

QC19
o4
535
1864

BIBLIOTECA
FAC. DE MED. U. N. R. J.

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE



BIBLIOTECA

LIVRE I

DE LA MATIÈRE, DES FORCES ET DU MOUVEMENT.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS GÉNÉRALES.

1. **Objet de la physique.** — La *physique* a pour objet l'étude des phénomènes que présentent les corps, en tant que ceux-ci n'éprouvent pas de changements dans leur composition.

La *chimie*, au contraire, traite particulièrement des phénomènes qui modifient plus ou moins profondément la nature des corps.

2. **Matière.** — On nomme *matière* ou *substance* tout ce qui tombe immédiatement sous nos sens.

On connaissait jusqu'ici soixante-deux substances élémentaires ou *simples*, c'est-à-dire dont l'analyse chimique n'extrait qu'une seule espèce de matière. Ce nombre a été récemment augmenté de trois corps nouveaux, découverts à l'aide d'une nouvelle méthode d'analyse qui est due à MM. Bunsen et Kirchhoff, et qui sera décrite quand nous traiterons du spectre solaire (494). Il est possible que plus tard le nombre des substances simples augmente ou diminue, car on peut en découvrir de nouvelles, comme il peut arriver qu'on parvienne à en décomposer plusieurs.

3. **Corps, atomes, molécules.** — Toute quantité de matière limitée est un *corps*. Les propriétés des corps font voir qu'ils ne sont point formés d'une matière continue, mais d'éléments pour ainsi dire infiniment petits, qui ne peuvent être divisés physique-

ment, et sont simplement juxtaposés sans se toucher, étant maintenus à distance par des attractions et des répulsions réciproques qu'on désigne sous le nom de *forces moléculaires*.

Ces éléments des corps se nomment *atomes*. Un groupe d'atomes forme une *molécule*. Les corps ne sont que des agrégats de molécules.

4. **Masse.** — En physique, on entend par *masse* d'un corps, la quantité de matière qu'il contient. En mécanique, cette définition est insuffisante, et l'on est obligé de la compléter, comme nous le verrons ci-après (35).

5. **États des corps.** — On distingue trois états des corps :

1^o *L'état solide*, qui s'observe, aux températures ordinaires, dans les bois, les pierres, les métaux. Cet état est caractérisé par une adhérence telle entre les molécules, qu'on ne peut les séparer que par un effort plus ou moins considérable. C'est en vertu de cette adhérence que les corps solides possèdent une dureté plus ou moins grande, et conservent par eux-mêmes la forme que la nature ou l'art leur a donnée.

2^o *L'état liquide*, que présentent l'eau, l'alcool, les huiles. Le caractère distinctif des liquides est une adhérence si faible entre leurs molécules, qu'elles peuvent glisser les unes sur les autres avec une extrême facilité; d'où il résulte que ces corps ne présentent aucune dureté, et n'affectent aucune forme particulière, mais prennent toujours celle des vases qui les contiennent.

3^o *L'état gazeux*, qu'on observe dans l'air et dans un grand nombre d'autres corps qu'on nomme *gaz* ou *fluides aëriiformes*. Dans les gaz, la mobilité des molécules est encore plus grande que dans les liquides; mais leur caractère distinctif est surtout une tendance à prendre sans cesse un volume plus grand, propriété qu'on désigne sous le nom d'*expansibilité*, et qui sera constatée bientôt par l'expérience (126).

Les liquides et les gaz se désignent sous le nom général de *fluides*.

La plupart des corps simples et beaucoup de corps composés peuvent successivement se présenter à l'état solide, liquide ou gazeux, suivant les variations de température. L'eau nous en offre un exemple bien connu.

C'est du rapport entre les attractions et les répulsions moléculaires que dépendent les trois états des corps.

6. **Phénomènes physiques.** — Tout changement survenu dans l'état d'un corps, sans altération de sa composition, est un *phénomène physique*. Un corps qui tombe, un son qui se produit, de l'eau qui se congèle, sont des phénomènes.

7. **Lois et théories physiques.** — On nomme *loi physique*, la relation constante qui existe entre un phénomène et sa cause. Par

exemple, on démontre qu'un volume donné de gaz devient deux, trois fois moindre, lorsqu'il supporte une pression deux, trois fois plus grande : c'est là une loi physique qu'on exprime en disant que *les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions*.

Une *théorie physique* est l'ensemble des lois qui se rapportent à une même classe de phénomènes. C'est ainsi qu'on dit : la *théorie de la lumière*, la *théorie de l'électricité*. Cependant cette dénomination s'applique aussi, dans un sens plus restreint, à l'explication de certains phénomènes particuliers. Par exemple, lorsqu'on dit : la *théorie de la rosée*, la *théorie du mirage*.

8. **Agents physiques.** — Comme cause des phénomènes que présentent les corps, on admet l'existence d'*agents physiques* ou de *forces naturelles* qui régissent la matière.

Ces agents sont : l'*attraction universelle*, le *calorique*, la *lumière*, le *magnétisme* et l'*électricité*.

Les agents physiques ne se manifestant à nous que par leurs effets, leur nature nous est complètement inconnue. Dans l'état actuel de la science, on ne peut dire si ce sont des propriétés inhérentes à la matière, ou bien des matières subtiles, impalpables, répandues dans tout l'univers, et dont les effets sont le résultat de mouvements particuliers imprimés à leur masse. Cette dernière hypothèse est généralement admise; mais alors ces matières sont-elles distinctes les unes des autres, ou doivent-elles être rapportées à une source unique? Cette dernière opinion paraît tendre à prévaloir, à mesure que les sciences physiques reculent leurs limites.

