CHAPITRE I.

PESANTEUR.

Direction de la pesanteur. — Poids. — Centre de gravité. — Densité. — Équilibre des corps pesants.

Direction de la pesanteur.

46. *Pesanteur.* — La *pesanteur* est la force d'attraction qui sollicite les corps à *tomber*, c'est-à-dire à se diriger vers la terre. Elle est un effet de l'*attraction universelle,* dont la loi, découverte par Newton, s'énonce ainsi : *La matière attire la matière en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances.* Tous les corps sont soumis à son action. Si quelques-uns, comme les nuages, la fumée, les ballons, semblent s'y soustraire en s'élevant dans l'atmosphère, cette apparente exception, comme nous le verrons plus loin, n'est qu'un effet de la pesanteur elle-même et rentre dans la loi générale.

La pesanteur est une force constante, car la vitesse d'un corps qui tombe augmente pendant toute la durée de sa chute. Cette augmentation de vitesse ne tient pas, comme on pourrait le croire, à ce que l'énergie de la pesanteur s'accroît à mesure que le corps, en tombant, se rapproche du globe ; car, aux diverses hauteurs de chute que nous pouvons observer sur la terre, l'espace parcouru par un corps dans la première seconde est toujours sensiblement le même, attendu que ces hauteurs ne sont en réalité que de très-petites distances relativement à la longueur du rayon terrestre. L'accélération ne peut donc être due qu'à la continuité d'action de la pesanteur sur les corps qu'elle sollicite, pendant toute la durée de leur mouvement.

Fig. 8.

47. *Direction de la pesanteur.* — La direction de la pesanteur est la ligne droite que suivent les corps en tombant.

Cette direction, donnée par le *fil à plomb* (*fig.* 8), se nomme *verticale.* Elle est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles et représente par conséquent, pour chaque lieu de la terre, le rayon terrestre passant par ce lieu. En effet, la terre étant à peu près sphérique, toutes les perpendiculaires à sa surface libre, c'est-à-dire à la surface des eaux tranquilles, vont sensiblement concourir à son centre. D'ailleurs, on démontre, en mécanique rationnelle, que la résultante de toutes les attractions exercées par les molécules d'une sphère sur une autre molécule placée en dehors de cette sphère, a pour direction la ligne qui joint cette molécule au centre.

Il résulte de cette direction de la pesanteur que les verticales de deux points éloignés du globe forment un angle, puisqu'elles vont se rencontrer au centre. Ainsi de Barcelone à Dunkerque cet angle est de 7° 28′. Mais pour de très-petites distances, par exemple pour celles qui séparent les molécules d'un même corps, cet angle est insensible et les verticales peuvent être considérées comme rigoureusement parallèles, en raison de l'énorme distance à laquelle elles se rencontrent par rapport à celle qui les sépare. La pesanteur, agissant verticalement sur toutes les molécules d'un corps, représente donc pour chaque corps un ensemble de forces parallèles.

On appelle *ligne horizontale, plan horizontal* d'un lieu, la ligne droite et le plan perpendiculaires à la verticale de ce lieu. Le plan horizontal porte encore le nom de plan ou *surface de niveau.* On désigne sous le nom d'*antipodes* les lieux de la terre diamétralement opposés ; les verticales de ces lieux représentent donc sensiblement le prolongement du diamètre terrestre qui les joint l'un à l'autre.

Remarque. — La pesanteur étant un des effets de l'attraction que la matière exerce à distance sur elle-même, il en résulte que les hautes montagnes doivent produire dans leur voisinage une déviation du fil à plomb. C'est, en effet, ce qui a été constaté par divers observateurs, entre autres par Bouguer sur les flancs du Chimboraço; par Maskeline, en 1772, au pied des monts Shéhalliens, en Écosse, et par Carlini, en 1824, au Mont-Cenis. La déviation trouvée par Bouguer, fut de 8″; celle trouvée par Maskeline s'élevait à 54′. Remarquons que le fil à plomb, ainsi dévié de la verticale, ne cesse pas d'être toujours perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles qui avoisinent les montagnes; car la même cause qui dévie le fil modifie également l'horizontalité de ces eaux. Aussi ces observations fort délicates n'ont-elles pu être faites qu'à l'aide de points fixes fournis par les étoiles.

Poids. Poids absolu, poids relatif et poids spécifique. Densité.

