QC21
F73
1887

Biblioteca Central Magna
UANL
FONDO
A. B. PUBLICA DEL ESTADO
74831

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE

LIVRE I

MATIÈRE, MOUVEMENT ET FORCES

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

1. **Matière, corps, propriétés des corps.** — Il est impossible à l'homme d'exister sans être continuellement affecté par une infinité d'actions extérieures qu'exercent sur lui les objets et les êtres qui l'environnent. Tout ce qui produit ainsi, ou peut produire, sur ses organes un certain ensemble de sensations déterminées, les physiciens l'appellent *matière*.

Toute portion limitée de matière se nomme un *corps matériel*, ou simplement un *corps*.

Les *propriétés* des corps consistent dans leur faculté d'exciter en nous les sensations variées qui nous révèlent leur existence.

2. **Substances simples, substances composées.** — Un corps est caractérisé par l'ensemble de ses propriétés. Lorsque deux corps présentent les mêmes propriétés, on dit qu'ils sont formés *de la même substance*. En général, deux corps, pris au hasard, étant placés dans les mêmes circonstances, ne manifestent pas leur existence de la même manière; c'est qu'ils n'ont pas les mêmes propriétés : on dit alors que *leurs substances sont différentes*.

Certaines substances, en apparence très simples, telles que l'air, l'eau, le bois, sont en réalité composées de l'assemblage de deux

ou plusieurs autres substances distinctes. Il est possible de s'en assurer, soit en les décomposant en leurs éléments par des procédés scientifiques particuliers, dits procédés d'*analyse*, soit en les reconstituant de toutes pièces à l'aide d'autres procédés, dits procédés de *synthèse*. On les appelle *substances composées* ou *corps composés*. En appliquant les mêmes procédés d'analyse à d'autres corps, tels que le fer, le soufre, le diamant, on n'est jamais parvenu à retirer de chacun d'eux qu'une seule et même substance. On les appelle *substances simples* ou *corps simples*.

Le nombre des substances composées est nécessairement illimité : on peut en découvrir ou en créer tous les jours. Le nombre des substances simples est naturellement plus restreint, mais il est indéfini, car il n'est déterminé que par l'état de la science à chaque époque. On compte actuellement *soixante-six* substances simples.

3. **Phénomènes.** — Les corps manifestent leurs diverses propriétés dès qu'ils sont placés dans des circonstances favorables. Une pierre qu'on isole de tout support tombe vers le sol. L'eau, qui dans l'atmosphère existe normalement à l'état de vapeur, retombe sur la terre en neige ou en pluie, suivant la saison. Les métaux se dilatent ou se contractent, suivant qu'ils sont exposés à la chaleur ou au froid. La pierre d'aimant, qui est sans action sur une aiguille de cuivre, attire ou repousse l'aiguille aimantée, suivant l'extrémité qu'on lui présente. L'ambre ou le verre, préalablement frottés avec de la laine, attirent les barbes de plume et autres corps légers. Tous ces faits, bien constatés, sont appelés *phénomènes naturels*, ou simplement *phénomènes*.

Toute manifestation sensible des propriétés des corps est donc un *phénomène*. Ce mot n'a pas dans la science la même signification que dans le langage ordinaire, où il désigne un fait rare et surprenant.

4. **Phénomènes physiques, phénomènes chimiques.** — Tous les phénomènes que nous avons cités offrent ce caractère commun, d'être essentiellement *accidentels* et *passagers*. Ils ne subsistent pas au delà des circonstances qui les ont provoqués; ils ne laissent pas de trace sur les corps qui en ont été le siège. On les appelle *phénomènes physiques*.

Il en est d'autres, au contraire, dont la production amène des altérations profondes dans la constitution des corps. Si l'on chauffe fortement un bâton de craie, ce n'est plus une dilatation passagère qu'on observera, comme dans le cas d'une tige métallique. Le corps qui restera, après le refroidissement, n'aura plus du corps primitif que l'aspect extérieur. Il aura perdu les propriétés de la craie et pris celles d'un nouveau corps, la *chaux vive*. Ce corps était combiné, dans la craie, avec un autre corps, l'acide carbonique, élément volatil, que l'échauffement a eu pour effet de chasser. Tels sont tous les phénomènes que provoque l'application des procédés d'analyse et de synthèse dont nous avons parlé plus haut. On les appelle *phénomènes chimiques*.

5. **Objet de la physique.** — Si l'on s'en rapportait à l'étymologie du nom, la *physique* (de φύσις, nature) embrasserait l'étude de tous les phénomènes *naturels*. Mais cette science a restreint son objet, afin de le mieux étreindre et de l'approfondir davantage. Laissant aux diverses branches de l'*histoire naturelle* les phénomènes relatifs aux êtres organisés, animaux et végétaux, à l'*astronomie* les phénomènes célestes, à la *minéralogie* la classification et les propriétés des *corps bruts* ou *minéraux*, à la *géologie* l'histoire de la croûte terrestre et des phases successives de sa lente formation, à la *chimie* enfin les phénomènes chimiques, elle s'est exclusivement réservé les phénomènes physiques.

On peut dire que l'objet de la physique est de constater par des *observations* précises, d'étudier par des *expériences* exactes, de représenter par des *lois générales*, l'ensemble des phénomènes physiques, c'est-à-dire des modifications accidentelles et passagères qui, se produisant dans les corps sans en altérer la constitution intime, apparaissent comme les manifestations de causes générales et permanentes.