Dans l'hypothèse où les agents physiques seraient des matières subtiles, ces matières n'ayant pas un poids appréciable aux balances les plus sensibles, on leur donne le nom de *fluides impondérables*; de là la distinction de *matière pondérable*, ou matière proprement dite, et de *matière impondérable*, ou *agents physiques*.

On donne aussi aux fluides impondérables le nom de *fluides incoercibles*, pour exprimer qu'on ne peut ni les saisir, ni les comprimer en vase clos, comme l'air et les autres gaz.

CHAPITRE II.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS.

9. **Diverses sortes de propriétés.** — On entend par *propriétés* des corps, ou de la matière, leurs diverses manières de se présenter à nos sens. On en distingue de *générales* et de *particulières*. Les premières sont celles qui conviennent à tous les corps, sous

quelque état qu'on les considère. Celles qu'il importe de connaître dès à présent sont : l'*impénétrabilité*, l'*étendue*, la *divisibilité*, la *porosité*, la *compressibilité*, l'*élasticité*, la *mobilité* et l'*inertie*.

Les propriétés particulières sont celles qu'on n'observe que dans certains corps ou dans certains états des corps ; telles sont : la *solidité*, la *fluidité*, la *ténacité*, la *ductilité*, la *malleabilité*, la *dureté*, la *transparence*, la *coloration*, etc.

Il ne sera question, pour le moment, que des propriétés générales énoncées ci-dessus ; en observant, toutefois, que l'*impénétrabilité* et l'*étendue* sont moins des propriétés générales de la matière que des attributs essentiels qui suffiraient pour la définir. Remarquons encore que la *divisibilité*, la *porosité*, la *compressibilité* et l'*élasticité* ne s'appliquent qu'aux corps considérés comme des amas de molécules, et non aux atomes.

10. **Impénétrabilité.** — L'*impénétrabilité* est la propriété en vertu de laquelle deux éléments matériels ne peuvent occuper simultanément le même lieu de l'espace.

Cette propriété ne se rencontre réellement que dans les atomes. Dans un grand nombre de phénomènes, les corps paraissent se pénétrer. Par exemple, pour plusieurs alliages, le volume est moindre que la somme des volumes des métaux alliés. Lorsqu'on mélange de l'eau avec de l'acide sulfurique ou avec de l'alcool, on remarque une contraction dans le volume total. Mais toutes ces pénétrations ne sont qu'apparentes ; elles résultent uniquement de ce que les parties matérielles dont les corps sont formés ne se touchent pas, il existe entre elles des intervalles qui peuvent être occupés par d'autres matières, ainsi qu'on le verra à l'article *Porosité* (15).

11. **Etendue.** — L'*étendue* est la propriété qu'a tout corps d'occuper une portion limitée de l'espace.

Un grand nombre d'instruments ont été construits pour mesurer l'*étendue*. Nous ferons connaître ici le vernier et la vis micrométrique.

12. **Vernier.** — Le *vernier* tire son nom de celui de son inventeur, mathématicien français mort en 1637. Cet instrument fait partie de plusieurs appareils de physique, comme les baromètres, les cathétomètres. Il est formé de deux règles : la plus grande, AB (fig. 1), est fixe et divisée en parties égales ; la plus petite, ab, est mobile ; c'est elle qui est proprement le vernier. Pour la graduer, on lui donne une longueur égale à 9 des divisions de la grande règle, puis on la divise en 10 parties égales. Il en résulte que chaque division de la règle ab est d'un dixième plus petite que celles de la règle AB.

Pour mesurer avec le vernier la longueur d'un objet mn, on place celui-ci, comme on le voit dans la figure, le long de la grande règle, et l'on trouve ainsi que cet objet a, par exemple, une longueur égale à 4 unités plus une fraction. C'est cette fraction que le vernier va servir à évaluer. Pour cela, on le fait glisser sur la règle fixe jusqu'à ce qu'il vienne se placer à l'extrémité de l'objet mn, puis on cherche où se fait la coïncidence entre les divisions des deux règles. Dans la figure, elle a lieu à la huitième division du vernier, à partir du point n. Cela indique que la fraction à mesurer est égale à 8 dixièmes. En effet, les divisions du vernier étant plus petites d'un dixième que celles de la règle, on voit qu'à partir du point de coïncidence, en allant de droite à gauche,

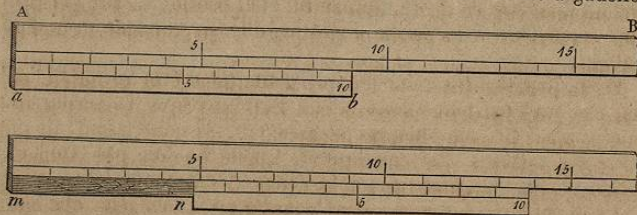


Fig. 1.

elles sont successivement en retard, sur celles de la règle, de 1, de 2, de 3.... dixièmes. De l'extrémité n du vernier à la quatrième division de la règle, il y a donc 8 dixièmes ; d'où mn égale 4 des divisions de AB plus 8 dixièmes. Par conséquent, si les divisions de la grande règle sont des millimètres, on aura la longueur de mn à un dixième de millimètre près. Pour l'obtenir à un vingtième, à un trentième de millimètre, il faudrait diviser AB en millimètres, en porter 19 ou 29 sur le vernier, puis diviser celui-ci en 20 ou en 30 parties égales. Mais pour distinguer alors où se ferait la coïncidence, il faudrait faire usage d'une loupe. Dans la mesure des arcs, on fait aussi usage du vernier pour évaluer en minutes et en secondes les fractions de degré.

