

LIVRE PREMIER

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS

CHAPITRE PREMIER

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES CORPS

1. Propriétés mécaniques, états des corps. — Les propriétés mécaniques des corps sont celles qui se manifestent sous l'influence de causes analogues aux forces; ce sont celles que nous percevons par l'intermédiaire du sens du toucher (étant entendu comme nous l'avons indiqué que nous séparons ce sens du sens de la chaleur, quoique les mêmes organes servent à l'un et à l'autre).

Au point de vue de ces propriétés, on remarque aisément qu'on peut grouper les corps de manière que les corps d'un même groupe présentent entre eux certaines analogies, tandis qu'ils diffèrent notablement d'une manière générale des corps d'un autre groupe. Les corps d'un même groupe sont dits avoir le même *état*.

Combien convient-il d'établir ainsi de groupes différents? combien y a-t-il d'états différents de la matière?

En considérant les corps que nous observons dans les conditions ordinaires dans lesquelles nous vivons, dans celles qui sont réalisées dans la plupart de nos expériences, on a été conduit à admettre trois états: l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.

Les corps à l'état *solide* sont ceux qui ont une forme et un volume déterminés, forme et volume que l'on ne peut modifier que sous l'influence d'actions mécaniques assez considérables (nous ne parlons pas ici des autres causes d'action, telles que la chaleur, par exemple).

Les corps à l'état *liquide* sont ceux qui ont un volume déterminé, mais n'ont pas de forme propre. Des actions mécaniques puissantes ne peuvent que faiblement diminuer le volume qui, d'autre part, n'augmente pas sensiblement quand toute action mécanique a cessé. Par contre, la moindre cause mécanique suffit pour modifier la forme de ces corps.

Les corps à l'état *gazeux* sont ceux qui n'ont ni volume, ni forme déterminés. Le volume change considérablement sous l'influence des actions mécaniques et il augmente indéfiniment au fur et à mesure que

celles-ci diminuent. Leur forme se modifie également sous la plus petite action mécanique.

On désigne souvent, par abréviation, sous le nom de *solides* les corps qui sont à l'état solide. Cette dénomination est sans inconvénient si l'on se souvient qu'un corps n'est pas absolument à l'état solide, que ce n'est, en général au moins, qu'une de ses manières d'être et que, les circonstances changeant, il passe à l'état liquide ou à l'état gazeux.

Il convient de faire la même remarque pour les noms de *liquides* et de *gaz* appliqués par abréviation aux corps qui se trouvent à l'état liquide ou à l'état gazeux.

Certains phénomènes dépendent seulement de la propriété de changer facilement de forme : ils se produisent donc pour les corps qui sont à l'état gazeux, comme pour ceux qui sont à l'état liquide. A ce point de vue, ces corps considérés ensemble sont désignés sous le nom de corps *fluides*, ils se différencient essentiellement par ce que les gaz sont *expansibles*, ils tendent constamment à augmenter de volume, tandis qu'il n'en est pas ainsi des liquides. Quelquefois aussi, quoique la distinction soit moins satisfaisante, on établit une différence d'après la compressibilité : les gaz sont alors appelés *fluides compressibles*, et les liquides *fluides incompressibles*, dénomination qui n'est pas rigoureusement exacte.

2. — Existe-t-il d'autres états de la matière? c'est-à-dire, pour préciser, existe-t-il des conditions dans lesquelles les corps diffèrent par leurs propriétés des corps qui se trouvent dans les trois états que nous venons d'indiquer, autant que les corps de l'un de ces trois états diffèrent des corps des deux autres états? et, si oui, quel est le nombre de ces états?

On ne peut répondre, en tout cas, à cette dernière question; on pourra découvrir le moyen de modifier les conditions que nous savons réaliser actuellement, assez notablement pour mettre en évidence des différences que nous ne connaissons pas; ou bien sans modifier ces conditions on pourra trouver de nouveaux moyens d'investigation conduisant également à faire reconnaître des actions diverses que nous ne soupçonnons pas.