Ajoutons que la ligne de démarcation est beaucoup plus tranchée entre la physique et les sciences naturelles qu'entre la physique et la chimie. Ces deux sciences se touchent par bien des points, non seulement dans leur objet, mais dans leur méthode et dans leurs résultats généraux. On peut dire qu'elles se rapprochent et se pénètrent de plus en plus, au fur et à mesure de leurs progrès, et qu'elles tendent à devenir comme les deux branches d'une science unique, la *mécanique générale*. C'est pourquoi on les comprend souvent sous le nom commun de *sciences physiques*, par opposition aux *sciences naturelles*, qui désignent toutes les autres sciences de la nature.

6. **Méthode physique** ou **méthode expérimentale.** — Une science se définit aussi bien par sa méthode que par son objet. C'est pourquoi nous n'avons pu ci-dessus caractériser l'objet de la physique sans indiquer les traits principaux de sa méthode, à savoir l'*observation*, l'*expérimentation* et la *généralisation*. Ce sont comme les degrés successifs par où la physique s'élève jusqu'à la complète connaissance de son objet. Tels sont aussi les caractères de la méthode expérimentale, qui se confond avec la méthode phy-

sique. C'est l'application rigoureuse de cette méthode qui a placé la physique au premier rang des sciences de la nature.

Observer, c'est examiner avec soin un phénomène dans les circonstances ordinaires de sa production et déterminer avec précision ces circonstances, quelque complexes qu'elles soient.

Expérimenter, c'est observer le même phénomène dans des conditions spéciales de simplicité, préparées à l'avance, de manière à isoler successivement chacune des circonstances qui l'accompagnent ordinairement en bloc, et à en découvrir la liaison avec le phénomène.

Généraliser, c'est rattacher toutes les formes d'un même phénomène ou tous les phénomènes analogues à une cause abstraite unique, d'où l'on peut ensuite les déduire par le raisonnement ou par le calcul, comme des conséquences nécessaires d'un même principe.

7. **Lois physiques, théories physiques.** — L'application de la méthode physique conduit à la détermination des *lois physiques* et à la conception des *théories physiques*. Un seul exemple suffira pour nous montrer la marche de la science.

L'observation la plus vulgaire nous révèle l'existence du phénomène de la chute des corps. Une pierre, ou tout autre corps pesant, se précipite vers le sol dès qu'on ne la soutient plus : donc tous les corps pesants tombent. Rien de plus facile à constater avec précision. Mais comment les corps tombent-ils? Leur mouvement est-il également rapide à toutes les époques de leur chute? Si la rapidité de chute n'est pas constante, comment varie-t-elle avec les hauteurs parcourues? Tout autre corps pesant abandonné à lui-même dans les mêmes conditions que la pierre prendrait-il le même mouvement? L'air atmosphérique traversé par le corps tombant ne s'oppose-t-il pas à sa chute? ne le retarde-t-il pas, et dans quelle proportion? Toutes ces particularités, essentielles à connaître pour savoir précisément *comment les corps tombent*, ne peuvent être découvertes que par l'expérience : par exemple, on portera successivement le corps pesant à des hauteurs de plus en plus grandes, et l'on mesurera les durées de ses chutes successives; ou bien on le fera tomber dans un tube vide d'air, de manière à supprimer la résistance de l'atmosphère.

On arrivera ainsi à une détermination exacte du *mode* du phénomène, qui permettra d'en prédire tous les détails pour un cas quelconque : cette détermination est ce qu'on appelle sa *loi physique*. Ainsi la détermination de toutes les circonstances que nous venons d'énumérer pour les corps qui tombent constitue les *lois de la chute des corps*, découvertes par Galilée.

Tantôt la loi physique consiste dans l'énoncé d'un fait général, comme cette première loi de la chute des corps : *Dans le vide, tous les corps tombent avec la même rapidité;* tantôt elle consiste dans une relation numérique entre un phénomène et l'une des circonstances qui peuvent influer sur lui, comme dans cette loi de Galilée : *Les espaces parcourus par un corps qui tombe librement dans le vide sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir.*

Une *théorie physique* est constituée par l'ensemble des lois qui se rapportent à une même classe de phénomènes. C'est ainsi que la théorie de l'*attraction universelle* comprend non seulement les lois de la chute des corps à la surface de la terre, mais celles de la chute des planètes par rapport aux astres qui les font graviter autour d'eux, c'est-à-dire les lois de leurs mouvements.

Toutefois cette dénomination s'applique aussi quelquefois, dans un sens plus restreint, à l'explication de certains phénomènes particuliers. Par exemple, on dit : la *théorie de la rosée*, la *théorie de l'arc-en-ciel*, etc.

CHAPITRE II

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA MATIÈRE

8. **États physiques des corps.** — La matière frappe nos sens tout d'abord par la diversité de ses aspects. Elle se manifeste à nous sous trois formes ou trois états bien distincts, qu'on appelle *états physiques* des corps. Ce sont l'*état solide*, l'*état liquide* et l'*état gazeux*.