48. *Poids.* — On appelle *poids d'un corps* la résultante des actions que la pesanteur exerce sur toutes ses molécules. On dit encore que le poids d'un corps est la pression que ce corps exercerait dans le vide sur un plan horizontal s'opposant à sa chute. Il résulte de la première définition que le poids d'un corps est proportionnel à sa masse, et réciproquement.

Il ne faut pas confondre, comme on le fait quelquefois dans le langage vulgaire, le mot *pesanteur* avec le mot *poids*. La pesanteur désigne *la force constante* qui attire tous les corps vers le centre de la terre, tandis que le poids désigne *l'effet de cette force* sur chacun d'eux.

Fig. 9.

On distingue dans les corps trois espèces de poids : le *poids absolu*, le *poids relatif* et le *poids spécifique*.

Le *poids absolu* d'un corps est représenté par l'effort qu'il faut lui opposer dans le vide pour l'empêcher de tomber. Ainsi, soit (*fig.* 9) une particule matérielle A sollicitée par l'action de la pesanteur AP; la force égale AF qu'il faudra lui opposer pour qu'elle ne tombe pas représentera son poids absolu.

Le *poids relatif* d'un corps est le rapport de son poids absolu à un autre poids déterminé que l'on prend pour unité. On l'obtient au moyen de la balance. L'unité de poids, dans notre système métrique, est le *gramme*, c'est-à-dire le poids d'un *centimètre cube* d'eau distillée et à son maximum de densité.

Le *poids spécifique d'un corps* est le rapport de son poids, sous un certain volume, au poids d'un même volume d'eau distillée, à son maximum de densité. Comme l'unité de poids, dans notre système métrique, correspond à l'unité de volume, on peut encore dire que le poids spécifique d'un corps est le *poids de l'unité de volume de ce corps*. Ainsi, un centimètre cube de platine pesant 22 grammes, tandis que le même volume d'eau ne pèse que 1 gramme, le poids spécifique du platine sera 22. De même, quand nous disons que le poids spécifique du plomb est 11, nous exprimons qu'à volume égal le plomb pèse onze fois plus que l'eau, ou encore qu'un centimètre cube de plomb pèse 11 grammes. Cette définition ne s'applique qu'aux corps solides ou liquides. Pour

les gaz, c'est l'air atmosphérique qui sert de terme de comparaison dans la mesure de leurs poids spécifiques.

Remarque. — La formule $M = \frac{P}{g}$ indiquée plus haut (41), dans laquelle M représente la masse d'un corps, P son poids absolu et g l'intensité de la pesanteur, nous donne $P = Mg$. Donc le *poids absolu* d'un corps varie proportionnellement à l'intensité de la pesanteur. Ce poids, par conséquent, n'est pas le même sur tous les points du globe : comme la pesanteur à laquelle il est subordonné, il augmente en allant de l'équateur au pôle. Mais le poids relatif reste constant, quel que soit le point du globe où on le considère : un corps pesant 500 grammes à l'équateur pèse également 500 grammes au pôle, attendu que les variations dans l'intensité de la pesanteur s'exercent en égale proportion et sur le corps et sur l'unité de poids qui sert à le peser.

49. *Densité.* — Nous venons de voir que tous les corps sous le même volume n'ont pas le même poids, c'est-à-dire qu'ils ne renferment pas la même masse ou quantité de matière. On appelle *densité* d'un corps la *masse ou quantité de matière qu'il contient sous l'unité de volume*, ou bien, ce qui est la même chose, le *rapport de sa masse à son volume*. Or, comme en un même lieu les masses sont proportionnelles aux poids, on peut encore dire que la densité d'un corps est le *poids de l'unité de volume de ce corps*. Les mots *densité* et *poids spécifique* expriment donc, en physique, la même idée, et peuvent être employés indifféremment.

Centre de gravité. Équilibre des corps pesants.

50. *Centre de gravité.* — Le *centre de gravité* d'un corps est le point d'application de la pesanteur, c'est-à-dire le point fixe par lequel passe constamment la résultante de toutes les actions que la pesanteur exerce sur les molécules de ce corps, dans toutes les positions qu'il peut prendre. Pour bien concevoir cette définition, rappelons-nous que la pesanteur, agissant sur toutes les molécules d'un corps, représente pour chaque corps un ensemble de forces verticales parallèles (47). Or, si le corps change successivement de position, ces forces conservant les mêmes points d'application, la même direction et les mêmes intensités, leur résultante passera toujours par le même point (55).

