

3035  
= 3

法國  
萬有訓蒙





門 二 五  
號 3035  
卷

原書八千六百四十年開版

法 國

林

萬有訓蒙

正十郎 閱  
福永 鎌三 同校  
鈴木 新吾 同校

松園藏版

早稲田大學圖書部  
昭和 26.10.27 受  
藏 書

ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE.



CHAPITRE PREMIER.

Notion Préliminaires.

Objet de la physique. — Matière. — Corps. —  
États divers des corps. — Propriétés générales  
des corps. — Vitesse et mouvement. — Forces.  
Force centrifuge. — Application de la  
force centrifuge.

Objet de la physique. — La physique est  
cette partie des sciences naturelles qui a  
pour objet la connaissance des propriétés gé-  
nérales des corps et des modifications acci-  
dentelles et passagères qu'ils éprouvent sans  
que leur nature intime soit changée.

La physique se divise en plusieurs bran-



ches qui sont presque autant de sciences indépendantes. Ainsi, après les propriétés générales des corps, on étudie successivement la pesanteur, le calorique ou la chaleur l'électricité, le magnétisme, l'acoustique et l'optique.

Matière. — les actions physiques que les corps exercent les uns sur les autres sont des résultats qui ont pour principes les propriétés de la matière.

1. On appelle sciences naturelles celles qui ont pour objet l'étude des phénomènes de la nature et des lois auxquelles ces phénomènes sont soumis.

On appelle matière tout ce qui tombe sous nos sens, c'est-à-dire tout ce que

nous pouvons voir, toucher, enfin saisir par l'un des sens dont la bonté du Créateur nous a pourvus.

Corps. — On désigne sous le nom de corps les parties de la matière qui forment des traits distincts. Ainsi une pierre, une goutte d'eau, une bulle d'air, sont des corps.

Les corps ne sont pas formés tout d'une pièce. Il faut les considérer comme des réunions, en nombre illimité, de petits éléments physiquement indivisibles. Ces dernières particules matérielles des corps sont appelées atomes. Les atomes se groupent entre eux pour former des molécules ou petites masses de matière, auxquelles on attribue souvent des formes déterminées et qui sont de même nature que les corps dont el,



les font partie;

Etats divers des corps. — Les corps s'of-  
ferent à nous sous <sup>trois</sup> états différents : à l'état  
solide, à l'état liquide, à l'état gazeux.

Un corps est solide lorsqu'on ne peut  
détacher une molécule de ce corps sans le  
déformer. Ainsi, quand on enlève une mo-  
lécule d'une barre de fer, d'une bille de  
marbre, la molécule enlevée laisse une cavi-  
té qui n'existait point auparavant; le  
corps solide n'aura donc plus rigoureusement  
la même forme.

Un corps est liquide lorsque ses molécules  
les glissent les unes sur les autres dans tous  
les sens. Les corps liquides prennent la for-  
me des vases qui les contiennent, excepté leur  
face supérieure, qui est horizontale.

Un corps est gazeux lorsque ses molécules

les tendent continuellement à s'écarter.

Les corps gazeux où les gaz n'ont absolu-  
ment que la forme des vases qui les renfer-  
ment.

Les corps liquides et les corps gazeux  
se désignent quelquefois sous le nom général  
de fluides.

Il y a des corps qui se présentent al-  
ternativement sous les trois états. Ainsi l'  
eau, par exemple, qu'on voit le plus souvent  
à l'état liquide, passe à l'état solide par  
l'action du froid, et à l'état de vapeur  
ou de gaz par l'action de la chaleur. Pour  
bien comprendre ces transformations, il faut  
savoir que, dans tous les corps, se trouvent  
deux forces directement opposées qui sont  
le caloricque ou la chaleur, et l'attraction  
que les molécules exercent mutuellement l'  
une sur l'autre. d'où le nom d'attraction



moléculaire. Le calorique tend continuellement à éloigner les molécules les unes des autres, tandis que l'attraction moléculaire tend à les rapprocher.

Propriétés générales des corps. — On entend par propriétés générales des corps celles qui sont communes à tous les corps, solides, liquides ou gazeux. Parmi ces propriétés, il faut distinguer d'abord l'étendue et l'impenetrabilité, qui sont considérées comme essentielles à la matière, c'est-à-dire sans lesquelles la matière ne peut pas se conserver; puis, la divisibilité, la porosité, la compressibilité, l'élasticité, la mobilité, l'inertie, qui ne sont pas indispensables à la matière.

Etendue. — L'étendue est la propriété qui à tout corps, une pierre ou une poire par exemple, d'occuper une portion de l'espace.

Cette portion de l'espace s'appelle le volume

des corps. L'étendue a toujours une longueur, une largeur et une épaisseur ou profondeur.

Impenetrabilité. — L'impenetrabilité est la propriété qui à tout corps d'occuper une portion de l'espace d'une manière exclusive, c'est-à-dire que deux corps ne peuvent en même temps occuper le même espace. Ainsi quand on enfonce un clou dans un morceau de bois, le clou semble bien pénétrer dans le bois, mais il ne fait que chasser devant lui ou déplacer les fibres du bois, et il est impossible d'admettre qu'un même point de l'espace soit à la fois occupé par le bois et par le clou.

Divisibilité. — La divisibilité est la propriété que possèdent les corps de pouvoir être séparés en un grand nombre de parties distinctes.

L'or battu se réduit en feuilles tellement



minces que l'épaisseur d'une de ces feuilles ne dépasse pas un millième de millimètre. On est aussi parvenu à obtenir des fils de platine d'une ténacité telle, qu'ils n'ont en épaisseur qu'un dixième-centième de millimètre. Une goutte de carmin suffit pour colorer une quantité d'eau si considérable, qu'il faut admettre que cette goutte de carmin se divise en plusieurs millions de parties. Les essences, le camphre, le mucos, dont la diffusion se fait par une infinité de molécules qui émanent de la substance des corps, sont encore des preuves de très-grande divisibilité.

Porosité. — La porosité est une propriété en vertu de laquelle les corps présentent, entre leurs molécules, des intervalles vides de leur propre substance: ces intervalles sont désignés sous le nom de poros. Ainsi les trous qu'on remarque dans l'éponge ne sont que des

poros de grande dimension.

Tous les corps sont poreux; mais ils le sont à des degrés différents. Les pierres à filtrer, que l'on emploie dans les fontaines pour clarifier l'eau, ne doivent leur propriété qu'à leur excessive porosité. Le bois qui est plongé dans l'eau augmente de poids et de volume; le bois qui reste exposé à l'air se retire dans les temps secs et se gonfle dans les temps humides: cela tient à sa porosité, qui est très-grande. L'ivoire a un tissu très-serré, et cependant l'encre y imprime des taches si profondes qu'on ne les enlève qu'avec difficulté.

Compressibilité. — La compressibilité est la propriété qu'ont les corps de se réduire à un volume moindre, lorsqu'on les presse.

Les corps très-poreux sont souvent très-compressibles: ainsi l'éponge, certaines



étffes, peuvent être réduites à la moitié, au quart, au dixième même de leur volume.

Les gaz sont les plus compressibles de tous les corps; les liquides, au contraire, ne sont que très-faiblement doués de cette propriété.

Elasticité. — L'élasticité est la propriété qu'ont les corps de reprendre leur forme primitive, quand on cesse de les comprimer.

Les corps solides sont élastiques, mais à un degré bien moindre que les liquides, et surtout que les corps gazeux. Parmi les corps solides, les plus remarquables par leur élasticité sont l'acier trempé, le liège, le caoutchouc et l'ivoire.

Les corps liquides comprimés ne paraissent rien conserver de la pression à laquelle ils ont été soumis, et ils reprennent leur premier volume aussitôt que cesse l'action des causes

qui les comprimaient.

Les corps gazeux sont doués d'une élasticité parfaite. Ainsi, quand on presse une vessie à moitié pleine d'air, on peut en diminuer sensiblement le volume, mais elle reprend toujours son état dès qu'elle n'est plus comprimée. Il en est ainsi de tous les gaz, et c'est pour cela qu'on leur donne le nom de fluides élastiques.

Mobilité. — La mobilité est la propriété que possède tout corps de pouvoir être mis en mouvement, c'est-à-dire de changer de position dans l'espace.

Tous les corps occupent un lieu, une certaine portion de l'espace; mais ce lieu peut changer quand le corps est soumis à certaines influences, et c'est ce changement de lieu qu'on désigne sous le nom de mouvement. Le repos est l'état d'un corps



qui persiste dans le même lieu de l'espace.

Inertie. — L'inertie est l'incapacité complète des corps bruts à modifier en rien leur état de repos ou de mouvement. L'expérience journalière atteste qu'un corps en repos y persiste indéfiniment, à moins qu'une cause étrangère ne vienne l'en faire sortir. Cette même expérience prouve qu'un corps en mouvement ne peut changer de lui-même ni la direction ni la vitesse de ce mouvement. Si les corps en mouvement finissent toujours par s'arrêter, ce fait s'explique par les résistances qu'ils éprouvent. Ainsi une bille d'ivoire qui roule sur un billard est insensiblement ralentie par l'aspérité du drap. La balle qui sort d'une arme à feu est rappelée incessamment vers la terre par son propre poids, et rencontre dans l'air une résistance dont elle ne triomphe qu'un in-

stant.

Vitesse et mouvement. — La vitesse est l'espace qu'un corps en mouvement parcourt pendant une certaine durée de temps prise pour unité. L'unité de temps est ordinairement la seconde, et le mètre est l'unité d'étendue qui sert à mesurer les espaces parcourus. Ainsi la vitesse d'un corps sera égale à la vitesse d'un autre corps, ou bien elle en sera le double, le triple, etc., suivant que dans une seconde il parcourra un espace égal ou bien un espace double, triple, etc.

En examinant la vitesse des corps pendant chaque seconde de leurs mouvements, on peut distinguer trois espèces de mouvements:

1° Le mouvement uniforme, lorsque le mobile parcourt toujours le même espace dans le même temps. On peut citer comme exem-



le de ce mouvement les aiguilles d'une montre bien réglée.

2° Le mouvement varié, qui se compose de mouvements d'une vitesse différente. Il est déterminé par l'action continue d'une force dont l'énergie augmente ou diminue pendant la durée du mouvement. On peut citer comme exemple la marche d'un navire à voiles, dont la vitesse varie suivant la force du vent.

3° Le mouvement uniformément varié, dans lequel le corps parcourt des espaces inégaux dans des temps égaux. Ce mouvement peut être uniformément accéléré ou uniformément retardé. Un corps est en mouvement uniformément accéléré quand sa vitesse est de plus en plus grande; exemple: la chute d'une pierre qui tombe librement. Un corps est en mouvement uniformément retardé

lorsque sa vitesse est de plus en plus petite; exemple: l'ascension d'une pierre lancée en l'air.

Le mouvement est dit rectiligne quand il se propage en ligne droite, et curviligne quand le corps se meut suivant une courbe quelconque.

Forces.— On désigne sous le nom de force toute cause capable de mettre un corps en mouvement ou de modifier le mouvement qu'il possède. Ainsi l'action du vent qui chasse les nuages, l'action de la chaleur qui dilate les corps, la pression de la main sur les objets qu'elle soulève, l'action de la pesanteur qui fait tomber la neige ou la pluie, sont autant de forces.

On divise les forces en forces instantanées et en forces continues. On appelle force instantanée celle qui agit pendant un in-



stant très court sur un corps et l'aban-  
donne ensuite à lui-même: telle est la force  
qui pousse un boulet hors du canon. On appelle  
la force continue ou accélératrice celle qui sol-  
licite le corps pendant toute la durée de son  
mouvement: telle est la force de la pesanteur  
à laquelle sont soumis tous les corps terrestres.

Force centrifuge.— Toutes les fois qu'un  
corps en mouvement décrit une ligne courbe,  
il est soumis à une force qui tend à l'éloi-  
gner du centre de rotation et qui est connue  
sous le nom de force centrifuge.

Ainsi, lorsqu'on fait tourner rapidement  
une pierre attachée à l'extrémité d'une cor-  
de, cette corde éprouve, pendant le mouvement,  
une tension analogue à celle que produirait  
une force directe cherchant à arracher la  
pierre à la main qui la retient, c'est à  
dire que la force centrifuge tend à rompre

la corde; et, si celle-ci venait à se  
rompre, la pierre s'échapperait suivant la  
tangente au cercle menée par le point de dé-  
part, c'est-à-dire suivant une ligne droite  
qui ne toucherait le cercle qu'au point de  
départ de la pierre.