13. **Vis micrométrique.** — On nomme *vis micrométrique*, toute vis qu'on emploie pour mesurer avec précision des longueurs ou des épaisseurs. Lorsqu'une vis est bien exécutée, son pas, c'est-à-dire l'intervalle entre deux filets consécutifs, doit être partout le même ; d'où il résulte que si la vis tourne dans un écrou fixe, elle avance, à chaque tour, d'une longueur égale à celle du pas, et que pour une fraction de tour, $\frac{1}{10}$ par exemple, elle n'avance que de $\frac{1}{10}$ du pas. Par conséquent, si le pas est d'un millimètre, et si, à l'extrémité de la vis, est un cercle gradué en 360 degrés,

et tournant avec elle, en ne faisant marcher ce cercle que d'une division, on fera avancer la vis de $\frac{1}{3000}$ de millimètre. On a donc là un moyen de mesurer avec une grande précision des allongements ou des épaisseurs très-faibles.

14. **Divisibilité.** — La *divisibilité* est la propriété que possède tout corps de pouvoir être séparé en parties distinctes.

On peut citer de nombreux exemples de l'extrême divisibilité de la matière. Par exemple, 5 centigrammes de musc suffisent pour répandre, pendant plusieurs années, des particules odorantes dans un appartement dont l'air est fréquemment renouvelé.

Le sang est composé de globules rouges flottant dans un liquide nommé *sérum*. Chez l'homme, ces globules, qui sont sphériques, ont un diamètre de $\frac{1}{150}$ de millimètre, et la goutte de sang qui peut être suspendue à la pointe d'une aiguille en contient près d'un million.

Enfin, il existe des animaux trop petits pour être aperçus à l'œil nu, et dont l'existence nous serait inconnue sans le secours du microscope. Or, ces animaux se meuvent, se nourrissent; ils ont donc des organes. Par conséquent, quelle ne doit pas être l'extrême ténuité des particules dont ceux-ci sont composés!

La divisibilité des corps étant poussée assez loin pour que leurs particules échappent au toucher et à la vue, même avec l'aide des microscopes les plus grossissants, on ne peut constater par l'expérience si la divisibilité de la matière a une limite ou si elle est indéfinie. Cependant, d'après la stabilité des propriétés chimiques particulières à chaque corps, et d'après l'invariabilité des rapports qui existent entre les poids des éléments qui se combinent, on admet qu'il y a une limite à la divisibilité. C'est pour cela qu'on regarde les corps comme formés d'éléments matériels qui ne sont pas susceptibles d'être divisés, et qu'on appelle *atomes*, c'est-à-dire insécables (3).

15. **Porosité.** — La *porosité* est la propriété en vertu de laquelle il existe, entre les molécules des corps, des interstices auxquels on donne le nom de *pores*.

On distingue deux espèces de pores : les *pores physiques*, ou interstices assez petits pour que les forces moléculaires attractives ou répulsives conservent leur action; et les *pores sensibles*, véritables trous ou lacunes au delà desquelles les forces moléculaires n'ont plus d'action. C'est aux pores physiques que sont dues les contractions et les dilatations qui proviennent des variations de température. Ce sont les pores sensibles qui, dans les êtres organisés, sont le siège des phénomènes d'exhalation et d'absorption.

Les pores sensibles sont apparents dans les éponges, les bois,

et dans un grand nombre de pierres. Les pores physiques ne le sont dans aucun cas. Cependant, tous les corps diminuant de volume par le refroidissement et par la compression, on en conclut que tous ont des pores physiques.

Pour montrer expérimentalement les pores sensibles, on prend un long tube de verre A (fig. 2), terminé à sa partie supérieure par un godet de cuivre *m*, et à sa partie inférieure par un pied de même métal qui peut se visser sur la platine P d'une machine à faire le vide. Le fond du godet *m* est formé d'un cuir épais de buffle, *o*. On y verse du mercure de manière à recouvrir entièrement le cuir, puis on fait le vide dans le tube. Aussitôt, par l'effet de la pression atmosphérique qui pèse sur le mercure, ce liquide passe à travers les pores du cuir et tombe dans le tube sous forme d'une pluie fine. On fait passer de la même manière de l'eau à travers les pores du bois, lorsqu'on substitue au cuir ci-dessus un disque de bois coupé perpendiculairement aux fibres.

Si l'on plonge dans l'eau un morceau de craie, on en voit sortir une série de petites bulles d'air. Cet air occupait évidemment les pores de la craie, d'où il est chassé par l'eau qui y pénètre. En effet, si l'on pèse la pierre avant et après son immersion, on observe que son poids est considérablement augmenté. On peut même mesurer ainsi le volume total des pores d'après le poids de l'eau absorbée.

