LIVRE II

PESANTEUR

MOUVEMENT ET ÉQUILIBRE DES CORPS PESANTS

CHAPITRE PREMIER

DIRECTION ET NATURE DE LA PESANTEUR

76. **Définition de la pesanteur.** — Nous avons déjà dit que tous les corps qui sont à la surface de la terre *tombent* vers le sol dès qu'ils ne sont plus appuyés ou soutenus. La cause de ce mouvement est une force dont on ne connaît *à priori* ni l'origine, ni la nature : on l'appelle *pesanteur*.

Tout ce que la simple observation des faits a appris sur la pesanteur, c'est qu'elle s'exerce sur tous les corps solides et liquides, dans quelques conditions qu'ils se trouvent placés : on a exprimé depuis longtemps ce fait général en disant que ces corps *sont pesants*. Il a fallu l'intervention de l'expérience pour démontrer que les gaz sont aussi des *corps pesants*. Et si certains corps ne paraissent pas tomber, comme les nuages qui planent dans l'atmosphère et la fumée ou les aérostats qui s'y élèvent, cela tient précisément à ce que l'air est pesant et qu'il exerce sur tous les corps qui y sont plongés une poussée verticale, qui est tantôt égale, tantôt supérieure, à l'action directe de la pesanteur.

Quant aux caractères mécaniques de cette force, à sa nature et à son origine physiques, on n'a pu les déterminer que par une étude expérimentale et rationnelle de ses effets. Cette étude constitue une partie de la physique, à laquelle on a également donné le nom de Pesanteur. Elle nous offrira un premier exemple d'application de la méthode expérimentale que nous avons définie, et des principes mécaniques que nous avons exposés précédemment.

77. **Direction de la pesanteur. — Fil à plomb.** — La force de la pesanteur sera complètement déterminée quand on connaîtra

sa *direction* en un lieu donné, son *point d'application* sur un corps quelconque et l'*intensité* de son action.

Nous allons en chercher tout d'abord la direction.

La direction de la force, en un lieu quelconque, sera donnée exactement par la trajectoire que suivrait un corps pesant en tombant librement dans ce lieu. On fixe cette trajectoire dans l'atmosphère, on la matérialise en quelque sorte, à l'aide d'un appareil très employé dans les arts et les métiers sous le nom de *fil à plomb*.

Il se compose d'un fil parfaitement flexible auquel est suspendue une petite balle de plomb (fig. 40). Ce fil, étant fixé par son extrémité supérieure et abandonné à lui-même, prend naturellement, lorsqu'il est en équilibre, la direction de la pesanteur. En effet, à cause de sa flexibilité, il suit exactement la direction que lui imprime le corps pesant, laquelle est la direction de la chute libre, et par conséquent de la pesanteur.

Fig. 40.

La direction de la pesanteur est donc définie expérimentalement par le fil à plomb en équilibre; elle est définie géométriquement par cette propriété du fil à plomb : *La direction d'un fil à plomb en équilibre est normale à la surface libre des eaux tranquilles ou des liquides en équilibre.* La vérification de cette propriété est fondée sur une conséquence des lois de la réflexion de la lumière, que nous admettrons pour le moment :

L'image d'une droite lumineuse, donnée par une surface plane réfléchissante, est une droite symétrique de la première par rapport au plan du miroir.

Or, si un fil à plomb OA, suspendu au-dessus d'un bain de mercure (fig. 41), est normal à la surface plane du liquide, son image vue dans le mercure ne pourra lui être symétrique qu'en se mettant exactement sur son prolongement. Il est facile de s'en assurer. Un observateur n'a qu'à placer un second fil à plomb IB entre son œil et le fil OA, de manière à cacher complètement ce dernier : il constatera que l'image du fil est cachée en même temps que le fil lui-même ; donc cette image est comprise dans le plan déterminé par les deux fils parallèles OA et IB. — En prenant une autre position par rapport au fil OA, l'observateur arrivera au même résultat, c'est-à-dire qu'il pourra cacher à la fois le fil OA et son image par l'interposition du fil IB ; donc cette image est également comprise dans le nouveau plan déterminé par OA et la

nouvelle position de IB. Cette image, devant se trouver à la fois dans les deux plans, coïncide avec leur intersection, laquelle est précisément OA; *donc l'image de* OA *est sur le prolongement même*

