

de 119 livres pour arracher l'épiphyse de l'os de la jambe, le périoste ayant été enlevé. Pour l'autre jambe dont le périoste avait été conservé intact, il fallut une charge de 550 livres : le rôle du périoste était donc très important.

Dans un autre cas, le même auteur indique que l'articulation d'un genou dépouillé des muscles et des tendons n'a cédé qu'à un effort de 830 livres.

Quoique ces valeurs soient fortes, on peut aisément les produire à l'aide de treuils ou de moufles; aussi faut-il opérer avec précaution lorsqu'on exerce des tractions sur un membre, comme dans le cas de réduction d'une luxation.

**17. Écrasement.** — Lorsqu'une tige est soumise à une compression et qu'elle ne fléchit pas, si la force qui agit atteint une trop forte valeur, le corps se divise par *écrasement*. Il y a une charge minima d'écrasement qu'il est utile de connaître pour certaines applications.

Voici les valeurs de la charge d'écrasement évaluée en kilogrammes par millimètre carré, pour quelques corps :

Pierre de Château-Landon...	9,5	Plomb .....	5
Bonne brique.....	1,5	Étain .....	10
Bois divers..... 2 à	5,5	Fer .....	25
Marbre.....	7,0	Cuivre.....	70
Basalte.....	20,0	Fonte.....	75

Dans l'organisme, les cartilages et les os sont à peu près seuls soumis à la compression. On n'a pas de données sur la charge d'écrasement de ces corps. Elle est cependant grande, car on peut porter sur la tête des poids assez considérables sans produire l'écrasement des vertèbres dont la section n'est pas très étendue. Les cas d'écrasement de vertèbres se produisent seulement à la suite de chocs et l'action dépend beaucoup de la vitesse qui varie suivant les circonstances (24).

Voici un exemple cité par Desaguliers qui montre que les os longs ont une grande résistance à l'écrasement, dans le sens de leur longueur. Un homme était assis par terre, les pieds appuyés contre une poutre invariablement fixée au sol : il portait à la taille une ceinture à laquelle était fixée, par devant, une corde que deux chevaux tiraient parallèlement au sol. Dans ces conditions, cet homme résistait aux efforts de l'attelage, effort qui, on le comprend, était transmis à la poutre fixe par l'intermédiaire des os des cuisses et des jambes. Desaguliers évalua à 1000 livres la force développée par les chevaux, de telle sorte que chaque fémur, par exemple, résistait à une force de 500 livres. Desaguliers estimait que l'écrasement se fût produit seulement sous une charge quatre fois plus forte; nous ne savons pas sur quelles données il se basait pour fixer cette limite.

**18. Rupture par flexion.** — On n'a pas de données précises sur la

rupture par flexion; on peut dire cependant que les conditions qui diminuent la flèche sont aussi celles qui retardent la rupture; de là, l'avantage des corps creux, des tubes qui, à poids égaux, supportent sans se rompre une charge plus considérable que les tiges pleines. De là, par exemple, l'avantage des plumes d'oiseaux qui ont à résister à des flexions assez considérables et qui, par suite de leur forme tubulaire, ne rompent pas.

Nous avons dit que lorsqu'une tige dont la longueur est grande par rapport à la base est soumise à une compression, elle se courbe; ce sont alors des phénomènes analogues à ceux de la flexion qui se produisent et qui peuvent amener la rupture. Cette action se produit plus facilement si la tige n'est pas parfaitement rectiligne au début.

Lorsqu'un os long se trouve soumis à des actions qui tendent à le comprimer, il subit également une flexion et c'est par rupture par flexion, et non par écrasement, que se font en général les fractures dans ces conditions.

Nous ne connaissons aucune donnée relative à la rupture par torsion qui puisse être donnée.

**19. Rupture par pression interne.** — Il est intéressant d'examiner les conditions de rupture qui peuvent se produire sous l'influence de pressions agissant sur toute la surface du corps. Dans la pratique, il n'y a guère à considérer que le cas d'un corps creux subissant la pression de l'intérieur à l'extérieur.

Lorsque la pression à l'intérieur d'un réservoir a atteint une valeur assez forte, il se produit une déchirure qui peut être partielle ou totale; rien ne permet de prévoir la forme de cette déchirure qui est déterminée par la moindre résistance de l'enveloppe, l'homogénéité ne pouvant jamais être absolue.

Lorsque la pression est forte et que la déchirure est totale, des fragments peuvent être projetés à des distances souvent considérables, ainsi qu'on le voit dans les explosions de chaudières à vapeur : il peut en résulter des accidents graves. Aussi convient-il de donner toujours à ces réservoirs une épaisseur plus que suffisante pour résister aux pressions qu'ils doivent supporter. Le calcul de cette épaisseur se fait par des formules qu'il est sans intérêt de reproduire.