Quant à la porosité des métaux, elle a été démontrée par l'expérience suivante, due aux académiciens de Florence, en 1661. Cherchant à constater si l'eau pouvait diminuer de volume par l'effet d'une forte pression, ils prirent une petite sphère d'or creuse, à paroi mince, la remplirent d'eau, et après avoir fermé hermétiquement la sphère en en soudant l'orifice, ils la frappèrent à coups de marteau pour en réduire le volume. Or, à chaque coup, l'eau

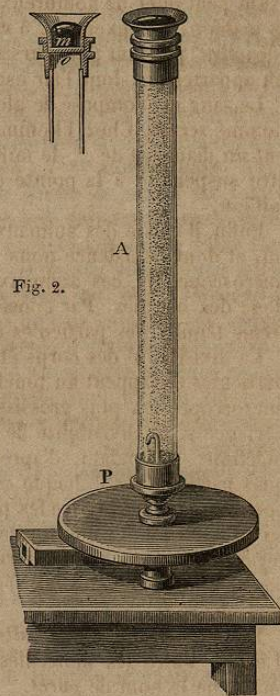


Fig. 2.

suintait à travers la paroi, et apparaissait à l'extérieur comme un dépôt de rosée, ce qui démontrait la porosité du métal. Plusieurs physiciens ont répété cette expérience sur d'autres métaux, et sont arrivés au même résultat.

16. **Volume apparent et volume réel.**— Eu égard à la porosité, il y a lieu de distinguer, dans tout corps, le *volume apparent*, c'est-à-dire la portion de l'espace qu'occupe le corps, et le *volume réel*, qui serait celui qu'occuperait la matière propre du corps, si les pores pouvaient être anéantis; en d'autres termes, le volume réel est le volume apparent diminué du volume des pores. Le volume réel d'un corps est invariable; mais le volume apparent diminue ou augmente avec le volume des pores.

17. **Applications.**— La porosité est utilisée dans les filtres de papier, de feutre, de pierre, de charbon, dont on fait un fréquent usage dans l'économie domestique. Les pores de ces substances sont assez grands pour laisser passer les liquides, mais ils sont trop petits pour laisser passer les substances que ceux-ci tiennent en suspension. Dans les carrières, on pratique, dans les blocs de pierre, des rainures où l'on introduit des coins de bois bien secs; ceux-ci étant ensuite humectés, l'eau pénètre dans leurs pores, le bois se gonfle et détache des blocs considérables. Les cordes sèches, si on les mouille, augmentent en diamètre et diminuent en longueur; de là un moyen puissant qui a été utilisé pour soulever d'énormes fardeaux.

18. **Compressibilité.**— La *compressibilité* est la propriété qu'ont les corps de pouvoir se réduire à un moindre volume par l'effet de la pression. Cette propriété est la conséquence de la porosité, dont elle est elle-même une preuve.

La compressibilité est très-variable d'un corps à un autre. Les corps les plus compressibles sont les gaz, qui peuvent être réduits, sous des pressions suffisantes, à un volume 10, 20 et même 100 fois plus petit que celui qu'ils occupent dans les conditions ordinaires. Toutefois, pour la plupart des gaz, on rencontre une limite de pression au delà de laquelle l'état gazeux ne persiste plus, mais est remplacé par l'état liquide.

La compressibilité des solides est bien moindre que celle des gaz, et se présente à des degrés très-différents. Les étoffes, le papier, le liège, le bois, sont les substances les plus compressibles. Les métaux le sont aussi, comme l'indiquent les empreintes que prennent les médailles sous le choc du balancier. Il est à remarquer que la compressibilité des solides a aussi une limite au delà de laquelle les corps, cédant à la pression, se désagrègent tout à coup et se réduisent souvent en poudre impalpable.

Quant aux liquides, leur compressibilité est tellement faible, qu'ils ont été longtemps regardés comme tout à fait incompressibles; mais elle se constate par l'expérience, ainsi qu'il sera démontré en hydrostatique (78).

19. **Élasticité.**— L'*élasticité* est la propriété qu'ont les corps de reprendre leur forme ou leur volume primitif, lorsque la force qui altérerait cette forme ou ce volume cesse d'agir. L'élasticité peut être développée dans les corps par pression, par traction, par flexion ou par torsion. Il ne sera question ici, comme propriété générale, que de l'élasticité de pression; les autres espèces d'élasticités, ne pouvant se produire que dans les solides, seront placées au nombre des propriétés particulières à ces corps (69).

Les gaz sont parfaitement élastiques; c'est-à-dire qu'ils reprennent exactement le même volume aussitôt que la pression redevient la même. Il en est encore ainsi des liquides, à quelque pression qu'ils aient été soumis. Aucun corps solide n'est doué d'une élasticité aussi parfaite que les gaz et les liquides, surtout lorsque les pressions ont été longtemps prolongées. Cependant l'élasticité est très-apparente dans le caoutchouc, l'ivoire, le verre, le marbre; elle est à peine sensible dans les graisses, les argiles, le plomb.

Dans les solides, il y a une limite d'élasticité au delà de laquelle ils sont brisés, ou du moins ne reprennent plus exactement leur forme ou leur volume primitif. Dans les entorses, par exemple, la limite d'élasticité des ligaments a été dépassée. Une semblable limite ne se rencontre pas dans les gaz et les liquides, qui reviennent toujours à leur volume primitif.