L'intensité de la force centrifuge est  
soumise aux lois suivantes:

1° La force centrifuge augmente comme le  
carré de la vitesse du mobile. Ainsi, quand  
la vitesse du mobile devient 3 fois, 4 fois  
plus grande, la force centrifuge devient  
9 fois, 16 fois plus grande.

2° La force centrifuge varie avec le ra-  
yon du cercle décrit, c'est-à-dire que si  
plusieurs cercles, de rayons différents, sont  
décrits dans des temps égaux, la force cent,  
rifuge sera proportionnelle au rayon du cer-  
cle décrit. Ainsi, quand le rayon est 5



fois plus grand, la force centrifuge est 5 fois plus grande, pourvu que les cercles soient décrits dans le même temps.

3° L'intensité de la force centrifuge est en raison directe de la masse du mobile, c'est-à-dire que la force centrifuge est d'autant plus grande que le corps a une plus grande masse.

Applications de la force centrifuge. —

La plus belle application de la force centrifuge se trouve dans le mouvement de la terre et des planètes. On sait que la terre tourne sur son axe dans l'espace de 24 heures: ainsi les corps placés à l'équateur décrivent en 24 heures une circonférence estimée à 9000 lieues environ, tandis que les corps placés aux pôles tournent sur eux-mêmes dans le même temps; la force centrifuge est donc nulle aux pôles,

et elle atteint son plus haut degré de force à l'équateur. L'aplatissement de la terre aux deux pôles tient aux forces centrifuges produites par sa rotation.

Lorsqu'on fait tourner une toupie mouillée, elle projette, en tournant, l'eau dont elle est couverte: cet effet est dû à l'existence de la force centrifuge. C'est par la force centrifuge que la borie adhérente aux roues des voitures en est détachée et lancée avec la vitesse acquise pendant la rotation.

Les écuyers, dans leurs exercices rapides autour du manège, s'inclinent sans danger vers l'intérieur du cercle qu'ils décrivent, parce que la force centrifuge, qui les repousse, neutralise l'effet de cette inclinaison. Au lieu de s'asseoir sur leurs chevaux, ils ne font, pour ainsi dire, que s'appuyer contre eux, la force centrifuge les



maintenant dans une position qu'ils ne pour-  
raient garder si la course n'était très-rapide.  
C'est encore ainsi qu'on peut, au moyen  
d'un cercle auquel on imprime un mouve-  
ment rapide de rotation, faire tourner un  
verre plein d'eau, sans qu'il s'échappe une  
seule goutte de liquide.

## CHAPITRE II.

### Pesanteur.

Attraction, pesanteur. — Lois de l'attraction.

Force de la pesanteur. — Direction de la  
pesanteur. — Chute des corps; ses lois.

Plan incliné de Galilée. — Machine d'  
Atwood. — Centre de gravité. — Appli-  
cations du centre de gravité.

Attraction, pesanteur. — Tous les corps exer-

cent réciproquement l'un sur l'autre une  
action en vertu de laquelle ils tendent à se  
rapprocher: c'est la propriété qu'on désigne  
par le mot attraction. Lorsque l'attraction s'  
exerce de molécule à molécule, elle prend,  
comme on l'a déjà vu, le nom d'attraction  
moléculaire. Quand elle a lieu entre des mas-  
ses considérables séparées par de très-grandes  
distances, par exemple entre le soleil, la  
terre et les autres planètes, elle s'appelle gra-  
vitation ou attraction céleste. Quand elle s'  
exerce enfin entre la terre et les corps qui sont  
à sa surface, elle prend le nom de pesanteur.

Lois de l'attraction. — Les mouvements  
des corps célestes, depuis qu'on les observe,  
s'accordent à démontrer la justesse des  
deux lois découvertes par Newton et expri-  
mées en ces termes: †

1° Les corps s'attirent en raison directe



des masses;

2° Les corps s'attirent en raison inverse du carré des distances.

Ainsi, supposons qu'un corps ait une masse 4 fois plus grande qu'un autre, il l'attirera avec une force 4 fois plus grande; de plus, si la distance qui sépare les deux corps est 4 fois, 5 fois, 10 fois plus grande, ils s'attireront 16 fois, 25 fois, 100 fois moins.

La chute des corps sur le sol n'est qu'une conséquence de ces grandes lois de la nature. Si l'on abandonne une pierre à elle-même l'attraction s'exercera librement entre cette pierre et la terre: les deux corps étant mobiles se rejoindront d'après la loi générale énoncée plus haut. Mais puisque l'attraction a lieu en raison directe des masses, la terre, ayant une masse

se infiniment plus considérable que la pierre, se déplacera infiniment moins qu'elle, de telle sorte que son déplacement peut être considéré comme nul.

Force de la pesanteur. — Tous les corps sont pesants en vertu de l'attraction, c'est-à-dire que, lorsqu'ils sont abandonnés à eux-mêmes, ils tombent jusqu'à ce qu'ils touchent la terre ou quelque autre corps qui les soutienne. Ce phénomène ne se produit pas seulement à la surface du sol, mais aussi à de grandes hauteurs dans le ciel et à de grandes profondeurs sous la terre. Or, la matière étant inerte, et ne pouvant par conséquent ni prendre du mouvement par elle-même, ni changer celui qu'elle a reçu, il faut qu'il y ait une force qui la fasse tomber, et cette force, c'est la pesanteur.



La pesanteur est donc la force qui fait tomber les corps. Mais elle a encore d'autres effets très-variés que l'on serait tenté d'abord d'attribuer à une autre cause. C'est elle qui produit les mouvements des liquides qui s'écoulent des vases et les mouvements des fleuves qui coulent vers la mer; c'est elle qui fait surnager le liège et les corps légers au-dessus de l'eau; c'est elle enfin qui produit l'ascension des vapeurs et des ballons qui s'élèvent dans l'air.

Direction de la pesanteur. — Pour déterminer la direction de la pesanteur, on se sert d'un petit appareil nommé fil à plomb, parce qu'il consiste en un fil au quel on a attaché une boule de plomb; il est tous les jours entre les mains du menuisier, du maçon, etc. La direction du

fil, quand il est tendu et en repos, sera précisément celle de la pesanteur; car, si cette force agissait suivant une autre ligne, elle tirerait le fil et l'entraînerait dans le même sens qu'elle.

La pesanteur est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles; et, comme la terre a la forme d'une sphère ou d'un globe, il en résulte que toutes les directions de la pesanteur concourent vers le centre de la terre. La direction du fil à plomb en chaque lieu se nomme la verticale de ce lieu, et la surface de l'eau tranquille à laquelle elle est perpendiculaire est dite horizontale ou surface de niveau.

Chute des corps. — Lorsqu'on laisse tomber de la même hauteur une balle de plomb et un bouchon de liège, une pierre et une plume, on est frappé de la différen-



ce de leurs vitesses; la balle de plomb et la pierre tombent très-vite, le liège et la plume plus lentement. Mais il faut remarquer en même temps que les corps qui tombent le plus vite sont ceux qui suivent le plus exactement la verticale dans leur chute, et que les autres s'en écartent d'autant plus qu'ils tombent plus lentement. Ce fait suffit pour révéler une cause perturbatrice qui agit plus puissamment sur les derniers que sur les premiers: cette cause est la résistance de l'air.

Pour trouver le vrai mouvement des corps pesants, il faudrait les faire tomber dans le vide, c'est-à-dire dans un espace où il n'y aurait ni air ni aucun autre corps capable d'offrir de la résistance. Pour obtenir ce vide, on se sert

d'une machine appelée machine pneumatique, qui sera décrite plus tard, et à l'aide de laquelle on aspire l'air. On adapte à cette machine un long cylindre de verre, dans lequel on a introduit préalablement divers corps, tels que des plumes, du papier, du liège, des morceaux de plomb; après en avoir retiré l'air, si l'on tourne promptement le tube, on voit tous ces corps venir au même instant toucher le fond. Que l'on recommence l'expérience en laissant rentrer un peu d'air dans le tube, les corps les plus légers commencent à rester en arrière; et dès que l'air est entièrement rendu, les corps tombent dans des temps très-inégaux.

Une autre expérience consiste à laisser tomber séparément de la même hauteur un disque de métal et un disque égal de papier; ils n'arriveront pas à terre en



même temps. Mais si, après avoir placé le disque de papier sur le disque de métal, on les laisse tomber ensemble, le papier, soustrait à la résistance de l'air, tombera aussi vite que le métal.

Lois de la chute des corps. — Les corps qui tombent ne conservent pas la même vitesse, se pendant toute la durée de leur chute. La force de la pesanteur est une force accélé  
ratrice qui agit sans cesse sur les corps, et qui ajoute à chaque instant quelque chose au mouvement donné. C'est dans les phénomènes que la chute des corps manifeste que consistent les importants résultats connus sous le nom de lois de la pesanteur. Ces lois sont dues à Galilée, illustre physicien du seizième siècle.

1° Les espaces parcourus croissent comme les carrés des temps employés à les par-

courir, c'est-à-dire qu'un corps, en chute libre, parcourt dans un temps double un espace 4 fois plus grand, dans un temps tri- ple un espace 9 fois plus grand, dans un temps quintuple un espace 25 fois plus grand, et ainsi de suite. On a trouvé qu'un corps qui tombe librement à Paris d'un lieu élevé parcourt 4<sup>m</sup>, 9... dans la première seconde. Supposons donc un corps tombant pendant 6 secondes. Pour trouver l'espace parcouru, il faut multiplier 4<sup>m</sup>, 9... par le carré de 6, c'est-à-dire par 36, et le nombre 176<sup>m</sup>, 4... est précisément l'espace parcouru par le corps tombé.

1. Pour bien comprendre cette loi, il faut savoir que on appelle carré d'un nombre le produit de ce nombre multiplié par lui-même; ainsi le carré de 3 est 9, celui de 4 est 16, celui de 8 est 64, etc. On appelle carré du temps le carré du nombre de secondes écoulé depuis la



chûtes: s'il y a 4 secondes, le carré du temps sera 16 secondes; s'il y en a 8, le carré du temps sera 64.

2. Il ne en est pas tout à fait de même sur tous les points du globe. L'attraction de la terre étant plus forte au pôle qu'à l'équateur, il en résulte qu'un corps doit parcourir plus de 4<sup>m</sup>, 9 au pôle et moins de 4<sup>m</sup>, 9 à l'équateur en une seconde.

2° Les vitesses finales croissent comme les temps des chûtes, c'est-à-dire que, si la pesanteur abandonnait un corps qui aurait déjà tombé pendant un certain temps, il parcourrait pendant un temps égal un espace double de celui qu'il a parcouru jusque-là. Ainsi, un corps tombant à Paris pendant 4 secondes parcourrait 16 fois 4<sup>m</sup>, 9... c'est-à-dire 78<sup>m</sup>, 4...; et si, au bout de ce temps, la terre disparaissait, le corps ne en continuerait pas moins sa chûte,

te d'un mouvement uniforme, en faisant toujours 2 fois 78<sup>m</sup>, 4... en 4 secondes, c'est-à-dire 39<sup>m</sup>, 2... par seconde.

Les lois de la pesanteur se démontrent rigoureusement par des moyens mathématiques; mais on a essayé de les vérifier par l'expérience, et l'on y est parvenu en se servant du plan incliné de Galilée et de la machine d'Atwood.

Plan incliné de Galilée. — Le plan incliné de Galilée n'est qu'une surface inclinée AB (fig. 1) sur laquelle on fait rouler une boule M. Si la surface était horizontale, la vitesse de la boule serait nulle; si la surface était verticale, cette vitesse aurait toute son intensité. A un certain degré d'inclinaison du plan, la vitesse de la boule est réduite dans une certaine proportion, sans qu'il en résulte aucun changement dans le rapport des espaces parcourus



avec les temps donnés. On n'a donc, pour vérifier la loi, qu'à compter l'espace parcouru dans la 1<sup>re</sup> seconde, dans la 2<sup>e</sup>, dans la 3<sup>e</sup>, etc., et on voit qu'en 2 secondes la balle le parcourt un espace 4 fois plus grand, et dans 3 secondes un espace 9 fois plus grand que dans la 1<sup>re</sup> seconde.