Il semble naturel de dire que les gaz extrêmement raréfiés (1 millièmième d'atmosphère), tels que les a étudiés M. Crookes, ne sont plus à l'état gazeux : ils diffèrent des gaz à la pression ordinaire, et même des gaz raréfiés notablement, par des propriétés qui se manifestent sous l'influence de l'électricité. Les différences nous semblent assez grandes pour admettre que ces corps sont à un état particulier, un quatrième état, qu'on désigne sous le nom d'*état radiant* : les corps à cet état sont désignés quelquefois sous le nom d'*ultra-gaz*.

Peut-être, même, conviendrait-il d'établir une différence entre les corps à l'état gazeux au-dessous de la température critique que M. An-

draws a signalée (voir CHALEUR) et ceux qui sont au-dessus. Le fait que les premiers peuvent se liquéfier sous l'influence d'une augmentation de pression, tandis que les seconds ne peuvent subir ce changement d'état par cette seule action, établit une différence très grande entre ces deux états et justifierait dans une certaine mesure l'idée de considérer comme étant dans un état nouveau, différent de l'état gazeux, les corps dont la température est supérieure au point critique.

Quoi qu'il en soit, ces considérations n'ont pas d'intérêt au point de vue pratique, et il nous suffira d'étudier les corps sous les trois états, solide, liquide et gazeux.

Il importe de remarquer qu'il n'est pas toujours possible de décider à quel état se trouve un corps. C'est que, en effet, s'il existe des corps qui sont franchement à l'état solide et d'autres qui sont nettement à l'état liquide, par exemple, il y a des corps qui participent un peu des propriétés de ces deux états. En réalité, entre les corps solides et les corps liquides présentant absolument les caractères que nous avons indiqués, il y a une série presque continue de corps intermédiaires tels que chacun d'eux diffère très peu de ses voisins immédiats, mais s'écarte de plus en plus de l'un des états pour se rapprocher de l'autre : tels sont les corps *pâteux* par exemple, qui ne sont ni solides absolument, ni complètement liquides.

De même, quoique cela soit moins immédiatement perceptible, dans le voisinage du passage de certains corps de l'état gazeux à l'état liquide, il y a des corps qui ont des propriétés intermédiaires et qu'on ne peut non plus aisément classer.

3. **Hypothèse sur la constitution de la matière.** — D'après ce que nous avons dit sur ce qu'on entend par la matière (I), il est clair que nous ne pouvons avoir que des notions hypothétiques sur sa constitution. Au point de vue physique, ces notions n'ont d'autre utilité que de nous permettre de nous fournir, par des comparaisons avec des faits matériels que nous connaissons, une explication, hypothétique d'ailleurs, des phénomènes observés. Mais c'est là un avantage qui est réel et qui justifie les indications que nous croyons nécessaire de donner.

Quelle que soit la nature réelle de la matière, on ne saurait imaginer que dans l'état où nous observons les corps, cette matière soit continue. L'expérience montre, en effet, que, quel que soit le corps considéré, on peut toujours, par l'action d'une pression ou par l'action du froid, diminuer son volume : ce fait, si la matière était continue, serait absolument incompatible avec l'idée de l'imperméabilité dont, *a priori*, nous supposons que la matière est douée (I).

Nous admettrons donc que la matière présente des lacunes auxquelles on donne le nom de *pores*. Ces pores auraient des dimensions extrêmement petites et ne pourraient être distingués par nous, même avec

l'emploi des microscopes : ils ne doivent pas être confondus avec les cavités visibles que nous observons dans plusieurs corps et qu'on appelle quelquefois *pores sensibles*.

L'expérience montre que les corps sont susceptibles de se diviser en fragments : on désigne sous le nom de *divisibilité* cette propriété. La divisibilité de la matière est-elle limitée ou indéfinie? c'est-à-dire un fragment, quelque petit qu'il soit, peut-il toujours être subdivisé; ou bien existe-t-il des dimensions telles que toute division physique est devenue impossible? L'expérience ne nous apprend rien à cet égard, et le raisonnement ne peut nous donner aucune certitude. La considération de certaines lois chimiques, la loi des proportions définies, et celle des proportions multiples, conduit à admettre l'hypothèse d'une divisibilité limitée; cette hypothèse donne une explication acceptable de ces lois. Nous admettrons donc qu'il en est ainsi, c'est-à-dire que pour chaque corps, il arrive un état de division tel que celle-ci ne peut être poussée plus loin; ces particules indivisibles ont reçu le nom de *molécules* ou d'*atomes* : la distinction entre ces deux espèces de particules indivisibles intéresse seulement la chimie, nous n'avons pas à nous y arrêter¹.