L'élasticité est le résultat d'un rapprochement moléculaire, et, par suite, d'un changement de forme qui, dans les corps solides, se constate par l'expérience suivante. Sur un plan de marbre poli et recouvert d'une légère couche d'huile, on laisse tomber une petite bille d'ivoire ou de marbre. Elle rebondit à une hauteur un peu moindre que celle de la chute, après avoir produit, au point où elle a frappé, une empreinte circulaire d'autant plus étendue, que la bille est tombée d'une plus grande hauteur. Au moment du choc, la bille a donc été aplatie sur le plan, et c'est par la réaction des molécules ainsi comprimées qu'elle se relève.

20. **Mobilité, mouvement, repos.**— La *mobilité* est la propriété qu'ont les corps de pouvoir passer d'un lieu dans un autre.

On nomme *mouvement*, l'état d'un corps qui change de lieu; *repos*, sa permanence dans le même lieu. Le repos et le mouvement sont absolus ou relatifs.

Le *repos absolu* serait la privation complète de mouvement. Dans tout l'univers, on ne connaît aucun corps dans cet état.

Le *mouvement absolu* d'un corps serait son déplacement par rapport à un autre corps à l'état de repos absolu.

Le *repos relatif*, ou apparent, est l'état d'un corps qui paraît fixe par rapport aux corps environnants, mais qui, en réalité, participe avec eux à un mouvement commun. Par exemple, un corps qui reste à la même place dans un bateau en mouvement, est en repos par rapport au bateau, mais il est réellement en mouvement par rapport aux rives; ce n'est donc là qu'un repos relatif.

Le *mouvement relatif* d'un corps n'est que son mouvement apparent, c'est-à-dire celui qu'on mesure par rapport à d'autres corps qu'on suppose fixes, tandis qu'eux-mêmes se déplacent. Tel est le mouvement d'un bateau par rapport aux rives d'un fleuve; car celles-ci participent avec lui au double mouvement de rotation et de translation de la terre dans l'espace.

On n'observe, dans la nature, que des états de repos et de mouvements relatifs.

21. *Inertie*. — L'inertie est une propriété purement négative: c'est l'incapacité de la matière à passer d'elle-même de l'état de repos à l'état de mouvement, ou à modifier le mouvement dont elle est animée.

Si les corps tombent lorsqu'on les abandonne à eux-mêmes, cela provient d'une force attractive qui les dirige vers le centre de la terre, et non de leur spontanéité; si la vitesse d'une bille sur un billard se ralentit graduellement, cela résulte de la résistance de l'air que la bille déplace et du frottement sur le tapis. Il ne faudrait donc pas en conclure que cette bille a une tendance au repos plutôt qu'au mouvement, comme le disaient certains philosophes de l'antiquité, qui comparaient la matière à une personne paresseuse. Toutes les fois qu'il n'y a pas de résistance, le mouvement se continue sans altération, ainsi que les astres nous en offrent un exemple dans leur révolution autour du soleil.

22. *Applications*. — Un grand nombre de phénomènes s'expliquent par l'inertie de la matière. Par exemple, lorsque, pour franchir un fossé, nous prenons notre élan, c'est afin qu'au moment du saut, le mouvement dont nous sommes animés ajoute son effet à l'effort musculaire que nous faisons pour sauter.

Une personne qui descend d'une voiture en marche participe au mouvement de cette voiture, et si elle n'imprime à son corps un mouvement en sens contraire à l'instant où elle touche le sol, elle est renversée dans la direction que suit la voiture.

C'est l'inertie qui rend si terribles les accidents de chemins de fer. En effet, que la locomotive vienne brusquement à s'arrêter, tout le convoi continue sa marche, en vertu de sa vitesse acquise, et les wagons vont se briser les uns contre les autres.

Enfin, les marteaux, les pilons, les bocards, sont des applications de l'inertie. Il en est de même de ces énormes roues de fonte qu'on nomme *volants*, et qui servent à régulariser le mouvement des machines à vapeur.

CHAPITRE III.

NOTIONS SUR LES FORCES ET LES MOUVEMENTS.

23. *Forces*. — On nomme *force*, toute cause capable de produire le mouvement ou de le modifier.

L'action des muscles chez les animaux, la pesanteur, les attractions et les répulsions magnétiques ou électriques, la tension des vapeurs, sont des forces.

En général, on donne le nom de *puissances* aux forces qui tendent à produire un certain effet, et celui de *résistances* aux forces qui s'opposent à cet effet. Les premières, tendant à accélérer à chaque instant le mouvement, sont dites *accélératrices*; les dernières sont *retardatrices*.

Les forces peuvent n'agir sur les corps que pendant un temps très-court, comme il arrive dans les choes, dans l'explosion de la poudre, ou bien pendant toute la durée du mouvement. On exprime le premier effet en disant qu'elles sont *instantanées*, le second en disant qu'elles sont *continues*; mais il importe d'observer qu'on entend par là non pas deux espèces de forces, mais seulement deux modes d'action des forces.

24. *Équilibre*. — Lorsque plusieurs forces sont appliquées à un même corps, il peut arriver que, ces forces se neutralisant mutuellement, l'état de repos ou de mouvement du corps ne soit pas modifié. On a donné à cet état particulier des corps le nom d'*équilibre*. Il ne faut pas confondre l'état d'équilibre avec celui de repos: dans le premier état, un corps est soumis à l'action de plusieurs forces qui s'entre-détruisent; dans le second, il n'est sollicité par aucune force.

25. *Caractères, unité et représentation des forces*. — Toute force est caractérisée: 1^o par son *point d'application*, c'est-à-dire le point où elle agit immédiatement; 2^o par sa *direction*, c'est-à-dire la ligne droite qu'elle tend à faire parcourir à son point d'application; 3^o par son *intensité*, c'est-à-dire sa valeur par rapport à une autre force prise pour unité.

