

# LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE;

*Par M. l'Abbé NOLLET, de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, &c. Maître de Physique & d'Histoire Naturelle des Enfants de France, & Professeur Royal de Physique Expérimentale au Collège de Navarre.*

TOME SECOND.

SEPTIÈME ÉDITION.



A PARIS,

*Du fonds de H. L. GUERIN & L. F. DELAYOUR.*

Chez DURAND, Neveu, Libraire,  
rue S. Jacques, à la Sageffe.

---

M. DCC. LXXI.

*Avec Approbation & Privilège du Roi.*



---

## AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de manière qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entièrement du livre, & se voir à droite, dans l'ordre qui suit.

### TOME PREMIER.

CVIII. Pages. Planches <sup>n</sup>o.

I. LEÇON.	34.....	1.
	50.....	2.
	60.....	3.
	80.....	4.
II. LEÇON.	96.....	1.
	120.....	2.
	136.....	3.
	176.....	4.
III. LEÇON.	188.....	1.
	222.....	2.
	258.....	3.
IV. LEÇON.	270.....	1.
	276.....	2.
	288.....	3.
	300.....	4.
	314.....	5.
	326.....	6.
	372.....	7.

## T O M E   S E C O N D.

V. LEÇON.	10	Pag.	Pl. I.
	24	.....	2.
	42	.....	3.
	86	.....	4.
	90	.....	5.
	96	.....	6.
VI. LEÇON.	154	.....	1.
	174	.....	2.
	204	.....	3.
	214	.....	4.
	226	.....	5.
VII. LEÇON.	254	.....	1.
	266	.....	2.
	270	.....	3.
	278	.....	4.
	314	.....	5.
	320	.....	6.
	338	.....	7.
VIII. LEÇON.	396	.....	1.
	470	.....	2.

## LEÇONS



# LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.



## V. LEÇON.

*Sur le Mouvement composé, & sur  
les Forces centrales.*

---

### PREMIERE SECTION.

*Du Mouvement composé.*



N appelle *Mouvement composé*, celui d'un corps déterminé à se mouvoir par plusieurs causes ou puissances qui agissent selon des directions différentes; tel est, par exemple, le

*Tome II.*

A

---

V.  
LEÇON.

## 2 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

mouvement d'un bateau qui s'entre-  
tient dans la direction du canal  $AB$ ,  
en obéissant en même-temps aux deux  
puissances  $C, D$ , *Figure 1.*

Comme le mouvement simple a  
ses loix, le mouvement composé a  
aussi les siennes; elles peuvent toutes  
se rapporter à une seule qui est énon-  
cée dans la proposition suivante, &  
dont elles ne sont que des consé-  
quences.

### *Loi du mouvement composé.*

*QUAND un corps est mis en mouve-  
ment par plusieurs puissances qui agissent  
en même temps, & selon différentes direc-  
tions, ou il demeure en équilibre, ou bien  
il prend un mouvement qui suit le rapport  
des puissances entr'elles pour la vitesse, &  
il reçoit une direction moyenne entre celles  
des puissances auxquelles il obéit.*

Car lorsque deux puissances agis-  
sent en même temps sur un mobile,  
ou elles sont directement opposées  
comme  $MA, ME$ , *Fig. 2* ou bien  
leurs directions font angle ensemble,  
comme  $BM \& FM, CM \& GM$ , &c.  
puisque si elles se réunissoient, comme

on le voit en *N*, il est évident qu'elles concourroient dans la même direction, & qu'il n'en résulteroit qu'un mouvement simple, dont la vitesse seroit le produit des deux forces; de sorte que si l'une des deux étoit capable de tirer ou de pousser le corps *M* en *N*, les deux ensemble qu'on suppose égales, le feroient aller jusqu'en *K*.

Les deux puissances étant opposées dans la même ligne, le mobile sur lequel elles agissent, demeure en équilibre entr'elles, en cas d'égalité; car il n'est pas possible qu'il aille en même temps à droite & à gauche; & pourquoi se porteroit-il d'un côté plutôt que de l'autre, s'il éprouve d'une part autant de résistance qu'il souffre d'impulsion de l'autre part?

Mais si les puissances sont inégales; le mobile obéit à la plus forte des deux, selon leur différence; c'est-à-dire, que si *E* est à *a* comme 3 est à 2. le corps *M* obéit à la première, comme si sa valeur étoit 1, différence de 3 à 2. Ainsi les puissances étant directement contraires, il en résulte ou le repos ou le mouvement simple, mais retardé.

A ij

#### 4 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

Quand les puissances sont dirigées de manière qu'elles fassent angle, ou (ce qui est la même chose) que leurs directions se croisent au mobile, comme  $Bb$ ,  $Ff$ , alors le mouvement se compose en vitesse & en direction, & l'une & l'autre se mesure par la diagonale du parallélogramme, par les côtés duquel les puissances son exprimées. Expliquons ceci en considérant séparément dans la *Fig. 3.* les deux puissances  $C$ ,  $G$ , & le mobile  $M$  de la *Fig. 2.*

Supposons donc que le corps  $M$  soit tiré en même temps par deux forces  $C$ ,  $G$ , que nous faisons égales en les exprimant par deux lignes de même longueur: que chacune de ces lignes soit divisée en 6 espaces égaux & distingués par des chiffres & par des lettres. Imaginons que  $CM$  est une règle sur laquelle se fait le mouvement de haut en-bas, pendant que cette règle se meut parallèlement à elle-même sur la ligne  $MG$ . Il est certain que la règle mobile étant parvenue au chiffre 1. de la ligne  $MG$ , le corps  $M$  sera descendu d'une pareille quantité, & qu'il ne sera ni au

EXPÉRIMENTALE. 5

point  $i$ , ni au point  $a$ , mais en  $h$ ; de même, pendant que la règle parviendra au chiffre 2, le corps  $M$  descendra encore d'un espace, & se trouvera au point  $k$ . Ce qui continuant toujours de même pendant le mouvement parallèle de la règle sur  $MG$ , on voit que le mobile  $M$  aura passé successivement par tous les points de la ligne  $Mn$ , diagonale du parallélogramme,  $MnGC$ , dont les deux côtés  $GM$ ,  $CM$ , expriment le rapport des puissances.

V.  
LEÇON.

La longueur de cette diagonale  $Mn$  donne la vitesse du mouvement composé, qui, comme l'on voit, n'est jamais aussi grande que la somme des deux vitesses qui la font naître, car  $Mn$  n'égale pas  $MG$  &  $MC$  prises ensemble. Et si ces deux forces concouroient à pousser le mobile dans une même direction, elles lui feroient faire plus de chemin qu'il n'en fait, lorsqu'elles le sollicitent d'aller vers deux points différents. Mais en obéissant ainsi à l'une & à l'autre en même temps, il arrive par un chemin plus court au terme des deux tendances.

A iij

## 6 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

Cette même ligne devient plus courte, à mesure que les directions des puissances font entr'elles un angle moins aigu; car dans le cas où ces puissances agiroient suivant les lignes  $HM$ ,  $DM$ , *Fig. 2.* la diagonale seroit  $MI$ , plus longue que ne seroit  $LM$ , ou  $OM$ , si leurs actions étoient exprimées par  $GM$ ,  $CM$ , ou bien par  $BM$ ,  $FM$ .

De toutes les positions que peuvent prendre entr'elles deux forces qui agissent en même temps sur un mobile, il n'y en a qu'une qui rende leurs actions réciproquement indifférentes, c'est lorsque leurs directions font entr'elles un angle droit, comme  $CM$ ,  $GM$ , *Fig. 3.* Car celle qui agit horizontalement, tend à mener le mobile à la distance  $G$ , & il lui est indifférent que ce soit en  $G$ , ou en  $n$ , ou à tout autre point pris dans cette ligne. De même celle qui agit verticalement, demande que le mobile arrive à une distance égale à  $MC$ , & cette distance de haut-en-bas se trouve partout dans la ligne  $Cn$ . Ainsi quand l'une & l'autre force agissent en même temps, chacune d'el-

EXPÉRIMENTALE. 7

elles s'exerce sur le mobile, comme s'il étoit libre de la part de l'autre; elles ne s'aident ni ne se nuisent.

