roue du treuil. Le *coin* est une espèce de plan incliné double, qui parvient à se glisser entre deux surfaces très difficiles à écarter l'une de l'autre.

CHAPITRE III

Dynamique.

39. *Quels sont les* DIVERS MOUVEMENTS *dont peut être animé un solide ?* — On les ramène aux quatre suivants : 1° mouvement de *translation ;* 2° mouvement de *glissement* sur une face ; 3° mouvement de *rotation ;* 4° mouvement *composé*, ayant pour élément un mouvement de translation ou de glissement et un mouvement de rotation.

40. *D'où résulte le mouvement de rotation qui se produit dans une* ROUE ou UNE BOULE AVANÇANT *sur une surface?* — De la résistance que la surface oppose aux parties qui se trouvent en contact avec elle ; ce qui fait que ces parties ne peuvent suivre le mouvement de l'axe de la roue ou du centre de la boule.

41. *Pourquoi la rotation des roues* FACILITE-T-ELLE *la marche de la voiture?* — Parce que, sans cette rotation, la voiture n'avancerait qu'à la manière d'un traîneau, qui glisse aisément sur la glace ou la neige, mais dont le frottement contre le sol absorberait une force considérable, comme on le voit lorsque, pour ralentir le mouvement d'une voiture dans une descente, on enraye les roues.

42. *Pourquoi un* BALLON *qu'on a lancé en le frappant, exécute-t-il le plus souvent un mouvement de* ROTATION ? — Parce que généralement l'impulsion n'est pas dirigée dans le sens du centre de gravité du ballon ; d'où il résulte que la partie qui a reçu cette impulsion est animée d'une vitesse plus grande que celle du centre de gravité, ce qui produit la rotation.

43. *Pourquoi le choc résultant d'une chute est-il d'autant plus* VIOLENT *que le corps est tombé de plus* HAUT ?— Parce que, lorsqu'un corps descend par l'effet de la pesanteur, celle-ci exerce sur lui, pendant toute la durée de la chute, une action continue, de manière à lui imprimer à chaque instant une vitesse nouvelle, qui va s'ajoutant à celle qu'il avait acquise pendant les instants précédents : d'où il résulte que, *lorsqu'un corps tombe, sa vitesse s'accroît proportionnellement au temps.* Cette loi, exacte dans le vide, est modifiée dans l'air par la résistance que celui-ci oppose; mais l'altération est peu considérable lorsque le corps a une grande densité.

44. *Qu'arrive-t-il à un corps lancé de* BAS EN HAUT *dans une direction exactement* VERTICALE? — Il s'élèverait à une hauteur telle qu'en retombant il pût acquérir une vitesse égale à celle que lui avait communiquée l'impulsion primitive. Ainsi, une balle lancée verticalement de bas en haut par une arme à feu aurait, en arrivant de nouveau à terre, la même vitesse et par conséquent la même force qu'à sa sortie de l'arme.

45. *Qu'arrive-t-il quand un corps est lancé dans une direction* OBLIQUE A L'HORIZON? — Dans ce cas, qui est

celui d'une bombe lancée par un mortier, le projectile décrit une courbe appelée parabole, s'élevant d'abord jusqu'à une certaine hauteur, et descendant ensuite suivant un arc parabolique parfaitement égal et symétrique à celui qu'il a parcouru en montant.

46. *Comment se produisent en général les mouvements* CURVILIGNES? — D'une manière analogue à ce que nous venons de voir pour la bombe; c'est-à-dire par l'action simultanée d'une force d'impulsion qui, seule, produirait un mouvement rectiligne, et d'une force d'attraction qui, à chaque instant, oblige le mobile à changer de direction, ce qui constitue le mouvement curviligne. C'est ainsi que s'expliquent les mouvements des planètes autour du soleil et toutes les révolutions des corps célestes.

47. *De quoi dépend la* VITESSE *d'un corps tombant dans le* VIDE ? — Uniquement de l'intensité de la pesanteur, et nullement de la nature de ce corps, de sa densité, de sa masse, etc.; un morceau de gaze ou un brin de duvet tombent, dans le vide, avec la même vitesse qu'une balle de plomb ou de platine.