La détermination du centre de gravité appartient à la Mécanique. Dans quelques cas cependant, on peut le déterminer immédiatement. Quand il s'agit, par exemple, de corps homogènes ayant des formes géométriques régulières, il est bien évident que le centre de gravité coïncidera avec leur centre de figure. C'est ainsi que le centre de gravité G d'un parallélipipède (*fig.* 10) est au point de rencontre des deux diagonales; que le centre de gravité d'un cylindre droit (*fig.* 11), ou oblique (*fig.* 12), est au milieu de l'axe ou de la ligne droite qui joint les centres des deux bases; que le centre de gravité d'une sphère est au centre même de cette sphère; que le centre de gravité d'un disque, d'un anneau (*fig.* 13), est au centre de ce disque ou de cet

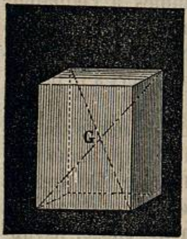

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 13.

anneau, etc. * De même, s'il s'agit d'un corps homogène dont l'épaisseur soit très-petite relativement à ses autres dimensions, comme une planche mince ou une feuille de tôle, on pourra faire abstraction de cette épaisseur et ne considérer que la surface. C'est ainsi que l'on trouvera que le centre de gravité d'un parallélogramme (*fig.* 14) est au point de rencontre de ses diagonales, et que le centre de gravité d'un cercle est situé au centre même de ce cercle.

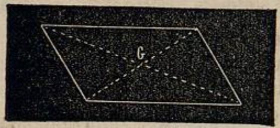

Fig. 14.

On peut encore, dans certains cas, déterminer par l'expérience le centre de gravité d'un corps.

Soit, par exemple, le demi-cercle A (*fig.* 15) considéré comme un plan pesant, et supposons qu'on le suspende par un fil attaché au point D. Ce demi-cercle prendra une certaine position

* On voit par ce dernier exemple que le centre de gravité d'un corps solide peut être situé en un point qui ne fait pas partie de ce corps lui-même.

d'équilibre (51); et comme cet équilibre n'est posssible que dans le cas où la résultante commune de la pesanteur se trouve dans la même direction que la force qu'on y oppose, il est évident que le centre de gravité du demi-cercle se trouvera sur un point quelconque de la ligne DF. Si l'on trace cette ligne sur le demi-cercle et qu'on le suspende de nouveau par un autre point D', les mêmes conditions d'équilibre se représentant, on aura une nouvelle ligne D'F' sur laquelle devra aussi se trouver le centre de gravité du demi-cercle : donc ce centre de gravité sera placé à l'intersection des deux lignes, c'est-à-dire au point G.

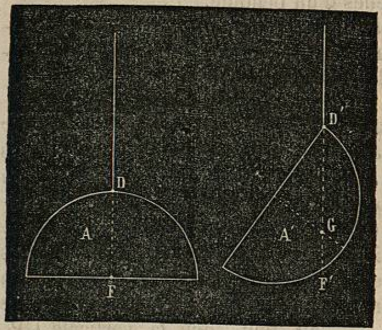

Fig. 15.

51. *Équilibre des corps pesants.*—L'action de la pesanteur sur un corps pouvant toujours être représentée par une résultante unique, égale à son poids, verticale et appliquée à son centre de gravité, il suffit, pour lui faire équilibre, de lui opposer une force égale, de même direction et appliquée au même point. On peut obtenir ce résultat de trois manières différentes : 1° en soutenant le centre de gravité par un fil; 2° par un axe horizontal; 3° par un plan fixe.

1° Quand un corps est suspendu par un fil, il ne peut être en équilibre que lorsque le fil est vertical et que le centre de gravité du corps se trouve dans sa direction. De là le procédé que nous venons d'indiquer (50) pour déterminer expérimentalement le centre de gravité d'un corps.

2° Lorsqu'un corps solide est soutenu par un axe horizontal autour duquel il peut librement tourner, l'équilibre ne peut avoir lieu que si la verticale du centre de gravité passe par l'axe. Cette condition peut être remplie de trois manières différentes; ce qui donne trois sortes d'équilibre : l'*équilibre indifférent*, l'*équilibre stable* et l'*équilibre instable*.

