

63. **Problèmes sur la pesanteur.** — I. Un corps tombant librement dans le vide, quelle sera sa vitesse, à Paris, après 45 secondes de chute ?

Cette question se résout à l'aide de la formule $v = gt$ (35), en faisant $g = 9^m,8088$ (37), et $t = 45^s$; ce qui donne

$$v = 9^m,8088 \times 45 = 441^m,396.$$

A une autre latitude que celle de Paris, la valeur de g n'étant plus $9^m,8088$, la vitesse acquise par le corps qui tombe serait plus grande ou plus petite que $441^m,396$.

II. Pendant combien de temps doit tomber un corps, dans le vide, pour acquérir, à Paris, une vitesse de 600 mètres, qui est celle d'un boulet de canon ?

De la formule $v = gt$, on tire $t = \frac{v}{g}$, d'où, remplaçant g et v par leurs valeurs,

$$\text{on a } t = \frac{600}{9,8088} = 61^s,16.$$

III. Quel est le temps nécessaire à un corps pour tomber, dans le vide, d'une hauteur de 1000 mètres ?

$$\text{De la formule } e = \frac{1}{2}gt^2 \text{ (33), on tire } t = \sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{\frac{2000}{9,8088}} = 14^s,28.$$

IV. De quelle hauteur devrait tomber un corps dans le vide, pour acquérir une vitesse de 300 mètres ?

$$\text{La formule } v^2 = 2ge \text{ (35) donne } e = \frac{v^2}{2g}, \text{ d'où } e = \frac{90000}{2 \cdot 9,8088} = 4587^m,7.$$

V. Sur un plan incliné dont la longueur AB (fig. 23) égale 1000 mètres, et la hauteur BC 5 mètres, quel est l'effort nécessaire pour traîner un poids de 2500 kilogrammes, abstraction faite du frottement ?

En représentant par P le poids, et par F la force cherchée, on a vu (33) qu'on a l'égalité $\frac{F}{P} = \frac{BC}{AB}$, d'où $F = \frac{P \times BC}{AB} = \frac{2500 \times 5}{1000} = 12^k,500$.

VI. Un projectile étant lancé verticalement, de bas en haut, dans le vide, avec une vitesse initiale de $243^m,22$, on demande après quel temps le mobile s'arrêtera pour retomber, et à quelle hauteur il s'élèvera ?

Soient a la vitesse initiale imprimée au mobile et t la durée de l'ascension; la pesanteur, agissant pendant ce temps comme force retardatrice, diminue la vitesse a d'une quantité égale à g en une seconde, et d'une quantité gt au bout de t secondes; on a donc, au moment où le corps s'arrête, $gt = a$, d'où $t = \frac{a}{g} = \frac{243,22}{9,8088} = 24^s$.

Pour calculer la hauteur à laquelle s'élève le mobile, observons que pendant son ascension, la pesanteur lui enlevant graduellement la vitesse qu'elle lui communiquerait, en temps égal, s'il tombait, il faut que le corps mette à s'élever à sa plus grande hauteur e précisément le temps qu'il mettrait à en descendre. Donc la hauteur d'ascension peut se calculer par la formule $e = \frac{1}{2}gt^2$ (33), qui donne

$$e = 4,9044 \times 625 = 3065^m,25.$$

* CHAPITRE IV

FORCES MOLÉCULAIRES.

64. **Nature des forces moléculaires.** — Les phénomènes que présentent les corps font voir que leurs molécules sont constamment sollicitées par deux forces contraires, dont l'une tend à les rapprocher et l'autre à les écarter. La première, qui porte le nom d'*attraction moléculaire*, ne varie, pour un même corps, qu'avec la distance; la seconde, due à la chaleur, varie avec l'intensité de cet agent et avec la distance. C'est du rapport mutuel de ces forces et de l'orientation qu'elles impriment aux molécules, que résulte l'état solide, liquide ou gazeux (3).

L'attraction moléculaire ne s'exerce qu'à des distances infiniment petites. Son effet est nul à toute distance sensible, ce qui la distingue de la pesanteur et de la gravitation universelle, qui agissent à toutes les distances. On ignore suivant quelles lois elle s'exerce.

Selon la manière de la considérer, l'attraction moléculaire se désigne sous les noms de *cohésion*, d'*affinité* ou d'*adhésion*.