Machine d'Atwood. — La machine d'Atwood (fig. 2), ainsi nommée du nom de son inventeur, se compose d'une tige droite AB et d'une poulie P tournant avec une grande mobilité autour de son axe; sur la gorge de cette poulie est enroulé un fil de soie qui soutient deux poids parfaitement égaux M et M'. La tige, divisée en parties égales, par exemple en centimètres, porte un anneau C, et plus bas un curseur à plateau D, tous deux mobiles. Les temps de la chute est mesuré par une horloge à secondes placée près de l'in-

strument.

Pour vérifier la première loi, on ajoute au poids M une petite lame oblongue L qui le déborde: cette masse obéit à la pesanteur, mais en tombant elle pousse le poids devant elle et entraîne par conséquent le poids M'. Or, en faisant mouvoir le curseur à plateau et en le plaçant à des distances telles que le poids M chargé de la petite lame L frappe le plateau à la fin de la première seconde, puis, au bout de 2, 3, 4 secondes, on trouve que les espaces parcourus sont 4 fois, 9 fois, 16 fois plus grands, c'est-à-dire qu'ils croissent comme les carrés des temps employés à les parcourir.

Pour vérifier la seconde loi, on place l'anneau C de manière que le poids M chargé de la petite lame L, puisse l'atteindre au moment où se termine exactement un



certain nombre de secondes, trois par exemple. La petite lame est retenue par l'anneau, et le poids M ne continue pas moins tout son mouvement, quoique la pesanteur n'agisse plus sur lui, puisque le poids M lui fait équilibre. On reconnaît alors que le mouvement est uniforme, et l'on trouve que l'espace parcouru en 3 secondes est double de celui qui avait été parcouru dans les 3 secondes précédentes; ce qui est parfaitement conforme à la seconde loi. La première loi de la chute des corps donne le moyen de mesurer la hauteur d'un édifice. Si on laisse tomber une pierre du haut d'une tour, et qu'il s'écoule, je suppose, 5 secondes jusqu'au moment où la pierre touche le sol, on connaîtra la hauteur de la tour en multipliant  $4^m, 9$  par le carré de 5, c'est-à-dire par 25: on

trouve ainsi  $122^m, 5$ ... On peut mesurer de la même manière la profondeur d'un puits. Le moment de la chute des corps sur l'eau est indiqué par le son; mais comme il faut un certain temps pour que le son arrive jusqu'à l'oreille, on doit tenir compte de cette petite différence, qui ne dépasse guère un sixième de seconde.

Centre de gravité. — Tout corps pesant peut être considéré comme un assemblage de points matériels dont chacun est sollicité par la pesanteur. Ces différentes forces, quoique en nombre infini, peuvent être remplacées par une force unique que l'on appelle leur somme ou leur résultante; et le point où est appliquée cette résultante, se nomme centre de gravité. Le caractère essentiel de ce point est que, lorsqu'il est appuyé ou soutenu, c'est-à-dire lorsqu'une verticale passant par ce point ren-



contre un appui, le corps reste en équilibre, sans éprouver ni translation ni rotation.

On distingue trois sortes d'équilibre. Un corps est en équilibre stable, lorsque, écarté de sa position d'équilibre, il y revient par une suite d'oscillations; exemple: le balancier d'une pendule. Un corps est en équilibre instable, lorsque, dérangé de sa position d'équilibre, il n'y revient plus; exemple: un œuf sur sa pointe. Un corps est en équilibre indifférent, lorsqu'il se tient en équilibre dans toutes les positions sur un plan horizontal; exemple: une boule dont toutes les parties sont homogènes, c'est-à-dire de même nature.

La position du centre de gravité dépend et de la forme du corps et de la manière dont la matière s'y trouve distribuée. Ainsi le centre de gravité d'une boule de bois ou de métal est au centre même de la boule, parce qu'elle est formée de parties homogènes. Mais

dans une boule dont une moitié serait de bois et l'autre moitié de la métal, le centre de gravité ne serait plus au centre.

Applications du centre de gravité. — Le principe fondamental de l'équilibre, c'est que la verticale qui passe par le centre de gravité trouve des points d'appui fixes. Chez l'homme, lorsqu'il se tient droit les bras étant placés verticalement, le centre de gravité est situé vers la partie inférieure du bassin: il faut donc, pour que l'homme conserve son équilibre, que la verticale abaissée du centre de gravité tombe dans l'appui formé par les pieds. La stabilité sera d'autant plus grande que le contour d'appui sera plus grand.

Quand l'homme est entraîné d'un côté par une impulsion quelconque ou par un poids accidentel, il se rejette en sens contraire pour ramener dans la même position le centre de gravité déplacé. Ainsi, avec un fardeau sur le dos, l'homme se penche



en avant; il se jette en arrière, si le fardeau est appuyé sur la poitrine ou sur le ventre. Le vieillard courbé par l'âge, et dont le centre de gravité se projette en avant des pieds, augmente au moyen d'un bâton le contour d'appui. Les matelots, habitués au roulis du navire, tiennent presque constamment les jambes écartées. Les danseurs de cordes doivent maintenir leur position, de manière que le centre de gravité passe toujours par la corde ou le point où pose le pied: c'est pour cela qu'ils se servent d'un balancier qu'ils portent tantôt d'un côté tantôt de l'autre, ou qu'ils étendent diversement les bras en guise de balancier.

Les principes du centre de gravité trouvent aussi leur application journalière dans l'architecture, pour la meilleure distribution des matériaux destinés à la construction des maisons et des édifices; dans le chargement des voitures, pour en assurer la stabilité sur le sol; enfin dans l'ar-

mage des vaisseaux, dont on charge fortement le fond, pour leur donner une très-large base ou plan d'appui et faire en sorte que le centre de gravité soit aussi bas que possible.

### CHAPITRE III.

Pendule. — Lois du pendule. — Applications du pendule. — Masse, poids, densité. — Équilibre des corps pesants. — Leviers. — Balances.

Pendule. — Le calcul et l'expérience font connaître que la pesanteur n'agit pas avec la même puissance sur tous les points de la surface de la terre. L'instrument destiné à mesurer l'intensité variable de la pesanteur s'appelle pendule. Cet instrument consiste en une petite boule de métal B (fig. 3) suspendue à un fil qui est accroché à un point fixe par son extrémité supérieure A. Le pendule ne sera en équilibre qu'au,



tant que la direction du fil auquel est suspendue la boule sera verticale, car alors l'action de la pesanteur sur ce mobile sera détruite par la résistance du point fixe auquel il est suspendu. Quo'on écarte maintenant le pendule de sa position verticale, et qu'après l'avoir porté en C, on l'abandonne à lui-même: il ne restera plus en équilibre, parce que la résistance du fil CA et l'attraction de la terre CE ne sont plus directement opposées. Le pendule descend donc en B; mais arrivé à ce point, il le dépasse en vertu de sa vitesse acquise et arrive en D. Sur ce point, il est encore soumis à la résistance du fil DA et à la pesanteur DF, toute la vitesse acquise est détruite, et il redescend en B, pour recommencer les mêmes mouvements, en accélérant la vitesse pendant le mouvement de C en B ou de D en B, et en la retardant, dans la même proportion, dans le mouvement de B en C ou de B en D. Le mouvement de D en

C se nomme une oscillation, et celui de D en B ou de C en B, une demi-oscillation. L'arc DC (fig. 3) s'appelle l'amplitude de l'oscillation, et la durée d'une oscillation est le temps que le pendule met à parcourir cet arc. Deux causes empêchent que le mouvement du pendule ne soit perpétuel, d'abord le frottement du point de suspension A, ensuite la résistance de l'air que la boule pousse devant elle, et qui, en diminuant peu à peu l'amplitude des oscillations, finit par les rendre tout à fait insensibles.

Lois du pendule. — Voici quelles sont les propriétés de cet instrument, connues sous le nom de lois du pendule

1° Les oscillations sont isochrones lorsque l'amplitude des oscillations est très-petite: c'est à dire que pour un même pendule les oscillations ont la même durée, pourvu que leur amplitude ne soit pas très-grande. Ainsi, que le mobile du



pendule  $AB$  (fig. 4) part du point  $C$  ou du point  $D$ , il arrivera dans le même temps au point  $B$ . En partant du point  $D$ , le mobile a un chemin plus long à parcourir; mais comme, arrivé au point  $C$ , il a une vitesse acquise qui le fait aller plus rapidement que s'il était parti de ce point; la longueur du chemin est compensée par la vitesse.

2° La durée des oscillations est en raison directe de la racine carrée<sup>2</sup> de la longueur du pendule: c'est-à-dire qu'un pendule 4 fois plus long qu'un autre mettra 2 fois plus de temps pour exécuter son oscillation et n'en exécutera qu'une pendant que l'autre en effectuera deux.

1 On appelle racine carrée d'une quantité le nombre qui, multiplié par lui-même, reproduit cette quantité.

3° La durée des oscillations est en raison inverse de la racine carrée de l'intensité de la pesanteur: c'est-à-dire que si la pesanteur avait 4

fois, 9 fois, 16 fois plus d'intensité, le pendule battrait 2 fois, 3 fois, 4 fois plus vite.

Tous les raisonnements qui précèdent s'appliquent au pendule simple, c'est-à-dire à un pendule imaginaire, qui on ne peut pas réaliser et qui consisterait en un point matériel suspendu à un fil inextensible et sans pesanteur. Dans la science et dans les arts on se sert de pendules composés, c'est-à-dire de pendules qu'on peut construire et qui consistent toujours en un corps de forme et de dimensions variables suspendu à une tige. Tels sont les balanciers de nos horloges.

Applications du pendule. — Les oscillations du pendule ont servi à mesurer l'intensité de la pesanteur aux différents points de la surface du globe et à déterminer l'aplatissement de la terre. La pesanteur étant la cause qui produit la chute du pendule quand on l'écarte sa tige de la verticale, on conçoit que toute variation dans l'intensité de la pesanteur doit in-



fluer sur la durée des oscillations. A l'équateur, où la surface de la terre est plus éloignée du centre, la pesanteur agit plus faiblement, et le pendule oscille avec plus de lenteur; aux pôles, où la terre est aplatie et la distance de sa surface au centre plus petite, le pendule oscille plus vite; dans l'intervalle, les oscillations dépendent de la distance plus ou moins grande où l'on se trouve du pôle ou de l'équateur.

C'est également à l'aide du pendule que, dans ces derniers temps, on est parvenu à démontrer physiquement la rotation de la terre; c'est-à-dire le mouvement que la terre fait sur elle-même en 24 heures. Une expérience préalable consistait à suspendre au point F (fig. 5) un pendule A mobile en tout sens; on peut donc le faire osciller à volonté dans le sens de chaque diamètre; mais par la même raison, si l'on fait décrire à tout l'appareil un mou-

vement de rotation dans le sens indiqué par les flèches, le pendule, bien qu'oscillant toujours dans la même direction, correspond successivement avec tous les diamètres.

Maintenant qu'un pendule assez long et assez mobile pour osciller pendant plusieurs heures sans s'arrêter soit suspendu de manière à pouvoir osciller librement en tout sens autour de son point de suspension: on verra son fil d'oscillation se déplacer relativement aux parois de la chambre; d'après l'expérience précédente, on doit conclure que ce déplacement n'est qu'apparent et qu'il s'explique par le déplacement du globe terrestre.

Enfin le pendule est l'instrument le plus exact et le plus précieux pour la mesure du temps, et sert aujourd'hui de régulateur à toutes nos horloges sous le nom de balanceur. Pour ce dernier usage, le pendule est composé d'une lentille pe-



sante P suspendue à une tige TT qui pose, par un couteau d'acier, sur un autre couteau d'acier poli. Ce pendule est muni d'une ancre de échappement CD (fig. 6) qui s'engrène dans les dents d'une roue R mise en mouvement par le ressort ou le poids moteur de l'horloge. Quand le pendule est vertical, les dents de l'ancre entrent dans les dents de la roue de chaque côté, et tout le mécanisme est arrêté; quand il s'écarte de droite ou de gauche, une dent passe et le mouvement recommence. Il se produit chaque fois une petite secousse qui rend au pendule la portion de vitesse perdue par le frottement et par la résistance de l'air.

Masse, poids, densité. — La masse d'un corps est la quantité de matière ou le nombre de molécules qui renferme ce corps. On appelle poids d'un corps l'effort que ce corps exerce contre une surface qui le soutient et l'empêche de tom-

ber; en d'autres termes, le poids est l'action totale exercée par la pesanteur sur un corps. Le poids est proportionnel à la masse ou à la quantité de matière qui renferme le corps. Il faut bien se garder de confondre le poids et la pesanteur: la pesanteur est la force qui agit; le poids est la mesure de l'action que la pesanteur exerce sur chaque corps en particulier. On entend par densité d'un corps le rapport de son poids à son volume. Le corps le plus dense est celui qui, sous un volume donné, renferme le plus de molécules. Le mercure par exemple, est 13 fois plus dense que l'eau, parce qu'à volume égal le mercure pèse 13 fois plus que l'eau.