On a fait des recherches pour déterminer à quelle pression peuvent résister les artères et les veines. La diversité de ces vaisseaux, le manque d'homogénéité empêchent qu'on puisse arriver à des résultats présentant quelque précision. Nous ne donnerons même pas les valeurs numériques indiquées par quelques auteurs (Hales, Wintringham, Bouland, etc.), parce que les pressions qui ont déterminé des ruptures ont toujours été supérieures à deux atmosphères et que, cette valeur ne pouvant jamais être atteinte dans l'organisme, ces résultats sont sans application.

Il serait intéressant de rechercher la pression qui peut amener la rupture d'organes malades, des artères athéromateuses, des sacs anévrysmaux pour lesquels on arriverait certainement à des valeurs moindres; mais nous ne connaissons aucune donnée précise sur ces points.

20. — Il se présente quelquefois dans les actions mécaniques des effets singuliers dont il est nécessaire d'avoir connaissance. Tel est, par exemple, le cas des *larmes bataviques* qu'on obtient en versant dans l'eau froide des gouttes de verre en fusion. Ces masses ainsi brusquement refroidies ont une partie sphéroïdale ou *panse* terminée par une pointe allongée et effilée, la *queue*. La panse présente une résistance considérable et on peut la soumettre à des chocs violents sans la briser; il suffit, au contraire, d'une action très légère pour briser l'extrémité de la queue, mais aussitôt qu'on produit cette rupture, la masse entière est amenée à un état de très grande division. Il semble que les molécules d'une larme batavique sont dans un état d'équilibre instable dont la conservation est liée à l'intégrité de la queue.

Les objets en verre trempé donnent souvent lieu à des phénomènes analogues.

21. **Malléabilité.** — Considérons maintenant le cas où la limite d'élasticité est dépassée sans qu'il y ait rupture : nous savons qu'il y a alors une déformation permanente.

Dans ce cas la déformation produite persiste, quelquefois intégralement, mais le plus souvent avec une diminution plus ou moins grande, le corps se rapprochant ainsi de sa forme primitive. Cette propriété que possèdent certains corps de conserver la forme qu'on leur donne est très importante et est fréquemment utilisée; elle existe au maximum pour les corps mous, mais est appréciable pour beaucoup d'autres corps; elle a reçu des noms différents suivant le mode de déformation que l'on fait éprouver aux corps.

La *malléabilité* est la propriété que possèdent certains corps de s'étendre en lames plus ou moins minces sous l'action du marteau; le *laminage*, opération dans laquelle le corps est forcé de passer entre deux cylindres tournant en sens contraire et dont la distance est moindre que l'épaisseur du corps, produit un effet analogue. Les conditions ne sont pas absolument les mêmes; aussi l'ordre dans lequel on classe les métaux d'après leur malléabilité plus ou moins grande est-il différent pour les deux opérations.

Ordre de malléabilité au *laminoir* : or, argent, aluminium, cuivre, étain, plomb, zinc, platine, fer, cobalt, nickel, palladium.

Ordre de malléabilité au *marteau* : or, argent, étain, plomb, zinc, aluminium, cuivre, platine.

Dans le martelage et le laminage, l'épaisseur du corps sur lequel on opère diminue; mais les autres dimensions augmentent. En général, cepen-

dant, il n'y a pas compensation absolue; le volume diminue un peu, ainsi qu'on le reconnaît par l'augmentation du poids spécifique. En même temps, souvent, certaines propriétés sont modifiées; le corps, par exemple, devient plus cassant. On dit qu'il est *écroui* : on fait disparaître l'écrouissage en chauffant le corps à une température modérée et le laissant refroidir lentement : cette opération constitue le *recuit*.

22. **Ductilité.** — La *ductilité* est la propriété que possèdent certains corps de s'étirer en fils fins par le passage à la filière.

Une filière est une plaque en matière dure présentant des ouvertures légèrement coniques, de divers diamètres. Pour étirer un corps on l'amène d'abord à l'état de tige cylindrique par le martelage ou le laminage, cette tige ayant un diamètre un peu supérieur au diamètre de la plus grande ouverture.

La tige est amincie à une extrémité que l'on introduit dans l'ouverture la plus large; elle est saisie par une pince sur laquelle on exerce une traction énergique : la tige est alors forcée de passer à travers l'ouverture, ce qui ne se peut qu'à la condition que son diamètre diminue; en même temps la tige s'allonge. On la fait alors passer de la même façon à travers les diverses ouvertures à diamètres décroissants jusqu'à ce que le fil ait atteint le diamètre demandé.

La matière qui constitue la filière est choisie de manière à ne pas être détériorée par le passage du fil.