65. **Cohésion.** — La *cohésion* est la force qui lie entre elles les molécules similaires, c'est-à-dire de même nature, deux molécules d'eau, par exemple, ou deux molécules de fer. Cette force est nulle dans les gaz, faible dans les liquides, et très-grande dans les solides; son intensité décroît lorsque la température s'élève, tandis qu'alors la force répulsive due au calorique augmente. C'est pourquoi, lorsqu'on chauffe les corps solides, ils finissent par se liquéfier et même par passer à l'état de fluide aériforme.

La cohésion varie non-seulement avec la nature des corps, mais encore avec l'arrangement de leurs molécules, comme il arrive dans la cuisson des argiles, dans la trempe de l'acier. C'est aux modifications qu'éprouve la cohésion qu'il faut rapporter plusieurs propriétés des corps, telles que la ténacité, la ductilité, la dureté.

Dans les liquides pris en grande masse, la pesanteur l'emporte sur la cohésion. C'est ce qui fait que les liquides, obéissant sans cesse à la première force, n'affectent aucune forme particulière et prennent toujours celle des vases qui les contiennent. Mais, sous une petite masse, c'est la cohésion qui l'emporte, et les liquides affectent alors la forme sphéroïdale. C'est ce qui a lieu pour les gouttes de rosée suspendues aux feuilles des plantes; le même phénomène s'observe lorsqu'on répand, sur une surface plane horizontale, un liquide qui ne la mouille pas, comme du mercure sur du bois. L'expérience peut même se faire avec de l'eau, si d'avance on a projeté sur la surface une poussière légère, du noir de fumée, par exemple.

66. **Affinité.** — L'*affinité* est l'attraction qui s'exerce entre des substances hétérogènes: dans l'eau, par exemple, qui est formée de deux atomes d'hydrogène pour un d'oxygène, c'est l'affinité qui unit ces deux corps; mais c'est la cohésion qui lie deux molécules d'eau. C'est-à-dire que dans les corps composés, la cohésion et l'affinité agissent simultanément, tandis que dans les corps simples il n'y a lieu de considérer que la cohésion.

C'est à l'affinité qu'il faut rapporter tous les phénomènes de combinaison et de décomposition chimiques.

Toute cause qui tend à affaiblir la cohésion augmente l'affinité. Cette dernière force est, en effet, favorisée par l'état de division; elle l'est aussi par l'état liquide

ou gazeux. Elle se développe surtout par l'état naissant, c'est-à-dire par l'état où se trouve un corps lorsque, se dégageant d'une combinaison, il est isolé et libre d'obéir aux plus faibles affinités. Enfin, l'affinité présente des effets très-variables suivant l'élevation de température. Dans certains cas, en écartant les molécules et en diminuant la cohésion, la chaleur favorise les combinaisons. Entre le soufre et l'oxygène, par exemple, l'affinité est sans effet à la température ordinaire, tandis qu'à une température élevée, ces corps se combinent en donnant naissance à un composé très-stable, l'acide sulfureux. Dans d'autres cas, au contraire, la chaleur détruit les combinaisons en communiquant à leurs éléments une inégale expansibilité. C'est ainsi que beaucoup d'oxydes métalliques sont décomposés par l'action de la chaleur.

67. **Adhésion.** — On nomme *adhésion* l'attraction moléculaire qui se manifeste entre les corps en contact. Deux glaces, par exemple, étant superposées, finissent par adhérer tellement, qu'on ne peut plus les séparer sans les rompre. Cette force agit non-seulement entre les solides, mais entre les solides et les liquides, entre les solides et les gaz.

L'adhésion entre les solides n'est point un effet de la pression atmosphérique, car elle s'observe dans le vide. Elle croît avec le degré de poli des surfaces et avec la durée de leur contact; en effet, la résistance à la séparation est d'autant plus grande, que le contact a été plus longtemps prolongé. Enfin, l'adhésion entre les corps solides est indépendante de leur épaisseur, ce qui indique que l'attraction moléculaire ne s'exerce qu'à de très-petites distances.

Plongés dans l'eau, dans l'alcool et dans la plupart des liquides, les corps solides en sortent recouverts d'une couche liquide: c'est l'adhésion qui la soutient.