---

V.  
LEÇON.

Mais il n'en est pas de même si l'angle que ces deux puissances font entr'elles, est obtus ou aigu: dans le premier cas elles se détruisent en partie, & dans l'autre elles s'entr'aident. Si, par exemple, les deux forces font entr'elles l'angle  $RPQ$ , *Fig. 5.* le mobile vient en  $S$ , & la puissance  $PR$  est diminuée de la quantité  $TQ$ , ou  $St$ : & au contraire si les puissances sont dirigées de manière qu'elles fassent entr'elles un angle semblable à  $VXY$ , *Fig. 6.* le mobile vient en  $u$ , & la puissance  $XV$  est augmentée d'une quantité égale à  $Zu$ , ou  $Yy$ .

La diagonale dont nous parlons, donne encore la direction du mouvement composé; car si l'on applique à tout autre parallélogramme le raisonnement que nous avons fait, lorsque nous avons supposé les puissances égales entr'elles, comme les deux côtés d'un carré parfait, on verra que cette ligne ne demeure également distante de l'une & de l'autre puissance, que dans le cas d'égalité;

Aiiiij

## 8 LEÇONS DE PHYSIQUE

————— & que quand les forces sont inégales  
V. entr'elles, la diagonale est plus inclinée à celle des deux qui est la plus  
LEÇON. grande, comme on peut le voir en jettant les yeux sur la *Fig. 4.*

Il suit de ces principes, que si l'on fait l'angle de direction des puissances & leur degré de force, on connoît aussi l'effet qu'elles doivent produire sur le mobile, c'est à-dire, son degré de vitesse, & le chemin qu'il doit tenir. Car on voit par les *Fig. 3, 4, 5 & 6.* que si l'on exprime la valeur des puissances & leurs directions, par des lignes qui se joignent par un bout, en établissant un parallélogramme sur ces deux premiers côtés, la diagonale donnera ce que l'on cherche.

Il suit encore, que si l'on connoît l'effet commun de deux puissances sur un même mobile, & l'état de l'une des deux, je veux dire, sa direction, & son degré de force, on peut juger de la valeur & de la position de l'autre. Si je fais, par exemple, qu'un mobile a été porté de *P* en *S*, *Fig. 5.* par l'action de deux forces dont une est exprimée par *PR*, je tire la ligne *SQ* parallèle & égale

à  $P R$ ; & en achevant le parallélogramme, je vois que  $P Q$  est l'autre puissance plus petite que la première, & faisant avec elle l'angle de direction  $R P Q$ .

Nous allons joindre les preuves d'expériences aux explications & aux raisons que nous venons d'exposer; & pour procéder avec ordre, nous considérerons d'abord les effets de deux puissances directement contraires, & nous verrons ensuite comment se compose le mouvement produit par deux forces dont les directions se croisent au centre du mobile.

Nous supposons encore que le rapport des forces demeure constant; c'est-à-dire, que pendant tout le temps qu'elles agissent sur le mobile, il n'arrive à l'une des deux aucun changement qui la fasse plus ou moins différer de l'autre, en sorte que si elles sont égales en commençant, cette égalité persévère jusqu'à la fin; ce qui peut fort bien subsister avec des affoiblissements causés par la résistance des milieux, ou par des frottements, pourvu que ces changements soient égaux de part & d'autre.

## PREMIERE EXPERIENCE.

V.

LEÇON.

## PREPARATION.

La Fig. 7. représente une table ronde, ou un guéridon, qui porte en sa circonférence des poulies de renvoi, comme *A, B*; on fait passer sur ces poulies deux cordes *CAE, CBD*, qui tiennent d'une part au mobile *C*, & qui soutiennent de l'autre part un poids de plomb *D, E*.

## EFFETS.

Si les deux poids sont égaux, le corps *C* demeure en équilibre, partout où il se trouve dans la ligne *AB*; si le poids *E* pese 2 onces, & que *D* n'en pese qu'une, le corps *C* est emporté vers *A*, comme si *E* pesoit 1 once, & qu'il n'y eût aucune résistance en *D*: ce qui se reconnoît en exposant sous sa chute une cuvette remplie de terre molle, dans laquelle il fait un enfoncement qu'on peut mesurer & comparer.

## EXPLICATIONS.

On appelle *équilibre* en général, l'é-





EXPÉRIMENTALE. II

tât d'un corps qui est sollicité de se mouvoir en deux sens opposés avec des forces égales; cette double tendance ne peut avoir son effet, à cause que les forces qui la produisent de part & d'autre, sont égales; c'est pour-quoi autant que dure cette égalité, le mobile demeure en repos. C'est aussi la raison pour laquelle le corps *C* de notre expérience demeure partout où il se trouve, dans la ligne qui joint les deux puissances, lorsque les poids *E* & *D* sont égaux.

---

V.  
LEÇON.

Mais si l'un des deux vient à s'augmenter, l'équilibre est rompu aussi-tôt, & le mobile obéit au plus fort. Il ne lui obéit cependant que suivant l'excès qu'il a sur le plus foible; car la résistance de celui-ci n'est point anéantie, elle subsiste toujours, & son effet est de consumer une force contraire & égale à la sienne; ainsi quand le mobile *C* est emporté par le poids *E*, ce ne peut être que par la quantité dont ce dernier surpasse l'autre.

APPLICATIONS.

Tous les corps qui sont pressés ou retenus entre une puissance & un

## 12 LEÇONS DE PHYSIQUE

---

### V. LEÇON.

point d'appui, font autant d'exemples qui représentent ce que nous venons de prouver par l'expérience précédente : car nous savons par la troisième loi du mouvement simple, que la réaction est égale à l'action ou à la compression ; ainsi quand un Menuisier serre un morceau de bois entre son établi & le valet, c'est le fixer entre deux puissances égales : on doit dire la même chose d'un morceau de fer retenu dans l'étau d'un Serrurier ; d'une corde tendue entre deux points fixes ; d'un bateau attaché à un pieu pour résister à la violence du courant, &c.

Deux poids égaux sont en équilibre, & par conséquent demeurent en repos aux deux bouts d'une corde qui embrasse une poulie, tant que cette corde est égale de part & d'autre ; car alors chaque poids est autant tiré en en-haut par son antagoniste, qu'il l'est en en-bas par sa propre masse. Mais si la corde devient plus longue d'un côté que de l'autre, l'équilibre ne subsiste plus ; la pesanteur de la quantité excédente est une nouvelle puissance qui aide à descendre

celui des deux poids qui est le plus bas. Et c'est une chose à laquelle on doit faire attention, quand on construit des machines pour tirer de l'eau, des pierres, des mines, &c. de souterrains très-profonds, ou pour élever des fardeaux à des hauteurs considérables; si l'on oublioit de faire entrer en compte le poids des cordes, on tomberoit souvent dans l'erreur; car ces cordes sont ordinairement très-pesantes, & quand elles sont étendues de toute leur longueur, elles ajoutent beaucoup à la résistance qu'on s'est proposé de vaincre; on s'en apperçoit sensiblement, quand on tire d'une grande profondeur un seau plein d'eau; on a plus d'effort à faire, quand il commence à monter, que lorsqu'il arrive en haut.