L'étirage exige deux conditions de la matière sur laquelle on agit : il faut que celle-ci se laisse assez facilement déformer, d'une part; mais d'autre part il faut qu'elle soit tenace pour ne pas se rompre sous l'influence de la traction qu'on exerce sur le fil pendant l'opération. Aussi l'ordre de ductilité des métaux n'est-il pas le même que l'ordre de malléabilité.

Ordre de *ductilité* : platine, argent, fer, cuivre, or, aluminium, nickel, cobalt, palladium, zinc, étain, plomb.

Le passage à la filière écrouit les métaux : pour certains, comme le fer, l'action est assez notable pour qu'il faille les recuire après chaque opération, sans quoi l'opération suivante ne pourrait réussir.

On exécute dans un certain nombre de cas une opération analogue sur des corps qui ont été amenés à l'état pâteux, souvent par l'action de la chaleur, et qui durcissent ensuite; mais alors, la matière n'étant pas tenace, on agit par refoulement (fabrication du vermicelle, etc.).

23. **Estampage.** — Il n'y a qu'un petit nombre de cas qu'on puisse citer d'une déformation permanente d'un solide produite après l'action d'une pression s'exerçant sur toute la surface du corps. Tel est le cas de la frappe des monnaies et des médailles : le métal, apporté sous la forme de *flan*, cylindre de peu de hauteur, est soumis à l'action du balancier dans lequel le métal subit une pression très énergique en tous ses points.

Sous l'influence de cette pression, il se déforme de manière à remplir complètement l'espace libre laissé entre les coins, contre lesquels il s'applique exactement; la déformation subsiste après le retrait des coins dont le métal donne alors une contre-épreuve absolument fidèle.

Comme dans les cas précédents, cette opération produit une légère augmentation de poids spécifique dénotant une diminution de volume, et le métal s'est écroui.

Un effet du même genre se produit dans l'estampage; une feuille mince d'un métal ou de toute autre substance ductile, est placée entre deux moules en matière dure dont l'un est la contre-partie de l'autre. Lorsqu'on presse ces moules l'un contre l'autre, la feuille se déforme, épousant les formes des moules et la déformation persiste après que ceux-ci ont été retirés.

Des effets du même genre sont très faciles à obtenir avec les corps mous; mais alors il n'y a généralement pas de changement de volume.

**24. Effets des actions brusques.** — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que les actions capables de produire des déformations agissaient continûment, lentement : les résultats sont différents lorsque l'action est soudaine, brusque, lorsqu'elle est le résultat d'un choc.

Des observations nombreuses et faciles à faire montrent que toute action qui se manifeste brusquement produit un effet beaucoup plus grand que lorsqu'elle agit progressivement. Un marteau posé sur une balle de plomb ne la déforme pas, tandis que la déformation est notable dès que le marteau rencontre la balle avec une certaine vitesse : l'énergie potentielle du marteau en mouvement, mesurée par sa demi-force vive, intervient alors et est la cause principale de l'effet produit. De même, en tirant avec les mains continûment sur une ficelle, même de petit diamètre, on n'arrive pas à la rompre; mais si, rapprochant les mains, on les écarte brusquement, la ficelle sera brisée.

C'est par suite d'une action de ce genre qu'on peut expliquer la rupture de certains tendons à la suite de mouvements très brusques, du tendon d'Achille notamment, après un saut d'une certaine hauteur. La tension qui se produit alors dépend de la vitesse dont est animé le corps au moment du contact avec le sol et se manifeste brusquement; c'est cette quasi-instantanéité de l'action qui est la cause de la rupture.

C'est par suite de la grande vitesse qu'ils possèdent qu'agissent les projectiles, balles et boulets : leur force vive  $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$  est la mesure de l'effet qu'ils peuvent produire; de là, le grand intérêt qu'il y a à accroître leur vitesse le plus possible.

L'influence de la vitesse est telle qu'elle produit des effets qui paraissent surprenants : si on lance, à la main, une chandelle de suif sur une planche de sapin, celle-ci ne subira aucun effet et la chandelle sera

aplatie. Mais si on lance la chandelle avec un fusil de manière à lui communiquer une assez grande vitesse, elle traversera la planche de sapin en y faisant un trou.

25. — Les déformations subies par un corps fixe qui est choqué par un corps animé d'une certaine vitesse ne se présentent pas toujours dans les mêmes conditions. Si le corps fixe est mou, la déformation est locale au moins tant que la vitesse n'est pas très grande, et il se produit une ouverture de dimensions analogues à celles du corps en mouvement, du projectile. Si le corps est dur, la déformation s'étend jusqu'à une distance plus ou moins grande; si le corps est cassant, comme une lame de verre, il se divise en fragments, souvent dans toute son étendue.