Les molécules ont des dimensions excessivement petites et telles que nous ne pouvons les distinguer; on a cherché à les évaluer en se basant sur des considérations qui ne comportent pas d'ailleurs une probabilité assez grande pour qu'il y ait lieu de signaler les résultats obtenus.

Les corps sont donc formés de molécules isolées ou sans doute quelquefois groupées entre elles, mais de telle sorte qu'il existe des espaces vides entre les molécules ou entre les groupes de molécules.

4. — Cette constitution hypothétique ne peut être acceptée que si elle n'est en contradiction avec aucun des faits observés; elle n'est utile que parce que, comme nous l'avons dit, elle permet des comparaisons qui nous donnent une idée de la nature de ces phénomènes.

Tout d'abord, cette hypothèse doit rendre compte des différences de propriétés qui nous ont conduit à considérer les corps sous trois états.

On est ainsi conduit à admettre que, dans les corps à l'état solide, les molécules occupent les unes par rapport aux autres des positions invariables ou qui exigent pour leur changement une dépense d'énergie notable. Pour les corps à l'état liquide, les molécules peuvent se déplacer très facilement les unes par rapport aux autres, mais de telle sorte que leurs distances respectives ne changent pas, sauf sous l'action d'une dépense notable d'énergie, puisque dans cette condition seulement les liquides changent de volume. Enfin pour les corps à l'état gazeux, il

1. Les molécules ne peuvent être divisées en parties présentant la même constitution qu'elles; mais elles peuvent être décomposées chimiquement en parties ayant une composition différente. Les atomes ne peuvent être ni divisés physiquement, ni décomposés chimiquement.

faut admettre que non seulement les molécules se déplacent facilement les unes par rapport aux autres, mais qu'elles ont même une tendance à s'éloigner, puisque ces corps sont expansibles.

En étudiant ces conditions au point de vue mécanique, on reconnaît qu'elles peuvent être expliquées à leur tour, soit par l'existence de forces attractives et répulsives existant entre les molécules, soit par la nature des mouvements dont ces molécules seraient constamment animées. Mais nous n'avons point à nous arrêter à ces nouvelles hypothèses.

L'étude des propriétés principales des corps sera l'objet des divers chapitres de cet ouvrage. Nous commencerons d'abord par celles qui se manifestent sous l'influence de causes analogues à des forces et qui ne se traduisent pas par des phénomènes de mouvement de totalité des corps.

ART. I. — PROPRIÉTÉS DES CORPS SOLIDES

§. **Divisibilité.** — Les corps solides sont divisibles et il n'est pas sans intérêt de signaler jusqu'où peut être poussée la division par les moyens dont nous disposons. Nous allons donner quelques exemples qui renseigneront à cet égard.

En étirant des tubes de verre, après les avoir chauffés pour les ramollir, on obtient des filaments qui n'ont que 1 μ . de diamètre (nous rappellerons que la lettre μ désigne le *micron*, ou millième de millimètre); ces filaments sont d'ailleurs restés tubulaires, le diamètre intérieur est donc inférieur à 1 μ . Cette quantité représente aussi à peu près l'épaisseur des lamelles de verre qu'on obtient en *soufflant* une petite boule de verre également ramollie.

On est parvenu récemment à étirer le quartz également et on a obtenu des fils dont le diamètre varie de 2^μ,5 à 0^μ,025 et qu'on emploie comme moyen de suspension pour des galvanomètres de grande précision.

Le platine étiré suivant le procédé indiqué par Wollaston se réduit en fils de 0^μ,8 de diamètre. Un fil de ce genre de 1 kilomètre de longueur pèserait seulement 0^{gr},07.

L'or se réduit par le battage en feuilles qui servent à la dorure et dont l'épaisseur est seulement de 0^μ,1; le poids d'une feuille de 1 décimètre carré est de 0^{gr},022.

En clivant du mica, Haüy a pu obtenir des lamelles dont, par la couleur qu'elles présentaient en tant que lames minces (voir OPTIQUE PHYSIQUE), il a estimé l'épaisseur à 0^μ,043.