L'équilibre est *indifférent* si l'axe passe par le centre de gravité; il est facile de voir en effet que le corps restera en équilibre dans toutes les positions qu'on pourra lui donner, puisque son centre de gravité et le point d'appui ne cesseront pas de coïncider.

L'équilibre est *stable* si le centre de gravité est au-dessous de l'axe : car le corps écarté de sa position d'équilibre tendra toujours à y revenir en exécutant autour d'elle une série d'oscillations analogues à celles d'un pendule.

L'équilibre est *instable* quand le centre de gravité est au-dessus de l'axe; car, pour peu qu'on écarte le corps de sa position d'équilibre, il s'en éloigne sans retour.

3° Quand un corps pesant s'appuie sur un plan horizontal, sur une table ou sur le sol par exemple, il peut arriver que ce corps n'ait avec le plan qu'un seul point de contact; exemple : une sphère. Pour que ce corps soit en équilibre, il faudra que la verticale abaissée du centre de gravité passe par le point de contact.

Si le corps, au contraire, touche le plan par plusieurs points (*fig.* 16), et qu'on joigne ces points deux à deux de manière à former un polygone convexe, il faudra, pour que l'équilibre ait lieu, que la verticale GP, abaissée du centre de gravité, tombe dans l'intérieur de la base que représente le polygone.

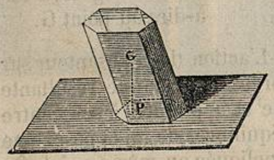

Fig. 16.

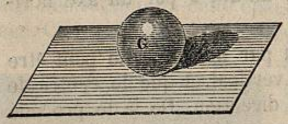

Fig 17.

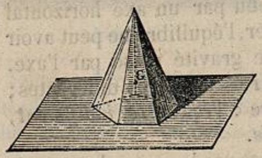

Fig. 18.

Un corps placé sur un plan horizontal peut présenter, comme dans le cas précédent, trois sortes d'équilibre : 1° il sera en équilibre indifférent lorsque son centre de gravité ne pourra ni s'élever ni s'abaisser dans les différentes positions qu'il pourra prendre ; exemple : une sphère parfaite et homogène (*fig.* 17) ; 2° l'équilibre sera stable lorsque le centre de gravité sera plus bas que dans toute autre position; exemple : une pyramide placée sur sa base (*fig.* 18); 3° l'équilibre sera instable si le centre de gravité est plus haut que dans toute autre position ; exemple : une pyramide régulière appuyant sur un plan par son sommet (*fig.* 19).

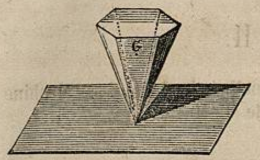

Fig. 19.

On peut dire, en général, qu'un corps reposant sur un plan a d'autant plus de stabilité que son centre de gravité est situé plus bas et que sa base est plus large.

Ces principes trouvent leur application dans l'architecture, dans la construction, le chargement des voitures et dans l'équilibre du corps humain : dans l'architecture, pour la distribution des matériaux superposés qui constituent nos édifices et nos maisons ; dans la construction et le chargement des voitures, pour en assurer la stabilité sur le sol; dans l'équilibre du corps humain, pour expliquer ses diverses attitudes dans la station verticale ou assise, dans l'action de porter des fardeaux, et dans une foule d'autres circonstances.

Résumé.

I. La pesanteur est la force d'attraction qui sollicite les corps à se diriger vers le centre de la terre.

II. La direction donnée par le fil à plomb se nomme *verticale.* Elle est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles.

III. Le poids d'un corps est la résultante de toutes les actions que la pesanteur exerce sur ses molécules. On distingue trois espèces de poids : le poids absolu, le poids relatif et le poids spécifique.

IV. La densité d'un corps est le rapport de sa masse à son volume. Comme en un même lieu les masses sont proportionnelles aux poids, on peut encore dire que la densité d'un corps est *le poids de l'unité de volume de ce corps.*

V. Le centre de gravité d'un corps est le point par lequel passe constamment la résultante de toutes les actions que la pesanteur exerce sur les molécules de ce corps, dans toutes les positions qu'il peut prendre.

VI. Pour des corps homogènes et de formes géométriques, le centre de gravité est au centre de figure. Pour d'autres corps, on peut, dans quelques cas, le déterminer expérimentalement.

VII. Un corps est en équilibre lorsque son centre de gravité est soutenu contre l'action de la pesanteur. Il y a trois sortes d'équilibre : l'équilibre indifférent, l'équilibre stable et l'équilibre instable.