Équilibre des corps pesants. — L'action de la pesanteur sur un corps pouvant toujours être réduite comme on l'a déjà vu, à une force unique, 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,

C'est à l'aide d'un instrument appelé levier qu'on soulève la masse des corps ou qu'on les équilibre, et c'est au moyen d'un instrument appelé balance, dans lequel le levier joue le principal rôle, qu'on mesure le poids des corps.

Léviers. — Le levier est une tige inflexible, droite, courbe ou brisée, mobile autour d'un point fixe. Le corps sur lequel le levier a son point fixe s'appelle point d'appui, la force qui fait mouvoir le levier se nomme la puissance, et le poids à soulever s'appelle la résistance.

On distingue trois genres de leviers: 1° le levier du premier genre, dans lequel le point d'appui est situé entre la puissance et la résistance; exemple: la balance, le levier du mason ou du pavé, les ciseaux, les tenailles; 2° le levier du second genre, dans lequel la résistance est placée entre le point d'appui et la puissance; exemp<sup>l</sup>

les: les rames qui font mouvoir un bateau, les broches dont se servent les ouvriers; 3° le levier du troisième genre, dans lequel la puissance est placée entre le point d'appui et la résistance; exemples: les pinces, les pincettes.

Balances. — Les balances sont des leviers, ordinairement du premier genre, qui servent à trouver le poids des corps. On en distingue de plusieurs sortes: la balance ordinaire, la balance horizontale, la bascule, le peson, la romaine et le dynamomètre.

Balance ordinaire. — La balance ordinaire (fig. 17) se compose d'un levier droit AB du premier genre, nommé fléau, mobile autour de l'axe de suspension E: les deux bras AE et BE du fléau sont égaux en poids et en longueur. Aux extrémités des bras sont suspendus deux plateaux ou bassins C et D, destinés à recevoir les corps que l'on veut peser et les poids qui doivent leur faire équilibre.

Quand la balance est vide le levier se tient



de lui-même horizontal. Une aiguille placée verticalement entre les deux bras indique, par ses oscillations sur un cadran divisé F, le moindre déplacement du fléau. Le zéro de cette division correspond à la position verticale de l'aiguille et à l'horizontalité du levier.

Pour peser un corps, on le place dans un des bassins et on met dans l'autre bassin des poids marqués, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi et que le fléau soit horizontal. Alors le poids du corps sera exprimé par le nombre de grammes ou de fractions de gramme qui se trouvent dans l'autre bassin, car il n'y a que deux poids égaux qui, dans les mêmes circonstances, puissent se faire équilibre.

Toute balance, pour être bonne, doit être juste et sensible.

Pour qu'une balance ordinaire soit juste, c'est à-dire pour qu'elle marque exactement le poids, il faut: 1° que les bras du levier soient égaux et inflexibles; 2° que le centre de gravité et le point de sus-

pension se trouvent sur la même verticale quand le fléau est horizontal.

Pour que la même balance soit sensible, c'est à-dire pour qu'elle marque les plus légères différences de poids, il faut: 1° que la mobilité du fléau autour de l'axe de suspension soit parfaite: on obtient cette condition en suspendant le fléau par un couteau d'acier dont le tranchant repose sur un petit plan d'acier bien poli; 2° que le centre de gravité du fléau soit toujours au-dessous du point de suspension. S'il est placé trop bas, la balance est dite parassieuse, c'est à-dire qu'il faut une masse assez considérable pour la faire trebucher; si le centre de gravité se trouvait au-dessus du point de suspension, la balance serait folle, c'est à-dire qu'il serait impossible de la mettre en équilibre; enfin, si le centre de gravité était sur l'axe de suspension, la balance serait indifférente, c'est à-dire qu'elle se tiendrait en équilibre dans toutes les positions.



On peut trouver le poids exact des corps avec une balance ordinaire qui ne serait point parfaitement juste, en employant la méthode des doubles pesées, dite au physicien Borda. Pour cela, on place dans l'un des bassins le corps à peser, et l'on établit l'équilibre en mettant dans l'autre bassin du sable bien sec ou de la grenaille de plomb. Si on remplace alors le corps par des poids marqués, jusqu'à ce que l'équilibre existe de nouveau, il est évident que ces poids représenteront exactement le poids du corps, puisque, dans les mêmes circonstances, ils ont fait équilibre à la même masse.

Balance horizontale. — La balance horizontale (fig. 8) n'est qu'une application ou plutôt une modification de la balance ordinaire, les bassins, au lieu d'être suspendus à des chaînes, sont seulement posés sur les extrémités des bras d'un levier du premier genre à bras égaux.

Bascule. — La bascule ou balance de Quintette (fig. 9), ainsi nommée de son inventeur, est usuelle,

ment employée pour les fortes pesées dans les maisons de commerce et pour les bagages dans les gares des chemins de fer.

La longueur fort inégale des bras du levier fait qu'avec des poids peu considérables on fait équilibre à de grandes masses. Cette balance est dite au dixième, quand, pour connaître le poids du corps que l'on pèse, il faut multiplier par dix les poids placés dans le plateau. Pour peser 30 kilogrammes, on n'a à mettre dans le plateau que 3 kilogrammes.

Balance romaine. La balance romaine est un levier à bras inégaux. On suspend à l'extrémité du bras le plus court le corps que l'on veut peser; le bras le plus long, qui est gradué, supporte un poids qui peut glisser sur toute sa longueur. L'avantage de cette balance est de n'employer ainsi qu'un seul poids constant, que l'on approche ou que l'on éloigne du point de suspension, d'après des degrés marqués, selon que l'on veut peser un corps plus ou moins lourd; mais elle ne peut guère donner



que des pesées approximatives.

Peson. — Le peson consiste en un levier courbé, mobile autour d'un point fixe, et dont les bras inégaux font entre eux un angle droit. Le corps à peser, suspendu à l'extrémité du bras le plus court, le fait baisser et soulève en même temps l'autre bras terminé par une aiguille qui parcourt les divisions d'un arc de cercle gradué. Il a des pesons spécialement destinés à peser les lettres et appelés *peses-lettres*.

Dynamomètre. — Les dynamomètres sont de formes très-variables, mais ils consistent toujours en un ressort d'acier que le poids du corps qu'on veut peser fait fléchir plus ou moins. Tantôt ce ressort fait mouvoir une aiguille sur un cadran divisé, tantôt c'est le déplacement seul du ressort qui fait apprécier le poids du corps.

#### CHAPITRE IV

Pression des liquides. — Principe d'égalité de pres-

sion. — Conditions d'équilibre des liquides. — Pressions exercées par les liquides. — Équilibre des liquides dans des vases communiquants. — Presse hydraulique. — Ecluses. — Jets d'eau. — Sources jaillissantes. — Puits artésiens.

Pression des liquides<sup>1</sup>. — Les liquides obéissent à la pesanteur; de plus ils éprouvent la pression de l'atmosphère et peuvent éprouver d'autres pressions. Or leur caractère principal est une excessive mobilité dans les molécules, en sorte qu'ils prennent toujours la forme des vases qui les contiennent. Une autre propriété de ces corps, c'est qu'ils sont très-peu compressibles, si même ils le sont, d'où il suit qu'ils peuvent changer de forme sans changer de volume.

1. La partie de la physique qui a pour objet les lois de l'équilibre des liquides et des pressions qu'ils exercent s'appelle *hydrostatique*.

Principe d'égalité de pression. — Les liqui-



des sont soumis au principe d'égalité de pression, c'est à dire qu'ils transmettent également, dans tous les sens, les pressions qu'ils supportent. La vérité de ce principe est facile à démontrer.

Lorsqu'un liquide est en repos dans un vase, on peut le considérer comme composé d'un certain nombre de couches ou tranches horizontales trèsminces, superposées les unes sur les autres. Chacune de ces couches est pesante: celle qui est au-dessus presse donc sur celles qui sont au-dessous, et une couche est d'autant plus pressée qu'elle est plus voisine du fond du vase.

Imaginons un vase plein d'un liquide que l'on supposera momentanément dépourvu de pesanteur et incompressible. Toute la surface supérieure du vase est exactement couverte par un piston. Qu'on exerce sur ce piston une pression quelconque, une pression de cent kilogrammes, par exemple, à l'instant même

cette pression va se transmettre dans tout l'intérieur de la masse liquide, la couche supérieure pressant sur la couche suivante autant qu'elle est elle-même pressée par le piston, et le fond du vase est lui-même pressé comme si le piston reposait immédiatement sur lui. Ainsi la pression supportée par toute la surface du fond du vase est égale à cent kilogrammes; mais il est évident que la moitié de cette surface n'en supporte que cinquante, et que la centième partie ne supporte que la centième partie de la pression totale, c'est à dire un kilogramme.

De là on peut déduire les principes suivants: 1° la pression se transmet de haut en bas; 2° elle est égale en chaque point; 3° elle est proportionnelle à l'étendue de la surface que l'on considère.

Le même phénomène a lieu sur les faces latérales: car si l'on fait une ouverture sur la



face latérale du vase, le liquide s'écoulera; et il s'échappera avec d'autant plus de force que la masse d'eau que contient le vase sera plus haute, et par conséquent que l'ouverture sera faite plus près du fond du vase. Cette force est connue sous le nom de poûssée latérale.

Enfin, si le piston lui-même était percé d'un trou, le liquide jaillirait de bas en haut: ce qui prouve que la paroi supérieure, quand il y en a, est elle-même pressée comme le sont toutes les autres.

C'est parce que les liquides exercent leur pression latéralement, que les digues qui retiennent les eaux d'un étang, d'un canal, se rompent quelquefois en cédant à l'effort qu'elles soutiennent; et c'est parce qu'ils exercent une pression de bas en haut, que l'eau se précipite dans un bateau percé par le fond.

Ainsi les liquides transmettent également

et dans tous les sens les pressions exercées à leur surface. Ce principe, appliqué à un liquide que on a supposé sans pesanteur, s'applique de la même manière aux liquides pesants; mais alors il y a des pressions qui s'exercent sur chaque molécule et qui résultent de la pesanteur qui le, est propre.

Conditions d'équilibre des liquides. — Pour qu'un liquide pesant soit en équilibre, deux conditions sont nécessaires:

1° La surface libre d'un liquide en équilibre doit être perpendiculaire à la direction de la pesanteur qui le sollicite. En effet, pour être perpendiculaire à la direction de la pesanteur, il faut que la surface du liquide soit horizontale; et si elle n'était pas horizontale, il n'y aurait pas d'équilibre possible. †

2° Ce principe n'est vrai que autant que le liquide n'est soumis qu'à la pesan,



leur. Si il est soumis à plusieurs forces, il faut que la surface libre soit perpendiculaire à la résultante de toutes les forces qui sollicitent le liquide.

2° Une molécule quelconque d'un liquide en équilibre doit éprouver dans tous les sens des pressions contraires, mais égales. En effet, si l'on considère seulement la pression que cette molécule éprouve de haut en bas dans une direction verticale, on trouvera qu'elle a pour mesure le poids du filet liquide vertical qui repose sur cette molécule, il en est de même de toutes les molécules situées dans une même tranche horizontale parallèle à la surface du liquide. Or, si ces pressions n'étaient pas égales, si celles qui sont exercées sur un côté étaient plus fortes que celles du côté opposé, la molécule serait entraînée du côté des plus faibles, et il n'y aurait pas d'équilibre.

Lorsque plusieurs liquides de densité différente sont contenus dans un même vase, leur surface de séparation doit être horizontale. Si elle ne l'était pas, il s'ensuivrait qu'un point quelconque du fond du vase supporterait une pression plus forte, et un autre point une pression plus faible. L'équilibre ne pourrait donc pas exister dans la masse liquide. Mais, pour que l'équilibre soit stable, il faut de plus que les liquides se trouvent rangés d'après l'ordre de leur densité. Ainsi, qu'on prenne un flacon qui renferme de l'éther, de l'eau, du mercure, et qu'on agite vivement ces divers liquides, ils se mêleront; mais en les laissant ensuite se poser, l'équilibre se rétablira, et chaque liquide se trouvera placé suivant sa densité. Ils seront donc dans l'ordre suivant, en commençant par le fond: mercure, eau, éther. †††

Pressions exercées par les liquides. — Les



liquides en équilibre exercent, en vertu de la pesanteur, des pressions sur les parois des vases qui les contiennent. Ce sont ces pressions qu'il faut mesurer, en examinant successivement: 1<sup>o</sup> les pressions verticales de haut en bas; 2<sup>o</sup> les pressions verticales de bas en haut; 3<sup>o</sup> les pressions latérales.