## II. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

La machine qui est représentée par la Fig. 8. est un plan vertical d'un pied en quarré, élevé sur une base: en *H* est un point fixe, auquel est attaché un fil qui passe sur une poulie *G*,

## 14 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

& qui porte à son extrémité un plomb *F*. La poulie *G* est mobile sur deux fils de laiton tendus parallèlement d'*H* en *I*, & on la tire avec un fil qui passe sur une autre poulie fixée en *I*.

### E F F E T S.

Lorsqu'on tire la poulie de *G* en *I*, le poids monte par la diagonale *FI*.

### E X P L I C A T I O N S.

Le corps *F* est mis en mouvement par deux puissances, dont une exige qu'il s'éleve d'une hauteur égale à *FG*; & l'autre, qu'il s'avance d'une longueur égale à *GI*. Car le point fixe qui arrête le bout du fil en *H*, & qui cause l'élévation du mobile *F*, doit être regardé comme une puissance égale à celle qui tire la poulie mobile vers le point *I*. Si ces deux forces avoient leurs effets séparément, le plomb parcourroit successivement les deux lignes *FG* & *GI*; mais parce qu'elles agissent en même temps, & qu'elles sont égales entr'elles, le mobile s'avance autant & à mesure qu'il monte, ce qui fait qu'il se meut dans la diagonale *FI*.

EXPÉRIMENTALE. 15

Cette expérience fait assez bien voir ce que nous avons donné comme supposition dans la *Fig. 3*. Car le fil *FG*, qui tient le plomb suspendu, représente la regle mobile qu'on peut regarder comme divisée en 6 parties égales, & qui diminue de longueur; à mesure qu'elle s'avance sur chacune de ses parallèles marquées sur le plan: c'est la même chose que le corps *F* monte en s'avancant sur le fil, ou que ce fil, au bout duquel il est fixé, diminue de longueur; s'il diminue donc d'une partie, lorsqu'il sera parvenu à la première parallèle, le plomb sera en *a*: s'il diminue encore d'une partie en s'avancant à la seconde parallèle, le plomb se trouvera en *b*, & ainsi de suite, jusqu'à ce qu'enfin le mobile ait parcouru toute la ligne *FI*.

---

V.  
LEÇON.

APPLICATIONS.

Les vols qu'on imite à l'Opéra & dans les autres lieux de spectacles, s'exécutent par une mécanique assez semblable à celle que nous avons employée dans l'expérience que nous venons d'expliquer; on a soin seulement

## 16 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

de proportionner les pièces aux efforts qu'elles doivent soutenir, & pour cacher le plus qu'il est possible les cordes aux yeux du Spectateur, on les fait avec des fils de laiton assez menus, & en assez grand nombre, pour concilier en même temps la force & la flexibilité.

L'usage apprend à un Batelier, que ce n'est point par la ligne la plus courte qu'il faut diriger son bateau sur la rivière pour arriver au point le moins éloigné du rivage opposé; il fait que s'il tendoit de *P* en *R*, *Fig. 1.* il arriveroit en quelque endroit au-dessous, comme en *S*; il se dirige vers *T*, & la force du courant le ramene peu à-peu, en lui faisant décrire une ligne courbe.

La raison de cet effet se présente d'elle-même, quand on fait attention que le bateau poussé dans une direction qui n'est point celle du courant, compose son mouvement des deux forces dont il éprouve l'action: aussi voit-on que quand l'une des deux augmente, il faut que l'autre croisse par proportion, si l'on veut conserver le même effet. Si la crûe des  
eaux

eaux rend le courant plus rapide, il faut travailler davantage pour arriver au même but, ou bien il faut diriger le bateau plus haut, & ce dernier parti est celui que nous voyons prendre aux Bateliers établis sur les ports pour le passage public.

Les poissons nous fournissent un exemple de mouvement composé, assez remarquable : lorsqu'ils veulent aller de côté ou d'autre, ils frappent l'eau d'un coup de queue; le fluide ne cédant point aussi vite qu'il est frappé, sert de point d'appui au corps du poisson pour se tourner à droite ou à gauche. Mais quand l'animal veut aller en avant, ce mouvement est toujours précédé de deux coups de queue subitement frappés, & en sens contraires; le corps alors prend un mouvement composé de ces deux impulsions, il ne va ni à droite, ni à gauche, mais dans une direction qui tient le milieu entre l'une & l'autre.

Cette maniere d'aller en avant par des mouvements obliques, & opposés les uns aux autres, se peut observer encore dans la plupart des reptiles, comme les serpents, couleuvres,

## 18 LEÇONS DE PHYSIQUE

**V.**  
**LEÇON.** vipères, &c. l'habitude qu'ont ces animaux d'employer ces deux mouvements, & de les combiner ensemble, leur donne la facilité, non-seulement de fuir avec une grande vitesse, mais même de tromper ceux qui les poursuivent par des détours fort adroits.

Les oiseaux, & la plûpart des insectes ailés, composent aussi leurs vols, quand il s'agit de tourner; c'est en battant d'une aîle, ou plus fortement, ou plus fréquemment que de l'autre: c'est une observation qu'on peut faire aisément en regardant voler un papillon; l'irrégularité de ses mouvements est un effet & une preuve très-sensible de l'action inégale de ses aîles.

L'art imite en quelque sorte ce mécanisme naturel avec lequel les animaux composent leurs mouvements. Nous voyons tous les jours arriver sur la Seine des bateaux de foin & autres, qui n'ont d'autres moteurs que le courant de la rivière, & un petit aviron court & un peu large, qu'un homme fait mouvoir continuellement de droite à gauche, & de gauche à droite,

à-peu-près comme la queue d'une carpe qui nage en avant.

=====

V.  
LEÇON.

Mais une imitation bien parfaite & bien curieuse de ces mouvements composés, c'est l'appareil & la manœuvre admirable d'une galere, où l'on voit le bon ordre & l'habitude employer, avec une adresse inexprimable, plusieurs rangs de rames, pour varier les vitesses & les directions du vaisseau selon le besoin.

### III. EXPÉRIENCE.

#### PREPARATION.

*ABCD*, Fig. 9. est un petit billard, au bout duquel s'éleve perpendiculairement un chassis qui porte deux aîles tournantes *EF*; à chacune de ces aîles, est suspendu un marteau d'ivoire qui se meut librement autour du point *G*. On dirige les marteaux comme l'on veut, en tournant plus ou moins les aîles qui les portent, & l'on regle leurs vitesses dans tel rapport que l'on souhaite, en les faisant tomber par des arcs plus ou moins grands, mais toujours en même temps sur une bille d'ivoire placée en *H*.

B ij

Quand les marteaux ont des vitesses égales, & que les aîles sont également inclinées à la ligne  $HI$ ; la bille après le choc, suit cette dernière direction. Si les deux coups sont inégaux, ou les directions différemment inclinées, la bille décrit une ligne qui s'écarte plus ou moins de  $HI$ , comme  $HB$ , ou  $HK$ , selon le rapport des forces qui l'ont déterminée à se mouvoir.

## EXPLICATIONS.

Cette expérience doit s'expliquer de même que la précédente : un des marteaux qui agiroit seul, chasseroit la bille dans sa direction; elle iroit donc vers  $M$  ou vers  $N$ ; mais quand ils agissent tous deux en même temps, comme il n'est pas possible qu'un même mobile se porte à la fois vers deux points opposés, la bille ainsi frappée prend un mouvement qui participe des deux vitesses & des deux directions. Ce qu'on voit de plus par cet exemple, c'est que deux forces une fois imprimées par des causes qui

EXPÉRIMENTALE: 21

cessent d'agir ensuite, ont le même effet, & composent le mouvement du mobile, comme si leurs actions étoient continues; car on a dû remarquer que deux coups de marteaux opèrent sur la bille, ce que les deux fils tirés en même temps ont fait sur le plomb de la seconde expérience.