La force qu'on choisit pour unité est tout à fait arbitraire; mais, quel que soit l'effet de traction ou de pression produit par une force, un certain poids pouvant toujours produire le même effet, on compare, en général, les forces à des poids, et l'on prend pour unité de force le kilogramme. Une force est égale à 20 kilogrammes, par exemple, si elle peut être remplacée par l'action d'un poids de 20 kilogrammes. Une force qui conserve toujours la même intensité est *constante*; mais celle dont l'intensité augmente ou diminue, est *variable*.

D'après les caractères qui déterminent une force, celle-ci est

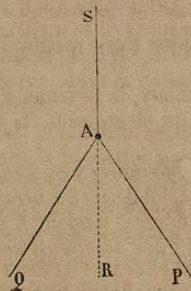


Fig. 3.

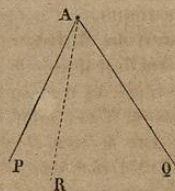


Fig. 4.

complètement connue lorsque son point d'application, sa direction et son intensité sont donnés. Pour représenter ces divers éléments d'une force, on fait passer par son point d'application, et dans le sens de sa direction, une ligne droite indéfinie; puis, sur cette ligne, à partir du point d'application, et dans le sens de la force, on porte une unité de longueur arbitraire, le centimètre, par exemple, autant de fois que la force donnée contient elle-même l'unité de force. On a ainsi une ligne droite qui détermine complètement la force. Enfin, pour distinguer les forces les unes des autres, on les désigne par les lettres P, Q, R..., qu'on place sur leurs directions respectives.

Pour l'intelligence de plusieurs phénomènes physiques, il est nécessaire de rappeler ici les principes suivants, qui sont démontrés dans les cours de mécanique.

26. Résultantes et composantes. — Lorsque plusieurs forces S, P, Q, appliquées à un même point matériel A (fig. 3), se font équilibre, l'une quelconque d'entre elles, S, par exemple, résiste seule à l'action de toutes les autres. La force S, si elle était dirigée en sens contraire, suivant le prolongement AR de SA, produirait

donc, à elle seule, le même effet que le système des forces P et Q.

Toute force qui peut ainsi produire le même effet que plusieurs forces combinées, se nomme leur *résultante*, et les autres forces, par rapport à la résultante, sont ses *composantes*.

Lorsqu'un corps, sollicité par plusieurs forces, entre en mouvement, on démontre que c'est toujours suivant la direction de la résultante de toutes ces forces qu'il se meut. Par exemple, si un point matériel A (fig. 4) est sollicité en même temps par deux forces P et Q, comme il ne peut se mouvoir simultanément suivant les droites AP et AQ, il prend une direction intermédiaire AR, qui est précisément celle de la résultante des deux forces P et Q.

Tous les problèmes sur la *composition* et la *décomposition* des forces s'appuient sur les théorèmes suivants, pour la démonstration desquels nous renvoyons aux traités spéciaux de mécanique.

27. Composition et décomposition des forces parallèles. — 1^o Lorsque

deux forces parallèles sont appliquées à un même point, elles ont une résultante égale à leur somme, si elles sont de même direction, et à leur différence, si elles sont de direction contraire.

Par exemple, si deux hommes tirent un fardeau suivant des directions parallèles, avec les efforts respectifs 20 et 15, l'effort résultant est 35, ou 5, suivant qu'ils tirent dans le même sens ou en sens contraire. De même, lorsque plusieurs chevaux de trait sont attelés à une voiture, celle-ci avance comme si elle était sollicitée par une force unique égale à la somme des forces de tous les chevaux.

2^o Lorsque deux forces parallèles et de même direction sont appliquées aux extrémités d'une droite AB (fig. 5), leur résultante R, qui est égale à leur somme, leur est parallèle, et partage la droite AB en deux parties inversement proportionnelles aux forces P et Q. En d'autres termes, C étant le point d'application de la résultante, si la force P est deux, trois fois plus grande que la force Q, la distance AC est deux, trois fois plus petite que CB. D'où il suit que lorsque les forces P et Q sont égales, la direction de leur résultante partage la ligne AB en deux parties égales.

Réciproquement, une force unique R, appliquée en C, peut être remplacée par le système de deux forces P et Q dont elle est la somme, si celles-ci lui sont parallèles, et si, les points A, B, C, étant en ligne droite, ces nouvelles forces sont en raison inverse des longueurs AC et CB.

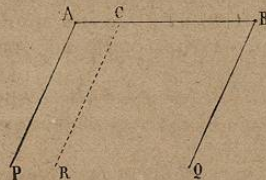


Fig. 5.

Pour obtenir la résultante de plusieurs forces parallèles et dirigées dans le même sens, on cherche d'abord, comme ci-dessus, la résultante de deux de ces forces, puis celle de la résultante trouvée et d'une troisième force, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière; ce qui produit, pour résultante finale, une force égale à la somme des forces données, et de même direction.

28. Composition et décomposition des forces concourantes. — On appelle *forces concourantes*, celles dont les directions se rencontrent en un même point où l'on peut les supposer toutes appliquées. Par exemple, lorsque plusieurs hommes, pour sonner une cloche, tirent des cordes fixés à un même nœud sur la corde de cette cloche, les forces de ces hommes sont concourantes.