CHAPITRE II.

Lois de la chute des corps. — Plan incliné de Galilée. — Machine d'Atwood. — Appareil de M. Morin.

Lois de la chute des corps.

32. *Lois de la chute des corps.* — Les lois de la chute des corps sont au nombre de trois.

Fig. 20.

1re Loi. *Tous les corps tombent dans le vide avec la même vitesse.*

Les différences que nous observons dans la vitesse des corps qui tombent au milieu de l'atmosphère ne tiennent qu'aux résistances plus ou moins grandes que l'air oppose à leur chute. Pour le démontrer, il suffit de prendre un tube de verre (*fig.* 20) de deux mètres de longueur environ, fermé à l'une de ses extrémités, et pouvant s'ouvrir ou se fermer à l'extrémité opposée au moyen d'un robinet en cuivre. On y introduit des corps de densités très-différentes, comme des balles de plomb, du liége, du papier, du duvet, etc.; puis on fait le vide au moyen de la machine pneumatique. Retournant ensuite le tube rapidement, on voit tous les corps tomber avec la même vitesse et arriver au fond en même temps. Mais si l'on fait rentrer un peu d'air dans le tube et qu'on le renverse de nouveau, on constate que les corps les plus légers commencent à tomber un peu moins vite que les autres, et cette différence devient d'autant plus grande qu'on laisse pénétrer plus d'air dans l'appareil.

On peut démontrer encore cette loi au moyen d'une pièce de monnaie maintenue horizontalement, et sur laquelle on place, sans le coller, un disque de papier d'un diamètre un peu plus petit. Si on laisse tomber la pièce de monnaie avec le disque de papier qui la recouvre, celui-ci, soustrait à la résistance de l'air, arrive à terre en même temps qu'elle ; tandis que si on laissait tomber séparément

ces deux corps, le disque de papier n'arriverait à terre que longtemps après la pièce métallique.

2e Loi (loi des espaces). *Les espaces parcourus par un corps qui tombe librement dans le vide croissent proportionnellement aux carrés des temps employés à les parcourir, à partir de l'origine du mouvement.*

3e Loi (loi des vitesses). *Les vitesses acquises par un corps qui tombe librement dans le vide croissent proportionnellement aux temps écoulés depuis le commencement de la chute.*

On démontre expérimentalement ces deux dernières lois au moyen de la *machine d'Atwood* et de l'*appareil de M. Morin.*

La loi des espaces, découverte vers la fin du seizième siècle par Galilée, a été pour la première fois mise en évidence par l'illustre physicien de Pise au moyen du plan incliné.

Plan incliné de Galilée.

33. *Plan incliné de Galilée.* — On appelle *plan incliné* tout plan qui fait un angle aigu avec l'horizon (*fig.* 21).

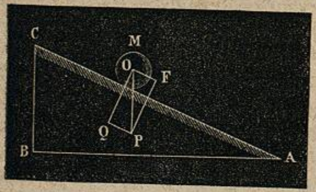

Fig. 21.

Ainsi, soit CA un plan incliné faisant avec l'horizon BA l'angle aigu CAB. La perpendiculaire CB abaissée du point C sur la ligne horizontale BA donne la *hauteur* du plan incliné, dont la ligne CA représente la *longueur.*

Supposons maintenant qu'un mobile M, de forme sphérique, soit placé sur ce plan. Ce mobile, sollicité par son poids P qui s'applique verticalement à son centre O, ne pourra suivre cette direction, puisque la résistance du plan s'y oppose. Mais ce poids pourra être décomposé en deux forces Q et F, l'une perpendiculaire et l'autre parallèle au plan. La première force Q sera détruite par la résistance du plan, tandis que la seconde F sera seule effective. Or, en construisant le parallélogramme des forces OFPQ, on aura les deux triangles rectangles OFP et CBA, qui sont semblables comme ayant leurs angles égaux; ce qui donnera la proportion

