point ; 3° son *intensité*, c'est-à-dire sa valeur numérique, évaluée à l'aide de l'unité de force. — On représente géométriquement une force par une

(*) Dans le système C.G.S., par une convention analogue à celle qui est usitée dans le système métrique, on emploie les préfixes *kilo*, *méga*, pour représenter les multiples de chaque unité, par mille, un million. — De même, on emploie les préfixes *milli*, *micro*, pour représenter les millièmes, les millionièmes d'unité. — Ainsi, une *kilodyne* représente mille dynes ; une *mégadyne*, un million de dynes ; une *millidyne* représenterait un millième de dyne ; une *microdyne*, un millionième de dyne. — De même pour les autres unités de ce système.

droite partant du point d'application, dirigée dans le sens même de la force, et égale à autant de fois l'unité de longueur que la force contient de fois l'unité de force.

Lorsqu'une force F, appliquée en un point A d'un corps solide (*fig.* 6), le sollicite dans une direction AF, il est aisé de voir que l'on peut toujours supposer le point d'application de cette force transporté en autre point C ou B du corps, situé sur la même direction, et même en un point D extérieur au corps, pourvu que l'on suppose, en même temps, ce point *lié invariablement au premier*.

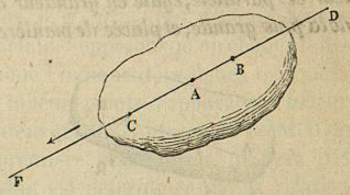

Fig. 6.

15. **Composition des forces appliquées en un même point.** — On démontre que, si plusieurs forces sont *appliquées en un même point*, elles peuvent toujours être remplacées par une force unique, ou *résultante*, produisant à elle seule le même effet que toutes les autres. — Nous nous contenterons d'énoncer, sans démonstration, les règles qui permettent d'obtenir cette résultante, dans les divers cas :

1° *Deux forces appliquées en un même point et dirigées dans le même sens, ont une résultante égale à leur somme, et dirigée dans le même sens que les forces proposées ;*

2° *Deux forces appliquées en un même point, dans la même direction mais en sens contraire, ont une résultante égale à leur différence, et dirigée dans le sens de la plus grande des deux forces proposées ;*

3° *Deux forces* P, Q (*fig.* 7) *appliquées en un même point* A, *dans des directions différentes, ont une résultante représentée, pour sa grandeur, sa direction et son sens, par la diagonale* AR *du parallélogramme qui a pour côtés adjacents les deux forces proposées.*

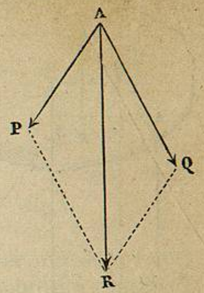

Fig. 7.

Pour obtenir la résultante *d'un nombre quelconque de forces* appliquées en un même point, on composera d'abord deux de ces forces en une seule ; puis, la résultante partielle ainsi obtenue, avec une troisième force ; et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait réduit toutes les forces à une seule, qui sera la résultante du système tout entier.

16. **Composition des forces parallèles.** — 1° *Deux forces parallèles et de même sens* P, Q (*fig.* 8), *appliquées en deux points* A, B *d'un corps solide, ont une résultante* R *qui leur est parallèle, dirigée dans le même sens qu'elles, égale en grandeur à leur somme, et placée de manière que sa direction partage la droite* AB *en deux parties* AC, BC, *inversement proportionnelles aux intensités de ces forces* P *et* Q.