Enfin l'or qui recouvre les fils d'argent employés en passementerie a une épaisseur qui ne dépasse pas 0^μ,004.

On trouve des exemples également intéressants dans les corps organisés :

Les fibres de la laine varient suivant la qualité de celle-ci; leur dia-

mètre varie de 50 à 20 μ ; les fils de soie ont, en moyenne, un diamètre de 10 μ .

Les globules du sang ont un diamètre moyen, qui chez l'homme est de 7 μ et qui descend à 2^u,5 chez le cochon d'Inde. Les hémato blasts ne dépassent pas 2 μ .

Les bâtonnets de la rétine dont la longueur varie de 60 à 80 μ ont un diamètre de 2 μ : celui des vaisseaux capillaires peut descendre à 1 μ ; les fibres de l'épanouissement du nerf optique ont 0^u,5 de diamètre.

Les fils d'araignée peuvent être très fins; nous ne pouvons donner la valeur de leur diamètre, mais on aura une idée de leur finesse par le fait qu'un fil de 1 kilomètre de longueur peut ne peser que 10 milligrammes.

Nous venons de citer les chiffres se rapportant à des éléments de corps organisés; mais pour n'être pas tout à fait aussi faibles, les dimensions de certains corps vivants sont encore très petites. Par exemple, la longueur de l'*Amœba coli* varie seulement de 20 à 35 μ , celle du corps du *Trichomonas vaginalis* (non compris le flagellum) de 16 à 18 μ ; les dimensions du *Megastoma intestinale* sont de 5 à 10 μ sur 4 à 6 μ . Si l'on note que ces êtres, quelque simple que soit leur organisation, sont formés cependant de parties distinctes, on comprend combien petites sont ces dernières.

Ajoutons enfin que parmi les microbes dont le rôle, en médecine, est devenu si important il en est dont les dimensions ne dépassent pas et même n'atteignent pas 1 μ .

6. — Indépendamment de l'intérêt que présentent par eux-mêmes les chiffres que nous venons de citer, la question de la divisibilité mérite d'être signalée, parce que les corps réduits en fragments très petits donnent lieu à des actions qui ne se produisent pas ou se produisent moins énergiquement quand la division n'est pas effectuée. Cela tient à ce que la division augmente la surface du corps : il est facile de comprendre qu'il en est ainsi, puisque la division d'un fragment quelconque, sans rien changer aux surfaces existantes, produit deux surfaces nouvelles. On reconnaît aisément que, si l'on suppose que les fragments restent tous semblables au fragment primitif, la surface croît proportionnellement au nombre des fragments.

Sans insister ici sur des actions accrues par la division des corps et dont nous parlerons plus loin, nous dirons que, par exemple, les actions chimiques deviennent plus rapides et plus énergiques. C'est ce qui résulte, par exemple, des nombres suivants dus à Menier :

En étudiant l'action de l'acide azotique sur un même poids de marbre, 0^{gr},850, Menier a trouvé qu'il fallait des temps différents pour produire la dissolution complète suivant que la division était plus ou moins grande :

Nombre de fragments...	10	27	113	Corps porphyrisé.
Durée de l'opération....	22 ^h 30 ^m	9 ^h 56 ^m	5 ^h 58 ^m	4 ^h 16.

Dans une autre expérience, il a déterminé les pertes de poids éprouvées en une heure par un poids de 0^{gr},420 de phosphate calcaire plongé dans de l'eau de Seltz.

Nombre de fragments....	5	14	53	Corps porphyrisé.
Perte de poids.....	4 ^{me}	11	48	81

On voit que dans ce cas, mettant à part le cas de la porphyrisation pour lequel on ne peut rien évaluer, il y a à peu près proportionnalité entre les poids dissous et le nombre des fragments, par conséquent, d'après la remarque précédente, il y a à peu près proportionnalité entre les poids dissous et l'étendue des surfaces de contact du liquide et du solide.

La division poussée très loin permet quelquefois des actions chimiques qui ne se produiraient pas sans elle.

C'est ainsi que Changeux a reconnu dès 1785 que le verre porphyrisé est soluble d'une manière appréciable dans l'eau. Le fer réduit, qui est en poudre très fine, s'enflamme spontanément à l'air. Il en est de même du phosphore déposé, à l'état de particules très petites, de sa dissolution dans le sulfure de carbone, après évaporation de ce liquide.