---

V.  
LEÇON.

*APPLICATIONS.*

Ce que l'on jette par la portière d'un carrosse qui roule, ou sur le rivage, quand on est dans un bateau emporté par le courant, ou bien de côté en courant à cheval, n'arrive jamais au but qu'on s'est proposé, si l'on n'a égard qu'à la seule impulsion du bras. Car outre celle-ci, on doit encore compter sur le mouvement de la voiture, du bateau, ou du cheval, qui est commun au mobile & à la main; c'est pourquoi quand on saute hors d'un carrosse ou d'un bateau en mouvement, on doit s'attendre de tomber au-dessous de l'endroit qu'on a vis-à-vis de soi à l'instant qu'on s'élançe. Mais on ne doit pas croire que les accidents qui arrivent en pareil cas, viennent de ce que le mouve-

## 22 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

ment composé devenant plus oblique, ne porte pas le corps assez loin pour toucher terre, ou pour échapper à la roue; car on peut voir par la *Fig. 3.* que si la ligne *MC*, représente le corps de la voiture, l'extrémité *n* de la diagonale en est aussi loin que le point *G*; mais le mal vient de ce qu'on ne prend point toute la vitesse qu'on croit prendre, parce qu'on a pour point d'appui un plan qui n'est point fixe, & dont le mouvement occasionne souvent une chute inopinée.

Un noyau pressé obliquement, & qui s'échappe des doigts, est encore un exemple bien familier du mouvement composé de deux impulsions dont les effets subsistent, & conservent leurs rapports, quoique les causes aient cessé d'agir. Ce fait en rappelle un autre qui est moins commun, mais qui n'est guere ignoré des joueurs de billard. Si du tranchant de la main, on frappe une bille hors du plan de son équateur, qui est perpendiculaire au tapis sur lequel elle est posée; elle s'échappe d'abord en avant, comme le noyau pressé obliquement de deux

côtés; mais ce qui paroît singulier c'est qu'après avoir ainsi avancé de 8 ou 10 pouces, elle revient en roulant vers le lieu de son départ.

Ce fait s'explique aisément, quand on fait attention qu'en frappant la bille de la manière qu'on l'a dit, on lui a fait prendre deux sortes de mouvements; savoir, un en ligne droite, qu'elle a suivi d'abord, & un autre de rotation sur elle-même, & dans un sens contraire à son mouvement direct; comme il arrive à une poulie suspendue dans une chape, si l'on en frappe le bord obliquement. Ce dernier mouvement ne s'apperçoit pas tant que la bille ne touche point le tapis, ou qu'elle glisse dessus avec trop de vitesse; mais quand le mouvement direct est assez ralenti par les frottements, & qu'elle vient à poser sur le tapis, le mouvement de rotation qui se fait en sens contraire, la ramène vers le lieu d'où elle est partie; car il n'est pas possible qu'une boule tourne sur un plan, sans changer de place, si elle touche ce plan par l'équateur de sa rotation, à moins qu'on ne supposât des surfaces sans

## 24 LEÇONS DE PHYSIQUE

frottement, ce qui ne se trouve pas dans l'état naturel.

V.  
LEÇON.

Jusqu'ici nous avons considéré le mouvement composé de plusieurs forces, qui gardent entr'elles un rapport constant; nous allons maintenant examiner de quelle manière le mouvement se compose, quand ces rapports changent. Quand, par exemple, de deux puissances qui agissent en même temps, l'une devient plus forte ou plus foible, ou bien, (ce qui revient au même,) quand un mobile ayant reçu deux impulsions qui composent son mouvement, il se trouve des causes étrangères ou accidentelles, qui diminuent, ou qui augmentent l'une des deux; comme si, par exemple, le fil *FH*, *Fig. 8.* de la seconde expérience, au lieu de se raccourcir toujours d'une partie, à mesure qu'il arrive à chacune des parallèles, diminuoit d'abord d'une, ensuite d'une & demie, &c. ou au contraire.

On a pu remarquer par les preuves & par les exemples que nous avons rapportés, que le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, toutes les fois que le mobile obéit

Fig. 7 .

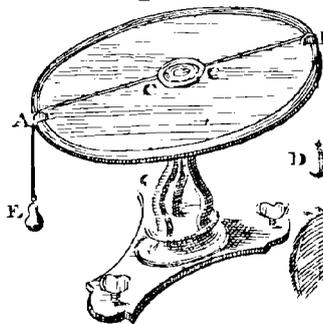


Fig . 8 .

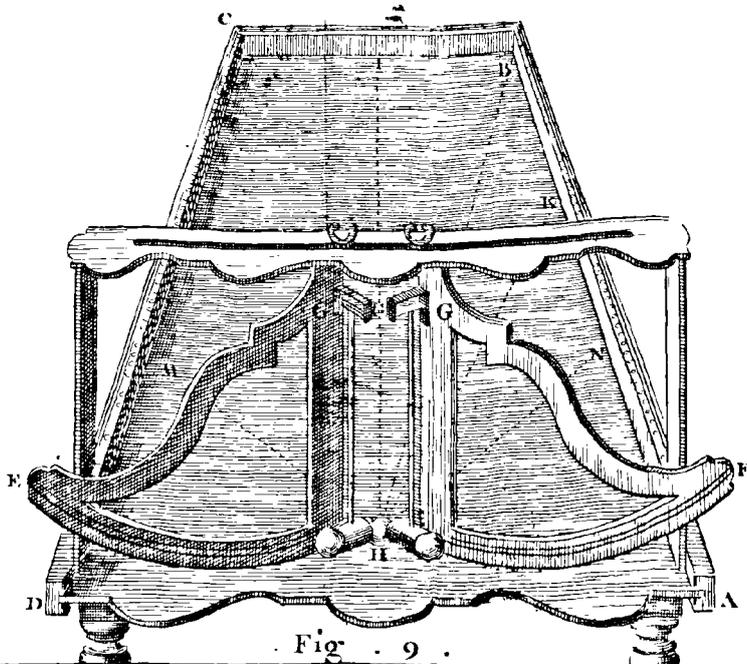
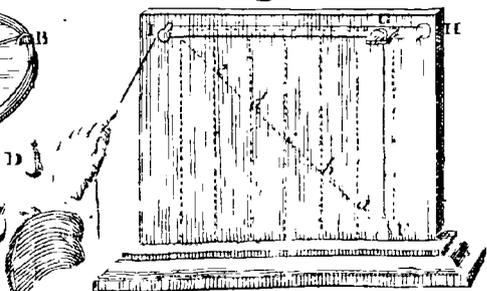


Fig . 9 .



à deux puissances qui perséverent dans le même rapport entr'elles ; soit qu'elles ne reçoivent aucun changement, soit que les changements soient égaux ou proportionnels de part & d'autre ; parce que les effets de chaque instant *Mh*, *hk*, *kl*, &c. *Fig. 3.* & 4. se rencontrent dans la même direction, & que leur somme produit la diagonale *Mn*. Mais il n'en est pas de même, si le rapport des puissances change : le produit de chaque temps infiniment petit, est une ligne droite que le mobile décrit toujours en conséquence de la loi établie ci-dessus ; mais chacune de ces lignes a sa direction particulière, selon l'état actuel des puissances, comme on peut le voir par la *Figure 10*. Car si le mobile *M* est poussé horizontalement par une force dont l'action soit égale dans tous les instants, & qu'en même temps il obéisse à une impulsion de haut en bas qui augmente de plus en plus, comme les espaces *Ma*, *ab*, *bc*, &c. pendant le premier temps, le corps *M* parviendra en 1, à la fin du second au point 2, ensuite au point 3, &c. Chacune de ces lignes, com-

me on voit, est une petite diagonale ; mais de leur suite, il se forme une courbe qui varie comme le rapport des puissances : deux expériences rendront cette théorie sensible.

