

COURS

DE

PHYSIQUE MÉDICALE

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

I. Propriétés des corps. Matière. — L'existence des corps nous est révélée par les sensations qu'ils nous font éprouver directement ou indirectement et dont nous supposons la cause extérieure à nous. Ces sensations sont variées; nous admettons que les différences observées sont dues à des différences qui existent entre ces corps, ce que nous exprimons en disant qu'ils ont des propriétés différentes. Écartant par la pensée ces différences, nous pouvons concevoir une substance qui ne posséderait que les caractères communs à tous ces corps : cette substance, qui n'est qu'une pure abstraction, a reçu le nom de *matière*. Un corps déterminé serait donc formé de matière à laquelle des propriétés particulières, variables avec la nature des corps, seraient surajoutées; la matière serait le support commun, le *substratum* des diverses propriétés.

Ce n'est pas par l'expérience, c'est seulement par une vue de l'esprit que nous arrivons à déterminer les caractères communs à tous les corps. On reconnaît généralement que ces caractères sont au nombre de trois : l'*étendue*, l'*impénétrabilité* et l'*inertie*.

Sans discuter sur l'origine de ces idées et sur leur valeur, nous les définirons ainsi qu'il suit :

L'*étendue* est la propriété que possèdent les corps d'occuper une certaine partie de l'espace.

L'*impénétrabilité* d'un corps, qui le rend distinct de tout autre, con-

siste en ce que deux corps ne peuvent occuper au même instant une même partie de l'espace.

L'inertie sera ultérieurement définie (XXXIII).

II. — L'étude des propriétés des corps, de certaines d'entre elles au moins, l'étude des changements qu'elles peuvent éprouver et des circonstances dans lesquelles ces changements se produisent est pour une part le but de la Physique.

Appliquant à cette étude la séparation que nous venons d'indiquer, on en a distrait l'étude des propriétés de la matière, qui constitue le but de la Mécanique. La mécanique est donc une science abstraite; elle n'en a pas moins une base expérimentale, car ce n'est qu'en généralisant les observations faites sur les corps, en négligeant tous les effets particuliers que chacun d'eux peut présenter et ne conservant que ceux qui sont communs, qu'on a pu établir les principes généraux sur lesquels repose cette science.

On conçoit qu'on ne puisse, dès lors, étudier les propriétés des corps si l'on ne connaît, au préalable, les propriétés de la matière dont les manifestations interviennent toujours. De là la nécessité de faire précéder l'étude de la physique de l'étude de la mécanique, ou au moins de l'exposé des résultats principaux auxquels cette étude conduit.

C'est pourquoi nous avons résumé, aussi brièvement que possible, l'ensemble des notions que nous fournit la mécanique et les principales règles dont on a à faire usage en physique.

Nous avons dû faire précéder ce résumé d'une indication sur les mesures; bien que les idées qui s'y rattachent ne fassent pas partie de la physique, à proprement parler, leur connaissance est indispensable.

Ce sont ces considérations qui nous ont conduit à placer une introduction, qui n'est qu'un rappel de connaissances antérieurement étudiées, avant l'étude des questions qui font réellement l'objet du cours de Physique médicale.

III. **Lois physiques. Théories physiques.** — Les phénomènes physiques que nous observons peuvent être étudiés à deux points de vue différents: au point de vue qualitatif, au point de vue quantitatif.

Au point de vue qualitatif il y a à indiquer en quoi les phénomènes consistent, quelles sont les conditions dans lesquelles on les observe, et, lorsqu'il est possible, quelles sont les causes qui les produisent: cette étude doit toujours précéder l'étude quantitative.

Au point de vue quantitatif, l'étude est plus complète: on évalue numériquement l'effet observé, ainsi que les conditions et les causes, et l'on cherche quelle relation constante existe entre les données numériques observées.

L'énoncé de cette relation est une *loi*; il peut se représenter par une formule algébrique qui permet de calculer la valeur de l'une des quantités qui y entrent lorsque toutes les autres sont connues.

Quoique nous puissions toujours supposer que la formule algébrique existe, elle peut ne pas avoir été déterminée; il est possible de la remplacer approximativement par une table numérique ou par une courbe.

Cette substitution, qui est toujours possible lorsque la formule est connue, est quelquefois avantageuse au point de vue pratique, lorsque la formule est compliquée.

La détermination numérique d'un effet, d'une condition ou d'une cause est toujours le résultat d'une comparaison entre deux grandeurs de même nature. On peut convenir de faire choix, arbitrairement en général, d'une grandeur à laquelle on comparera toutes les grandeurs de même nature; cette grandeur qui sert de terme de comparaison est une *unité*; le résultat numérique de la comparaison d'une grandeur à l'unité correspondante est la *mesure* de cette grandeur.