7. — La division d'un corps solide peut s'obtenir par des procédés très variables.

S'il s'agit de réduire les dimensions d'un corps sans altérer sa continuité on a recours presque exclusivement à des actions mécaniques : il faut seulement remarquer que, nécessairement, on ne peut agir sur les trois dimensions à la fois et qu'il y a augmentation de la dimension ou des dimensions qui ne sont pas réduites.

Pour réduire une dimension seulement, on a recours au battage, au laminage; pour réduire deux dimensions et obtenir des fils fins on fait passer le fil dans une filière (étirage).

S'il s'agit d'obtenir des fragments de petites dimensions on a généralement recours au choc qui permet de réduire le corps en poudre plus ou moins fine (pulvérisation ou porphyrisation). Mais on peut aussi quelquefois obtenir le même résultat par d'autres actions, par l'évaporation d'une dissolution, par la sublimation, par une précipitation chimique, par une réduction à l'aide d'un gaz, etc.

8. **De l'élasticité.** — Nous avons supposé, en mécanique, que les solides étaient indéformables sous l'action des forces et qu'ils ne changeaient pas de volume : il n'en est pas ainsi et nous devons maintenant étudier ces changements.

En réalité, lorsqu'un corps est soumis à l'action d'une force, il se déforme, et cette déformation entraîne généralement une variation de volume; il arrive souvent que ces variations sont négligeables, elles existent toujours.

Dans certaines conditions, lorsque le corps cesse d'être soumis à

l'action de la force, il revient exactement à sa forme primitive, à son volume primitif, la déformation a été passagère; d'autres fois, au contraire, après la cessation de l'action de la force, la déformation subsiste totalement ou partiellement, il reste une modification permanente.

On désigne sous le nom d'*élasticité* la propriété que possède un corps de reprendre sa forme primitive après qu'il a subi une déformation. Lorsque la déformation a été passagère, on dit qu'on n'a pas dépassé la *limite d'élasticité*. On a, au contraire, dépassé la *limite d'élasticité* lorsque le corps ne revient pas absolument à sa forme primitive, soit qu'il subsiste seulement une déformation plus ou moins grande, soit même que le corps soit réduit en fragments, qu'il soit brisé.

On dit absolument qu'un corps est *élastique*, lorsque sans dépasser la limite d'élasticité on peut lui faire subir une déformation notable; on dit, au contraire, qu'il est *mou* lorsque, même pour une petite déformation, la limite d'élasticité est atteinte et que le corps reste continu. On dit qu'il est *cassant* si, lorsque la limite d'élasticité est dépassée, il se subdivise en fragments.

En réalité, il n'existe pas de corps tout à fait élastique et, quel que soit le corps, on peut toujours le soumettre à une action mécanique assez grande pour qu'il conserve une déformation permanente ou se brise: il n'y a pas besoin d'insister.

Il n'existe pas non plus de corps absolument cassant et, quel que soit le corps, on peut toujours produire une certaine déformation qui n'amène pas la rupture.

Quant aux corps mous, il n'en existe pas non plus absolument si l'on considère vraiment des corps solides: le plomb, par exemple, qu'on peut regarder comme un type des solides mous, possède une certaine élasticité. On peut s'en assurer en projetant des grains de plomb sur une plaque de marbre, ils rebondissent un peu et ce fait exige qu'ils soient élastiques.

Les corps qui sont absolument mous, c'est-à-dire qui conservent toute déformation qu'ils ont subie, quelque petites qu'elles soient, ne sont pas, à proprement parler, des solides; ils constituent ce qu'on appelle des corps *pâteux* (2).

9. Des déformations élastiques. Traction. Compression. — Nous nous occuperons d'abord des déformations élastiques, c'est-à-dire de celles dans lesquelles la limite d'élasticité n'a pas été dépassée. Ces déformations peuvent être très complexes, mais nous ne les étudierons que dans des cas simples.