V.  
LEÇON.

#### IV. EXPERIENCE.

##### PREPARATION.

La Machine représentée par la *Fig. 11.* est formée de deux plans élevés verticalement, dont l'un *ABC*, plus avancé que l'autre, est chantourné en portion de cercle par le haut, & laisse en cette partie une espece de goutiere *AB* entre lui & l'autre plan qui est plus reculé. Ce dernier est divisé de *B* en *D* en trois parties égales, & de *B* en *C* en trois parties inégales qui vont en augmentant, comme 1, 3, 5. Aux angles que forment entr'elles les lignes de division, on a fixé des anneaux perpendiculairement au plan, & le tout est porté sur une base que l'on met de niveau par le moyen de trois vis,

E F F E T S.

---

V.  
LEÇON.

On laisse tomber une balle d'ivoire par la gouttière *AB*, & elle décrit la courbe *BEF*, en passant par les anneaux.

E X P L I C A T I O N S.

Lorsque la balle est parvenue du point *A* au point *B*, par l'arc de cercle qu'elle a décrit, elle a acquis une certaine vitesse avec laquelle elle s'échappe dans la direction *BD*; & en conséquence de la première loi du mouvement simple, elle suivroit cette ligne, si rien ne s'y opposoit. Mais cette balle est pesante, & la pesanteur, comme nous le verrons bientôt, est une force dont la direction est de haut en bas, & qui donne au mobile une vitesse accélérée; c'est pourquoi lorsque la balle est parvenue au point *B*, & qu'elle cesse d'être soutenue par la gouttière, elle se trouve soumise à deux puissances, l'une qui est sa vitesse acquise en descendant du point *A*, l'autre qui est sa propre pesanteur. La première qui a sa direction vers *D*, est uniforme; la

C ij

V.  
LEÇON.

seconde qui est dirigée vers *C*, est accélérée : ainsi les espaces que cette balle parcourt en descendant, n'étant ni égaux entr'eux, ni dans un rapport constant avec ceux qu'elle parcourt en avant ; le changement de direction qu'elle éprouve à chaque instant, lui fait décrire la courbe *BEF*.

#### APPLICATIONS.

Des exemples sans nombre font voir que la pesanteur des corps change leur mouvement, quand ils ne sont pas dirigés comme elle ; c'est une force qui a son effet, comme toute autre l'auroit en pareil cas ; & quand on ne l'apperçoit pas, c'est que l'autre puissance qui agit en même temps sur le mobile , est beaucoup plus grande,

Une balle de calibre tirée à 70 pas, ne paroît pas avoir baissé : si l'on en juge par les apparences, on diroit qu'elle n'a suivi que la seule impulsion de la poudre, & que sa pesanteur n'est entrée pour rien dans son mouvement, puisqu'elle semble s'être entretenue dans la vraie direction du canon,

Mais il faut faire attention à deux choses; la première, c'est que la vitesse de la balle dans une telle distance est si grande, que sa pesanteur ne la feroit descendre que d'une très petite quantité, si on la laissoit librement tomber pendant un pareil temps: ainsi cette chute ne doit pas être plus considérable, quand un autre mouvement transporte le mobile. La seconde, (& cette raison est la plus forte,) c'est que les canons des armes à feu sont plus épais vers leur culasse, qu'à leur embouchure, de façon que la ligne de mire  $GH$ , & la vraie direction de la balle, se croisent en chemin, comme on le peut voir par la *Fig. 12*. Ainsi quand on croit diriger la balle en  $H$ , on la dirige véritablement en  $I$ ; & si l'on tire à une distance convenable, que l'impulsion de la poudre soit proportionnée au poids de la balle, & que l'angle formé par la ligne de mire, & la direction du canon intérieur, soit dans une bonne proportion; l'effet de la pesanteur fera baisser le coup de la quantité  $I H$ , & l'on touchera par un mouvement vraiment composé le but qu'on s'est pro-

### 30 LEÇONS DE PHYSIQUE

---

V.  
LEÇON. posé, n'ayant égard qu'au mouvement simple imprimé par la poudre enflammée.

Tous les fusils relevent donc le coup, & quand on s'en plaint, on ne doit l'entendre que de ceux qui le font trop; car si le canon étoit partout d'une même épaisseur, le rayon visuel seroit parallèle à la direction de la balle; le poids du plomb feroit de nécessité baisser le coup, & ce défaut de construction obligeroit le tireur d'avoir égard à l'effet de la pesanteur.

Tous les écoulements d'eau qui ne se font point perpendiculairement à l'horizon, font encore voir des mouvements composés en lignes courbes, par des forces dont les actions ne demeurent pas constamment en même rapport dans tous les instants. L'eau qui tombe d'une gouttiere, par exemple, part horizontalement avec une vitesse qu'elle acquiert en descendant du toit, & cette vitesse une fois acquise doit être considérée comme uniforme; mais en même temps cette eau tend à se mouvoir de haut en bas, avec une force qui croît dans tous les ins-

tants ; de cette double tendance il naît une courbe , qu'un écoulement successif représente aux yeux , & son extrémité où se termine la chute , se porte d'autant plus loin en avant , que la vitesse horizontale est plus grande , comme on peut le remarquer , lorsque l'écoulement est plus abondant ; car alors la masse de l'eau étant plus considérable , elle est aussi moins retardée par les frottements , ou par la résistance de l'air.

## V. EXPERIENCE.

### PRÉPARATION.

Sur deux cordes de boyaux fortement & parallèlement tendues d'un bout à l'autre d'une chambre , on fait glisser la planche *LM*, *Fig. 13.* que l'on tire par le moyen d'une ficelle qui passe sur la poulie de renvoi *N* ; au milieu de cette planche mobile est un bout de tuyau ou de canon , dans lequel est un petit cylindre de bois dur , & qui peut se mouvoir de bas en haut , sans sortir ; dessous est un marteau poussé par un ressort qui se tend , quand on fait passer le manche

C iij

## 32 LEÇONS DE PHYSIQUE

            
 V.  
 LEÇON. du marteau par la mortaise *L*, où il est retenu par une petite clavette *O*. Cette dernière piece tient à une ficelle de 2 ou 3 pieds de longueur qui est fixée, comme les deux cordes, à la muraille; on met une balle d'ivoire & de calibre dans le petit canon, & l'on tire la planche le plus uniformément que l'on peut, & avec une vitesse capable de lui faire parcourir environ 8 ou 10 pieds dans une seconde.

### E F F E T S.

Lorsque la planche a parcouru environ le tiers de son chemin, la clavette retenue par la ficelle à laquelle elle est attachée, détend le ressort qui pousse le marteau: alors le coup porté en dessous sur le petit cylindre, se communique à la balle d'ivoire; elle est chassée du petit canon d'où elle s'éleve, & va retomber par une ligne courbe, sur la planche qui a continué de s'avancer, pendant que la balle étoit en l'air.

### E X P L I C A T I O N S.

Si la planche *ML* demeueroit en

repos, pendant que le marteau imprime son impulsion, il est évident que la balle s'éleveroit perpendiculairement par la ligne  $Pp$ ; il est incontestable aussi, que si la balle n'avoit qu'un mouvement commun avec la planche, elle ne sortiroit pas plus qu'elle de la direction horizontale; mais si elle part avec les deux mouvements ensemble, la loi dumouvement composé exige qu'elle prenne une direction moyenne, & qu'elle s'éleve par une ligne oblique à l'horizon, comme  $PQ$  ou  $PR$ . Lorsqu'elle est une fois déterminée à se mouvoir dans une de ces lignes, elle continueroit toujours en conséquence de la premiere loi du mouvement simple, si la pesanteur n'y mettoit obstacle. Cette puissance, qui est comme résidente en elle, & qui la sollicite sans cesse à descendre, l'éloigne de plus en plus de la direction qu'elle a; & comme les espaces qu'elle lui fait parcourir de haut en bas vont toujours en augmentant, ( ce que nous expliquerons d'une maniere plus précise en parlant des loix de la pesanteur, ) il arrive que dans le temps qu'elle auroit

### 34 LEÇONS DE PHYSIQUE

           mis à parcourir la ligne *PR*, elle par-  
 V. vient au point *S*, par la ligne *PFS*,  
 LEÇONS & la planche qui n'a pas interrompu  
 son mouvement, se trouve sous la  
 balle à la fin de la chute.