Mais si la vitesse devient très grande, les effets peuvent être différents : d'abord dans le cas de corps mous, il y a lieu de tenir compte de la masse d'air entraînée par le projectile, masse d'air dont l'action est suffisante pour produire des déformations dans les corps mous. Si le corps est dur, cassant, cette masse d'air ne produit pas d'effet, et l'action du projectile reste locale : il semble qu'elle n'a pas eu le temps de se propager à une distance appréciable. C'est ainsi qu'en tirant une balle avec un fusil contre une lame de verre, il peut arriver que celle-ci soit percée seulement d'un trou rond correspondant au passage de la balle, sans éclats.

Ces remarques s'appliquent aux blessures faites par les projectiles de guerre et expliquent les effets observés.

D'autres exemples peuvent également mettre en évidence l'absence de propagation d'un choc lorsque le corps qui le produit est animé d'une grande vitesse.

Ainsi si l'on soutient une règle ordinaire en bois par deux étriers en papier placés à ses extrémités, et qu'on donne en son milieu un coup sec, la règle se brise sans que le papier subisse aucune déchirure.

De même un tuyau de pipe en terre cuite assez résistant, supporté à ses extrémités par deux verres à boire minces, sera brisé par un coup sec donné en son milieu, sans que les verres subissent aucune atteinte.

L'expérience suivante montre encore la difficulté de la propagation des actions brusques : on suspend, à l'aide d'un fil, une boule pesante, à la partie inférieure de laquelle est attaché un fil identique au fil de suspension. Si l'on tire graduellement sur le fil inférieur, il se produit une rupture du fil supérieur; si on donne une secousse brusque, c'est le fil inférieur qui casse. Dans le premier cas, le fil inférieur ne subit que la traction exercée; le fil supérieur subit cette traction augmentée du poids de la boule; il est donc soumis à une force plus grande et doit céder d'abord. Dans le cas de la secousse brusque, l'action ne se propage pas à distance; aussi, malgré le poids de la boule, c'est le fil inférieur qui se rompt.

C'est là, du reste, un fait général et, dans le cas d'une action brusque, la rupture se fait généralement dans le voisinage du point où cette action s'est manifestée.

**26. Choc des corps.** — Examinons le cas où un corps mou rencontre un corps mou; dans ce cas, à moins que la vitesse ne soit très grande, les deux corps seront déformés. Si l'un des deux est maintenu fixe, le corps mobile sera réduit au repos. Mais si l'un d'eux étant en mouvement, l'autre est aussi en mouvement, ou est susceptible d'être déplacé, par leur rencontre ils se déformeront l'un et l'autre; mais resteront unis et continueront à se mouvoir ensemble avec une vitesse commune que l'on peut déterminer par une formule qu'il serait sans intérêt de donner.

Considérons maintenant le cas de la rencontre de deux corps élastiques; au moment de cette rencontre, les corps se déforment l'un et l'autre; mais cette déformation ne subsiste pas, et après un temps très court, ils reprennent leur forme primitive. Par suite de ces changements, des effets divers se produisent suivant les circonstances :

Si l'un des corps est maintenu fixe, l'autre *rebondit* sur lui : il reprend après le choc la même vitesse qu'il avait avant. Si le choc a lieu normalement à la surface fixe, le mobile reprend la même direction, en sens contraire. Si le choc est oblique, la vitesse change de direction de telle sorte que les deux vitesses sont de part et d'autre de la normale et font des angles égaux avec elle.

Si les deux corps sont en mouvement l'un et l'autre, ou si l'un étant en mouvement l'autre est susceptible de se déplacer, des effets divers peuvent se produire, effets indiqués par une formule que nous n'avons pas à donner.

Les divers effets dont il s'agit peuvent s'observer aisément dans le jeu de billard.

**27. Influence de la composition des corps.** — On ignore quelles sont les causes des différences si tranchées qui existent entre les différents corps simples, au point de vue des actions mécaniques dont nous venons de parler, et l'on ne peut que se borner à les constater. On n'est pas mieux renseigné sur la cause des différences que présentent, à ce point de vue, les corps composés. On peut prévoir que les alliages métalliques auront une élasticité différente de celle de chacun des corps qui le composent; mais rien n'indique dans quel sens se manifesteront les différences : l'expérience seule fournit la solution de ces questions. En particulier, il arrive souvent que de minimes quantités de certains corps introduites dans un métal ou dans un alliage en changent considérablement les propriétés : tel est le cas du soufre et du phosphore dont la présence en très petite proportion suffit pour rendre le fer et la plupart des métaux aigres et cassants; tel est encore le cas du carbone qui sui-

vant les proportions transforme le fer en fonte et en acier<sup>1</sup>, la fonte étant plus cassante, l'acier plus élastique. C'est sur les modifications profondes dues à l'action de petites quantités de matières qu'est basée la fabrication des alliages qu'on obtient dans l'industrie avec des propriétés spéciales par l'addition de minimes quantités de diverses substances, comme l'acier au manganèse, au chrome, comme le bronze phosphoreux, etc.