Considérons d'abord les phénomènes qui se produisent par l'action de deux forces directement opposées: en général, d'ailleurs, l'une des forces est remplacée par la condition que le corps a une de ses extrémités invariablement fixée. Nous supposons que le corps est un prisme ou un

cylindre de longueur L et de section S . Deux cas peuvent alors se présenter que nous étudierons successivement:

Traction. La force étant dirigée de manière à tendre, à éloigner du point fixe l'extrémité à laquelle elle est appliquée, le corps s'allonge, il y a *traction*. En même temps la section diminue, mais il n'y a pas absolument compensation entre ces deux effets et le volume du corps augmente, très peu d'ailleurs.

Compression. Si la force est dirigée en un sens contraire du cas précédent, le corps diminue de longueur, il y a *compression*. En même temps la section augmente et le volume diminue faiblement. La question se complique lorsque la longueur est grande par rapport aux dimensions de la section; le corps tend alors à se courber, à fléchir et l'on se trouve alors dans d'autres conditions que nous étudierons plus loin.

Les changements de longueur dans ces deux cas sont soumis aux lois simples suivantes:

1^{re} loi. — *La variation de longueur est proportionnelle à l'intensité de la force.*

2^e loi. — *La variation de longueur est proportionnelle à la longueur de la tige.*

3^e loi. — *La variation de longueur est inversement proportionnelle à la section de la tige.*

Ces lois sont comprises dans la formule suivante, où l représente la variation de longueur et F la force:

$$l = \frac{FL}{\epsilon S}.$$

Dans cette formule ϵ est un coefficient qui dépend de la nature du corps; c'est le *coefficient d'élasticité*; il est très grand pour les métaux et pour la plupart des corps.

Si L' est la longueur de la tige pendant qu'elle est soumise à l'action de la force, on a:

$$\text{Pour la traction} \quad L' = L + l = L \left(1 + \frac{F}{\epsilon S} \right);$$

$$\text{Pour la compression} \quad L' = L - l = L \left(1 - \frac{F}{\epsilon S} \right).$$

Si nous désignons par f le quotient $\frac{F}{S}$, qui représente la force par unité de surface de la section, ces formules deviennent:

$$L' = L \left(1 + \frac{1}{\epsilon} f \right) \text{ et } L' = L \left(1 - \frac{1}{\epsilon} f \right).$$

Ajoutons, sans insister maintenant, que lorsqu'on dépasse la limite d'élasticité, ces lois ne sont plus applicables; pour la traction, notamment, le corps s'allonge plus que la loi ne l'indique.

10. **Traction dans les corps organisés.** — Pour les corps organisés, ces lois ne sont jamais rigoureusement applicables. On a étudié notamment le caoutchouc et les muscles; ces corps n'étant pas rigides, il n'y a lieu que de s'occuper de la traction.

Le caoutchouc qui est fréquemment employé maintenant a été étudié par M. Marey, puis par M. Imbert. Voici les résultats principaux qui ont été obtenus :

Lorsqu'on augmente la charge d'une manière continue, au début, l'allongement croît plus rapidement que la charge; pour des valeurs de celle-ci comprises entre deux limites qui dépendent des échantillons, il y a proportionnalité entre les allongements et les charges; au delà, les allongements croissent moins rapidement que les charges.

M. Imbert a trouvé de plus que, lorsque le caoutchouc est en lame mince, et que la charge est comprise entre les limites particulières que nous venons d'indiquer, les longueurs de la lame sont précisément proportionnelles aux charges.

Pour les muscles, tant que la limite d'élasticité n'est pas dépassée, les allongements croissent moins vite que les charges. Mais lorsqu'on a dépassé la limite d'élasticité, les allongements croissent au contraire beaucoup plus vite que les charges.

Ajoutons en outre que, à charge égale, l'allongement élastique est plus grand pour le muscle contracté que pour le muscle au repos.

11. **Flexion.** — Considérons maintenant le cas où l'on a une tige encastrée à une extrémité et soumise à l'autre extrémité à une force perpendiculaire à sa direction, ou encore une tige reposant sur deux points fixes et soumise à une force perpendiculaire à sa direction et appliquée entre les deux points fixes.

Dans ces conditions la tige se courbe suivant une forme qui dépend des conditions de l'expérience : le déplacement du point qui est le plus éloigné de la position qu'il occupait primitivement s'appelle la *flèche*. On dit alors qu'il y a *flexion*.