A l'état solide, les corps ont une forme et un volume bien déterminés. Tels sont le bois, les pierres, les métaux. On les appelle *corps solides*, ou simplement *solides*. A l'état liquide, les corps ont encore un volume déterminé, mais ils n'ont pas de forme propre : ils prennent celle des vases qui les renferment. L'eau est le type de ces corps. On les appelle *corps liquides*, ou simplement *liquides*. A l'état gazeux, les corps n'ont plus ni forme ni volume propres; ils tendent constamment à occuper tout l'espace qui leur est ouvert. Tel est l'air atmosphérique. On les appelle *gaz*.

Dans les solides, les parties sont adhérentes les unes aux autres, et l'on ne peut les séparer qu'en développant un effort plus

ou moins considérable. Ces corps offrent une résistance plus ou moins grande non seulement à la rupture, c'est-à-dire à la séparation complète de leurs parties, mais aussi aux simples déplacements de celles-ci, amenant des déformations permanentes ou transitoires.

Les gaz se comportent d'une manière tout opposée. Comme si leurs parties se repoussaient mutuellement, on ne peut les contenir dans un espace limité qu'en y appliquant de l'extérieur un effort plus ou moins grand. Et si l'air atmosphérique qui nous entoure n'offre pas cette tendance, c'est qu'il est lui-même continuellement comprimé par la masse énorme de l'atmosphère dont il supporte le poids. Mais qu'on mette une vessie dégonflée et fermée dans un espace vide d'air (sous le récipient d'une machine pneumatique, on la verra se gonfler rapidement par suite de l'expansion de la faible quantité de gaz qui y restait. Cette propriété caractéristique de l'état gazeux est appelée *expansibilité*.

Enfin l'état liquide est un état intermédiaire entre les deux autres. Les particules liquides ne paraissent ni s'attirer comme les particules solides, ni se repousser comme les particules gazeuses; elles peuvent glisser aisément les unes sur les autres, de manière à pouvoir se mélanger sans effort et à changer de forme à volonté sans changer de volume.

Remarques. — 1° Cette mobilité des particules, commune aux liquides et aux gaz, leur a fait donner le nom commun de *fluides* (de *fluere*, couler).

2° Cette différence d'états physiques est un effet de la température des corps. Une même substance, telle que l'eau, peut exister successivement à ces trois états. La plupart des corps y ont été déjà amenés, avec des difficultés plus ou moins grandes. On peut affirmer que tous les corps seront un jour préparés et maintenus à volonté à l'état de solides, de liquides ou de gaz.

3° Remarquons enfin que les trois états physiques ainsi définis sont des types, reliés entre eux par une série continue d'états intermédiaires. Ainsi les liquides visqueux, comme les *pâtes* et les *gelées*, passent graduellement de l'état liquide à l'état solide. Nous verrons plus tard que les gaz, à un certain degré de compression, ne diffèrent pas sensiblement des liquides.

9. **Classification des propriétés de la matière.** — La plupart des propriétés qui nous révèlent, par l'intermédiaire des phénomènes, l'existence de la matière, sont *accidentelles* ou *particulières*. Celles qui définissent les états physiques, la ténacité, la fluidité, l'expansibilité, en sont un exemple; de même celles qui caractérisent telle ou telle substance, comme la transparence, la coloration, la vertu magnétique, etc. Certains corps possèdent ces propriétés à l'exclusion des autres corps, et ils ne les manifestent eux-mêmes que dans certaines circonstances et sous certaines conditions. Ce sont là des *propriétés particulières*, et elles ne peuvent nullement servir à caractériser l'essence même de la matière.

D'autres propriétés sont appelées propriétés *générales*, parce qu'elles sont communes à tous les corps. Mais elles ne sont pas *essentielles* à la matière, car on pourrait concevoir une matière qui n'en fût pas douée. Ce sont la *compressibilité* et la *divisibilité*, auxquelles on joint souvent, mais à tort (nous dirons pourquoi), la *porosité*.

On admet généralement deux *propriétés essentielles* de la matière, qui sont comme les conditions de la matérialité : ce sont l'*étendue* et l'*impénétrabilité*. Toutefois elles ne pourraient pas servir à une définition philosophique correcte de la matière, car on peut les rattacher à une autre propriété essentielle et seule primordiale, l'*inertie*.

10. **Inertie.** — On ne peut concevoir l'existence de la matière indépendamment de l'espace qui la contient. En même temps que nous percevons un corps, nous percevons aussi les corps environnants, ainsi que les rapports de distance qui existent entre eux. Suivant que ces rapports sont variables ou constants, le corps nous paraît être en *mouvement* ou en *repos*. Ces deux termes sont tellement clairs par eux-mêmes, que nous en obscurcirions le sens en essayant de les définir.

Or, tandis que les êtres animés se meuvent ou s'arrêtent par l'effet d'une volonté intérieure, on constate que *tous les corps matériels* sont *inertes*, c'est-à-dire sont dépourvus de spontanéité, soit pour se mouvoir, soit pour s'arrêter. L'*inertie* est donc la *résistance* qu'opposent tous les corps soit *au mouvement*, soit *au changement de mouvement*.

Cette résistance est plus ou moins grande, suivant la *quantité de matière* que le corps contient sous un volume déterminé. L'inertie est donc une propriété susceptible de mesure. Nous la mesurerons plus tard et nous en définirons la mesure sous le nom de *masse*.

11. **Étendue. Impénétrabilité.** — On appelle *étendue* la propriété qu'ont tous les corps d'occuper une portion de l'espace, *limitée* et *figurée*, c'est-à-dire douée d'un volume et d'une forme déterminés.