48. *De quoi dépend* L'INTENSITÉ *de la* PESANTEUR? — Surtout de la latitude du lieu où on se trouve. A l'équateur, l'intensité de la pesanteur est à son minimum, d'abord parce que, à cause du renflement de la terre, on y est plus loin du centre de gravité du globe ; mais surtout à cause de la force centrifuge, qui est là à son maximum. Pour définir l'intensité de la pesanteur à Paris, nous disons qu'un corps, dans le vide, y parcourt, durant la première seconde de sa chute, $9^m,908$.

49. *Comment se produisent les oscillations du* PENDULE? — Lorsqu'on a écarté un pendule de la verticale, la pesanteur l'y ramène aussitôt; mais, pendant sa descente, il acquiert une vitesse qui lui fera parcourir, en remontant, un arc égal à celui qu'il a parcouru en descendant. Arrivé à l'extrémité de ce second arc, la pesanteur le fait redescendre, et, sans le frottement, qui peut être adouci mais non entièrement supprimé, les oscillations, dans le vide, se continueraient indéfiniment. Dans l'air, dont la résistance s'ajoute aux effets du frottement, on voit s'éteindre peu à peu le mouvement du pendule.

50. *Qu'y a-t-il à remarquer sur la* DURÉE DES OSCILLATIONS *du pendule.* — Pour un pendule d'une longueur déterminée quelconque, les petites oscillations, qu'elles aient 1, 2 ou 3 degrés, ou même un peu plus, sont *isochrones*, c'est-à-dire de même temps ou de même durée. Mais, quand la longueur du pendule varie, la durée des oscillations varie aussi, et ses durées sont en raison inverse des racines carrées des longueurs. Il va sans dire que la durée des oscillations du pendule dépend avant tout de l'intensité de la pesanteur, et par conséquent de la latitude. A Paris, la longueur du pendule qui bat les secondes est de $0^m,994$: ce qu'on appelle la longueur d'un pendule, est la distance entre le point de suspension et le centre de gravité.

51. *A-t-on fait quelques* APPLICATIONS *du pendule?* — Un pendule d'une longueur connue sert, comme nous venons de le voir, à mesurer le temps. Le pendule, sous le nom de balancier sert, en outre, à régulariser la marche des horloges. Une de ses plus curieuses applications est celle qu'en a faite M. Léon Fou-

cault à la démonstration expérimentale du mouvement de rotation de la terre. Il est certain que, lorsqu'un pendule oscille, son plan d'oscillation reste fixe dans l'espace : cependant, en faisant osciller un pendule convenablement suspendu et d'une longueur suffisante, M. Foucault reconnut que son plan d'oscillation changeait sans cesse d'orientation par rapport aux objets environnants, comme s'il eût tourné d'orient en occident. Ce mouvement apparent ne pouvait être évidemment que le mouvement réel de la terre tournant sur son axe d'occident en orient.

CHAPITRE IV

Hydrostatique et hydrodynamique.

§ 1er. — NIVEAU DES LIQUIDES.

52. *En quoi consiste le* NIVEAU *d'un* LIQUIDE ? — En ce que la surface supérieure d'un liquide en repos est un plan sensiblement horizontal : cette horizontalité tient à ce que la grande mobilité des molécules d'un liquide les oblige à se rapprocher le plus possible du centre de la terre. Mais cette même raison exige, lorsqu'il s'agit d'une surface liquide de quelque étendue, que sa surface soit, non plus une surface plane, mais une surface sphéroïdale représentant exactement

la forme de la terre. Et, en effet, les forces qui agissent sur le liquide en question sont celles-là mêmes qui auraient déterminé la forme du sphéroïde terrestre supposé primitivement liquide. Cette forme sphéroïdale de la surface des liquides est constatée par les observations que font chaque jour les navigateurs ; si sur une petite surface on ne remarque pas cette forme, c'est parce qu'une très petite partie d'une surface courbe de grand rayon est sensiblement un plan.

53. *Comment se dispose un liquide homogène dans deux* TUBES COMMUNIQUANTS ? — Le liquide s'élève à la même hauteur dans les deux tubes : en effet, les deux colonnes doivent se comporter comme si, au lieu d'être enfermées dans deux tubes distincts, elles faisaient partie d'une seule et même masse liquide.