Il se produit entre les solides et les gaz la même adhésion qu'entre les solides et les liquides. En effet, si l'on plonge une lame de verre ou de métal dans l'eau, on voit des bulles d'air apparaître à sa surface. Comme, dans ce cas, l'eau ne pénètre pas dans les pores de la lame, ces bulles ne sauraient provenir de l'air qui en serait expulsé. Elles sont donc uniquement dues à une couche d'air qui recouvrirait la lame et la mouillait à la manière d'un liquide.

Nous ferons connaître bientôt sous les noms de *capillarité*, *d'endosmose*, *d'absorption* et *d'imbibition*, une série de phénomènes qui ont aussi pour cause l'attraction moléculaire.

* CHAPITRE V

PROPRIÉTÉS PARTICULIÈRES AUX SOLIDES.

68. **Diverses propriétés particulières.** — Après avoir fait connaître les principales propriétés communes aux solides, aux liquides et aux gaz, nous traiterons ici des propriétés particulières aux solides. Ces propriétés sont: l'élasticité de traction, l'élasticité de torsion, l'élasticité de flexion, la ténacité, la ductilité et la dureté.

69. **Élasticité de traction.** — Nous avons déjà traité de l'élasticité comme propriété générale (19); mais il s'agissait seulement de l'élasticité développée par la pression. Or, dans les solides, l'élasticité peut encore se manifester par traction, par torsion et par flexion.

Pour étudier les lois de l'élasticité de traction, Savart a fait usage de l'appareil représenté dans la figure 31. Cet appareil se compose d'un support de bois auquel

on suspend les tiges ou les fils sur lesquels on veut expérimenter. On fixe, à leur extrémité inférieure, un plateau destiné à recevoir des poids, et l'on marque, sur leur longueur, deux points de repère A et B, dont on mesure exactement la distance à l'aide d'un cathétomètre¹, avant que le plateau soit chargé.

Tant que la limite d'élasticité n'a pas été dépassée, la traction des tiges et des fils est soumise aux trois lois suivantes:

1^o Les tiges et les fils ont une élasticité parfaite, c'est-à-dire qu'ils reprennent exactement leur longueur primitive aussitôt que la traction cesse.

2^o Pour une même substance et un même diamètre, l'allongement est proportionnel à la force de traction et à la longueur.

3^o Pour des tiges ou des fils de même longueur, de même matière, mais d'inégale grosseur, les allongements sont en raison inverse des carrés des diamètres.

Le calcul et l'expérience démontrent que, lorsque les corps s'allongent par traction, leur volume augmente.

Wertheim, qui a fait de nombreuses expériences sur l'élasticité des métaux, a constaté, entre — 15 et 200 degrés, que l'élasticité décroît d'une manière continue à mesure que la température s'élève; le fer et l'acier font exception, leur élasticité augmentant jusqu'à 100 degrés et diminuant ensuite. Le même physicien a trouvé qu'en général toutes les causes qui augmentent la densité augmentent en même temps l'élasticité, et réciproquement.

70. **Élasticité de torsion.** — Les lois de la torsion des fils ont été déterminées par Coulomb, physicien français, mort en 1806.

Dans ses recherches, ce savant faisait usage d'un appareil qu'on nomme *balance de torsion*, lequel se compose d'un fil métallique fin, pincé à sa partie supérieure, et tendu par un poids auquel est fixée une aiguille horizontale. Au-dessous est un cercle gradué, dont le centre se trouve sur le prolongement du fil lorsque celui-ci est vertical. Si l'on écarte l'aiguille de sa position d'équilibre, d'un certain angle, qui est l'*angle de torsion*, la force nécessaire pour obtenir cet angle est elle-même la *force de torsion*. Après cette déviation,

1. On nomme cathétomètre, une règle de cuivre K, divisée en millimètres, et pouvant prendre une position verticale au moyen d'un pied à vis calantes et d'un fil à plomb. Une lunette, exactement d'équerre avec la règle, peut glisser dans le sens de sa longueur, et porte un vernier qui donne les cinquantièmes de millimètre. C'est en fixant successivement cette lunette sur les points A et B, comme on le voit dans la figure, qu'on obtient, sur l'échelle graduée, la distance de ces deux points. Plaçant ensuite des poids dans le bassin, et mesurant de nouveau l'intervalle des deux points A et B, on détermine l'allongement.