**28.** — Lorsqu'un corps, ayant partout la même composition chimique, ou étant homogène, possède en outre les mêmes propriétés physiques dans toutes les directions, il est dit *isotrope*; il est *anisotrope* dans le cas contraire. Les corps amorphes, les cristaux du premier système sont isotropes; la forme dissymétrique des cristaux des autres systèmes fait prévoir leur anisotropie. On peut dire également que les corps organisés sont anisotropes.

L'expérience montre que, comme on pouvait le prévoir, les corps isotropes ont la même élasticité dans toutes les directions tandis qu'il n'en est pas de même pour les corps anisotropes. Ce résultat n'a pas de conséquences pratiques pour les cristaux; mais, au contraire, il est intéressant pour les corps organisés : le bois, par exemple, ne résiste pas de la même façon aux actions mécaniques suivant que ces actions ont lieu parallèlement ou perpendiculairement aux fibres; il en est de même pour les os, dont la résistance n'est pas la même suivant leur longueur ou suivant leur épaisseur, etc.

**29.** — Nous avons déjà dit qu'une action mécanique énergique, dépassant la limite d'élasticité des métaux, produit l'écrasement. Il suffit quelquefois d'actions faibles, mais répétées pour modifier l'élasticité; tel est par exemple l'effet des vibrations qui, agissant sur le fer, finissent par amener une diminution de la ténacité, propriété dont il faut tenir compte dans l'établissement des machines et des constructions métalliques, comme les ponts, par exemple.

Mais l'une des causes qui intervient le plus efficacement dans un grand nombre de cas, c'est la variation de température. Généralement les métaux sont d'autant moins cassants que la température est plus élevée : il n'en est pas toujours ainsi; le zinc, par exemple, est plus cassant à 200° qu'à la température ordinaire.

S'il est des corps qui restent nettement solides, malgré l'élévation de température, jusqu'au moment où ils passent à l'état liquide, il en est d'autres qui n'arrivent à cet état qu'à la suite de modifications continues; de cassants, par exemple, à froid, par l'élévation de température, ils deviennent mous, puis pâteux avant de fondre : la cire à modeler, le fer, le verre, se comportent ainsi.

<sup>1</sup> Peut-être pour l'acier l'effet est-il dû à d'autres substances qui accompagnent le carbone, mais qui sont en moindres quantités.

On dit qu'on soumet un corps à la *trempe*, lorsque, après l'avoir porté à une température élevée, on l'introduit brusquement dans une masse de liquide froid, l'eau en général, quelquefois le mercure, quelquefois la graisse. Cette action a généralement pour effet de produire le durcissement de la surface; mais de plus les propriétés élastiques sont changées: l'acier, par exemple, devient plus cassant; le bronze des tams-tams, cassant à froid, devient malléable par la trempe.

Le recuit (20) détruit l'effet de la trempe.

30. **Applications de l'élasticité. Ressorts.** — Les applications des propriétés mécaniques que nous venons d'indiquer sommairement sont très nombreuses; il en est qui résultent directement de ce que nous avons dit (travail des métaux) et il est inutile de nous y arrêter. Nous nous occuperons plus spécialement des applications de l'élasticité.

Pour déformer un corps, il faut dépenser une certaine quantité d'énergie; si le corps est mou, s'il reste absolument déformé, l'énergie est complètement absorbée (déduction faite de celle qui se transforme en chaleur, comme nous le dirons plus tard). Mais si, le corps déformé étant élastique, on n'a pas dépassé la limite d'élasticité, l'énergie est passée à l'état potentiel; elle est seulement emmagasinée, accumulée, et sera rendue, récupérée: elle repassera à l'état actuel lorsque le corps reprendra sa forme primitive.

31. — Les corps élastiques peuvent donc être considérés comme des accumulateurs d'énergie et, sous forme de *ressorts*, sont fréquemment employés en cette qualité. C'est ce qui arrive dans tous les appareils qui comportent ce que l'on appelle un rouage d'horlogerie; dans ce cas, le ressort est un ruban d'acier enroulé en spirale dont une extrémité A est maintenue fixe au début et dont l'autre extrémité B est fixée à un arbre. En tournant celui-ci on resserre les spires, on *bande* le ressort; cette opération a exigé la dépense d'une certaine quantité d'énergie; celle-ci reste à l'état potentiel tant que les points A et B demeurent fixes. Quand on veut l'utiliser, on rend libre l'extrémité A; l'autre qui porte l'extrémité B étant maintenue fixe, le ressort tend à reprendre sa position primitive: l'extrémité A se déplace, entraînant le rouage auquel elle est attachée.