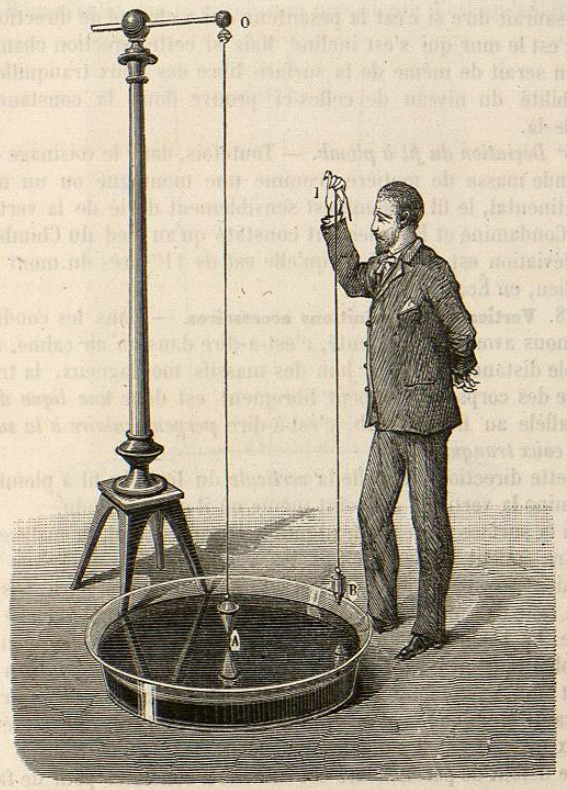

Fig. 41.

de OA : donc la direction de OA est normale à la surface plane du mercure.

Remarques — 1° La vérification expérimentale de cette proposition sera confirmée plus tard (en hydrostatique) par la démonstration géométrique de la proposition réciproque, à savoir que : *Un liquide pesant ne peut être en équilibre qu'autant que sa surface libre est perpendiculaire à la direction de la pesanteur.*

2° *Constance de la direction de la pesanteur.* — Le fil à plomb ne pourrait pas indiquer tout seul si la direction de la pesanteur en un lieu est constante. En effet, si l'on observait que le fil à plomb, d'abord parallèle au mur d'un édifice, a cessé de l'être, on ne saurait dire si c'est la pesanteur qui a changé de direction, ou si c'est le mur qui s'est incliné. Mais si cette direction changeait, il en serait de même de la surface libre des eaux tranquilles. La stabilité du niveau de celles-ci prouve donc la constance de celle-là.

3° *Déviation du fil à plomb.* — Toutefois, dans le voisinage d'une grande masse de matière, comme une montagne ou un massif continental, le fil à plomb est sensiblement dévié de la verticale. La Condamine et Bouguer ont constaté qu'au pied du Chimboraço la déviation est de 7″,5 et qu'elle est de 11″ près du mont Schihallien, en Écosse.

78. **Verticale. — Définitions accessoires.** — Dans les conditions où nous avons expérimenté, c'est-à-dire dans un air calme, à une faible distance du sol et loin des massifs montagneux, la trajectoire des corps qui tombent librement est donc *une ligne droite*, parallèle au fil à plomb, c'est-à-dire *perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles.*

Cette direction s'appelle la *verticale* du lieu. Le fil à plomb détermine la verticale du point même où il est suspendu.

Si la surface des eaux tranquilles et, en général, la surface terrestre étaient planes, toutes les verticales des différents lieux seraient parallèles. Mais on sait que la surface terrestre, abstraction faite des inégalités accidentelles du sol, est une surface convexe. La verticale d'un lieu est donc une droite perpendiculaire au plan tangent en un point d'une surface convexe, — plan tangent qui se confond d'ailleurs avec la surface même, sur une certaine étendue : — il en résulte que les verticales des différents lieux ne sont pas des droites parallèles.

Ce défaut de parallélisme est difficile à constater pour de faibles distances. Ainsi deux verticales dont la distance horizontale est de 31 mètres ne forment qu'un angle de 1″. Il faut une distance de 1860 mètres pour faire un angle de 1′, et de 111 kilomètres pour 1°. Les verticales AZ et AZ′ ou AZ″, qui font entre elles un angle d'environ 3° (fig. 42), correspondent à deux points distants de 333 kilomètres. De Paris à Dunkerque la verticale s'incline de 2° 12′, et de 7° 28′ entre Paris et Barcelone.

Si la surface terrestre était parfaitement sphérique, toutes les verticales Z, Z′, Z″, etc. (fig. 43) seraient perpendiculaires à des plans tangents à la sphère, et iraient se couper en son centre.

On pourrait donc dire qu'*en chaque lieu la pesanteur est dirigée vers le centre de la terre.* Mais on sait que la terre est un globe sphéroïdal, aplati à ses deux pôles, et qui présente, en outre, certaines irrégularités de forme sur ses méridiens et sur ses parallèles. Il en résulte que la conclusion précédente n'est qu'approxi-

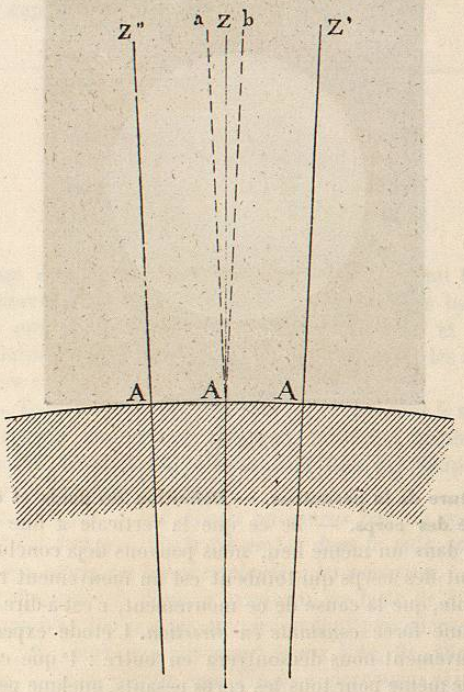

Fig. 42.

mative. Tout ce qu'on peut affirmer, c'est que les verticales vont *sensiblement* se couper en un même point et que la pesanteur est *sensiblement* dirigée, en chaque lieu, vers le centre de la terre.