54. *Cette loi a-t-elle quelques* APPLICATIONS *dignes d'intérêt ?* — Elle en présente surtout une très importante dans les *puits artésiens*, où l'eau ne s'élève que pour atteindre le niveau de quelque bassin avec lequel elle communique par des conduits souterrains. C'est en vertu de cette même loi que, pour faire monter l'eau, notamment aux différents étages des maisons d'une ville, on établit à une hauteur convenable un réservoir que l'on met en communication par des conduits en partie souterrains avec les points où on veut amener l'eau. C'est encore par suite de cette même loi que l'eau qui forme un jet d'eau s'élance pour essayer d'atteindre le niveau du réservoir d'où elle vient.

55. *Qu'arrive-t-il quand deux tubes communiquants contiennent deux liquides* DE DENSITÉS DIFFÉRENTES, *dont*

une cause quelconque empêche le mélange? — La condition d'équilibre, dans ce cas, est que les hauteurs verticales des niveaux des deux liquides soient en raison inverse des densités.

56 *Cette loi a-t-elle des* APPLICATIONS ? — Cette loi, qui est vraie pour tous les *fluides*, c'est-à-dire pour l'air et les autres gaz aussi bien que pour les liquides, s'applique surtout à des appareils dans lesquels se font équilibre, d'un côté un liquide enfermé dans un tube, de l'autre la pression de l'atmosphère. Les principaux appareils de ce genre sont la *pompe aspirante* et le *baromètre*, que nous expliquerons plus tard.

§ 2. — PRESSION DES LIQUIDES ET DES GAZ.

57. *Comment s'évalue la pression qu'un liquide, en vertu de la pesanteur, exerce* SUR LE FOND DU VASE *qui le contient?* — Cette pression est exprimée par le produit de trois nombres indiquant : le poids spécifique du liquide, la hauteur qu'il atteint dans le vase, et l'étendue superficielle de la base de celui-ci.

58. *Cette pression n'est donc pas égale au* POIDS *du liquide?* — Elle est égale au poids du liquide lorsque le vase est un cylindre ou un prisme vertical; mais la pression que le liquide exerce sur le fond demeure invariable, quoique le vase se rétrécisse de manière à contenir beaucoup moins de liquide, ou s'évase de manière à en contenir beaucoup plus. Quelque forme qu'ait le vase, on détermine la hauteur du liquide en cherchant la distance verticale entre la partie inférieure du vase et le niveau le plus élevé du liquide, lors même que cette partie de la surface du liquide ne correspondrait pas à la partie la plus basse du vase.

59. *La pression d'un liquide ne s'exerce-t-elle* QUE SUR LE FOND DU VASE ? Elle s'exerce aussi sur toute la surface intérieure de ce vase et même sur la surface des corps immergés. Cette pression est toujours perpendiculaire à la portion de surface sur laquelle elle s'exerce, et proportionnelle à l'étendue de cette surface, ainsi qu'à la hauteur du liquide au-dessus d'elle : on comprend que, pour que la hauteur du liquide puisse être sensiblement la même pour toute la portion de surface que l'on considère, cette portion doit être très petite. Mais un liquide ne presse pas seulement de haut en bas et latéralement; il presse aussi de bas en haut sur les parties rentrantes des parois du vase et sur les faces inférieures des corps immergés, et cette pression, toujours perpendiculaire à la portion de surface que l'on considère, est toujours aussi proportionnelle à son étendue, ainsi qu'à la hauteur du liquide au-dessus d'elle. Pour se rendre compte de cette dernière circonstance, il n'y a qu'à considérer la colonne liquide qui presse de bas en haut, comme contenue dans un tube qui communiquerait avec un autre tube s'élevant jusqu'au niveau supérieur du liquide.

60. *Un liquide ne transmet-il que la* PRESSION *résultant de son* PROPRE POIDS ? — Il transmet de la même manière toute pression exercée sur lui par n'importe quel moyen : cet ensemble de particularités qui tiennent toutes à la grande mobilité des molécules des liquides, constitue le fait capital de l'*égalité de pression dans tous les sens*.

61. *Cette propriété* N'APPARTIENT-ELLE QU'AUX LIQUIDES ? — Elle appartient également aux gaz; mais elle est moins aisée à étudier dans ces corps, à cause de la complication qui résulte de leur grande compressibilité.