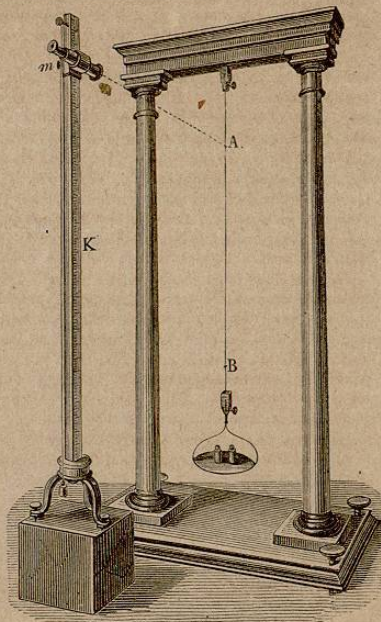


Fig. 31.

les molécules qui étaient disposées en ligne droite, suivant la longueur du fil, le sont suivant une hélice enroulée autour de ce fil. Si la limite d'élasticité n'a pas été dépassée, les molécules tendent à reprendre leur position primitive, et y reviennent, en effet, aussitôt que la force de torsion n'agit plus; mais elles ne s'y arrêtent pas. En vertu de leur vitesse acquise, elles dépassent cette position en donnant naissance à une torsion en sens contraire. L'équilibre se trouvant rompu de nouveau, le fil revient sur lui-même, et l'aiguille ne s'arrête au zéro du cadran qu'après un certain nombre d'oscillations des deux côtés de ce point.

Au moyen de l'appareil qui vient d'être décrit, Coulomb a constaté que, lorsque l'amplitude des oscillations ne dépasse pas un petit nombre de degrés, ces oscillations sont soumises aux quatre lois suivantes :

1° Elles sont très-sensiblement isochrones.

2° Pour un même fil, l'angle de torsion est proportionnel à la force de torsion.

3° Pour une même force de torsion et des fils de même diamètre, l'angle de torsion est proportionnel à la longueur des fils.

4° Pour une même force et une même longueur de fil, l'angle de torsion est inversement proportionnel à la quatrième puissance des diamètres.

71. **Elasticité de flexion.** — Tous les solides, taillés en lames minces et fixés par une de leurs extrémités, peuvent, après avoir été plus ou moins courbés, revenir à leur première forme lorsqu'ils sont abandonnés à eux-mêmes. Cette propriété est très-sensible dans l'acier trempé, le caoutchouc, le bois, le papier.

L'élasticité de flexion trouve de nombreuses applications dans les arcs, les arbalètes, les ressorts de montre, les ressorts de voiture, les pesons qui servent de balances, et les dynamomètres destinés à mesurer la force des moteurs. L'élasticité du crin, de la laine, de la plume, est utilisée dans les matelas et les cousins en usage dans l'économie domestique.

Quelle que soit l'espèce d'élasticité que l'on considère, nous avons déjà observé (19) qu'il y a toujours une limite à l'élasticité, c'est-à-dire un déplacement moléculaire au delà duquel les corps sont brisés, ou du moins ne reprennent plus leur forme première. Plusieurs causes peuvent faire varier cette limite. On constate, en effet, que l'élasticité de plusieurs métaux est augmentée par l'*écrouissage*, c'est-à-dire par le rapprochement des molécules, à froid, au moyen de la filière, du laminoir ou du marteau. Quelques substances, comme l'acier, la fonte, le verre, deviennent aussi plus élastiques et en même temps plus dures par la *trempe* (75).

L'élasticité est au contraire diminuée par le *recuit*, opération qui consiste à porter les corps à une température moins élevée que pour la trempe et à les refroidir ensuite lentement. C'est par le recuit qu'on gradue à volonté l'élasticité des ressorts. Le verre chauffé éprouvant une véritable trempe lorsqu'il se refroidit trop rapidement, c'est pour diminuer la fragilité des objets de verre récemment fabriqués qu'on les recuit sur un foyer dont on les éloigne ensuite lentement.

72. **Ténacité.** — La *ténacité* est la résistance qu'opposent les corps à la traction. Pour évaluer cette force, on façonne les corps en tiges cylindriques ou prismatiques, et on les soumet, dans le sens de leur longueur, à une traction mesurée en kilogrammes et suffisante pour déterminer la rupture.