Azimut. — Tout plan passant par la verticale d'un lieu s'appelle *plan vertical* ou *azimut.*

Plan horizontal. — Tout plan perpendiculaire à la verticale est un *plan horizontal.* Par exemple, la surface des eaux tranquilles, du moins dans le voisinage de la verticale, est un plan horizontal.

Horizontale. — Horizon. — Toute ligne tracée dans un plan

horizontal est une *horizontale*. On appelle *horizon* d'un lieu la ligne circulaire suivant laquelle le plan horizontal qui passe par l'œil d'un observateur coupe la calotte sphérique du ciel.

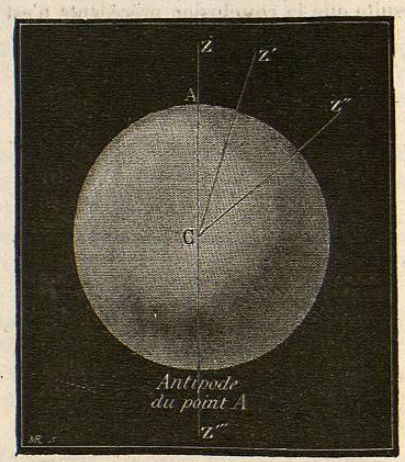

Fig. 43.

79. **Nature de la pesanteur. — Définition du poids et du centre de gravité des corps.** — De ce que la verticale a une direction constante dans un même lieu, nous pouvons déjà conclure que le mouvement des corps qui tombent est un mouvement rectiligne, et, par suite, que la cause de ce mouvement, c'est-à-dire la pesanteur, est une force *constante en direction*. L'étude expérimentale de ce mouvement nous démontrera en outre : 1° que ce mouvement est le même pour tous les corps pesants, quelque petits qu'ils soient ; 2° qu'il est uniformément accéléré. Nous en conclurons que la pesanteur est une force *constante en intensité*, comme en direction, et qu'elle agit également sur tous les corps, et sur toutes les particules des corps.

Nous pouvons donc, dès à présent, nous représenter un corps pesant comme un corps soumis à un nombre considérable de petites forces provenant de la pesanteur. Toutes ces forces, étant verticales et très rapprochées, peuvent être considérées comme rigoureusement parallèles. Elles ont donc une résultante unique : c'est ce qu'on appelle le *poids du corps* [1].

1. On dit quelquefois la *pesanteur* d'un corps. C'est là une expression vicieuse.

Le poids est appliqué en un point du corps, qui est le centre de ces forces parallèles : on appelle ce point d'application le *centre de gravité* [1] du corps.

Reste à démontrer que le centre de gravité est un point fixe et le poids une force constante pour un corps déterminé. Ce sera là une conséquence immédiate des lois de la chute des corps que nous allons exposer.

CHAPITRE II

LOIS DE LA CHUTE DES CORPS

80. **Énoncé des lois.** — Le mouvement des corps qui tombent s'appelle *mouvement de chute* ou simplement *chute*. Les lois de ce mouvement ont été recherchées expérimentalement et découvertes par Galilée, à la fin du seizième siècle. On peut les énoncer de la manière suivante :

1re Loi. — *Tous les corps tombent également vite dans le vide.*

Cette loi signifie que, *dans le vide*, tous les corps, quelles qu'en soient la nature, la masse et la forme, mettent des temps égaux pour tomber de la même hauteur.

2e Loi des espaces. — *Les espaces parcourus par un corps qui, partant de l'état de repos, tombe librement dans le vide, sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir.*

Cela veut dire que, si l'espace parcouru au bout de 1 seconde est égal à e_1 mètres, les espaces successivement parcourus au bout de $2^s, 3^s, 4^s \ldots, t^s$ seront respectivement égaux à $4e_1, 9e_1, 16e_1 \ldots t^2e_1$.

Corollaire. — Il en résulte que l'espace parcouru pendant la deuxième seconde est $4e_1$ moins e, ou $3e_1$; pendant la troisième seconde, il est $9e_1$ moins $4e_1$, ou $5e_1$; dans la quatrième, $16e_1$ moins $9e_1$, ou $7e_1$, et ainsi de suite. De là cette conséquence de la loi des espaces : *Les espaces parcourus successivement pendant la première, la deuxième, la troisième, la quatrième... seconde de la chute sont entre eux comme la suite naturelle des nombres impairs* 1, 3, 5, 7...

Le mot *pesanteur* doit être réservé pour désigner la cause du poids, cause variable dans l'intensité de ses effets, suivant la quantité de matière sur laquelle elle agit. Le *poids* est précisément la mesure de cette intensité.

1. Dans cette expression, *gravité* est synonyme de pesanteur. On dit de même corps *graves* au lieu de corps *pesants*.