#### Pressions verticales de haut en bas.

La pression que un liquide en équilibre exerce sur le fond d'un vase est complètement indépendante de la forme de ce vase: elle ne dépend que de l'étendue de la paroi pressée ou de la surface de la base, et de la hauteur du liquide au-dessus de cette paroi. Elle a pour mesure le poids d'une colonne verticale de liquide qui aurait pour base le fond du vase et pour hauteur la distance de ce fond au niveau. Ainsi, qu'on se représente plusieurs vases de formes très-différentes, mais ayant

des fonds égaux en surface, et dans lesquels l'eau s'élèvera au même niveau, le liquide exercera des pressions égales sur chacun de ces fonds, bien que les vases contiennent des quantités de liquide fort inégales. Ce principe donne le moyen d'exercer des pressions considérables avec un simple filet d'eau d'une hauteur suffisante. Si, par exemple, l'on adapte à un tonneau préalablement rempli d'eau, un tube vertical très-long et en même temps très-étroit, on peut faire éclater le tonneau en versant dans ce tube la faible quantité d'eau nécessaire pour le remplir, et il doit en être ainsi, parce que le fond du tonneau supporte une pression égale au poids énorme d'une colonne d'eau ayant pour base le fond du tonneau, et pour hauteur la hauteur du liquide dans le tube.

#### Pressions verticales de bas en haut.

La pression que un liquide en équilibre exerce sur



le fond des vases réagit de bas en haut et a re,  
c'est le nom de poïstie des liquides. Considerons  
un vase à double fond ayant la forme indiquée  
dans la figure ci-jointe (fig 10). Il résulte de  
ce principe d'égalité de pression que le fond supé-  
rieur AB éprouve, de bas en haut, une pression  
égale au poids d'une colonne de liquide ayant pour  
base la surface de la paroi et pour hauteur la  
hauteur de son niveau au-dessus de la paroi  
inférieure.

Pressions latérales. — Les liquides exercent  
aussi une pression sur les parois latérales des  
vases; car il suffit de pratiquer une ouverture  
en un point quelconque d'une semblable paroi,  
pour que le liquide s'échappe aussitôt. La pres-  
sion exercée par un liquide sur la paroi laté-  
rale d'un vase est égale au poids d'une co-  
lonne liquide qui aurait pour base cette paroi  
et pour hauteur la hauteur du liquide au-

dessus du centre de la paroi.

Équilibre des liquides dans des vases communi-  
quants. — La loi du niveau ou l'équilibre  
des liquides dans des vases communiquants offre  
deux cas à considérer, suivant que les liquides  
qui renferment les vases sont d'égale densité  
ou de densité différente.

1°. Lorsque des liquides d'égale densité sont  
contenus dans des vases communiquants, les nive-  
aux sont tous à la même hauteur, c'est-à-dire  
sur un même plan horizontal. En effet, si de  
deux ou plusieurs vases de formes et de dimensi-  
ons quelconques communiquent ensemble au mi-  
yen d'un tube ou d'une espèce de canal, et qu'  
on verse de l'eau dans l'un de ces vases, on verra  
que les niveaux appartiendront tous au même  
plan horizontal, c'est-à-dire que la surface  
libre du liquide sera à la même hauteur dans  
chaque vase. Ainsi l'eau se tient à la même



hauteur dans les puits qui communiquent ensemble. Les fontaines coulent vers les rivières, celles-ci vers les fleuves, et les fleuves vers la mer, parce que l'eau cherche son niveau. Enfin toutes les mers ne forment qu'un vaste système de vases communicants, où les eaux se mettraient en équilibre parfait et au même niveau, si elles n'étaient sans cesse agitées par les marées, les courants, les vents et les tempêtes.

2° Lorsque des liquides de densités différentes sont contenus, chacun isolément, dans des vases communicants, les hauteurs des colonnes liquides qui se font équilibre sont en raison inverse de leurs densités. Supposons que deux vases communicants contiennent l'un de l'eau, l'autre du mercure. Le mercure est environ 13 fois  $\frac{1}{2}$  plus dense que l'eau. La colonne de mercure et la colonne d'eau devant exercer une pression égale sur une molécule

quelconque située à leur surface de séparation et le mercure étant 13 fois  $\frac{1}{2}$  plus dense que l'eau, il faudra que la colonne d'eau soit 13 fois et  $\frac{1}{2}$  plus élevée que la colonne de mercure qui lui fait équilibre.

Applications des principes de l'hydrostatique. — Les principes de l'hydrostatique ont reçu de nombreuses applications, dont voici les plus importantes.

Presse hydraulique. — La presse hydraulique est un appareil fort ingénieux, inventé par Pascal, et qui est fondé sur le principe d'égalité de pression. Dans un cylindre CD (fig. 12) dont les parois sont très-épaisses, se meut un piston B à surface large et à frottement très-exact. Dans le petit cylindre I se meut également un piston A. Les deux cylindres communiquent ensemble et sont entièrement remplis d'eau. Maintenant si



L'on exerce sur le petit piston une pression quelconque, une pression de 30 kilogrammes par exemple, cette pression va se transmettre dans toute la masse liquide et aussi au grand piston. Mais comme la surface du grand piston est beaucoup plus considérable que celle du petit, il y aura sur toute la surface du grand piston autant de pressions égale à celle du petit piston que la surface de celui-ci est contenue de fois dans la surface du grand. Supposons que la surface du grand piston soit à celle du petit comme 36 est à 1, c'est-à-dire qu'elle soit 36 fois plus considérable. La pression appliquée au petit piston étant de 30 kilogrammes, la surface du grand piston supportera 36 pressions de 30 kilogrammes, c'est une charge de 1080 kilogrammes.

Le piston B est surmonté d'une plaque métallique très-épaisse, sur laquelle on place les

corps que l'on veut comprimer. Au-dessus est un châssis métallique très solide. Les corps qui doivent être soumis à l'action de la presse hydraulique se placent entre le châssis et la plaque.

On fait principalement usage de la presse hydraulique dans la fabrication de la poudre de guerre, et dans la préparation des huiles grasses, des argiles à briques, etc. On s'en sert aussi pour fouler les draps, satiner le papier et extraire du suif la stéarine qui sert à faire des bougies.

Fontaines publiques. — Quand il s'agit de distribuer les eaux dans une ville, il suffit de les élever, à l'aide de machines mues par la vapeur ou par toute autre force, dans un réservoir pratiqué à une hauteur suffisante au-dessus du sol, et de faire communiquer, au moyen de tuyaux, aux de fonte, ce réservoir général avec des tuyaux particuliers qui vont aboutir aux diverses fontaines.



taines de la ville. Dès qu'on ouvre le robinet qui ferme chacun des orifices, l'eau coule, parce qu'elle cherche à se mettre en équilibre d'après la théorie des vases communicants et la loi de l'égalité de pression.

Jet d'eau. — Un jet d'eau consiste simplement en un réservoir élevé portant un tuyau recourbé et terminé en bec. Les molécules d'eau qui tombent du réservoir sortent du bec avec une vitesse égale à celle qu'elles auraient eue, si elles étaient tombées librement d'une hauteur égale à celle du niveau du réservoir. Cette vitesse les force à s'élever à une hauteur égale à celle de leur point de départ, c'est-à-dire à une hauteur égale à l'élevation même du réservoir. Mais dans la pratique, plusieurs causes empêchent les eaux jaillissantes d'atteindre cette hauteur: ces causes sont surtout les frottements contre les parois des tuyaux

et la résistance de l'air.

Puits artésiens. — En perceant à une certaine profondeur un trou dans l'intérieur de la terre, avec une sonde, on obtient abondamment de l'eau qui vient comme une source jaillissante. Ces sources, qu'on appelle puits forés, sont aussi connues sous le nom de puits artésiens, parce que c'est surtout dans l'Artois que ces sortes de puits ont été primitivement creusés. Il existe dans l'intérieur de la terre des masses d'eau qui circulent à travers les couches de terre poreuses, en obéissant à une certaine pente. Ces eaux se rassemblent entre deux couches de terre imperméables, par exemple des couches argileuses. Si l'on creuse le sol en un point quelconque, on doit atteindre une de ces nappes à une profondeur plus ou moins grande. Comme cette nappe d'eau vient d'un lieu supérieur, espèce de réservoir naturel, en



vertu de l'équilibre dans les vases communiqués, naissants, l'eau jaillit et atteint une certaine hauteur, déterminée par la différence de niveau entre le réservoir naturel et le trou de sonde, points qui peuvent être à une très grande distance l'un de l'autre. Les puits artésiens sont utilisés soit pour fournir de l'eau potable aux pays qui en manquent, soit pour servir aux irrigations des prairies, soit pour alimenter une machine.

Ecluses.— Les canaux qui font communiquer ensemble soit les fleuves, soit les mers, traversent des terrains de niveaux inégaux sur lesquels l'eau s'écoulerait en vertu de la pente. Pour y remédier, on construit des écluses ou bassins au moyen desquels on fait passer sur un canal les bateaux, même les plus lourds, d'un niveau plus bas dans un niveau plus élevé. Les deux bassins sont séparés par des portes de

bois ou de tôle épaisse, qui peuvent s'ouvrir et se fermer à volonté. Si l'on ouvre la vanne, l'eau se jette du bassin supérieur dans le bassin inférieur. A mesure que ce dernier reçoit de l'eau, le bateau est soulevé; quand le niveau est le même dans les deux bassins, on ouvre les portes de l'écluse, et le bateau passe d'un bassin dans l'autre.

1. Espèce de pont de bois faisant ordinairement partie de la porte de l'écluse, et qui se hausse ou se baisse à volonté pour laisser échapper l'eau, ou la retenir.

## CHAPITRE V.

Corps plongés dans les liquides.— Balance hydrostatique.— Conditions d'équilibre des corps plongés dans les liquides.— Poids spécifique des corps.— Poids spécifique des corps solides.— Poids spécifique des liquides.



des. — Poids spécifique des gaz. — Aéro-  
mètres. — Baromètres à volume constant.  
— Arcomètres à poids constant.

Corps plongés dans les liquides. — Cer-  
tains corps plongés dans les liquides paraissent  
se mouvoir en sens contraire de la pesanteur.  
C'est ainsi qu'une boule de cire rest suspendue  
dans l'eau, malgré l'action de la pesanteur qui  
tend à la faire tomber; c'est ainsi que le liège  
plongé dans l'eau revient flotter à la surface,  
le fer flotte également sur le mercure. Ces phé-  
nomènes, et d'autres encore dont il sera parlé  
plus tard, s'expliquent par un seul principe,  
nommé principe d'Archimède, parce qu'Archimède,  
l'un des savants les plus illustres de l'an-  
tiquité; en est l'inventeur. Voici l'énoncé de  
ce principe: Tout corps plongé dans un fluide y  
perd une partie de son poids égal au poids du fluide  
qu'il déplace.

Balances hydrostatiques. — La balance hydro-  
statique (fig. 12.) est destinée à donner une dé-  
monstration expérimentale de ce principe. Elle  
ne diffère de la balance ordinaire que par une vis  
qui permet d'élever ou d'abaisser le plateau à vo-  
lonté, et par un petit crochet solide au-dessous  
de l'un des plateaux, le plateau A. On suspend  
à ce crochet un cylindre creux en cuivre, puis au-  
dessous de ce cylindre creux un cylindre plein qui  
remplisse exactement la capacité du premier. On  
met dans l'autre plateau B des poids suffisants  
pour établir l'équilibre et l'on fait ensuite plon-  
ger le cylindre plein F dans un vase rempli d'eau.  
L'équilibre est alors détruit, et il suffit, pour  
le rétablir, de remplir d'eau le cylindre creux.  
La perte du poids du corps est donc égale au  
poids d'un égal volume du liquide dans lequel  
on l'a plongé.

La diminution de poids que les corps éprouvent



flottent lorsqu'ils sont plongés dans un liquide est due à la pression de bas en haut que le liquide exerce contre la surface des corps immergés, pression qu'on appelle la poïssée des liquides, laquelle poïssée est toujours égale au poids du fluide déplacé.