L'*impénétrabilité* des corps consiste en ce que deux portions distinctes de matière ne peuvent jamais s'identifier l'une avec

l'autre, de manière à *coexister* dans un même lieu de l'espace.

Nous pouvons acquérir d'un seul coup la notion de ces deux propriétés. Supposons que j'allonge le bras dans l'obscurité et qu'il y rencontre un obstacle qui l'empêche d'avancer. Ma main se promène sur cet obstacle, et je constate qu'il est limité, c'est-à-dire qu'il finit à certains endroits et commence à d'autres, et qu'autour de lui l'espace est libre. J'en conclus que cet obstacle existe, en dehors de moi, dans une certaine portion de l'espace d'où son existence m'exclut, et d'après cela je l'appelle *un corps*. Le premier de ces phénomènes me donne la notion de l'impénétrabilité, le second celle de l'étendue. On voit donc que celle-ci peut être considérée comme une conséquence de celle-là. On voit aussi que l'impénétrabilité peut être regardée comme une des formes de la *résistance* ou de l'*inertie* de la matière. C'est pourquoi nous présentons l'*inertie* comme la seule propriété vraiment essentielle de la matière.

12. **Compressibilité.** — C'est une propriété générale de la matière qu'on définissait autrefois, conformément à l'étymologie du nom, *la propriété qu'ont tous les corps de pouvoir se réduire à un moindre volume par l'effet de la pression*. Mais il est plus juste et plus général de dire que c'est *la propriété qu'ont tous les corps de changer de volume soit par l'effet d'un effort mécanique, soit par l'action de la chaleur*.

On doit regarder le volume extérieur des corps comme une fonction de la pression et de la température, c'est-à-dire comme une grandeur qui varie en même temps que ces deux circonstances, et qui reprend la même valeur quand celles-ci redeviennent les mêmes, à la condition toutefois que ni l'effort exercé, ni l'élévation de température, n'aient dépassé une certaine limite.

La compressibilité est très variable d'un corps à un autre, et surtout d'un état physique à un autre. Elle est très grande pour tous les gaz, beaucoup moindre, et à des degrés divers, pour les solides, et presque nulle pour les liquides, qu'on a longtemps considérés comme des *fluides incompressibles*. Mais nous verrons plus loin qu'on a pu constater par l'expérience et mesurer avec précision la compressibilité des liquides.

Remarques. — 1° *Dilatabilité*. — Lorsque la compressibilité résulte de la variation de température, et non de la variation de pression, on lui donne plutôt le nom de *dilatabilité*.

2° *Élasticité*. — A la compressibilité on doit rattacher l'*élasticité*, propriété que possèdent la plupart des corps comprimés, de reprendre leur forme et leur volume primitifs dès que la cause de compression a cessé d'agir.

13. **Divisibilité.** — On appelle ainsi la propriété que possèdent tous les corps de pouvoir être divisés en particules *indéfiniment petites*, sans perdre pour cela aucune des propriétés caractéristiques de leur substance.

On peut opérer cette division sur les solides par un grand nombre de procédés que nous fournissent les arts mécaniques et les sciences physiques. Ainsi, l'on souffle des objets en verre de 1 *micron*[1] d'épaisseur; on étire des fils de platine de $0^{\mu},8$ de diamètre; on bat des feuilles d'or de $0^{\mu},1$ d'épaisseur; on recouvre des fils d'argent d'une couche d'or qui ne dépasse pas $0^{\mu},004$.

Les liquides volatils et certaines substances colorantes ou odorantes nous offrent des exemples non moins étonnants de divisibilité. On a calculé que le diamètre moyen des *globules d'eau* qui constituent les nuages prêts à se résoudre en pluie varie de 23 μ à 56 μ : de sorte que le nombre de ces globules que contient une goutte d'eau de 1 millimètre de diamètre varie entre 5000 et 50000. Un cent-millième de centimètre cube de *rosaniline* suffit pour colorer sensiblement 1 litre d'alcool. 5 centigrammes de *musc* suffisent pour répandre une odeur sensible pendant plusieurs années dans un appartement où l'air est fréquemment renouvelé.

Tous ces exemples de division sont peu de chose à côté de ceux que la nature nous fournit par milliers dans le monde microscopique des cellules organisées et des infusoires. La goutte de sang humain qui peut être suspendue à la pointe d'une aiguille contient plus d'un *million* de globules rouges sphériques. Si l'on regarde au microscope une gouttelette d'eau corrompue, ou de bouillon fermenté, ou de vinaigre altéré, on voit une multitude d'animalcules s'y mouvoir en tous sens, avec une extrême vivacité. Les uns ont des espèces de nageoires qu'ils agitent sans cesse, d'autres ont la tête armée de touffes de cils vibratiles, d'autres encore ressemblent à de longues anguilles qui serpentent en avant ou en arrière. On en voit dont le corps est si transparent, que l'on y découvre des vaisseaux qui battent comme notre cœur et dans lesquels coulent des liquides colorés. Quelle doit être la prodigieuse finesse et l'inconcevable ténuité des éléments anatomiques dont sont construits tous les organes de forme déterminée qui servent au mouvement, à la respiration et aux autres fonctions vitales de ces petits êtres!

14. **Atomes.** — Tous ces exemples prouvent que la divisibilité de la matière est *indéfinie*, puisqu'elle peut être réalisée jusqu'à

1. On désigne habituellement par *micron* le millionième du mètre, ou le millième de millimètre; on le représente par la lettre μ.

un degré où les particules échappent à la perception de nos sens; mais est-elle pour cela *infinie*, c'est-à-dire peut-elle être poussée au delà de toute limite?