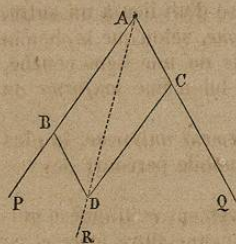


Fig. 6.

Soient d'abord deux forces concourantes P et Q (fig. 6), et A leur point d'application. Si l'on prend sur leurs directions deux longueurs AB et AC proportionnelles à leurs intensités (25), et si, des points B et C, on tire des droites respectivement parallèles aux directions des forces, on obtient un parallélogramme ABDC qu'on nomme *parallélogramme des forces*, et qui fait connaître facilement la résultante des forces P et Q, au moyen du théorème suivant, connu lui-même sous le nom de *théorème du parallélogramme des forces*.

29. Parallélogramme des forces. — La résultante de deux forces concourantes est représentée, en grandeur et en direction, par la diagonale du parallélogramme construit sur ces forces. C'est-à-dire que, dans la figure ci-dessus, la résultante R des forces P et Q est non-seulement dirigée suivant la diagonale AD, mais contient l'unité de force autant de fois que cette diagonale contient elle-même l'unité linéaire qui a été portée sur AB et AC pour représenter les forces P et Q.

Réciproquement, une force unique peut être décomposée en deux autres appliquées au même point que la première et dirigées suivant des droites données. Il suffit, pour cela, de construire sur ces droites un parallélogramme dont la force donnée soit la diagonale; les longueurs des côtés représenteront les composantes cherchées.

Dans le cas d'un nombre quelconque de forces appliquées à un même point, dans diverses directions, la résultante s'obtient en appliquant successivement le théorème précédent d'abord à deux de ces forces, puis à la résultante obtenue et à une troisième force, et ainsi de suite jusqu'à la dernière.

Les effets de la composition et de la décomposition des forces se présentent constamment à notre observation. Par exemple, lorsqu'un bateau, mû par l'action des rames, traverse une rivière, il n'avance pas dans la direction suivant laquelle les rames le poussent; il ne suit pas non plus celle du courant, mais il va exactement dans la direction qui correspond à la résultante des deux impulsions auxquelles il est soumis.

30. Différents genres de mouvements. — On a déjà vu (20) que le mouvement est l'état d'un corps qui passe d'un lieu à un autre. Un mouvement est dit *rectiligne* ou *curviligne*, selon que le chemin parcouru par le mobile est une ligne droite ou une ligne courbe, et chacun de ces mouvements peut être lui-même *uniforme* ou *varié*.

31. Mouvement uniforme. — Le *mouvement uniforme*, le plus simple de tous, est celui dans lequel un mobile parcourt des espaces égaux dans des temps égaux.

Toute force instantanée produit un mouvement rectiligne et uniforme, lorsque le mobile n'est soumis à aucune autre force et ne rencontre aucune résistance. En effet, la force n'agissant que pendant un temps très-court, le mobile, une fois abandonné à lui-même, conserve, en vertu de son inertie, la direction et la vitesse que la force lui a imprimées. Toutefois les forces continues peuvent aussi donner naissance à des mouvements uniformes. Il en est ainsi lorsqu'il se présente des résistances qui, se renouvelant sans cesse, détruisent l'accroissement de vitesse que ces forces tendent à communiquer au mobile. Par exemple, un convoi qui, sur un chemin de fer, est sollicité par une force continue, n'en prend pas moins un mouvement uniforme; ce qui résulte de ce que les pertes de force dues à la résistance de l'air et au frottement, croissant avec la vitesse, il vient un moment où l'équilibre s'établit entre la force motrice et les résistances.

32. Vitesse et loi du mouvement uniforme. — Dans le mouvement uniforme, on nomme *vitesse*, le chemin parcouru dans l'unité de temps. Cette unité, tout à fait arbitraire, est généralement la seconde. Il découle de la définition du mouvement uniforme que la vitesse est constante. Dans des temps deux, trois, quatre fois plus grands, les chemins parcourus sont donc doubles, triples, quadruples. Cette loi s'exprime en disant que *les espaces parcourus sont proportionnels aux temps*, c'est-à-dire *croissent comme les temps*.

Cette loi peut se représenter par une formule très-simple. Pour cela, soient v la vitesse, t le temps, et e l'espace parcouru. Puisque v représente l'espace parcouru dans l'unité de temps, l'espace parcouru dans 2, 3, ... unités de temps, sera $2v$, $3v$, ...; et, enfin, dans le temps t , il sera t fois v ; on a donc $e = vt$.

On tire de cette formule, $v = \frac{e}{t}$; d'où l'on peut dire que, dans le mouvement uniforme, la vitesse est le rapport du chemin parcouru au temps employé à le parcourir.

33. Mouvement varié. — Le mouvement varié est celui dans lequel un mobile parcourt, en temps égaux, des espaces inégaux. Ce mouvement peut varier d'une infinité de manières; mais le seul qu'il importe de considérer ici est le mouvement uniformément varié.

On nomme *mouvement uniformément varié*, celui dans lequel la vitesse croît ou décroît de quantités égales en temps égaux. Dans le premier cas, le mouvement est *uniformément accéléré*: tel est le mouvement d'un corps qui tombe, abstraction faite de la résistance de l'air. Dans le second, il est *uniformément retardé*: tel est le mouvement d'une pierre lancée verticalement de bas en haut.