Conditions d'équilibre des corps plongés dans les liquides — 1<sup>o</sup> Lorsque le poids du corps plongé dans un liquide est égal au poids du fluide déplacé, le corps ne peut ni tomber ni s'élever, parce que la force qui tend à le faire descendre est égale à celle qui tend à le faire monter. Ainsi une balle de cire, l'ambre, les résines en poudre, peuvent rester suspendus au milieu de l'eau.

2<sup>o</sup> Lorsque le poids du corps est plus petit que celui du fluide déplacé, le corps tend à monter, et ne s'arrête dans ce mouvement ascensionnel que quand il ne déplacera plus qu'un volume d'eau dont le poids sera égal au sien: par conséquent,

il surnagera. C'est ainsi que le liège, le bois en général, la glace, flottent sur l'eau. C'est en vertu du même principe que le fer, le marbre et presque tous les corps flottent sur le mercure.

Les corps les plus denses peuvent de même flotter sur tous les liquides. Il suffit de donner à ces corps une forme telle que le poids du liquide déplacé par la seule partie destinée à être immergée soit égal au poids du corps tout entier. Ainsi une sphère creuse en métal, d'un volume égal à 100 litres d'eau et d'un poids égal à 60 kilogrammes, ne s'enfoncera dans l'eau qu'à une profondeur suffisante pour déplacer seulement 60 litres; car le liquide déplacé aura un poids de 60 kilogrammes égal à celui du corps. Un vaisseau qui pèsera, par exemple, un million de kilogrammes ne peut être en équilibre qu'autant qu'il déplacera mille mètres cubes



des d'eau, qui pèsent un million de kilogrammes, comme le vaisseau lui-même. La condition d'équilibre d'un corps flottant est donc que son poids soit égal au poids du volume de liquide qu'il déplace.

Poids spécifique des corps. — Les corps sont inégalement denses, c'est-à-dire que, sous des volumes égaux, ils contiennent des quantités inégales de matière: par conséquent, sous des volumes égaux ils ont des poids inégaux. Ces poids différents des corps, pris sous le même volume ou sous l'unité du même volume, s'appellent poids spécifiques. Ainsi on peut dire que le poids spécifique d'un corps solide, liquide ou gazeux, c'est sa densité évaluée comparativement à celle d'un autre corps prise pour unité. L'unité de densité adoptée pour les solides et les liquides est la densité de l'eau distillée à la température de 4°. Ainsi

un corps aura une densité égale à 2, à 3 à 4 etc, suivant qu'il aura 2 fois, 3 fois 4 fois, etc, le poids égal au sien d'un volume d'eau distillée. Pour trouver le poids spécifique d'un corps, on cherche le poids d'un volume quelconque de ce corps, plus le poids du même volume d'eau, et on divise le poids du corps par le poids de l'eau. Le quotient doit indiquer la densité du corps par rapport à l'eau; car la quantité de matière du corps contient autant de fois la quantité de matière de l'eau que le poids du corps contient celui de l'eau.

Poids spécifique des corps solides. — Pour déterminer le poids spécifique des corps solides, on emploie le plus ordinairement la méthode du flacon voici en quoi elle consiste. On détermine d'abord très-exactement avec la balance ordinaire quel est le poids du corps dans l'air. Ensuite on place le corps dans un des bassins de la



balance et on met dans le même bassin un flacon à large ouverture, bien exactement rempli d'eau distillée et fermé avec un bouchon à l'émeri. On établit l'équilibre en mettant les poids nécessaires dans l'autre bassin. Cela fait, on ouvre le flacon et on y introduit le corps, qui ne peut entrer sans chasser un volume d'eau égal au sien. Si donc l'on pèse de nouveau, on trouvera son poids moindre qu'il étoit auparavant; et ce qui il y aura de moins représentera évidemment le poids d'un volume d'eau égal à celui du corps. On aura donc le poids de ce corps et celui d'un même volume d'eau pure. Si l'on cherche combien de fois le premier contient le second, on aura le poids spécifique demandé. Ainsi supposons que le corps soit un lingot d'or pesant 57 grammes et que la perte de poids, quand on l'a introduit dans le flacon, soit de 3 grammes: le premier de ces deux nombres divisé par le

second donne pour quotient 19, qui est la densité du lingot d'or.

Poids spécifique des liquides. — Pour obtenir le poids spécifique des liquides, on emploie la même méthode, mais le procédé est encore plus simple. On prend un flacon semblable à celui dont il a été parlé tout à l'heure; après l'avoir pesé vide, on le remplit d'eau pure, et, avec la balance ordinaire, on détermine exactement le poids de ce volume d'eau. On répète ensuite la même expérience avec le même flacon pour chacun des liquides dont on veut connaître la densité. Le poids de ces liquides, divisé par le poids de l'eau, donnera le poids spécifique de chacun d'eux. Ainsi supposons que dans une opération de ce genre le poids de l'eau soit de 250 grammes, et que le poids d'un même volume d'huile d'olive soit de 232 grammes: en divisant 232 par 250, on a,



va pour quotient 0,92, nombre qui exprime le poids spécifique de l'huile d'olive par rapport à l'eau.

Poids spécifique des gaz. — On emploie des procédés analogues pour rechercher les densités des gaz; mais ici ce n'est plus l'eau qu'on prend pour unité, c'est l'air, dont la densité est 770 fois moindre que celle de l'eau. En outre, au lieu d'un flacon, on prend un ballon de verre, muni d'un col métallique à robinet et d'où l'on peut se retirer à volonté les gaz soumis à l'expérience. On obtient le poids spécifique d'un gaz en divisant le poids d'un volume quelconque de ce gaz par le poids d'un même volume d'air.

Aréomètres — On emploie dans le commerce, et pour les recherches minéralogiques, de petits instruments nommés aréomètres, qui servent à faire connaître promptement soit les densités relatives des corps, soit les proportions dans les,

quelles certaines substances se trouvent mélangées.

Il y a deux sortes d'aréomètres: 1° les aréomètres à volume constant, c'est-à-dire qu'on fait toujours enfoncer jusqu'au même point dans tous les liquides. 2° les aréomètres à poids constant, c'est-à-dire qui, ayant toujours le même poids, s'enfoncent inégalement dans les liquides, selon que ceux-ci sont plus ou moins denses.

Aréomètres à volume constant. — Parmi les aréomètres à volume constant, il faut distinguer l'aréomètre de Nicholson, qui sert à déterminer le poids spécifique des solides, et l'aréomètre de Fahrenheit, qui sert à déterminer le poids spécifique des liquides.

L'aréomètre de Nicholson se compose d'un cylindre creux en verre ou en métal ED (fig. 13), surmonté d'une tige EG qui supporte une petite cuvette B; à la partie inférieure se trouve une capsule, le C, espèce de petit sceau assez pesant pour ser,



vix de lest: c'est au moyen de lest que l'instrument se tient en équilibre. L'aréomètre peut, à l'aide de poids placés dans la cuvette, s'enfoncer jusqu'à un point fixe A, qu'on appelle le point d'affleurement.

Pour trouver le poids spécifique d'un corps solide, on place ce corps dans la cuvette, après avoir plongé l'aréomètre dans un vase à peu près rempli d'eau. On met dans la cuvette à côté du corps des poids non marqués de manière à amener l'aiguille au point d'affleurement; ensuite on retire le corps et on le remplace par des poids marqués en quantité suffisante pour faire affleurer de nouveau l'instrument. Ces poids représentent évidemment le poids du corps, et l'aréomètre fait ici l'office d'une véritable balance. Maintenant qu'on place le corps dans la capsule inférieure; plongé dans l'eau, il va perdre une partie de son poids: l'affleurement n'aura donc plus

lieu; pour le reproduire, il faudra mettre des poids dans la cuvette: ces poids représenteront la perte de poids du corps dans l'eau, et par conséquent le poids de pareil volume d'eau. Pour avoir le poids spécifique, il suffira de diviser le poids du corps par le poids de l'eau.

L'aréomètre de Fahrenheit a la même construction que l'aréomètre de Nicholson, mais, au lieu de la capsule, il est terminé inférieurement par une petite boule contenant du lest. Si l'on veut avec cet instrument trouver le poids spécifique d'un liquide par rapport à l'eau, on commence par peser l'aréomètre, afin d'en connaître le poids. Ensuite on le fait affleurer successivement dans l'eau et dans le liquide qu'on veut éprouver; mais pour cela il faut des poids additionnels différents. Le premier de ces poids additionnels ajouté au poids de l'aréomètre donne le poids du volume d'eau déplacé, le second, égale,



ment ajoutée au poids de l'aréomètre, donne le poids du volume du liquide déplacé. Il faudra donc diviser le poids de ce liquide par celui de l'eau pour obtenir le poids spécifique cherché.

Aréomètres à poids constant. — Les aréomètres à poids constant ou aréomètres proprement dits, parmi lesquels on distingue l'aréomètre de Baumé, qui est le plus en usage, servent dans le commerce à estimer le degré de concentration d'une liqueur spiritueuse, d'un acide ou d'une solution saline. aussi les appelle-t-on pèse-esprits, pèse-acides, pèse-sels.

L'aréomètre de Baumé se compose généralement d'un cylindre creux C en verre lequel est surmonté d'une tige AB et lesté par une petite boule de verre D (fig. 14), remplie de mercure ou de grenaille de plomb. Lorsqu'un aréomètre de ce genre est en équilibre dans un liquide, il en déplace un volume dont le poids est égal au sien, et s'

enfonce par conséquent d'autant plus que ce liquide est moins dense. On reconnaîtra donc le plus ou moins de densité du liquide selon la quantité dont l'aréomètre s'y enfoncera.

Pour connaître cette quantité, il faut graduer l'instrument: à cet effet, si l'aréomètre doit être employé comme pèse-acides, ou comme pèse-sels, on le plonge dans l'eau pure et on marque 0 au point d'apparement, en ayant soin de le lester assez pour que le zéro soit près de l'extrémité supérieure de la tige. On le plonge ensuite dans une dissolution composée de 85 parties d'eau et de 15 parties de sel marin, et on marque 15 au point où il s'enfonce.

L'intervalle compris entre les deux points est divisé en 15 parties égales ou degrés, et les divisions sont prolongées jusqu'au bas du tube.

Si l'aréomètre doit servir comme pèse-esprits, on le leste de manière que, plongé dans une dissolution composée de 90 parties d'eau et de 10 parties de