Si l'on veut parler d'une divisibilité *abstraite* et *géométrique*, il n'y a aucun doute qu'elle ne soit illimitée. En effet, quelque petite qu'on suppose une parcelle de matière, on pourra toujours la *supposer* divisée en deux moitiés, puis chacune de ces moitiés divisée en deux autres, et ainsi de suite jusqu'à l'infini. Mais s'il s'agit d'une divisibilité *réelle* et *physique*, nous ne pouvons rien prononcer d'absolu, puisque aucun des procédés dont nous disposons actuellement ne nous permet de pousser l'expérience au delà d'un certain degré de division, assigné par le degré d'acuité de nos sens et le degré de précision de nos instruments de mesure.

Au défaut des physiciens, les métaphysiciens s'emparèrent, dès la plus haute antiquité, de cette intéressante question. Deux écoles de philosophie, également célèbres par l'autorité de leurs adhérents, en ont donné des solutions exactement opposées, qu'elles appuyaient d'ailleurs sur des arguments philosophiques d'une égale insuffisance. L'une d'elles, fondée par Anaxagore de Clazomène (450 ans avant J.-C.), soutenait que la matière est *homogène*, *continue* et *divisible à l'infini* : c'est l'école de Platon, d'Aristote, des néoplatoniciens d'Alexandrie et de tout le moyen âge, à laquelle se sont ralliés Descartes, Kant et Schelling. L'autre école, fondée par Leucippe (500 ans avant J.-C.), continuée dans l'antiquité par Épicure et par Lucrèce, et dans les temps modernes par Gassendi, admettait, au contraire, que la matière est formée d'une *multitude de particules*, *extrêmement petites*, *indivisibles* et *insécables*, qu'on appelait *atomes*, à cause même de cette indivisibilité

C'est cette théorie, dite *théorie atomistique*, qui a prévalu de nos jours, grâce aux arguments puissants — d'ordre expérimental — que la chimie moderne y a apportés. On admet donc, dans la science actuelle, que *la divisibilité de la matière n'est pas infinie*. En supposant qu'on employât des procédés de division beaucoup plus parfaits que ceux dont on dispose aujourd'hui, on serait arrêté à une limite infranchissable, l'*atome*, qu'on peut concevoir comme un volume de figure déterminée, impénétrable, incompressible, indilatable, indéformable.

15. **Molécules.** — D'après cette définition de l'*atome*, on ne saurait lui attribuer aucun des éléments de la sensation que nous procure la présence des corps. Ceux-ci ne sont pas constitués par les atomes eux-mêmes, mais par certaines *agglomérations d'atomes*, qu'on appelle *molécules*.

Les molécules seules sont quelque chose de semblable aux corps, elles en partagent les propriétés, et elles n'en diffèrent que par les dimensions. Par les rapports de position qu'elles ont entre elles, les molécules déterminent ce que nous appelons le *volume* et la *forme* des corps, tandis que les rapports de position qu'ont entre eux les atomes dont elles sont formées différencient ces mêmes corps au point de vue de la *substance*, au point de vue des *propriétés chimiques*.

D'ailleurs la molécule pas plus que l'atome n'est perceptible à nos sens ou à nos instruments de mesure.

Un grand nombre de faits ont amené plusieurs physiciens à des évaluations suffisamment concordantes du diamètre moyen des molécules. On admet qu'il est compris entre 1 *millième* et 1 *dix-millième* de *micron*. Et comme nos plus puissants microscopes nous font apercevoir au plus le quart de micron, il faudrait que le diamètre des molécules fût de 250 fois à 2500 fois plus grand pour devenir visible au microscope.

16. **Pores moléculaires.** — On doit admettre que les corps les plus durs, les plus tenaces, les plus compacts ne sont pas formés de matière absolument continue; car, si cette continuité existait, il serait impossible d'expliquer un grand nombre de faits qui semblent en contradiction avec l'impénétrabilité de la matière. Comment le même corps pourrait-il se contracter ou se dilater par la variation de pression ou de température? Comment les sels pourraient-ils se dissoudre dans l'eau, le mercure s'insinuer dans la masse de certains métaux? Comment ces dissolutions, ces mélanges, pourraient-ils s'opérer sans augmentation apparente du volume total, et même parfois avec une contraction apparente (54 volumes d'alcool et 50 volumes d'eau ne donnent que 100 volumes de mélange)? Il faut donc admettre que les molécules ne sont pas *juxtaposées* dans les corps, mais qu'elles sont séparées entre elles par des intervalles appréciables, susceptibles d'augmenter ou de diminuer sous l'influence de causes extérieures.

Ce sont ces intervalles qu'on a appelés *pores moléculaires*. Ils sont du même ordre de petitesse que les molécules elles-mêmes, et l'on a pu, par les mêmes considérations, se faire une idée approximative de leurs dimensions. Dans les corps solides et liquides, ils sont de l'ordre des *millièmes de micron*, de telle sorte qu'un cube de 1 millimètre de côté (une tête d'épingle) contiendrait un nombre de molécules égal au cube de 1 million, c'est-à-dire un nombre représenté par l'unité suivie de 18 zéros. Dans les gaz, où le nombre des molécules est beaucoup moindre (de 5000 à 16000 fois environ), la grandeur moyenne des *pores moléculaires* est, à la

pression et à la température ordinaires, de 3 à 4 millièmes de micron, et l'on trouve encore, dans ces conditions, 20 trillions de molécules par centimètre cube de matière gazeuse !