#### APPLICATIONS.

L'expérience qu'on vient d'expliquer, fournit des réponses aux questions suivantes.

1°. A quelle sorte de danger seroit exposé un mouffe qui se laisseroit tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaisseau est à la voile? courroit-il le risque de se perdre dans la mer, ou bien sa chute se feroit-elle sur le pont?

2°. Que deviendroit une orange qu'un Cavalier courant à toute bride prendroit soin de jeter en l'air & perpendiculairement à l'horizon? la vitesse du cheval la laisseroit-elle en arriere?

3°. En supposant que la terre tourne sur son axe en 24 heures, & qu'un canon ou un mortier placé sous l'équateur, eût un mouvement d'Occident en Orient qui égalât à-peu-près 250 toises par secondes, le boulet qui seroit tiré perpendiculairement,

suiroit-il cette direction , tant en montant qu'en descendant ?

V.  
LEÇON.

Il suit des explications précédentes que le mouffe tomberoit au pied du mât, par une ligne qui paroîtroit verticale à ceux qui seroient sur le vaisseau, mais dont on appercevroit bien la courbure, si l'on étoit sur le rivage : car il est bien vrai que cette chute seroit parallèle au mât qui est droit; mais les différents points du mât auxquels répondroit le mouffe en tombant, seroient plus avancés les uns que les autres dans la direction horizontale, & leur suite se trouveroit dans une ligne courbe, parce que la chute se fait avec une vitesse accélérée; ce qui s'entendra aisément, si l'on prend pour le mât la ligne *Mf* de la *Fig. 10.* les espaces interceptés entre les lettres *M, a, b, c, d, e, f,* pour le chemin que parcourt le mouffe en temps égaux pendant sa chute, & la ligne *Mc* ou *f6,* pour l'espace parcouru horizontalement par le vaisseau.

L'orange du Cavalier & le boulet de canon seroient précisément dans le cas de la balle d'ivoire de notre

derniere expérience, & feroient comme elle; ni l'un ni l'autre de ces deux mobiles ne tomberoit en arriere; & si des causes accidentelles n'y mettoient empêchement, l'une arriveroit dans la main du Cavalier, & l'autre dans l'embouchure du canon d'où il feroit parti: ce qu'il est aisé d'appercevoir, en appliquant à ces deux suppositions les raisons dont nous nous sommes servis pour expliquer le mouvement de la balle d'ivoire.

Quoique ces effets puissent se conclure en toute sûreté de la théorie, on ne doit guere les attendre dans la pratique; parce qu'à l'instant que le mobile part, son mouvement est réglé en conséquence des deux impulsions, telles qu'elles sont à l'instant du départ; mais il arrive très-ordinairement qu'avant sa chute le plan mobile qui doit le recevoir, reçoit quelque changement, ou dans sa vitesse, ou dans sa direction; ou bien le mobile rencontre des obstacles qui dérangent les rapports des impulsions dont son mouvement est composé: en pareils cas les à-peu-près

suffisent , & on les a presque toujours ,  
ou s'ils manquent , les causes se pré-  
sentent d'elles-mêmes.

---



---

 II. SECTION.

*Des Forces centrales.*

**T**OUT ce que nous avons enseigné touchant le mouvement simple dans les Leçons précédentes , & ce que nous venons d'exposer dans celle-ci sur le mouvement composé , fait voir qu'il n'y a aucun mouvement qui soit naturellement dirigé en ligne courbe ; un corps une fois déterminé à se mouvoir , soit par une seule cause , soit par plusieurs ensemble , tend toujours à persévérer dans l'état où il est , & cet état consiste à passer avec une certaine vitesse d'un terme à un autre , par la voie la plus courte qui est une ligne droite . Si l'on voit donc un mobile décrire une ligne courbe par son mouvement , il faut considérer le chemin qu'il fait comme une suite de mouvements non interrompus , mais dont les directions

V.  
LEÇON.

particulieres changent à tout instant, & forment entr'elles des angles fort obtus, de même qu'on a coutume de considérer un cercle, ou une ligne courbe, comme un assemblage de lignes droites infiniment courtes & insensiblement inclinées entr'elles; telle seroit la ligne 1, 2, 3, 4, 5, 6 de la Fig. 10. si les parties interceptées entre ces chiffres n'avoient point une longueur sensible.

Cette suite de mouvements en lignes droites, dont l'assemblage forme une courbe, ne peut donc point être l'effet d'une seule détermination; plusieurs même ne suffiroient pas, à moins qu'elles ne changeassent continuellement de rapport entr'elles, comme nous l'avons expliqué & prouvé dans la section précédente.

Mais ces rapports peuvent changer, non-seulement quant à l'*intensité*, c'est-à-dire, quant au degré de force; mais ils peuvent varier aussi quant à la direction des puissances, & c'est une autre vue sous laquelle il nous reste à considérer le mouvement composé.

Supposons donc que le mobile *A*,

Fig. 14. soit sollicité à se mouvoir par deux puissances qui soient entr'elles comme les deux lignes  $AC$  &  $AB$ , tant pour l'intensité que pour les directions, c'est-à-dire, que leurs forces soient comme 1 à 3, & que leurs directions fassent entr'elles un angle droit au point  $A$ ; il est certain que le mouvement composé commencera par  $Ad$ , & qu'il continueroit jusqu'en  $D$ , si rien ne changeoit; mais si les deux puissances à la fin de ce premier temps se retrouvent disposées entr'elles comme au commencement; si, par exemple, la tendance vers  $D$  restant telle qu'elle résulte du mouvement composé, l'autre puissance se dirige vers  $H$ , le mouvement se composera de nouveau, & le mobile parviendra en  $e$ : & s'il arrive encore pareille chose, que l'une des deux puissances se dirige en  $I$ , on verra le mobile arriver en  $f$ , & de-là en  $g$ , & ensuite en  $h$ , si le point  $K$  & le point  $L$  deviennent successivement les termes de la puissance qui étoit d'abord  $AC$ .

Ce que nous venons de supposer, se trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout au-

V.  
LEÇON.

tre corps que l'on fait tourner au bout d'une corde ; car la main passant successivement par les points  $C, H, I, K, L$ , fait passer la corde par les lignes  $Ac, dH, eI$ , &c. & comme on suppose que cette corde est toujours de même longueur, elle représente une puissance qui ne varie que par sa position. Si l'on considère comme infiniment petites les lignes  $Ad, de, ef, fg$ , &c. que le mobile parcourt, leur suite sera une courbe telle qu'on voit décrire à tous les corps qui se trouvent en pareil cas.

Tous les corps qui circulent comme la pierre d'une fronde, font donc un effort continuel pour ne plus circuler ; puisque s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par quelque une des petites lignes droites qu'ils commencent à chaque instant, comme  $dD$ , ou  $eE$ , que l'on nomme *tangentes*. C'est une conséquence de la première loi du mouvement que l'expérience confirme ; car si la corde se casse ou se lâche tout-à-fait, quand la fronde est en  $d$ , la pierre qu'elle porte ne continue pas son mouvement par les points  $e, f, g$ , &c. mais elle suit la  
 ligne

ligne  $dD$ ; & toute l'habileté du frondeur consiste à bien estimer la tangente qui tend au but.