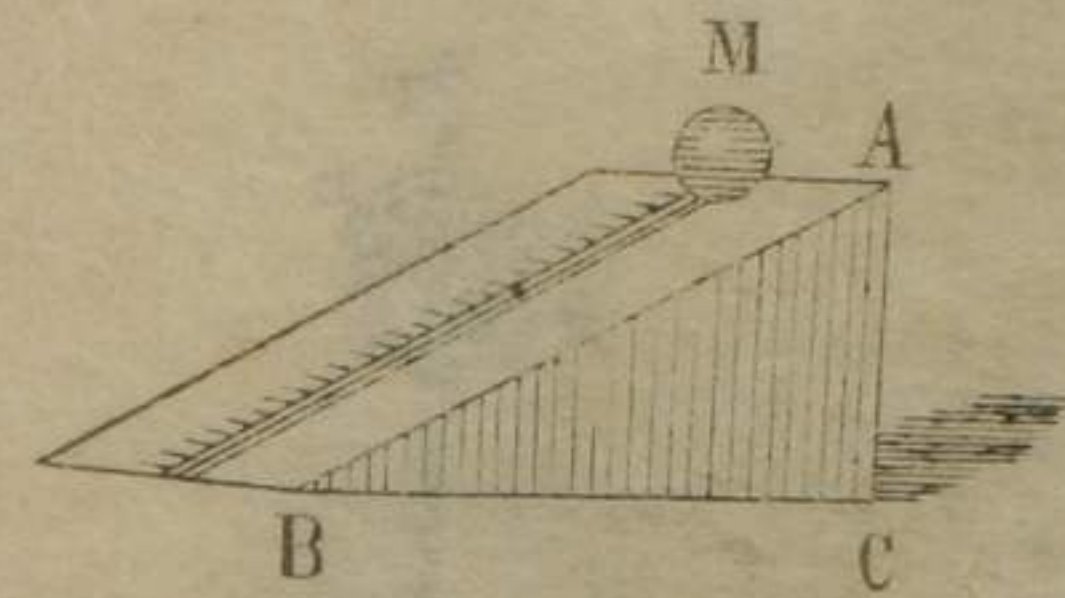
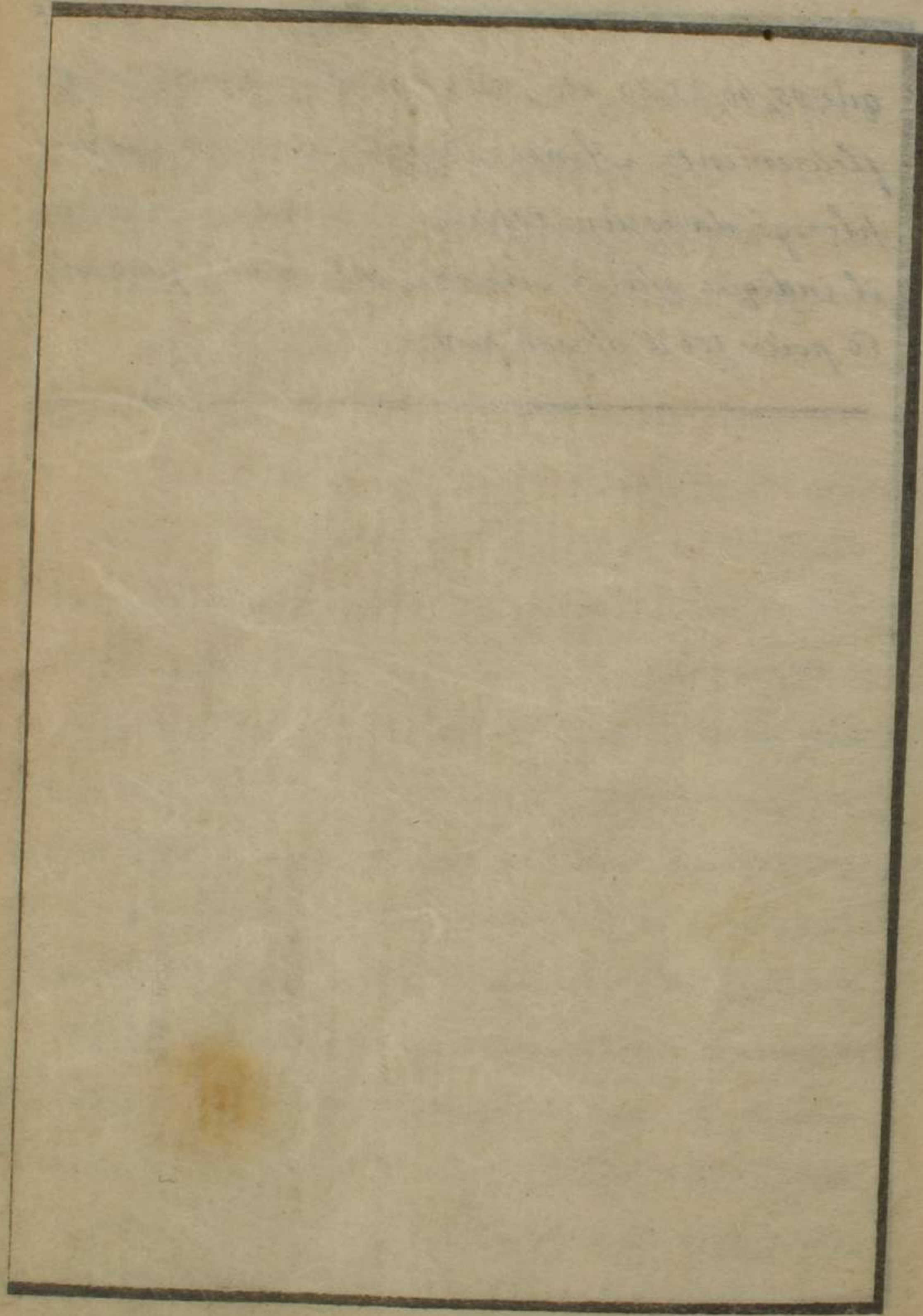


sel marin, il s'enfonce jusqu'à au bas du tube où l'on marque 0. Puis on le plonge dans l'eau pure, et l'on marque 10 au point d'affleurement: on divise l'intervalle en 10 parties égales ou degrés, et l'on continue cette graduation jusqu'au sommet du tube.

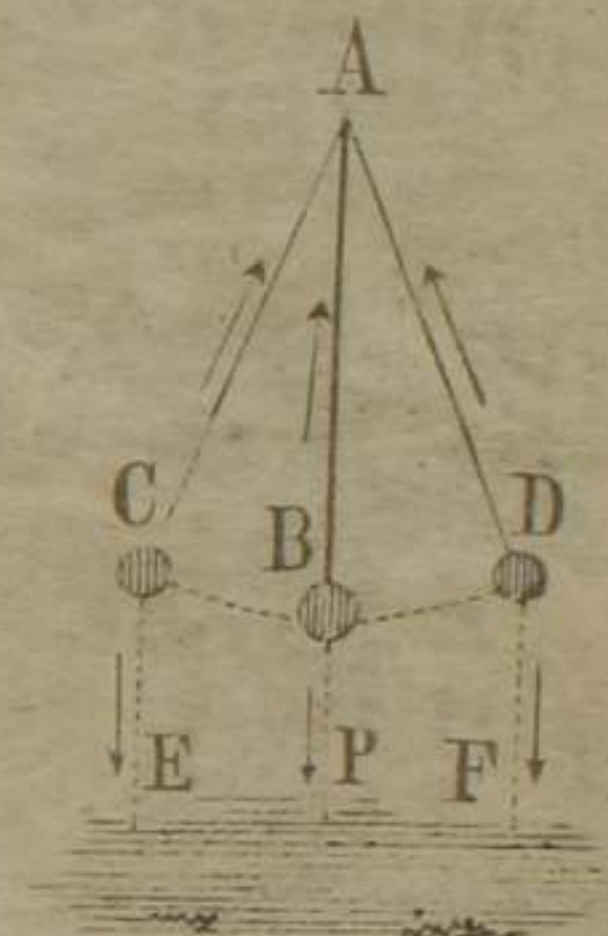
Gay-Lussac a imaginé un alcomètre centesimal, espèce d'aréomètre, qui sert à indiquer la quantité d'alcool contenue dans les esprits-de-vin du commerce. Pour graduer cet instrument, on le plonge d'abord dans l'alcool pur, et on le lève de manière que l'affleurement se fasse à l'extrémité supérieure du tube où l'on marque 100. On marque 0 à l'endroit où l'instrument affleure dans l'eau pure. Pour obtenir ensuite chacun des degrés intermédiaires, on plonge successivement l'alcomètre dans des mélanges en volume de 95, 90, 85, 80, etc., d'alcool pur avec 5, 10, 15, 20, etc., parties d'eau, et on mar-

que 95, 90, 85, 80, etc., aux points respectifs d'affleurement. Ainsi, lorsque cet instrument plonge dans un esprit-de-vin marqué 60, il indique que le liquide spiritueux contient 60 pour 100 d'alcool pur.