Le mouvement uniformément varié a toujours pour cause une force continue constante, se comportant comme puissance ou comme résistance, suivant que le mouvement est accéléré ou retardé.

34. Vitesse et loi du mouvement uniformément accéléré. — Dans le mouvement uniformément accéléré, les espaces parcourus en temps égaux n'étant pas égaux, la vitesse n'est plus le chemin parcouru dans l'unité de temps, comme dans le mouvement uniforme. Ici on entend par *vitesse*, en un instant donné, l'espace qui, à partir de cet instant, serait uniformément parcouru par le mobile, dans chaque seconde, si la force accélératrice cessait tout à coup, c'est-à-dire si le mouvement devenait uniforme. Par exemple, si l'on dit d'un mobile qu'il a une vitesse de 60 mètres après 10 secondes d'un mouvement uniformément accéléré, on exprime que si la force accélératrice qui a agi jusqu'alors cessait après 10 secondes, le mobile, en vertu de son inertie, continuerait à se mouvoir en parcourant uniformément 60 mètres par seconde.

Or, tout mouvement uniformément accéléré, quel que soit son accroissement de vitesse, est soumis aux deux lois suivantes:

1° Les vitesses croissent proportionnellement aux temps. C'est-à-dire qu'après un temps double, triple, quadruple, la vitesse acquise est deux, trois, quatre fois plus grande. Cette loi est la conséquence de la définition du mouvement uniformément varié (33).

2° Les espaces parcourus sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir. C'est-à-dire que si l'on représente par 1 le chemin parcouru en 1 seconde, les chemins parcourus en 2, 3, 4, 5... secondes, seront représentés par 4, 9, 16, 25..., carrés des premiers nombres.

Ces deux lois se démontrent par le calcul (55); en traitant de la pesanteur, on verra comment on les vérifie par l'expérience (54).

35. Proportionnalité des forces aux accélérations, quantité de mouvement. — On démontre, en mécanique rationnelle, que lorsque plusieurs forces constantes F, F', F'', \dots , agissent successivement sur un même corps, elles lui impriment, en temps égaux, des accélérations de vitesse G, G', G'', \dots , proportionnelles à ces forces, c'est-à-dire qu'on a $\frac{F}{F'} = \frac{G}{G'}, \frac{F}{F''} = \frac{G}{G''}, \dots$

Ce principe permet donc de mesurer les forces par les accélérations de vitesse qu'elles communiquent aux mobiles, les forces étant estimées en kilogrammes et les vitesses en mètres; de plus, comme des égalités ci-dessus on tire $\frac{F}{G} = \frac{F'}{G'} = \frac{F''}{G''}, \dots$, on voit que, pour un même corps, le rapport entre la force qui le sollicite et l'accélération de vitesse qu'elle lui communique est constant, quelle que soit la force.

C'est ce rapport constant que les mécaniciens ont adopté pour mesurer la masse des corps (4), et ils disent que deux corps sont de même masse, quand, sollicités par des forces égales, ils prennent, dans le même temps, des accélérations de vitesse égales.

En représentant par M et m les masses de deux corps, par F et f les forces qui agissent sur eux, par V et v les vitesses qu'elles leur communiquent dans le même temps, on a donc $\frac{F}{V} = M$, et $\frac{f}{v} = m$; ou $F = MV$, et $f = mv$. Divisant ces

deux dernières égalités membre à membre, on a $\frac{F}{f} = \frac{MV}{mv}$.

Le produit MV de la masse d'un corps par la vitesse dont il est animé, a reçu le nom de *quantité de mouvement* de ce corps. On peut donc énoncer la dernière égalité ci-dessus en disant que deux forces quelconques sont entre elles comme les quantités de mouvement qu'elles impriment à deux masses différentes. Par conséquent, si l'on prend pour unité de force celle qui imprimerait à l'unité de masse l'unité de vitesse dans l'unité de temps, on voit que les forces peuvent se mesurer par les quantités de mouvement qui leur correspondent.

Les forces étant proportionnelles aux quantités de mouvement, il en résulte que pour une même force le produit MV est constant; c'est-à-dire que la masse devenant deux, trois fois plus grande, la vitesse est deux, trois fois plus petite. Ce résultat se déduit de la dernière égalité ci-dessus, en y faisant $F = f$, ce qui donne $MV = mv$, ou $\frac{M}{m} = \frac{v}{V}$; c'est-à-dire que les vitesses imprimées par une même force à deux masses inégales sont en raison inverse de ces masses.

Si $V = v$, on a $\frac{F}{f} = \frac{M}{m}$; c'est-à-dire que deux forces sont entre elles comme les masses auxquelles elles impriment des vitesses égales.

Les effets produits par le choc dépendent de la quantité de mouvement du corps choquant; et comme cette quantité est directement proportionnelle à la masse et à la vitesse, il en résulte qu'avec une petite masse un corps peut néanmoins posséder une quantité de mouvement considérable, s'il est animé d'une très-grande vitesse: tel est l'effet de la balle de fusil. De même, avec une faible vitesse, un corps possède encore une quantité de mouvement énorme si sa masse est suffisamment grande: tel est l'effet des marteaux, des pilons, des bocards, des moutons qui servent à enfoncer des pilotis sous l'eau. Enfin, si le corps possède à la fois une grande vitesse et une grande masse, sa quantité de mouvement atteindra une puissance redoutable; de là les ravages produits par le boulet de canon et les accidents terribles des chemins de fer.