Il est possible quelquefois de construire matériellement une unité; cette représentation matérielle est un *étalon*.

Il faut, en général, des appareils spéciaux pour effectuer une comparaison, une mesure. Lorsque l'appareil donne la *mesure* par une simple lecture, on dit qu'il est *étalonné*.

IV. — En général, nous ne connaissons pas la cause réelle des phénomènes. Si, par exemple, nous savons avec certitude que les phénomènes acoustiques sont liés au mouvement vibratoire, nous ignorons quelle est la cause des phénomènes calorifiques, lumineux, électriques. Dans chacun des cas où la cause est inconnue, on a cependant imaginé un agent, dont la nature est plus ou moins bien définie, auquel on a attribué des propriétés telles qu'elles permissent d'expliquer le plus grand nombre possible de phénomènes, telle qu'on pût même en déduire les lois qui ont été déterminées. L'ensemble de tous les phénomènes que l'on peut rattacher à une même cause constitue une *théorie physique*.

L'établissement des théories physiques s'est fait progressivement et leur nombre n'est pas invariable. On a cherché à établir une théorie distincte pour chaque ensemble de phénomènes entre lesquels il paraissait possible d'établir quelque rapprochement; c'est, en somme, principalement en se basant sur nos sensations que la division a été faite. Au sens du toucher se rapportent plus ou moins directement la mécanique; au sens de l'ouïe la théorie acoustique; au sens de la chaleur (car il y a vraiment pour les sensations calorifiques un sens qui ne peut se confondre avec aucun autre) la théorie calorifique; au sens de la vue, la théorie optique; les phénomènes que produisent les aimants ne sont accusés par aucune sensation spéciale: ils ont constitué la théorie magnétique; de même les phénomènes électriques, que nous n'apprécions pas directement non plus, ont été réunis, lorsqu'ils ont été étudiés, dans la théorie électrique.

Cette division subsiste encore à peu près et elle sert de base à la séparation des chapitres de la physique. On sait cependant maintenant qu'il existe des relations intimes entre des phénomènes ressortissant à des théories différentes et il est impossible d'étudier séparément chacune de celles-ci. On a même reconnu qu'il n'y a pas nécessité de faire une théorie spéciale pour les phénomènes magnétiques que l'on peut faire rentrer dans la théorie électrique. La tendance actuelle paraît être nettement de diminuer le nombre de ces théories, en en fusionnant plusieurs

ensemble. Il nous paraît même probable que, l'acoustique mise à part, on arrivera à ne plus faire qu'une seule hypothèse générale assez vaste pour donner l'explication de tous les phénomènes physiques. On ne saurait, pour repousser cette idée, se baser sur ce que, les sensations que nous éprouvons étant différentes, il doit en être de même des causes qui leur ont donné naissance : on sait, en effet, qu'une sensation, et même, plus généralement, un effet quelconque ne dépend pas seulement de la nature de la cause qui le produit, mais des organes, appareils, corps sur lesquels cette cause a agi.

V. Mesure des grandeurs physiques. Unités. — La mesure d'une grandeur quelconque, effet, condition ou cause, étant le résultat de la comparaison de cette grandeur avec une autre de même nature choisie comme terme de comparaison, il en résulte qu'il doit y avoir autant d'unités qu'il y a de grandeurs physiques à mesurer. Aussi, pour chaque effet que nous étudierons, nous aurons à définir l'unité dont on a fait choix.

Le choix d'une unité est absolument conventionnel, arbitraire, et il n'existe pas de relations nécessaires entre les diverses unités. C'est ainsi que, dans les anciennes mesures françaises, et encore aujourd'hui dans les mesures anglaises, il n'existe aucune relation entre le pied, unité de longueur, et la livre, unité de poids. Mais, par là même que les unités sont arbitraires, on peut convenir d'établir entre elles certaines relations, et il est intéressant, utile, de le faire si l'on introduit ainsi quelque simplification dans les formules.

On reconnaît, par une analyse simple, qu'on peut simplifier les relations qui existent entre diverses grandeurs, par la suppression de coefficients numériques, en établissant des relations entre les unités servant à mesurer les grandeurs qui entrent dans cette formule. On comprend qu'il y ait intérêt à faire choix d'unités satisfaisant à cette condition. Un système d'unités ainsi choisies constitue ce qu'on appelle, assez improprement, un système d'*unités absolues*. (Le mot *absolu* n'a pas dans cette expression son sens véritable.)

Au point de vue géométrique, le système des unités du système décimal français est un système d'unités absolues.