17. **Porosité. — Pores sensibles. — Perméabilité.** — Les pores moléculaires, de même que les molécules, échappent donc absolument à l'appréciation de nos sens. On ne peut donc pas considérer l'existence de ces pores, qu'on appelle quelquefois *porosité*, comme une propriété générale de la matière, au même titre que la compressibilité ou la divisibilité. La *porosité* est plutôt une sorte d'hypothèse sur la constitution de la matière, corrélative et complémentaire de l'hypothèse des molécules.

Il ne faut pas confondre les pores moléculaires avec les lacunes naturelles ou accidentelles que présentent certains corps, vulgairement appelés *poreux*, tels que les éponges, la pierre ponce, etc. Ces interstices physiques, souvent visibles à l'œil nu ou au microscope, toujours susceptibles d'être révélés par l'expérience, doivent être appelés *pores sensibles*, par opposition aux *pores insensibles* qui séparent les molécules. L'existence de ces pores sensibles, dans les corps qui en sont doués, doit être appelée *perméabilité*, car elle se manifeste toujours chez eux par la propriété de se laisser plus ou moins aisément traverser aux liquides ou aux gaz.

L'expérience de la *pluie de mercure dans le vide*, que nous verrons parmi les applications de la machine pneumatique, nous prouvera la *perméabilité* d'une peau de chamois, d'une rondelle de cuir, d'un disque de bois débité perpendiculairement aux fibres. La perméabilité des métaux a été démontrée depuis longtemps par Bacon : ayant comprimé une sphère creuse de plomb remplie d'eau et hermétiquement fermée, il fit suinter l'eau à travers les parois. Les académiciens de Florence répétèrent cette expérience, plus de cinquante ans après, sur une sphère d'argent.

La perméabilité peut s'accroître ou même ne se manifester que par l'élévation de température. Ainsi l'acier devient perméable, à chaud, pour l'hydrogène, qui ne le pénètre pas à la température ordinaire. De même les poêles en fonte se laissent traverser par les gaz délétères de la combustion, lorsque leurs parois sont portées au rouge.

Toutefois certains corps, en particulier le verre, ne manifestent dans aucune circonstance cette perméabilité, soit pour les liquides, soit pour les gaz. On ne peut donc pas la considérer comme une *propriété générale* de la matière.

18. **Éther.** — Les anciens philosophes atomistes complétaient leur système sur la constitution de la matière en supposant que

les atomes sont *en état de mouvement continuel* et qu'ils sont isolés les uns des autres par des intervalles *absolument vides*. Les physiciens actuels, qui ont adopté la première hypothèse, en la développant, ont dû rejeter celle-ci.

Les intervalles ou pores moléculaires *ne sont pas vides :* ils sont remplis par un milieu subtil, *infiniment plus ténu* que les gaz les plus légers, *absolument inerte* et *parfaitement élastique*, qu'on appelle l'*éther*. Ce corps nouveau, qui constitue comme un quatrième état physique de la matière, pénètre intimement, imbibe en quelque sorte tous les autres corps, solides, liquides ou gazeux. Il ne se trouve pas seulement dans le voisinage de la terre, comme l'atmosphère qui y est retenue par la pesanteur ; il remplit les espaces interplanétaires aussi bien que les pores intermoléculaires, et il sert d'intermédiaire universel entre toutes les parties de l'univers. Il n'est possible ni de le toucher, ni de le voir, ni de le percevoir directement par le moyen des sens ; mais il est impossible, dans l'état actuel de la science, de n'en point admettre l'existence.

19. **Mouvements moléculaires de la matière.** — L'inertie et l'élasticité suffisent pour caractériser complètement l'éther, dont l'unique fonction est de recueillir le mouvement des corps et de le propager dans l'univers sans aucune déperdition. Car tous les corps de la nature, même ceux qui paraissent complètement en repos, sont perpétuellement assujettis à des mouvements intérieurs très violents, qui ont pour siège les molécules.

C'est dans les gaz que cet état d'agitation incessante est le mieux caractérisé. Leurs molécules sont animées de mouvements tels, qu'elles se repoussent et que chaque molécule s'envole, indépendante des autres, jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle contre lequel elle se réfléchit, pour voler de nouveau dans une autre direction. Si une masse gazeuse se trouvait isolée dans l'espace, sans être soumise à aucune résistance extérieure, les molécules se sépareraient et s'étendraient à l'infini : telle est la cause de l'*expansibilité*, propriété caractéristique de l'état gazeux. Lorsque la masse est enfermée dans un vase, ces molécules heurtent continuellement les parois en leurs divers points, de sorte que ces parois doivent offrir une certaine résistance pour ne pas céder à ces chocs répétés. C'est le bombardement opéré par cette multitude de petits projectiles contre la paroi enveloppante qui constitue la *tension* ou *force élastique* des gaz, conséquence nécessaire et mesure de leur expansibilité.