La charge qui produit la rupture est directement proportionnelle à la section transversale des fils ou des prismes, et indépendante de leur longueur. D'après de nombreuses expériences sur les métaux, la force nécessaire à la rupture est à peu près triple de celle qui correspond à la limite d'élasticité.

La ténacité diminue avec la durée de la traction. On constate, en effet, que les tiges métalliques et autres cèdent, après un certain temps, à des charges moindres que celles qui seraient nécessaires pour produire immédiatement la rupture; dans tous les cas, la résistance à la traction est moindre que la résistance à la pression.

La ténacité ne varie pas seulement d'une substance à une autre; mais, à égalité

de matière, elle varie encore avec la forme des corps. Pour des sections équivalentes, le prisme est moins résistant que le cylindre. Pour une quantité de matière donnée, le cylindre creux est plus résistant que le cylindre plein, et le *maximum* de ténacité a lieu lorsque le rayon extérieur est au rayon intérieur dans le rapport de 11 à 5.

Pour un même corps, la forme a la même influence sur la résistance à l'écrasement que sur la résistance à la traction. En effet, un cylindre creux, à masse et à hauteur égales, est plus résistant qu'un cylindre plein; d'où il résulte que les os des animaux, les plumes des oiseaux, les tiges des graminées et d'un grand nombre de plantes, opposent plus de résistance que s'ils étaient pleins, la masse restant la même.

Enfin, la ténacité, de même que l'élasticité, varie pour un même corps avec le sens que l'on considère. Dans les bois, par exemple, la ténacité et l'élasticité sont plus grandes dans le sens des fibres que dans le sens transversal. Cette différence s'observe, en général, dans tous les corps dont la contexture n'est pas la même suivant toutes les directions.

Charges en kilogrammes, par millimètre carré, qui déterminent la rupture.

| | | | |
|-------------------------|---------|-----------------------------|-------|
| Plomb coulé | 2,21 | Fer étiré | 63,80 |
| — étiré | 2,36 | — recuit | 50,25 |
| Étain coulé | 4,16 | Acier fondu étiré | 83,80 |
| — étiré | 3, . . | Antimoine coulé | 0,67 |
| Or étiré | 28, . . | Bismuth coulé | 0,97 |
| — recuit | 11, . . | | |
| Argent étiré | 29, . . | | |
| — recuit | 16,40 | | |
| Zinc étiré | 15,77 | | |
| — recuit | 14,40 | | |
| Cuivre étiré | 41, . . | | |
| — recuit | 31,60 | | |
| Platine étiré | 33, . . | | |
| — recuit | 26,75 | | |

Bois dans le sens des fibres.

| | |
|------------------|----|
| Buis | 14 |
| Frêne | 12 |
| Sapin | 9 |
| Hêtre | 8 |
| Chêne | 7 |
| Acajou | 5 |

Dans le tableau ci-dessus, les corps sont supposés à la température ordinaire; mais, à une température plus élevée, la ténacité décroît rapidement. M. Séguin aîné, qui a fait récemment des recherches à ce sujet, sur le fer et le cuivre rouge, a trouvé les ténacités suivantes, en kilogrammes, par millimètre carré :

| | FER. | CUIVRE ROUGE. |
|-----------------------|-------------------|---------------|
| A 10 degrés | 60 kilog. | 21 kilog. |
| 370 — | 54 — | 7,7 |
| 500 — | 35 — | |

73. **Ductilité.** — On nomme *ductilité* la propriété que possèdent un grand nombre de corps de changer de forme par l'effet de pressions ou de tractions plus ou moins considérables.

Pour certains corps, comme l'argile, la cire, de faibles efforts sont suffisants pour produire une déformation; pour d'autres, comme le verre, les résines, il faut en outre l'action de la chaleur; pour les métaux, il faut des efforts puissants, comme la percussion, la filière, le laminoir.

La ductilité prend le nom de *malleabilité* lorsqu'elle se produit sous le marteau. Le métal le plus malléable est le plomb, le plus ductile au laminoir est l'or; à la filière, c'est le platine.