$$\frac{OF}{OP}=\frac{CB}{CA} \quad \text{ou} \quad \frac{F}{P}=\frac{CB}{CA}.$$

D'où l'on conclut que la force effective F est au poids réel du mobile P *comme la hauteur du plan incliné est à sa longueur.* Donc, si la hauteur du plan est 2, 3, 4,... fois plus petite que sa longueur, la force F sera 2, 3, 4,... fois plus petite que la force de pesanteur P, et, par suite, la vitesse du mobile sur le plan sera 2, 3, 4,... fois moindre que sa vitesse en chute verticale. Observons que les lois du mouvement ne seront point changées, puisque la force F est de même nature que la pesanteur dont elle n'est qu'une fraction. De plus, comme on pourra ralentir à volonté la vitesse du mobile en diminuant la hauteur du plan incliné, rien ne sera plus facile que de mesurer avec cet appareil les espaces parcourus pendant 1, 2, 3,... secondes. On trouvera que ces espaces sont entre eux comme 1, 4, 9,... etc. Quant à la loi des vitesses, on la déduit, par le raisonnement, de la loi des espaces.

Machine d'Atwood.

54. *Machine d'Atwood.* — La *machine d'Atwood* (*fig.* 22), ainsi appelée du nom de son inventeur, professeur de chimie à Cambridge vers la fin du dernier siècle, a également pour but de ralentir la vitesse d'un corps qui tombe et de permettre ainsi non-seulement de mesurer plus facilement les espaces parcourus, mais encore de négliger complétement la résistance de l'air. Elle se compose essentiellement d'une poulie très-légère A, tournant avec une grande mobilité autour d'un axe horizontal et portant enroulé sur sa gorge un fil de soie très-fin, aux deux extrémités duquel sont suspendues deux masses égales M et M'. Ces deux masses se font mutuellement équilibre dans toutes les positions possibles, car le poids du fil, en raison de sa finesse, peut être considéré comme nul. Mais si sur la masse M on place une petite masse additionnelle m, l'équilibre sera rompu, et tout le système sera mis en mouvement ; la masse M entraînée par la petite masse additionnelle m descendra, tandis que la masse M' remontera.

La petite masse additionnelle m, obligée d'entraîner dans son mouvement les deux masses inertes M et M', tombera évidemment moins vite que si elle était seule. Il est facile de déterminer par le calcul le ralentissement de sa vitesse. En représentant par g la

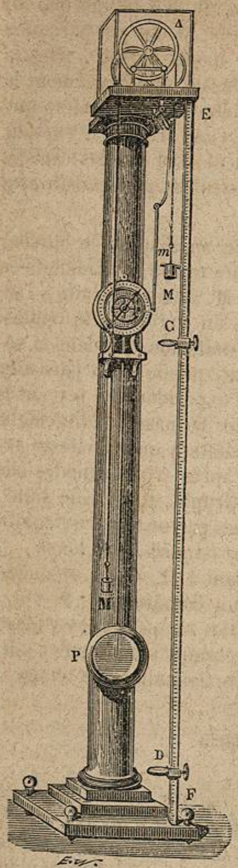

Fig. 22.

vitesse acquise par la masse m après une seconde de chute libre, sa quantité de mouvement sera alors égale à mg (42). Si maintenant nous représentons par x la vitesse acquise dans le même temps par le système des deux masses égales M et M' entraînées par la petite masse m, la quantité de mouvement sera la même que dans le cas précédent, puisque les deux poids M et M' se faisant équilibre, la pesanteur est sans effet sur eux. On aura donc l'équation

$$(2M+m)\,x=mg\,;$$

d'où

$$x=\frac{mg}{2M+m}.$$

Supposons $m=$ l'unité, et chacune des masses M et $M'=12$; on aura

$$x=\frac{g}{25},$$

c'est-à-dire que la vitesse du système sera 25 fois plus petite que si la masse additionnelle m tombait seule.

Ce principe étant posé, voyons comment on se sert de l'appareil d'Atwood pour constater les lois de la pesanteur. La règle verticale EF, divisée en parties égales et placée sur le trajet de la masse M, porte deux curseurs C et D. Le curseur C est percé à son centre d'une ouverture circulaire suffisante pour livrer passage à la masse M, mais trop étroite pour laisser passer la petite masse additionnelle m qui a une forme allongée, le curseur D ne présente aucune ouverture et sert à arrêter le mobile après un temps donné. Un pendule à secondes P est adapté à l'appareil.

1° Pour observer la loi des espaces, on n'a besoin que du curseur plein D. Supposons en effet que le chemin parcouru par la masse M surmontée de la petite masse *m* soit, dans la première seconde, 1 décimètre. En plaçant successivement le curseur aux distances 4, 9, 16... décimètres, on constatera que le mobile arrive au bas de sa course et vient frapper le curseur au bout de 2, 3, 4... secondes, ce qui démontre que les espaces parcourus par un corps qui tombe *croissent proportionnellement aux carrés des temps*.