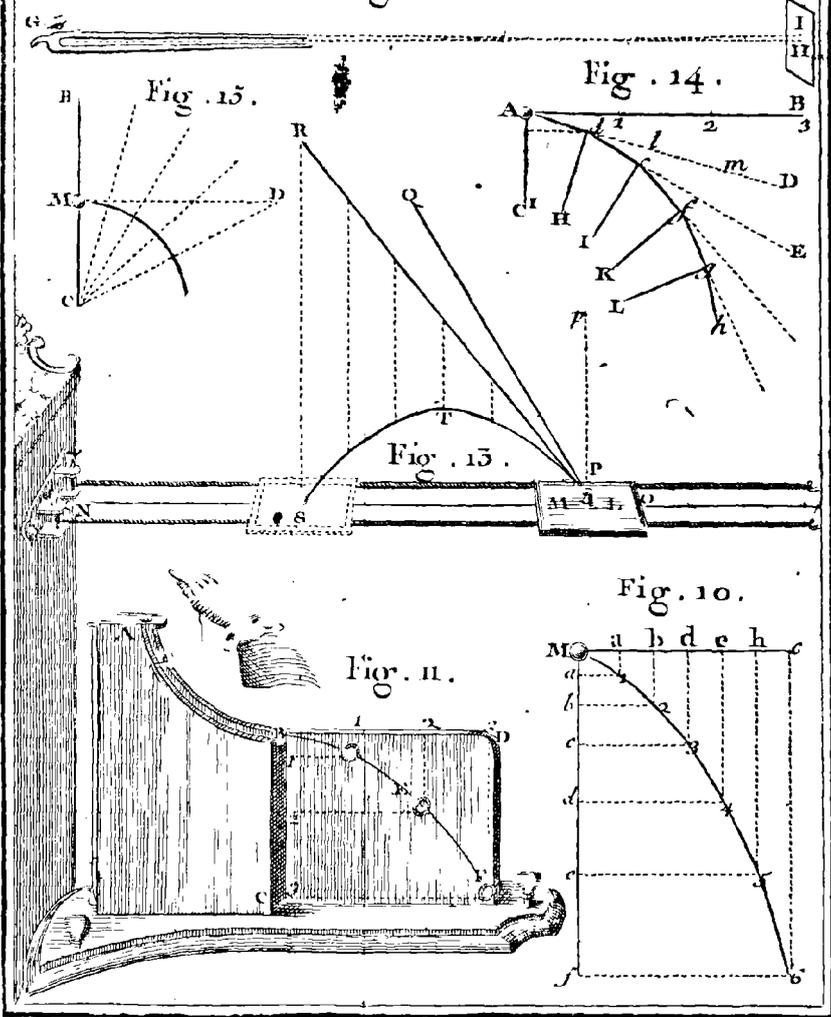
Mais tendre à s'échapper par la tangente, & faire effort pour s'éloigner du centre du mouvement circulaire, ce sont deux expressions qu'on peut regarder comme synonymes; car il est évident que si le mobile  $A$ , au lieu d'aller de  $d$  en  $e$ , & d' $e$  en  $f$ , continuoit de  $d$  en  $l$ , & d' $l$  en  $m$ ; il s'écarteroit de plus en plus des points  $I, K$ : on peut donc dire en général que tous les corps qu'on fait mouvoir en ligne courbe, tendent à s'éloigner du centre de leur mouvement; & que quand cette tendance n'a pas son effet, c'est qu'ils sont retenus ou poussés vers ce centre, par une force contraire.

Ces deux forces qui produisent le mouvement circulaire ou en ligne courbe, & qui sollicitent continuellement le mobile, l'une à s'approcher, l'autre à s'éloigner du centre, se nomment *forces centrales*; & pour les distinguer l'une de l'autre, on appelle la première *force centripete*, & la dernière *force centrifuge*.

Les forces centrales sont directement opposées l'une à l'autre ; car quoique la force centrifuge ait sa direction par la tangente , il faut faire attention que le rayon qui représente la force centripete , s'il étoit prolongé , seroit coupé par cette tangente dans une suite de points qui vont toujours en s'écartant du centre : rendons ceci plus intelligible par une *Figure*.

Supposons , par exemple , que le mobile *M* , *Fig. 15.* soit porté par le rayon *BC* , sur la longueur duquel il puisse glisser ; il est certain que si l'on fait tourner ce rayon autour du centre *C* , tous les points compris entre *M* & *B* , passeront successivement avec le mobile sur tous ceux de la tangente *MD* ; & par conséquent le corps *M* en obéissant à la force centrifuge , glissera directement d'*M* en *B*. C'est par cette raison que la corde d'une fronde demeure tendue , pendant qu'on la fait tourner ; & que quand on fait circuler de même un gobelet plein d'eau , le fluide bien loin de se répandre , fait effort contre le fond du vase. Passons aux expériences

Fig. 12 .



...del. et sculp.



ces, & faisons voir d'abord que les forces centrales ont lieu dans toutes sortes de matieres, fluide ou solide, pourvu que leur mouvement se fasse en ligne courbe.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui est représentée par la Fig. 16. est une table triangulaire établie solidement sur trois pieds que l'on peut caller avec des vis. Vers le sommet du triangle on a élevé perpendiculairement un montant qui porte une roue verticale, que l'on fait tourner avec une manivelle ou autrement : cette roue par le moyen d'une corde & de deux petites poulies de renvoi, mene deux grandes poulies horizontales *AB*, enarbrées de fer, & placées aux deux autres angles de la table : ces poulies ont plusieurs gorges dont les diametres different entr'eux, & c'est sur le plan supérieur de ces poulies qu'on établit les différentes pieces qui servent aux expériences de cette espece.

Pour celle dont il s'agit maintenant,

D ij

## 44 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

on attache sur une des deux poulies *A* ou *B*, un support ou portant *CD*, comme il est représenté : un fil de fer tendu d'un bout à l'autre, enfile deux boules d'ivoire d'égale grosseur qui tiennent l'une à l'autre par une soie de 5 pouces de longueur, & qui peuvent glisser avec une grande facilité sur le fil de métal qui les porte. On place l'une des deux boules au milieu, & l'autre à la distance que la soie peut permettre.

## EFFETS.

1°. Quand on fait tourner la grande roue, & qu'on imprime un mouvement circulaire au portant, la boule *E* décrit un cercle, & entraîne avec elle celle qui est au centre du mouvement.

2°. Si l'on coupe la soie qui lie les deux boules, & qu'on recommence l'expérience, la boule *F* demeure au centre, & l'autre s'échappe seule.

3°. Si dans une troisième épreuve, les boules étant liées comme dans la première, on les place à égale distance du centre de part & d'autre, elles ne partent ni l'une ni l'autre, avec

quelque vitesse qu'on les fasse tourner.

EXPLICATIONS.

---

V.  
LEÇON.

Lorsque le portant tourne horizontalement, le fil de fer qui est tendu d'un bout à l'autre, forme par sa révolution un plan circulaire dont il est le diamètre, & tous les points compris dans sa longueur, depuis le milieu jusqu'aux extrémités *C & D*, décrivent autant de cercles concentriques. La boule *E* par conséquent se trouve dans un de ces cercles qu'elle décrit aussi ; ce mouvement lui donne une tendance à s'éloigner du centre de sa rotation, par la tangente ; & comme elle est portée par un rayon qui se meut lui-même avec elle, elle glisse sur sa longueur, comme nous l'avons expliqué par la *Fig. 15*. Ce qui la fait mouvoir ainsi, est une force réelle, puisqu'elle l'emporte sur la résistance, non-seulement de sa propre masse, qui par son inertie, demeure, autant qu'elle peut, à la distance où on l'a posée, mais encore sur celle d'une autre masse qui ne circule pas, & qu'une pareille tendance ne sollicite point à sortir de sa place,

## 46 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

comme il paroît lorsqu'on coupe la soie; car alors le centre de la boule *F* étant au centre même de la rotation, il ne peut y avoir de force centrifuge que dans ses parties, qui tournent effectivement; mais dans un corps sphérique & homogène, tel que la boule de notre expérience, les parties correspondantes ont des forces centrifuges égales, & directement contraires, en équilibre par conséquent: elles sont les unes aux autres comme les deux boules *E* & *F* liées ensemble par une soie, & posées à égales distances du centre de leur mouvement: mais nous serons plus en état de faire entendre cet équilibre, quand nous aurons fait connoître comment on doit mesurer la force centrifuge.