Quelquefois quand il s'agit d'une action de courte durée, on prend un ressort rectiligne, moins flexible, invariablement fixé à une extrémité; l'autre extrémité peut être écartée de sa position d'équilibre et maintenue dans sa nouvelle position; elle y restera inactive jusqu'à ce qu'on rende libre cette extrémité qui reviendra à sa position d'équilibre en développant une certaine quantité de travail mécanique que l'on pourra employer à déplacer un corps, à vaincre un obstacle. Cette disposition est assez fréquemment adoptée; nous citerons comme exemple le staphylotome dans lequel un ressort tendu, puis abandonné à lui-même, fait mouvoir rapidement la lame tranchante qui coupe la luelle.

Un résultat analogue est obtenu en utilisant l'élasticité de tension; le corps qu'il s'agit de mouvoir rapidement, l'obturateur d'un objectif photographique par exemple, est relié à une extrémité d'un fil de caoutchouc dont l'autre extrémité est maintenue fixe: on déplace la plaque obturatrice en tendant le caoutchouc. Lorsque, ensuite, la plaque sera abandonnée à elle-même, le caoutchouc pour revenir à sa longueur primitive entraînera la plaque d'autant plus rapidement que le caoutchouc aura été plus allongé. Si cette plaque porte une ouverture à sa partie médiane, l'objectif aura été découvert pendant le temps très court pendant lequel cette ouverture sera passée devant lui.

32. — Dans quelques circonstances, on a utilisé l'élasticité développée par la torsion; on a, par exemple, employé la disposition suivante pour produire le mouvement de quelques jouets et notamment pour la construction d'oiseaux mécaniques destinés à l'étude du vol: le moteur est un faisceau de fils de caoutchouc fixé à une extrémité, on lui communique une certaine torsion, et en se détordant, il rend l'énergie qui y avait été accumulée. Il est à remarquer que, dans ce cas, l'action n'est pas simple, car en même temps qu'il y a torsion, il se produit aussi une tension par suite de l'allongement des fils.

Il y a un très grand nombre d'autres exemples que l'on pourrait citer; mais en somme le principe est toujours le même.

L'emploi des ressorts, comme moteurs, comme accumulateurs d'énergie plutôt, est très commode pour de petits appareils; il cesse d'être avantageux lorsqu'il est nécessaire d'emmagasiner, pour avoir à le dépenser ultérieurement, un travail mécanique un peu considérable. Il résulte, en effet, de diverses recherches qu'un ressort ne peut emmagasiner au maximum que 20 kilogrammètres pour chaque kilogramme de son poids.

33. — Dans les exemples précédents, les appareils étaient disposés de manière à ce que les ressorts rendissent à un instant quelconque l'énergie qu'ils avaient emmagasinée antérieurement. Mais il est d'autres conditions un peu différentes qui méritent d'être signalées.

Quelque brusque que soit la cause qui a déformé, qui a bandé un ressort, celui-ci revient à sa forme dans un temps qui ne dépend que de la disposition et des dimensions du ressort et non de la cause qui a agi sur lui. De là l'utilité de l'interposition de ressorts pour éviter les chocs brusques, comme par exemple pour la suspension des voitures. Les secousses brusques résultant de la rencontre d'obstacles par les roues sont transmises à la caisse de la voiture de manière à avoir une plus longue durée, ce qui les adoucit.

L'interposition de corps élastiques, de ressorts, qui transforme les actions brusques en actions progressives est avantageuse au point de vue du travail transmis. C'est ce que l'on met en évidence par une ingénieuse expérience due à M. Marey et que nous allons décrire.

L'appareil employé consiste en un fléau de balance (fig. 31) muni d'un cliquet qui glisse sur une roue à rochet et qui empêche le mouvement de bascule dans un sens, tandis qu'il laisse libre le mouvement en sens contraire. A l'une des extrémités du fléau, celle qui ne peut que s'élever, on suspend une lourde masse par l'intermédiaire d'un fil inex-

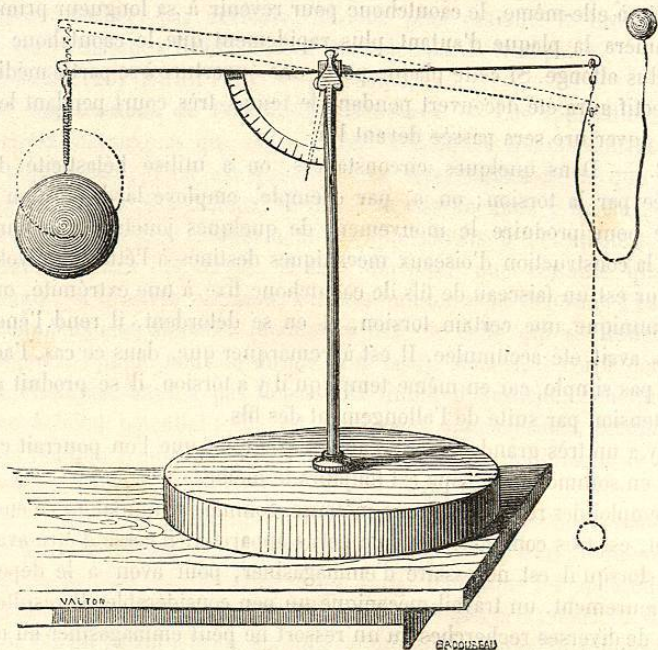


Fig. 31.