62. *Cette propriété a-t-elle des* APPLICATIONS ? — Elle en a surtout une très importante, qui constitue la *presse hydraulique* de Pascal. Cet appareil se compose d'un grand cylindre à parois très résistantes, dans lequel glisse un piston à frottement très exact, de manière à ne pas laisser échapper l'eau qui remplit le cylindre. Cette eau communique avec celle que renferme un cylindre plus petit, et que l'on presse au moyen d'un levier. Supposons que la pression exercée sur le petit piston soit équivalente à 10 kilogrammes, et que la superficie du grand piston soit 1000 fois celle du petit; le grand piston exercera une pression égale à 10,000 kilogrammes : on comprend quels effets énormes peut produire cette machine au moyen d'une force motrice insignifiante. C'est là le secret des moteurs à pression d'eau d'Armstrong, si communs aujourd'hui dans tous nos ports.

§ 3. — DES CORPS SOLIDES PLONGÉS DANS UN FLUIDE.

63. *Qu'arrive-t-il lorsqu'un corps solide est plongé dans un liquide qui, à égalité de volume, pèse* MOINS *que lui?* — Le solide perd de son poids une partie égale au poids du liquide déplacé, et il descend en vertu de la partie de son poids qui n'est pas ainsi neutralisée : c'est là ce qu'on appelle le *principe d'Archimède.*

64. *Qu'arrive-t-il lorsqu'un corps solide est plongé dans un liquide qui, à égalité de volume, pèse juste* AUTANT *que lui?* — Son poids se trouve exactement neutralisé ; il ne tend donc ni à descendre ni à monter.

65. *Qu'arrive-t-il lorsqu'un corps solide est plongé dans un liquide qui, à égalité de volume, pèse* PLUS *que lui?* — Il est poussé de bas en haut par une force verticale équivalente à la différence entre le poids du liquide déplacé et celui du solide. Arrivé à la surface du liquide, il émerge jusqu'à ce que la quantité de liquide qu'il déplace ait juste un poids égal à la totalité de son propre poids. Il se trouve alors en équilibre; mais pour que cet équilibre soit stable, il faut en outre que le centre de gravité du solide se trouve dans la partie immergée.

66. *La théorie précédente a-t-elle des* APPLICATIONS? — Elle s'applique surtout à la *navigation,* à l'*aérostation* et à l'*arécmétrie.*

67. *Lequel des trois principes ci-dessus s'applique à la* NAVIGATION? — Le troisième : en effet, un objet creux, fût-il d'une matière beaucoup plus lourde qu'un liquide donné, pourra, avec l'air qu'il contient, former un tout spécifiquement plus léger que le liquide, et dans les conditions voulues pour surnager. C'est ainsi qu'un navire, même en fer, se soutient sur l'eau : mais, afin qu'il ne soit pas trop facile à renverser, surtout à cause de la prise que sa voilure donne au vent, il faut que, par l'effet du lest, son centre de gravité soit le plus bas possible.

68. *Comment les principes ci-dessus s'appliquent-ils*

*à l'*AÉROSTATION? — Un aérostat, malgré le poids qu'il enlève, forme un tout plus léger qu'un volume d'air égal au sien ; il monte donc dans l'atmosphère, en vertu du troisième des principes en question. Mais l'air, à cause de sa grande compressibilité, est plus dense près de la terre, où il supporte le poids d'une masse atmosphérique plus considérable ; en conséquence, à mesure qu'on s'élève, sa densité diminue, et l'aérostat arrive bientôt dans une couche où le poids de l'air, à égalité de volume, est égal au sien. Alors, en vertu du second principe, il se trouve en équilibre avec l'air. Pour le faire monter davantage, il faut diminuer son poids, en jetant du lest ; et, pour le faire descendre, laisser échapper du gaz, ce qui diminue son volume, en ne lui ôtant qu'une fraction insignifiante de son poids.

9. *Qu'est-ce que l'*ARÉOMÉTRIE? — C'est la détermination des poids spécifiques, au moyen d'appareils compris sous la dénomination générale d'*aréomètres*, de deux mots grecs signifiant, l'un *mesure*, et l'autre, *air*, milieu *rare*, *peu dense*. Les aréomètres présentent de nombreuses variétés, depuis la balance hydrostatique, fort employée dans certaines études scientifiques, jusqu'aux *pèse-liqueurs*, *pèse-acides*, etc., qui servent uniquement pour le commerce et l'industrie. Toutes les opérations qu'on peut faire avec ces divers instruments sont des applications du principe d'Archimède.