2° Pour observer la loi des vitesses, on dispose le curseur annulaire C de manière à retenir la petite masse additionnelle *m* après une seconde de chute ; la masse M, ainsi soustraite à l'action de la pesanteur, se meut alors en vertu de la vitesse acquise, et parcourt d'un mouvement uniforme, pendant la seconde suivante, *un espace double* de celui qu'elle avait parcouru dans la première. Si on recommence l'expérience en plaçant le curseur annulaire de manière à retenir la masse additionnelle après deux secondes de chute, on constatera que la vitesse acquise est double de la précédente, qu'après trois secondes elle est triple, après quatre secondes, quadruple, et ainsi de suite ; ce qui démontre que les vitesses acquises par un corps qui tombe *sont proportionnelles aux temps pendant lesquels il est tombé*.

En résumé, si un corps tombe pendant 1, 2, 3, 4... secondes, les espaces parcourus seront entre eux comme 1, 4, 9, 16..., c'est-à-dire proportionnels aux carrés des temps, et les vitesses acquises à la fin de chaque unité de temps seront entre elles comme 2, 4, 6, 8..., c'est-à-dire proportionnelles aux temps.

Appareil de M. Morin.

55. *Appareil de M. Morin.* — Cet appareil (*fig.* 23) se compose d'un cylindre de bois C tournant autour d'un axe vertical et dont la surface est revêtue d'une feuille de papier sur laquelle on a tracé d'avance un certain nombre d'arêtes équidistantes. La rotation du cylindre est produite par la chute d'un poids P' suspendu à un cordon qui s'enroule sur un petit treuil horizontal, lequel porte une roue dentée R engrenant à la fois, par une vis sans fin, avec l'axe du cylindre C et avec l'axe d'un volant V, muni de quatre ailettes. Un poids cylindro-conique en fer P, pouvant tomber en chute libre, porte un crayon disposé horizontalement, et dont la pointe appuie légèrement sur

le papier qui recouvre le cylindre, de manière à y laisser une trace continue de son passage. Un levier coudé L permet de maintenir ce poids à la partie supérieure de l'appareil.

Les poids P et P' étant placés en haut de l'appareil, on tire d'abord sur le petit cordon *b* afin de rendre libre le poids P'. Celui-ci, en tombant, fait tourner la roue dentée R, laquelle met aussitôt en mouvement le cylindre C et le volant V. Les ailettes de ce volant, frappant l'air avec une vitesse croissante, finissent par régulariser le mouvement du cylindre et par le rendre uniforme. Dès que ce résultat est obtenu, on dégage, à l'aide du cordon *a*, le poids cylindro-conique P, lequel tombe alors libre-

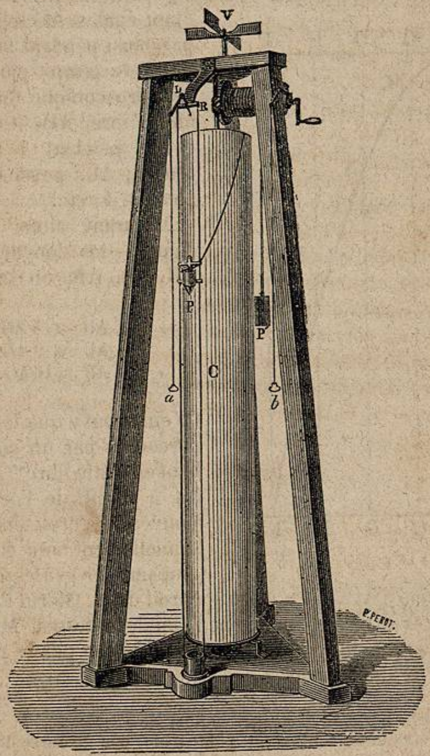

Fig. 23.

ment le long de la surface du cylindre, en y laissant, ainsi que nous l'avons dit, la trace de son passage au moyen du crayon dont il est muni.