La grande ductilité du platine a permis à Wollaston d'obtenir des fils de ce métal qui n'avaient que $\frac{1}{1200}$ de millimètre de diamètre. Pour arriver à ce résultat,

ce savant recouvrait d'argent un fil de platine de $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre, de manière à obtenir un cylindre de 3 millimètres de grosseur, dont l'axe seul était de platine. En tirant ce cylindre à la filière jusqu'à ce qu'il fût aussi fin que possible, les deux métaux s'allongeaient également. Faisant alors bouillir le fil dans l'acide azotique, l'argent était dissous, et le fil de platine restait seul. 4000 mètres de ce fil ne pesaient que 3 centigrammes.

74. **Dureté.** — La *dureté* est la résistance qu'offrent les corps à être rayés ou usés par d'autres corps.

Cette propriété n'est que relative, car un corps dur par rapport à une substance, est mou par rapport à une autre. On distingue la dureté relative de deux corps en cherchant celui qui raye l'autre sans en être rayé. On a constaté ainsi que le plus dur de tous les corps est le diamant, car il les raye tous et n'est rayé par aucun. Après lui viennent le saphir, le rubis, le cristal de roche, les silex, les grès, etc. Les métaux à l'état de pureté sont assez mous.

Les alliages sont plus durs que leurs métaux. C'est pour augmenter la dureté de l'or et de l'argent, dans la bijouterie et dans la fabrication des monnaies, qu'on les allie avec le cuivre.

La dureté d'un corps n'est pas en rapport avec sa résistance à la pression. Le verre, le diamant, sont beaucoup plus durs que le bois, mais ils résistent beaucoup moins au choc du marteau.

La dureté des corps est utilisée dans les poudres à polir, telles que l'émeri, la ponce, le tripoli. Le diamant, étant le plus dur de tous les corps, ne peut s'user qu'à l'aide de l'*égrisée*, qui n'est elle-même que du diamant pulvérisé.

75. **Trempe.** — La *trempe* est le refroidissement brusque d'un corps après qu'il a été porté à une température élevée. Dans cette opération, l'acier et la fonte acquièrent une grande dureté, et c'est surtout dans ce but que la trempe est utilisée. Tous les instruments tranchants sont d'acier trempé. Mais il est des corps sur lesquels la trempe produit un effet tout opposé. L'alliage des *tamtams*, qui est composé d'une partie d'étain sur 4 de cuivre, devient ductile et malléable lorsqu'il est refroidi brusquement; au contraire, il est dur et fragile comme le verre lorsqu'il est refroidi avec lenteur.

LIVRE III

DES LIQUIDES.

CHAPITRE PREMIER.

HYDROSTATIQUE.

76. **Objet de l'hydrostatique.** — L'*hydrostatique* est la science qui a pour objet l'étude des conditions d'équilibre des liquides et celle des pressions qu'ils transmettent, soit dans leur masse, soit sur les parois des vases qui les contiennent.

La science qui traite du mouvement des liquides se nomme *hydrodynamique*, et l'application des principes de cette dernière science à l'art de conduire et d'élever les eaux se désigne spécialement sous le nom d'*hydraulique*. Nous ne traiterons ici que de l'hydrostatique.

77. **Caractères généraux des liquides.** — On a déjà vu (5) que les liquides sont des corps dont les molécules, par suite d'une extrême mobilité, cèdent au plus léger effort qui tend à les déplacer; d'où il résulte que ces corps n'affectent aucune forme stable, et qu'obéissant sans cesse à l'action de la pesanteur, ils prennent immédiatement la forme des vases dans lesquels on les verse. Leur fluidité n'est cependant pas parfaite: il existe toujours entre leurs molécules une adhérence qui produit une viscosité plus ou moins grande. Cette viscosité varie, du reste, d'un liquide à un autre: à peu près nulle dans certains liquides, comme l'éther, l'alcool, elle est très-apparente dans l'acide sulfurique, dans les huiles grasses et dans les liqueurs fortement sucrées ou gommées.

La fluidité des liquides se retrouve, mais à un plus haut degré, dans les gaz; ce qui distingue ces deux espèces de corps, c'est que les liquides ne sont doués que d'une compressibilité et d'une élasticité à peine sensibles, tandis que les fluides aériformes sont éminemment compressibles et expansibles.

La fluidité des liquides est démontrée par la facilité avec la-