CHAPITRE V

Détails sur les principaux moteurs.

§ 1er. LES MOTEURS ANIMÉS.

70. *Quelle comparaison peut-on établir entre les principaux moteurs* ANIMÉS? — L'homme est de beaucoup supérieur à tous les autres, non pas par la force, mais par l'intelligence qui le dirige, et aussi par l'admirable conformation de ses membres, surtout des mains, instruments incomparables. Le plus utile auxiliaire de l'homme est le cheval, qui à la force joint la vitesse. On prend pour unité de travail le *kilogrammètre*, ou comme unité de force, la force capable d'élever un kilogramme à un mètre de hauteur en une seconde. La force désignée sous le nom de *cheval-vapeur* et qui sert à son tour d'unité dynamique, pour les machines, est de 75 kilogrammètres ou 75 kilogrammes élevés à 1 mètre en une seconde. En moyenne le travail d'un cheval est le cinquième d'un cheval-vapeur, de 15 kilogrammètres. Le travail mécanique de l'homme est en moyenne un neuvième de celui du cheval. Le bœuf déploie à peu près autant de force que le cheval, mais, à cause de sa lenteur, il produit moitié moins de travail ; l'âne en produit à peu près le quart.

§ 2. MOTEURS HYDRAULIQUES ET AÉRIENS.

71. *Quelle est la force motrice de l'*EAU ? — Afin de tirer plus de parti de la force motrice d'un cours d'eau, on y ménage des *chutes*, au moyen de *barrages;* la force qu'on obtient ainsi s'évalue en multipliant le poids de l'eau dépensée en une seconde par la hauteur de la chute.

72. *Quelle est la force d'un* MOULIN A VENT ? — Cette force, exprimée en kilogrammètres, est à peu près égale au cube de la vitesse du vent multiplié par les 13 centièmes de la surface des ailes. Le travail annuel est le tiers environ de ce qu'il serait si le moulin marchait constamment sous l'action d'un vent de 6 à 7 mètres par seconde.

73. *Comment estime-t-on la force d'un navire* A VOILES ? — On admet généralement, dans la marine marchande, que chaque tonneau de fret exige environ 1 mètre carré de voilure. Le tonneau métrique, en termes de navire, signifie un poids de 1000 kilogrammes.

§ 3. — LA VAPEUR.

74. *De quoi se compose essentiellement la* MACHINE A VAPEUR ? — D'une *chaudière*, ou générateur de la vapeur; d'un *cylindre à piston moteur;* d'un *balancier* pour transmettre le mouvement; d'un *volant*, pour le régulariser.

75. *Quelles sont les principales* VARIÉTÉS *de la machine à vapeur?* — La machine est *sans détente* et *sans condensation*, quand la vapeur, après avoir agi à pleine pression pendant toute la course du piston, se dégage librement dans l'atmosphère. Elle est *sans détente et à condensation*, lorsque la vapeur, après avoir agi à pleine pression pendant toute la course du piston, est condensée de manière à laisser derrière le piston un vide plus ou moins parfait. Une machine, soit à condensation, soit sans condensation, peut être *à détente*, lorsque la vapeur, après avoir agi à pleine pression pendant une partie de la course du piston, agit en se détendant pendant le reste de la course, avant de se dégager ou d'être condensée. Une autre distinction essentielle est celle des machines à simple effet et des machines à double effet. Dans la machine *à double effet*, la vapeur agit alternativement sur les deux bases du piston; dans la machine à *simple effet*, la vapeur n'agit que sur une des bases du piston; la course inverse du piston s'opère par l'effet de la pression atmosphérique, qui agit sur la seconde base, lorsque, par le dégagement ou la condensation de la vapeur, le vide s'est formé du côté de la première base. On distingue encore les machines à *basse*, à *moyenne* et à haute *pression*, selon que la pression dans la chaudière est inférieure à deux ou quatre atmosphères, ou qu'elle dépasse cette dernière limite.