Il est évident que, même dans un système de ce genre, il y a au

1. Soit par exemple à déterminer le poids d'eau contenu dans un parallélépipède rectangle. Soient a, b, c les longueurs en pieds du parallélépipède; son volume exprimé en pieds cubes est $a \times b \times c$: on sait d'autre part que 1 pied cube d'eau pèse 70,034 livres anciennes françaises. On a évidemment, pour le poids P :

$$P = 70,034 a \times b \times c.$$

Soient a', b', c' les longueurs des arêtes du parallélépipède exprimées en décimètres; son volume, exprimé en décimètres cubes, sera $a' \times b' \times c'$. Mais on sait que dans le système métrique français actuel, on a établi une relation simple entre l'unité de poids et l'unité de volume: un volume d'eau de 1 décimètre cube pèse 1 kilogramme. Le poids cherché P' exprimé en kilogrammes est donné par la formule:

$$P' = a' \times b' \times c',$$

plus simple que la précédente puisqu'elle ne contient pas de facteur numérique comme 70,034 qu'on trouverait dans toutes les évaluations analogues.

moins une unité qui est choisie arbitrairement tout à fait, les autres étant définies par rapport à celle-là. Une discussion des conditions générales des mesures physiques a conduit à faire choix de *trois* unités arbitraires, indépendantes les unes des autres, et qui servent à préciser les conditions dans lesquelles toutes les autres unités seront choisies.

Ces unités principales sont celles qui se rapportent à la mesure de la *longueur*, de la *masse* et du *temps*.

Ces trois premières unités sont dites *unités principales*. Les autres sont appelées *unités dérivées*.

VI. — A la suite du Congrès international des électriciens (1881), on a adopté les unités principales qui servent dans les recherches physiques et auxquelles se rattachent toutes les autres unités. Ce sont:

Unité de longueur: le centimètre.

Unité de masse: la masse d'un centimètre cube d'eau distillée (masse de 1 gramme d'eau), que l'on désigne sous le nom de gramme-masse, pour ne pas confondre avec le poids.

Unité de temps: la seconde.

Il a été entendu, d'ailleurs, que, pour la pratique, lorsque les unités définies dans ce système seraient trop grandes ou trop petites pour être d'un emploi commode, on pourrait prendre des multiples ou sous-multiples de celles-ci, le multiplicateur ou le diviseur employé étant 10 ou une puissance de 10.

Ce système d'unités a reçu le nom de système d'unités centimètre, gramme-masse, seconde et, par abréviation, système d'unités C. G. S.

Les multiples et sous-multiples des unités principales de longueur et de masse sont ceux définis dans le système métrique français: il est inutile de nous y arrêter. Disons toutefois que, en physique, on fait usage d'un sous-multiple plus petit que le millimètre: c'est le *micron*, qu'on représente par la lettre μ et qui vaut 0,001 de millimètre, soit 1 millionième de mètre.

Nous n'avons pas ici à définir les unités dérivées de surface, de volume et de poids; ce sont celles qui sont adoptées dans le système métrique français.

Les autres unités, unités dérivées, employées en physique, seront définies ultérieurement.

VII. **Détermination et représentation des lois physiques.** — Sans entrer dans le détail de la question, il est utile d'indiquer comment on peut arriver à trouver, puis à représenter une loi physique: la question est d'autant plus importante que les considérations générales que nous allons exposer sont également applicables à la physiologie et à toutes les sciences d'observation.

Soit un effet X qui dépende de diverses causes ou conditions a, b, c, d, \dots ; trouver la loi de ce phénomène, c'est déterminer une formule qui permette de calculer X quand on connaîtra a, b, c, d .

La complication serait très grande si, pour chercher la loi, on faisait varier à la fois ces dernières quantités; il faut simplifier le problème en s'arrangeant pour que les variations de X ne dépendent que des

variations d'une seule quantité à la fois. Pour cela on dispose les expériences de manière que les conditions $b, c, d...$ restent invariables, et l'on étudie les variations simultanées de X et de a . Supposons que l'on puisse déterminer la loi de ces variations.

On fera alors une autre série d'expériences dans lesquelles on maintiendra invariables $a, c, d...$ et l'on déterminera de même la loi qui relie les variations de X et de b .

On continuera ainsi une série de recherches qui donneront des lois partielles, pour ainsi dire. Il sera possible alors d'en déduire, par le raisonnement, la loi totale, la loi cherchée.

En somme, on ramène la question à chercher la relation entre deux quantités seulement, un effet et une cause unique.

Soit donc à chercher expérimentalement la loi d'un phénomène dans lequel intervient une cause a pour produire un effet X . Nous produirons ce phénomène en attribuant à a une série de valeurs différentes a_1, a_2, \dots, a_n et mesurant les valeurs correspondantes de X que nous désignerons par X_1, X_2, \dots, X_n . Il y a intérêt à ce que ces couples de valeurs $a_1, X_1, a_2, X_2, \dots$ soient aussi nombreux que possible; on diminuera l'importance des erreurs qui ne peuvent manquer d'exister dans toute mesure expérimentale.