tensible; à l'autre extrémité on suspend une petite sphère par l'intermédiaire d'un fil assez long; quoique cette sphère soit moins pesante que la masse appliquée de l'autre côté, le fléau peut être maintenu horizontal, à cause de l'action de la roue à rochet.

Soulevant alors la petite sphère, on la laisse retomber d'une hauteur qui soit toujours la même, de manière à produire toujours le même effet, le même travail mécanique. Malgré la secousse communiquée au fléau, celui-ci reste horizontal; le choc, à cause de son peu de durée, a été insuffisant pour entraîner la grosse masse.

On change alors le mode de suspension de celle-ci, en substituant au fil inextensible, un fil de caoutchouc ou un ressort à boudin; si alors on reproduit à diverses reprises la chute de la petite sphère, on voit que, chaque fois, le fléau subit un déplacement, s'inclinant de plus en plus. La même énergie, la même quantité de travail a été transmise à l'appareil, mais l'effet du ressort interposé a été de transmettre cette énergie progressivement à la grosse masse, et celle-ci a pu être déplacée.

M. Marey a conclu de là qu'il y aurait intérêt pour la traction par moteurs animés à remplacer les traits inextensibles par des traits élastiques. Des expériences directes ont montré que le gain pouvait s'élever à plus de 20 p. 100.

A un autre point de vue, on conçoit que cette même notion soit applicable aux mouvements produits par l'organisme pour lesquels l'élasticité des muscles notamment constitue une condition favorable.

Nous retrouverons plus loin également le rôle de l'élasticité dans l'étude de l'écoulement des liquides.

34. **Dynamomètres.** — La formation élastique des corps a été utilisée comme moyen de mesure des forces; les appareils basés sur ce principe ont reçu le nom de *dynamomètres*. Ce sont des appareils étalonnés.

Dans quelques cas, c'est l'élasticité de traction qui est mise en jeu : le

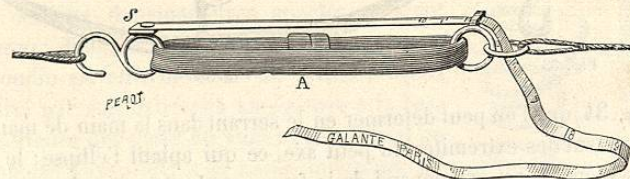


Fig. 32.

corps dont on fait usage alors est le caoutchouc, les allongements des métaux étant trop faibles pour pouvoir être utilisés. C'est le cas, par exemple, de certains appareils destinés à produire l'extension continue utilisés pour obtenir et maintenir la réduction d'une luxation ou d'une fracture. La traction, au lieu de se faire directement, se fait alors par l'intermédiaire d'un étrier de caoutchouc A (fig. 32) qui a l'avantage d'éviter les secousses et d'agir continûment. De plus, il fait connaître à chaque instant la valeur de la force mise en jeu. A cet effet, parallèlement à l'étrier et fixée à l'une de ses extrémités s se trouve une bande inextensible sur laquelle sont tracées des divisions; l'indication du nombre correspondant à la division placée en face de la seconde extrémité donne en kilogrammes la valeur de la force en jeu. Les divisions ont été obtenues par comparaison, c'est-à-dire qu'on a suspendu des poids divers à l'étrier et qu'on a noté les longueurs que prend celui-ci pour chacun de ces poids.

Conformément à ce que nous avons indiqué (10), les divisions ne sont également espacées que sur une partie de l'échelle; en deçà et au-delà elles sont variables.

D'autres dynamomètres sont basés sur l'élasticité manifestée pendant la flexion : leur forme est variable, mais ils sont toujours gradués par comparaison. Ils ne présentent pas, en général, une grande exactitude.

Certains modèles qui sont souvent employés à peser les corps sont

très simples (fig. 33) et leur emploi se conçoit sans qu'il soit nécessaire d'insister.

35. — Nous décrirons un autre modèle qui est souvent employé pour mesurer la force musculaire des mains, élément important pour le diagnostic de certaines maladies nerveuses.

Cet appareil consiste en un anneau elliptique en

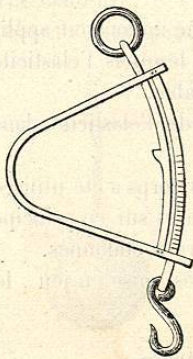


Fig. 33.