Les lois de la flexion ne sont pas toutes également simples : celle qui a rapport à la grandeur de la force est la suivante :

Dans les mêmes conditions, la flèche que prend une tige sous l'influence d'une force est proportionnelle à cette force.

Mais les lois qui caractérisent l'action des dimensions de la tige et surtout de sa section sont trop compliquées pour que nous puissions les donner. Non seulement, en effet, intervient la grandeur de la section, mais aussi la répartition de la matière dans cette section. C'est ainsi que pour une même section la flèche sera d'autant moindre que la matière sera plus éloignée de l'axe de la tige dans la direction de l'action de la force. C'est ce qui explique que, à égalité de poids, une tige creuse fléchit moins qu'une tige pleine. C'est pour la même raison que, dans les

constructions, on donne aux poutres métalliques la forme dite à T ou à double T (fig. 30, I). La flèche que prend une poutre double T (I) est seulement le $\frac{1}{5}$ de celle que prendrait une pou-

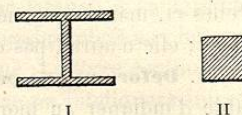


Fig. 30.

tre de même section, mais de forme carrée (II).

12. — Le fait qu'il y a proportionnalité entre la flèche et la force a une conséquence importante que nous devons signaler : lorsque le corps déformé est arrivé à une position stable, il y a équilibre entre la force qui lui est appliquée et la force élastique qui a pris naissance dans le corps par suite de la déformation même. Cette force élastique est donc proportionnelle au déplacement de son point d'application : lorsque la force extérieure cesse d'agir, le corps tend à revenir à sa forme primitive sous l'influence de la force élastique; dans ces conditions il prend un mouvement vibratoire, et on démontre en mécanique que, quand la force qui produit un tel mouvement obéit à la loi que nous venons d'indiquer, la durée des oscillations est indépendante de l'amplitude, les oscillations sont isochrones.

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler une application de cette propriété en parlant de la mesure du temps par les chronomètres; nous la retrouverons également dans l'étude des corps sonores (voir Acoustique).

13. **Torsion.** — Considérons maintenant une tige (ou un fil) maintenue invariablement fixe à une de ses extrémités et à l'autre extrémité de laquelle on applique un couple (XL) dont le plan est perpendiculaire à la tige.

Sous l'influence de ce couple, la tige se déforme, il y a *torsion*; la déformation est caractérisée dans ce cas par la condition suivante : les points de la tige qui étaient sur une même génératrice se trouvent après la torsion sur une même spire d'hélice. La grandeur de la torsion est donnée par l'angle dont se déplace un point de la base à laquelle est appliqué le couple; c'est ce qu'on appelle l'*angle de torsion*.

La torsion est soumise aux lois suivantes :

1^{re} loi. — *L'angle de torsion est proportionnel au moment du couple;*

2^e loi. — *L'angle de torsion est proportionnel à la longueur de la tige;*

3^e loi. — *L'angle de torsion est inversement proportionnel à la 4^e puissance du rayon.*

Si donc on appelle M le moment du couple qui produit la torsion, L la longueur de la tige, R son rayon, E' un coefficient spécifique pour chaque substance, et φ l'angle de torsion, on a la formule :

$$\varphi = \frac{M L}{E' R^4}$$

Les déformations ne se présentent pas toujours sous les formes simples que nous venons d'indiquer; on peut les étudier en s'appuyant sur celles-ci, mais la question est trop complexe pour que nous nous y arrêtions; elle n'aurait pas d'ailleurs un intérêt direct pour nous.

14. Déformations par des actions générales. — En revanche il est utile d'indiquer au moins sommairement les effets qui se produisent lorsqu'un corps est soumis en tous les points de sa surface à des forces normales à celle-ci, à des pressions. Nous supposons d'ailleurs que la pression est uniforme, c'est-à-dire que sur des éléments de surface égaux les pressions sont égales.

Supposons que le corps soit plein : les pressions qui agissent sur lui ont pour effet de diminuer son volume, de comprimer le corps. Si ce corps est homogène, il se comprime en restant semblable à lui-même; il n'en est plus de même si le corps n'a pas les mêmes propriétés dans toutes les directions, si c'est un cristal autre qu'un cristal cubique, si c'est un corps fibreux, etc. La diminution de volume est faible d'ailleurs.