Il est commode de dresser un tableau de ces valeurs, tableau à deux colonnes comprenant l'une les diverses valeurs de a , l'autre, en regard, les valeurs correspondantes de X . L'examen des nombres ainsi rapprochés permet quelquefois de reconnaître immédiatement la loi: il y a proportionnalité si les quotients des a par les X ont une valeur constante ou à peu près: il y a proportionnalité inverse si les produits des a par les X sont constants ou à peu près, etc. Il n'est pas toujours aussi facile de déterminer la loi, mais on peut y arriver par quelques tâtonnements, si elle est simple.

VIII. — Il peut être commode pour aider à trouver cette loi, ou pour la remplacer si on ne trouve pas une formule simple, de tracer une courbe représentant les résultats des expériences.

A cet effet, l'une des méthodes les plus employées consiste à tracer dans un plan deux droites ou axes perpendiculaires l'un à l'autre. Pour représenter les résultats d'une expérience on porte sur l'axe horizontal, à une échelle choisie d'avance, une longueur OP représentant la valeur de a_1 (fig. 1) par exemple; puis menant par P une parallèle à l'autre axe, on porte sur cette perpendiculaire, à une échelle déterminée (qui peut être

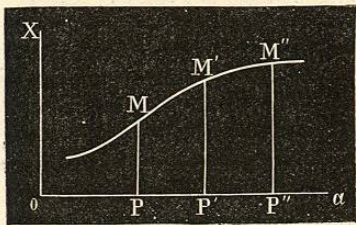


Fig. 1.

différente de la première) une longueur PM représentant la valeur X_1 . Le point M ainsi obtenu est le *point figuratif* de l'expérience considérée.

On opère de même pour chacune des autres expériences, dont les

couples de valeurs donnent les *coordonnées* des points figuratifs, les a étant les abscisses et les X les ordonnées dans l'exemple choisi. On a ainsi une série de points figuratifs.

Si on avait une infinité de points figuratifs de ce genre, leur ensemble formerait une courbe qui serait la *courbe représentative* de la loi cherchée. C'est cette courbe qu'il faut tracer bien qu'on n'en connaisse que quelques points.

On y arrive en remarquant que dans le cas des phénomènes bien connus, bien étudiés, les variations sont continues et non pas brusques, irrégulières. On admet qu'il en est ainsi pour la loi cherchée et on trace une courbe aussi régulière que possible passant par ces points ou près de ces points: la courbe devrait passer par les points mêmes si ceux-ci représentaient certainement les valeurs correspondant à une expérience; mais il n'en est pas toujours ainsi, car toutes les mesures peuvent être affectées d'erreur. Aussi ne doit-on pas hésiter à passer à côté d'un point si l'ensemble de la courbe gagne en régularité.

On comprend aisément que le tracé de cette courbe est d'autant mieux déterminé qu'il y a un plus grand nombre de points figuratifs.

L'examen de cette courbe permet de se rendre compte de toutes les particularités du phénomène, plus aisément que par la considération du tableau numérique qui a servi à la construction: on voit aisément comment varie l'ordonnée X , par exemple, quand on fait croître l'abscisse a . X croît si la courbe s'éloigne de l'axe horizontal; X décroît si la courbe se rapproche de cet axe; X , enfin, est constant si la courbe est parallèle à l'axe horizontal.

Ajoutons que, en appliquant à la courbe ainsi tracée les procédés de la géométrie analytique, on peut être mis sur la forme de la relation algébrique qui représente la loi cherchée.

Dans un grand nombre de circonstances, en physiologie notamment, on dispose les expériences de manière que la courbe représentative d'un phénomène s'inscrive directement par le fait même des expériences.

IX. **Mesure des grandeurs géométriques.** — Les mesures des grandeurs qui sont à comparer aux unités principales, les longueurs, les masses et les temps ne sont pas à proprement parler du domaine de la physique. Elles interviennent cependant si souvent dans les recherches physiques qu'il est indispensable d'indiquer rapidement les principaux moyens employés pour effectuer ces mesures.

Nous nous occuperons d'abord de la mesure des longueurs et nous y rattacherons celle d'autres grandeurs géométriques, les surfaces, les volumes et les angles.

Nous dirons ensuite quelques mots de la mesure du temps.

Il nous sera possible alors de résumer des connaissances qui sont absolument nécessaires, et qui se rattachent à la mesure des grandeurs cinématiques, dans lesquelles interviennent à la fois l'idée de longueur et l'idée de temps.

Nous aurons alors les notions suffisantes pour arriver à la définition de la masse et à l'indication de la mesure des masses. Nous résumerons