Quand le poids P est arrivé au bas de sa course, on déroule la feuille de papier qui recouvrait le cylindre et on l'étend sur un plan (*fig.* 24). On voit alors que la courbe AF′ tracée par le crayon* a rencontré les arêtes verticales et équidistantes CC′, DD′, EE′, FF′, aux points M, N, P, F′... Or, si de ces points nous abaissons des perpendiculaires sur l'arête AB, et si nous prenons pour unité de temps le temps nécessaire pour que, dans la rotation uniforme du cylindre, l'arête CC′ vienne prendre la place de AB, les longueurs AC, CD, DE, EF, étant égales, AG sera l'espace parcouru pendant la première unité de temps par le poids cylindro-conique tombant en chute libre ; AH, l'espace parcouru pendant 2 unités de temps ; AL, pendant 3 ; AB, pendant 4, etc.

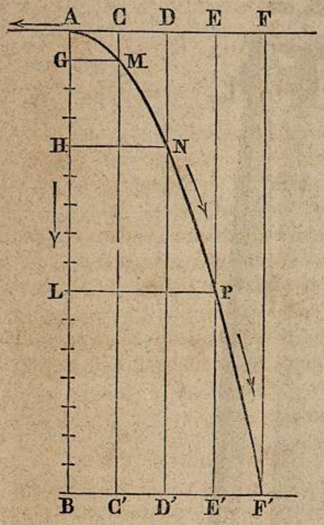

Fig. 24.

Mesurant alors avec un compas les longueurs AG, AH, AL, AB, on trouve que

$$AH = 4\,AG$$
$$AL = 9\,AG$$
$$AB = 16\,AG.$$

Ce qui prouve que les espaces parcourus par un corps tombant en chute libre**, et comptés à partir de l'origine du mouvement, croissent proportionnellement aux carrés des temps employés à les parcourir.

La machine d'Atwood a sur l'appareil de M. Morin l'avantage de démontrer expérimentalement la loi des vitesses. Mais, ainsi que nous l'avons dit, cette loi peut se déduire par le raisonnement de la loi des espaces.

* Cette courbe porte en géométrie le nom de *parabole*.

** La forme cylindro-conique du poids P et le peu de durée de sa chute permettent, dans cette expérience, de négliger l'effet de la résistance de l'air.

En effet, AG étant la distance parcourue par le poids P pendant la première unité de temps ; 4 AG, la distance parcourue pendant 2 unités de temps ; 9 AG, pendant 3 ; 16 AG, pendant 4..., il suit de là que la distance parcourue par le mobile dans la *deuxième* unité de temps est 3 AG ; dans la *troisième*, 5 AG ; dans la *quatrième*, 7 AG...

Or, supposons maintenant que les vitesses acquises par le mobile au bout de chaque unité de temps soient subitement détruites : il est évident que le mobile ne parcourrait alors, dans chacune des unités de temps successives dont se composerait sa chute, que la distance constante AG. Par conséquent, les distances parcourues par le mobile, en *vertu de ses vitesses acquises* après 1, 2, 3... unités de temps, sont :

Dans la deuxième unité de temps 3 AG — AG ou 2 AG ;
Dans la troisième unité de temps 5 AG — AG ou 4 AG ;
Dans la quatrième unité de temps 7 AG — AG ou 6 AG.

Les vitesses acquises par le mobile après 1, 2, 3... unités de temps sont donc entre elles comme 2, 4, 6, c'est-à-dire proportionnelles aux temps écoulés à partir du commencement de la chute.

La quantité 2 AG dont la vitesse augmente pendant chaque unité de temps est ce qu'on nomme l'*accélération due à la pesanteur*. En prenant la seconde pour unité de temps, cette quantité, que l'on désigne habituellement par la lettre g, initiale du mot *gravité*, représente l'*intensité de la pesanteur*. Nous verrons bientôt que pour un corps tombant librement dans le vide, à Paris, $g = 9^{m},8088$.

Résumé.

I. Tous les corps tombent dans le vide avec la même vitesse.

II. Les différences que nous observons dans la vitesse des corps qui tombent au milieu de l'atmosphère ne tiennent qu'aux résistances plus ou moins grandes que l'air oppose à leur chute.

III. Les espaces parcourus par un corps qui tombe librement dans le vide croissent proportionnellement aux carrés des temps employés à les parcourir, à partir de l'origine du mouvement.

IV. Les vitesses acquises par un corps qui tombe librement dans le vide croissent proportionnellement aux temps écoulés depuis le commencement de la chute.

V. On démontre expérimentalement les lois de la chute des corps au moyen de la machine d'Atwood et de l'appareil de M. Morin.