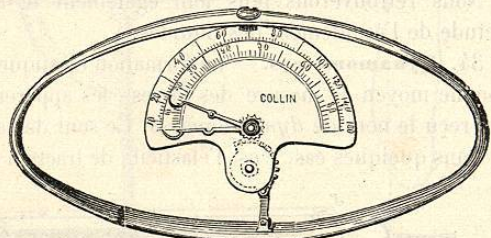


Fig. 34.

acier (fig. 34) que l'on peut déformer en le serrant dans la main de manière à appuyer sur les extrémités du petit axe, ce qui aplatit l'ellipse; le raccourcissement de cet axe dépend de la force employée; pour le mesurer, une plaque métallique qui est fixée à un des sommets du petit axe porte sur son bord libre une roue dentée mobile autour de son axe sur lequel est fixée une aiguille se mouvant sur un cadran divisé. Cette roue dentée engrène avec une crémaillère fixée au sommet opposé du petit axe. Lorsque les deux sommets se rapprochent par suite de l'aplatissement de l'ellipse, la crémaillère agit sur la roue dentée qui tourne en entraînant l'aiguille: la division à laquelle s'arrête l'aiguille fait connaître la force employée. Comme il n'est pas commode de faire la lecture de cette division pendant que l'appareil est en fonctionnement et que l'aiguille revient au zéro dès que, l'action ayant cessé, l'ellipse reprend sa forme primitive, on a monté sur le même axe une aiguille folle qui est poussée par l'aiguille principale, mais qui reste en place lorsque cette dernière revient au zéro; c'est donc la lecture de la division indiquée par l'aiguille folle qu'on a à faire. Avant chaque expérience, il faut avoir soin de ramener au zéro l'aiguille folle.

On peut également mesurer des tractions avec cet appareil en tirant en sens contraire sur les sommets du grand axe, ce qui amène encore un aplatissement de l'ellipse. Mais les déformations sont beaucoup moindres dans ce cas que dans le cas précédent: aussi le cadran sur lequel se meuvent les aiguilles porte-t-il une seconde graduation, déterminée par comparaison, comme la première.

36. — On emploie très fréquemment des ressorts à boudin, constitués par un fil métallique (fig. 35) enroulé suivant une hélice plus ou moins

régulière. On appelle longueur d'un semblable ressort, la distance de ses bases.

On peut agir sur un ressort à boudin, soit en exerçant une traction sur ses bases, ce qui tend à augmenter sa longueur, soit en le comprimant, ce qui diminue cette longueur. Bien entendu si, au repos, les spires sont au contact, on ne peut agir que par traction.

La déformation qui se produit dans ce cas est complexe, il y a à la fois flexion et torsion faible. Mais l'expérience montre que tant que la déformation n'est pas grande, il y a proportionnalité entre les forces et les allongements.

Ces ressorts sont employés dans un grand nombre de cas sur lesquels il est inutile d'insister. Nous voulons seulement

signaler qu'ils constituent la pièce importante de certains dynamomètres appelés souvent *pesons*; dans ces appareils (fig. 36) un ressort à boudin est enfermé dans un cylindre creux

et fixé par son extrémité supérieure à la base supérieure qui porte un anneau par lequel on supporte l'appareil; à la partie inférieure du ressort est attachée une tige qui traverse la base inférieure; c'est à cette tige qu'on suspend le corps à peser, par l'intermédiaire d'un crochet. Les allongements du ressort sont appréciés à l'aide d'un index porté par la tige de suspension et qui, traversant une fente faite suivant une génératrice, se déplace sur une échelle graduée. La graduation est faite par comparaison; mais à cause de la proportionnalité que nous avons signalée plus haut, les divisions sont également espacées.

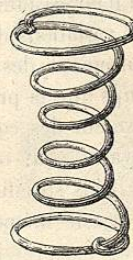


Fig. 35.



Fig. 36.

#### ART. II. — PROPRIÉTÉS DES CORPS LIQUIDES

37. **Compressibilité.** — Dans l'étude de l'hydrostatique on considère les liquides comme absolument incompressibles et absolument fluides. En réalité aucun liquide ne possède complètement ces propriétés; de là résultent des effets dont nous avons à nous occuper maintenant.

Des expériences dues à Oersted, Regnault, Grassi, etc., ont prouvé que tous les liquides sont compressibles. Sans qu'il soit nécessaire d'insister sur les appareils employés, on comprend comment on peut le vérifier: il se présente cependant deux difficultés tenant, l'une à ce que les liquides sont très peu compressibles, ce qui exige que l'on ait recours à de très fortes pressions; l'autre, à ce que, par l'effet de ces pressions, les vases qui contiennent ces volumes changent également de volume et que ces variations entraînent des corrections importantes.