Amplitude des mouvements moléculaires. — On a pu évaluer l'ordre de grandeur de ces mouvements par les mêmes procédés, et avec la même

approximation, que celui des molécules. Ainsi, dans l'*air atmosphérique*, chaque molécule, dont le diamètre moyen est 0μ,0005, est animée d'une vitesse de translation de 250 mètres par seconde; elle est choquée par les autres et déviée de sa direction 5 milliards de fois par seconde; enfin son trajet moyen entre deux chocs consécutifs, ou, comme on dit, sa *moyenne de libre parcours*, est d'environ 0μ,1. Dans le *gaz hydrogène*, la vitesse moyenne des molécules est environ quatre fois plus grande, et le nombre des collisions est double.

Dans les *solides*, les molécules sont toujours animées de très grandes vitesses; mais elles sont tellement solidaires les unes des autres, qu'elles ne peuvent quitter entièrement leurs positions respectives : elles ne peuvent qu'exécuter des mouvements de va-et-vient ou de circonvolution, des mouvements vibratoires renfermés dans des limites déterminées. L'amplitude de ces oscillations est bien au-dessous de la limite de perceptibilité.

Dans les *liquides*, la vitesse des molécules et leur moyenne de libre parcours sont moindres que dans les gaz, mais encore beaucoup plus grandes que dans les solides. Les molécules isolées n'occupent plus, comme dans ceux-ci, des positions déterminées auxquelles elles reviennent toujours pendant leurs mouvements. Celles qui occupent une position superficielle peuvent aisément se séparer des autres. Celles qui sont engagées dans la masse sont astreintes à une sorte d'enchevêtrement qui, sans nuire à la mobilité relative, les maintient dans un espace déterminé.

20. **Constitution de la matière.** — Ces notions d'atomes, de molécules, de pores, de mouvements moléculaires et d'éther nous permettent maintenant de définir la matière, ou les portions de matière qu'on appelle des *corps*, tels que les conçoivent actuellement les physiciens. Sans nous arrêter à la question d'unité ou de multiplicité de *substance*, qui est du ressort de la chimie, nous dirons que *les corps sont des agrégats de molécules, séparés entre eux par des intervalles remplis d'éther, et en état perpétuel de mouvement.*

Cette chose, dont l'image renversée se peint sur notre rétine, et que nous appelons un *corps*, n'est donc pas l'unité et la réalité que nous croyons percevoir : ce n'est que le volume apparent formé par les molécules et leurs intervalles moyens, l'enveloppe idéale au dedans de laquelle elles s'agitent.

La *continuité* que paraît avoir la surface des corps et dont l'idée nous est donnée par les sens de la vue et du toucher, est donc une *pure illusion*. Elle est due à ce que les angles visuels sous-tendus par les innombrables éléments des corps sont trop petits pour affecter individuellement notre œil. Nous amplifions, il est vrai, ces angles avec le secours du microscope, mais seulement jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle la confusion persiste [1]. La même illusion se produit lorsque nous regardons au loin une troupe d'hommes ou d'animaux, par exemple un régiment en train de manœuvrer, ou bien un vol d'oiseaux migrateurs, ou simplement une nuée de moucherons. Les intervalles entre les éléments de ces groupes disparaissent complètement par suite de leur grande distance, ainsi que les variations incessantes apportées dans ces intervalles par les mouvements individuels : en sorte que nous n'apercevons qu'une tache sombre, d'une seule pièce, et en apparence continue, pareille aux corps que nous avons sous la main et devant les yeux.

1. Jouffret, *Introduction à la théorie de l'énergie.*

21. **Anciens fluides impondérables. — Anciens agents physiques. — Physique nouvelle.** — Les premiers essais d'explication des phénomènes naturels se trouvent dans les mythologies et les livres sacrés des anciens peuples. Ce sont les prêtres et les fondateurs de religions qui furent les premiers physiciens des sociétés naissantes, comme ils en furent les premiers législateurs. Ils ne firent pas d'ailleurs de grands efforts ni d'attention pour observer les faits, ni de raisonnement pour les expliquer : c'est de leur imagination qu'ils tirèrent presque toute leur science. A chaque effet naturel constaté ils attribuaient une cause surnaturelle : ils inventaient une divinité spécialement chargée de le produire. C'est ainsi que furent créés par les hommes les innombrables dieux du paganisme, dieux du feu, de la lumière et des ténèbres, du soleil et de la lune, de la mer, des fleuves et des rivières, des vents et des saisons, de la pluie et du beau temps.

Ce besoin inné du surnaturel, cet instinct du merveilleux se perpétuèrent à travers l'antiquité païenne jusqu'au moyen âge. Il prit alors une forme nouvelle, et il provoqua les pratiques occultes des alchimistes, leurs formules cabalistiques et leurs bizarres conceptions sur la constitution des corps. On peut en suivre l'influence jusque dans les temps modernes, malgré les progrès des sciences expérimentales, et en signaler la dernière manifestation dans cette méthode, ou plutôt cette habitude d'explications *à priori*, qui a prévalu jusqu'aux premières années de ce siècle, et qui a produit le *phlogistique* des anciens chimistes et les *fluides impondérables* ou *agents physiques* des anciens physiciens

On attribuait les différents phénomènes qu'on observe, non plus à des personnes, mais à des entités particulières, qu'on supposait dénuées de poids et qu'on appelait *fluides impondérables*. Chaque catégorie d'effets avait pour cause un fluide impondérable et quelquefois deux. On créa ainsi le *fluide lumineux*, le *calorique* ou *fluide calorifique*, les *électricités résineuse* et *vitrée* ou *fluides électriques positif* et *négatif*, les deux *magnétismes* ou *fluides magnétiques*, boréal et austral. Mais de même que les progrès de la raison humaine avaient fait disparaître les êtres qui réglaient à volonté l'apparition des phénomènes naturels, de même le développement des sciences expérimentales a montré l'inutilité de tous ces fluides pour expliquer les lois si variées de la nature et la possibilité de ramener celles-ci à quelques principes fondamentaux.