Considérons maintenant le cas d'un corps creux et soit d'abord le cas où la pression existe tant à l'intérieur qu'à l'extérieur : on pourrait penser que dans ce cas, il y a compensation et qu'il n'y a pas de changement de capacité; il n'en est rien, le corps diminue de volume, en restant semblable à lui-même si la paroi est homogène, et la diminution est la même que celle qu'éprouverait pour la même pression une masse du même corps qui remplirait la capacité intérieure.

Si le corps creux est soumis à des pressions agissant seulement soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, non seulement il y aura changement de volume et de capacité, mais en outre il y aura variation de forme, à moins que le corps ne soit une sphère.

Considérons un tube à section elliptique : si la pression agit à l'extérieur, le tube subira un aplatissement, c'est-à-dire que la section deviendra une autre ellipse (ou à peu près) dont le petit axe sera moindre que le petit axe de l'ellipse primitive et le grand axe plus grand.

Si, au contraire, la pression agit à l'intérieur seulement (ou est prépondérante à l'intérieur) la section aura une tendance à se rapprocher du cercle.

Si le tube qui présente une semblable section est courbe, la modification de forme de la section entraînera un changement dans la courbure. Cette propriété est appliquée dans le baromètre et le manomètre métalliques Bourdon, dans certains thermomètres enregistreurs (thermomètres Richard), etc.

15. Rupture par traction. Ténacité. — Lorsque, en déformant un corps, on dépasse la limite d'élasticité, deux cas différents peuvent se présenter suivant qu'il y a rupture ou non.

Nous examinerons rapidement le cas de la rupture, seulement dans quelques circonstances simples.

Considérons une tige sur laquelle on agit par traction à l'aide d'une force croissante. Au début l'allongement qui se produit obéit aux lois que nous avons données, c'est l'allongement élastique. La force continuant à croître, l'allongement observé est plus grand que ne l'indiqueraient ces lois et si, alors, la force vient à cesser d'agir, la tige ne reprend plus sa longueur primitive. Enfin, si l'on augmente encore la force, le corps se divise en deux : il y a rupture.

L'expérience montre que, pour un même corps, la force qui produit la rupture est proportionnelle à la section de la tige, ou, ce qui revient au même, que le quotient de cette force par la section est constante; c'est cette force qu'on appelle charge de rupture. A l'instant de la rupture, il existait dans la tige entre les deux parties qui se sont séparées une force égale à celle-là; c'est ce qu'on appelle la *résistance à la rupture* du corps considéré. On l'exprime en kilogrammes par millimètre carré, en général, ou en kilogrammes par centimètre carré si elle est faible.

On dit d'un corps qu'il a d'autant plus de *ténacité* que sa résistance à la rupture est plus considérable.

Voici la valeur de la charge de rupture exprimée en kilogrammes par millimètre carré pour les principaux métaux :

Acier.....	75 à 110 ^{kg}	Or.....	21 ^{kg} ,7
Fer.....	79, 3	Etain.....	7, 7
Cuivre.....	43, 7	Zinc.....	4, 0
Platine.....	39, 5	Plomb.....	2, 7
Argent.....	27, 1		

La résistance des cordes serait de 5 à 8 kilogrammes.

16. — On a fait quelques recherches sur les substances organisées, mais le manque d'homogénéité ne permet de donner que des valeurs approximatives, et l'on observe de grandes différences entre les divers observateurs. Voici quelques résultats, évalués aussi en kilogrammes par millimètre carré, déterminés par Valentin et par Wertheim.

	VALENTIN	WERTHEIM	
		Valeurs limites.	Valeurs moyennes.
Muscles.....	0,18	0,02 à 0,07	0,038
Artères.....	»	0,11 0,17	0,14
Veines.....	0,40	0,10 0,31	0,18
Nerfs.....	1,45	0,59 3,53	1,35
Tendons.....	2,62	4,11 10,38	6,25
Os.....	»	3,30 15,03	7,99

Quoique l'on ne puisse appliquer le nom de charge de rupture aux cas où l'on opère sur des corps hétérogènes, il est intéressant de citer les chiffres suivants :

Hales a trouvé que, sur un veau de 9 semaines, il fallait un poids