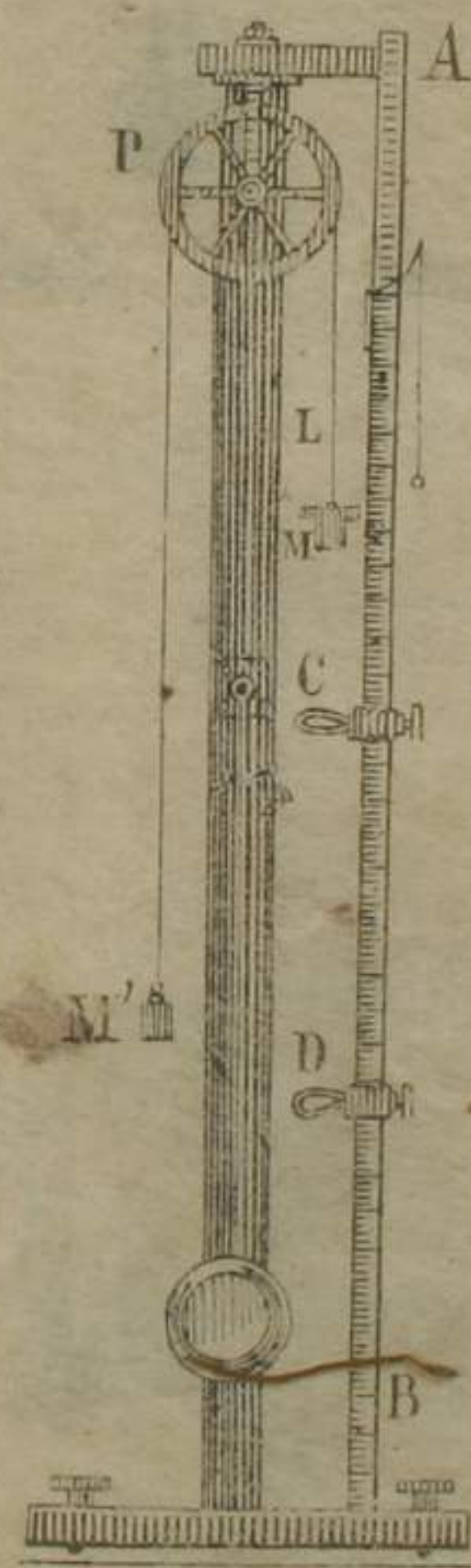




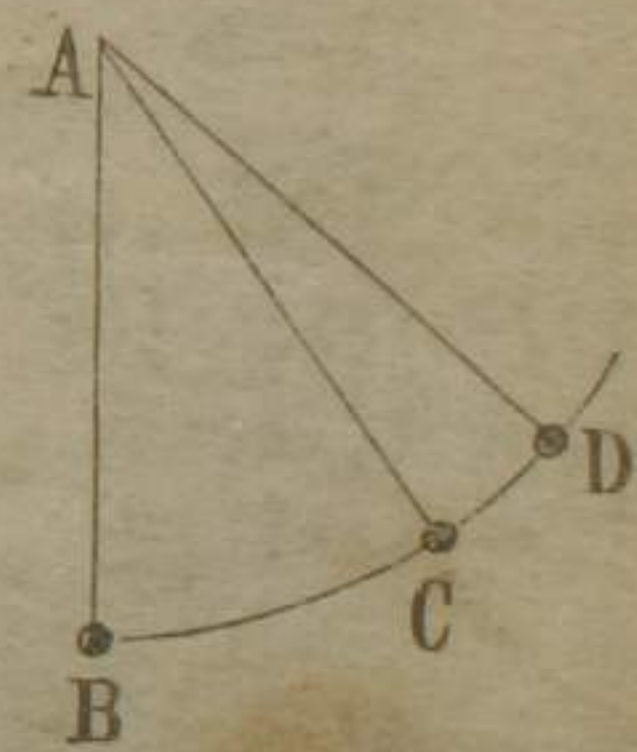
*Fig. 1. — Plan incliné.*



*Fig. 3. — Pendule.*



*Fig. 2. — Machine d'Atwood*



*Fig. 4.*



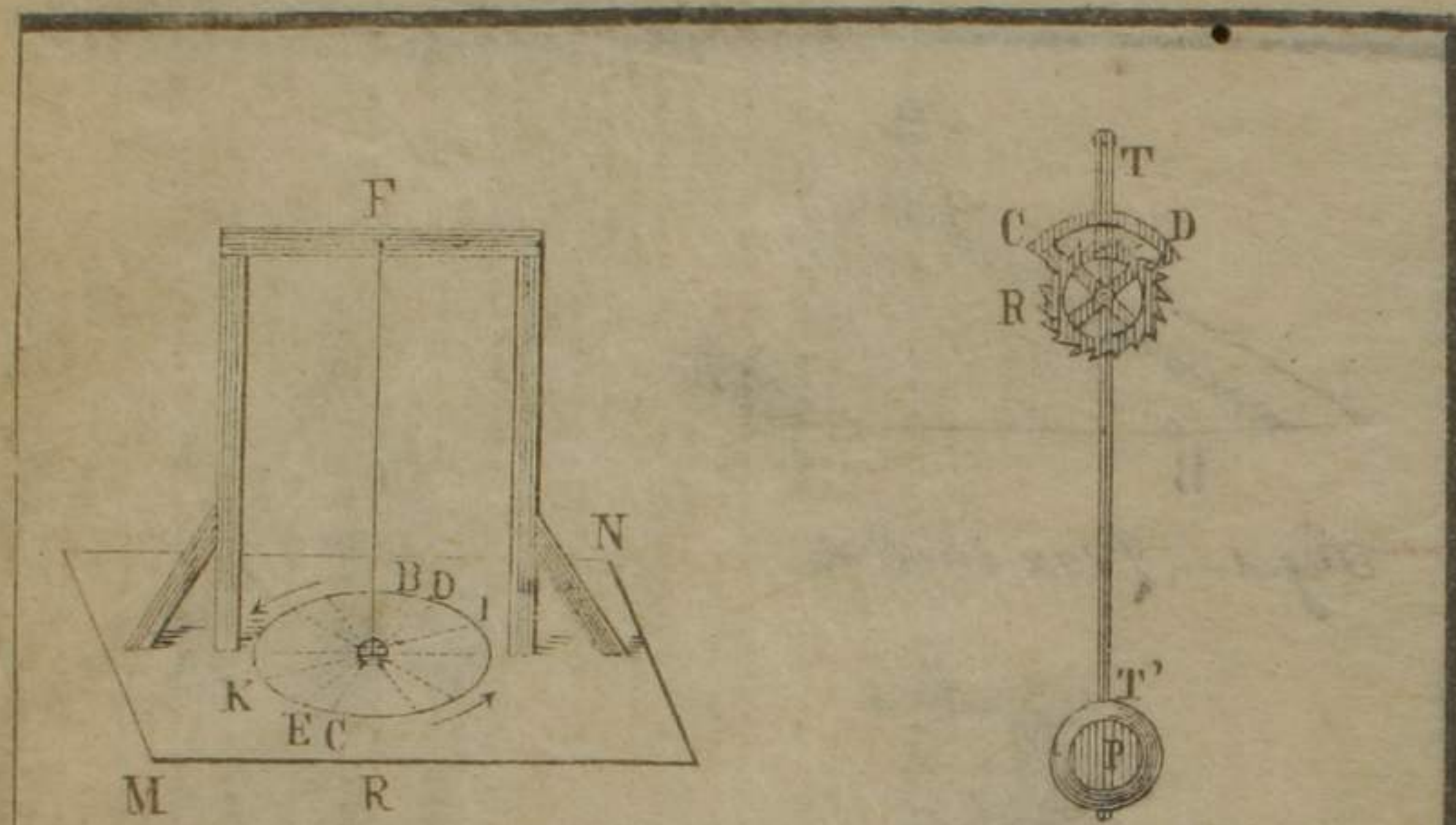


Fig. 5. — Appareil de M. Houlvoette. Fig. 6. — Balanceur.

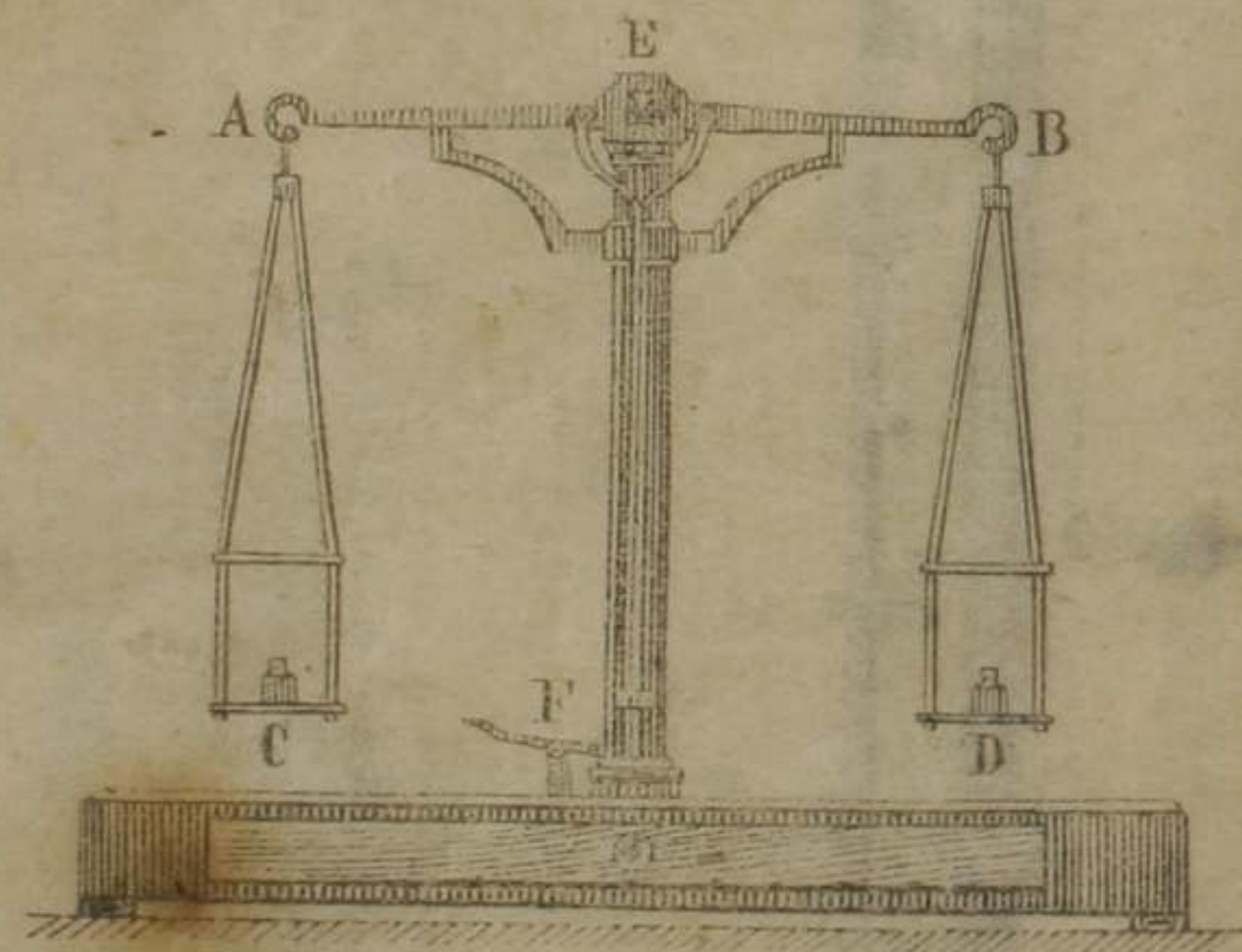


Fig. 7. — Balance ordinaire.

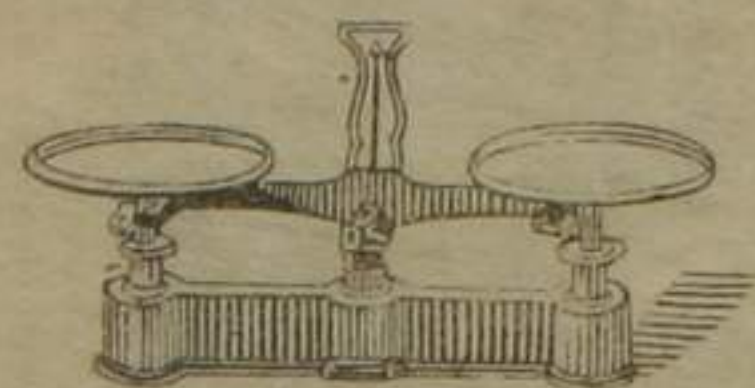


Fig. 8. — Balance horizontale.

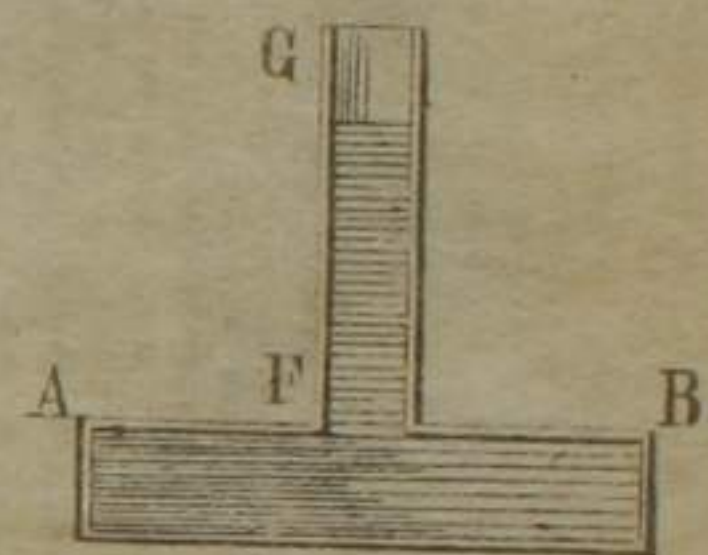


Fig. 10.

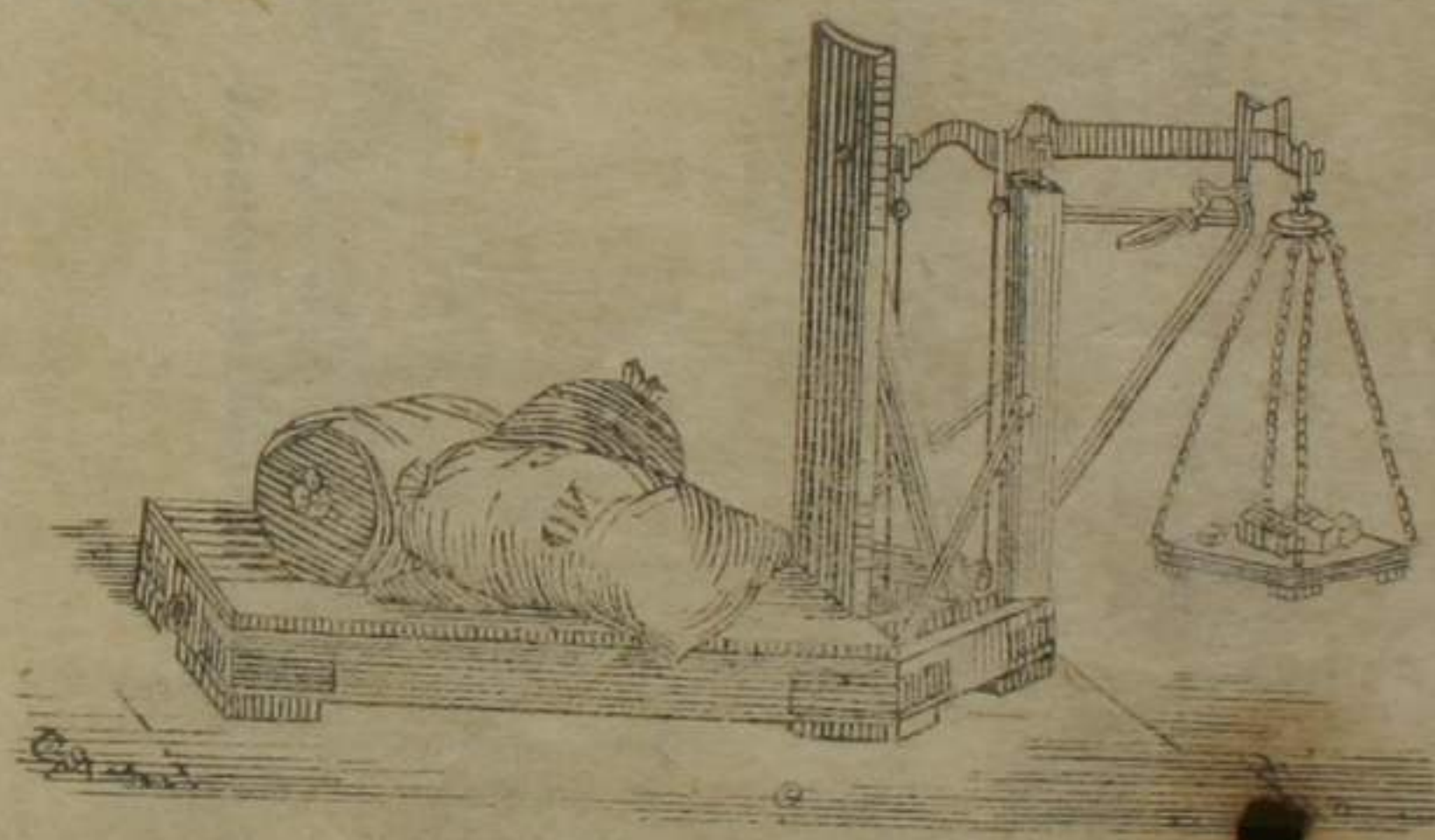


Fig. 9. — Baselle.