Les seules hypothèses que l'expérience nous a conduits à faire sur la constitution de la matière contiennent en germe la théorie complète de ses propriétés. Si les mouvements moléculaires, dont nous avons admis l'existence, nous échappent individuellement par suite de leur extrême petitesse, ils affectent nos sens d'une autre manière, par suite de leur grand nombre et de leur accumulation. Transmis par l'éther, milieu où nagent toutes les molécules, comme des flotteurs dans la mer, ils nous font éprouver, suivant leur amplitude ou leur vitesse, la sensation de *chaleur* ou la sensation de *lumière*. Ce sont eux également qui produisent vraisemblablement — mais sous une forme qui n'a pas encore été découverte — les phénomènes si curieux et si variés de l'*Électricité* et du *Magnétisme*. C'est à eux enfin qu'il faut rapporter les attractions qui paraissent s'exercer entre tous les corps, soit aux distances infiniment petites des molécules, sous le nom de *Forces moléculaires*, soit aux distances infiniment grandes des astres, sous le nom de *Pesanteur* et de *Gravitation universelle*.

22. **Divisions de la physique.** — L'objet final de la Physique étant « la matière en mouvement », l'enseignement de la Physique doit débuter par la science abstraite du mouvement, c'est-à-dire par la *Mécanique*. Nous commencerons donc par exposer les notions fondamentales de cette science, en renvoyant pour les détails aux ouvrages spéciaux. Conformément à l'esprit du programme d'admission à l'École Polytechnique, nous appliquerons tout d'abord les principes de la Mécanique à l'étude du mouvement des corps pesants (*Pesanteur*) et à celle de l'équilibre des liquides (*Hydrostatique*) et des gaz (*Pneumatique*), soumis à l'action de la *pesanteur*. L'*Acoustique*, ou science du son, nous fournira ensuite un premier exemple très net de mouvements vibratoires de la matière qui engendrent des phénomènes physiques et des phénomènes physiologiques. L'étude de ces vibrations sonores, qu'on peut aisément rendre accessibles aux sens, nous conduira logiquement à l'étude des vibrations lumineuses (*Lumière*) et des vibrations calorifiques (*Chaleur*), qu'on ne peut ni voir, ni toucher d'aucune manière et dont l'existence ne nous est démontrée que par le raisonnement. Nous exposerons ensuite les faits fondamentaux du *Magnétisme* et de l'*Électricité*, sciences nouvelles, ou plutôt renouvelées depuis peu, qu'on ne peut encore rattacher naturellement aux autres parties de la Physique que par la loi de la *Conservation de l'énergie*, principe fondamental de la Mécanique moderne. De plus, après l'étude de la Pesanteur, qui nous aura familiarisés avec les phénomènes physiques, nous intercalerons l'exposé du *Système de mesures*, dites *absolues*, récemment établi

par un Congrès international de physiciens, ainsi que la description des principaux instruments de mesure, dits *Instruments de précision*, employés en physique. Enfin, après la *Pneumatique* nous exposerons les faits principaux de l'*Hydrodynamique* (écoulement des liquides) et de la *Capillarité*, ceux-ci comme une sorte d'exception et ceux-là comme un appendice aux conditions d'équilibre des fluides pesants. Quelques notions de *Météorologie* (science des phénomènes atmosphériques) termineront ce traité.

CHAPITRE III

MÉCANIQUE

NOTIONS DE CINÉMATIQUE.

23. **Divisions de la mécanique.** — La *Mécanique* a pour objet l'étude du mouvement et des causes du mouvement. On appelle *forces* toutes les causes de mouvement, quelles qu'en soient la nature et l'origine.

Le mouvement et les forces sont des phénomènes physiques. C'est donc dans la nature, et non dans l'imagination, qu'il faut chercher les lois fondamentales de la mécanique ; c'est par l'observation, aidée de l'induction, et non par le raisonnement seul, qu'on a pu les découvrir. Mais, ces principes une fois posés, toute la science s'en déduit par l'application rigoureuse de la méthode géométrique. C'est donc à juste titre qu'on considère la mécanique comme une branche des sciences mathématiques : on lui donne le nom de *Mécanique rationnelle*, pour la distinguer de la *Mécanique céleste* et de la *Mécanique appliquée* ou *Mécanique industrielle*, qui sont des applications de la science pure soit au mouvement des astres, soit au fonctionnement des machines. C'est de cette dernière application qu'on a tiré le nom de la science tout entière (de μηχανή, machine).

La Mécanique rationnelle se subdivise ordinairement en deux parties. Dans l'une, la *Cinématique* (de κίνημα, mouvement), on étudie tout d'abord le mouvement *en soi*, à un point de vue purement abstrait et géométrique, sans se préoccuper des forces qui le produisent. La Cinématique est donc une sorte de géométrie du mouvement, qui joint à l'*idée d'espace*, seule base de la géométrie, l'*idée de temps*, corrélative de la notion de mouvement.