### II. EXPERIENCE.

#### PREPARATION.

Au lieu du portant & des deux boules d'ivoire dont nous nous sommes servis dans l'expérience précédente, on en place un autre qui porte au milieu de sa longueur un petit

réervoir plein d'eau, auquel commu-  
 niquent deux tuyaux de verre incli-  
 nés *G, H*, & enflés en forme de  
 boule par les deux autres extrémités,  
 comme on le peut voir par la *Fig. 16.*

*E F F E T S.*

En faisant tourner ce portant & ce  
 qu'il contient, l'eau s'éleve du réser-  
 voir par les tuyaux, & remplit les  
 deux boules qui sont à leurs extré-  
 mités.

*E X P L I C A T I O N S.*

Avant qu'on imprime le mouve-  
 ment de rotation, l'eau se tient à ni-  
 veau du réservoir, dans la partie in-  
 férieure des tuyaux ; parce que ces  
 petites colonnes du fluide sont équi-  
 libre par leur poids à celles qui ré-  
 pondent, dans le réservoir, à l'orifice  
 de ces tuyaux. Mais quand ces peti-  
 tes portions d'eau viennent à tour-  
 ner avec une certaine vitesse, la for-  
 ce centrifuge, plus grande que leur  
 pesanteur qui leur tient lieu de force  
 centripete, les porte vers la boule  
 creuse. A mesure qu'une partie monte,  
 une autre lui succede pour faire

## 48 LEÇONS DE PHYSIQUE

---



---

 V.  
 LEÇON.

équilibre à l'eau du réservoir; & successivement il s'en élève une assez grande quantité pour remplir & le tube & la boule.

## APPLICATIONS.

Ces deux premières expériences prouvent bien clairement ce que nous avons avancé d'abord, que tous les corps indistinctement, en quelque état qu'ils puissent être, acquièrent une force centrifuge en tournant; la liaison des parties, ou leur fluidité, ne change rien à cet effet; cette espèce de force est comme la vitesse répartie à toutes les particules de matière qui circulent, ou plutôt elle n'est autre chose que leur vitesse même considérée dans cette circonstance.

Les toupies & les pirouettes dont les enfants s'amuse, peuvent être citées ici comme des objets d'instruction; en effet, ces exemples familiers nous font voir que la force centrifuge se met en équilibre avec elle-même, dans les corps dont l'axe ou le centre de gravité ne circule point; comme nous l'avons enseigné ci-dessus, en mettant la boule d'i-  
 veire

voire au centre de la rotation ; en pareil cas si le mobile n'a que le mouvement circulaire sans aucun balancement, quoiqu'il paroisse très-souvent en repos, on reconnoît aisément que ses parties tendent à s'écarter du centre, & qu'elles ne sont retenues que par leur adhérence naturelle ; car si l'on y fait tomber quelque fluide, bientôt il se dissipe, & abandonne la surface solide avec laquelle il tourne. Les roues des carrosses & des chaises de poste jettent la boue au loin, & la meule du gagne-petit vuideroit l'auge dans laquelle elle plonge en partie, & feroit une asperision continuelle & incommode, si l'on n'avoit soin d'arrêter l'eau qu'elle emporte de trop, par un morceau de cuir ou de chapeau, qu'on fait traîner sur sa surface.

Les soleils qu'on fait paroître dans les feux d'artifice, deviennent plus grands & plus beaux par leur mouvement de rotation : car le salpêtre enflammé se répand par une infinité de tangentes, & forme un plan plus étendu qu'il ne pourroit être s'il brûloit sans tourner.

V.  
LEÇON.

On peut mettre notre seconde expérience à profit, en appliquant à l'élevation des eaux, ou à leur évacuation, le principe dont elle est la preuve; c'est un moyen que l'on a déjà tenté avec succès, & je ne doute pas qu'en bien des occasions on n'en pût tirer de grands avantages. La fameuse pompe de Hesse qui fut annoncée aux Savants sous le nom de *Rotatis Suctor*, \* que Papin devina, & qu'il employa depuis avec divers changements, n'étoit autre chose au fond qu'un tambour ou cylindre creux plongé dans l'eau, & dans lequel on faisoit tourner des volants fixés à un axe; ce mouvement faisant circuler l'eau, lui donnoit une force centrifuge qui la faisoit s'élever par un canal ou tuyau pratiqué à la circonférence du tambour. Plusieurs personnes ont encore construit des pompes, où la force centrifuge est appliquée d'une manière ingénieuse. On en trouve quelques-unes dans Ramelli, & dans le Recueil des machines approuvées par l'Académie des Sciences \*. On a fait aussi sur ce principe des soufflets de forges \*\*, & des especes de cribles, ou vans, pour nettoyer le

\* *Actes de  
Leipzib. Juin.  
1689.*

\* *Tom. 6,  
p. 11. & seq.  
\*\* Ibid. tom.  
3, page 41.*

bled; la partie principale de ces machines est toujours un axe garni de volants qu'on fait tourner dans un tambour; on imagine bien que s'il y a un trou, ou un tuyau ouvert, à la circonférence du tambour, & un autre à l'un des côtés, près du centre du mouvement, il doit se faire un écoulement d'air continu par le premier; car tandis que la force centrifuge cause une évacuation par la circonférence, le poids de l'air auquel rien ne s'oppose plus alors, doit remplir le tambour par le centre.

M. Desaguilliers profitant de ces deux déterminations qu'on peut faire prendre à des fluides par de semblables machines, en a fait construire une \*, avec laquelle il s'est proposé de changer l'air de la chambre d'un malade, de renouveler aussi celui des souterrains, ou des lieux qui deviennent infects par le grand nombre ou par le mauvais état des personnes qui les remplissent: comme les salles de spectacles, les réfectoires de communautés, les infirmeries, &c. Les expériences qui en ont été faites à Londres à la chambre des

---

V.  
LEÇON.

\**Transact.  
Philosophi-  
ques, n. 437.*

Communes, ont fait voir que l'Auteur ne s'étoit point trompé dans ses vûes , & que cette invention offre des avantages réels

Si l'on vouloit se servir des tuyaux inclinés, comme dans notre expérience, il est vrai qu'on y trouveroit le même inconvénient que dans la vis d'Archimede. On ne pourroit guere les appliquer qu'à des élévations d'eau médiocres, parce qu'ils exigeroient une trop grande longueur; mais il y aura bien des cas où cet inconvénient n'en fera point un. On fait que le succès des machines est redevable aux circonstances, & que celle qui n'est pas la meilleure à certains égards, doit être souvent préférée pour d'autres raisons qui l'emportent.

La force centrifuge est un moyen dont je me sers souvent pour rassembler la liqueur dans mes thermomètres, quand des secouffes ou quelque autre cause l'a séparée en plusieurs parties. Comme ce petit accident interrompt l'usage de l'instrument, & qu'il peut arriver à tous ceux qui en ont, je crois devoir dire ici le reme-

de que j'y apporte. Il est facile & fort simple. Il faut tenir le thermomètre par le haut de sa planche, & le tourner un peu vite cinq ou six fois, de manière que la boule se trouve dans la circonférence du cercle qu'on lui fait décrire, & son tube dans le rayon. La liqueur séparée acquiert une force centrifuge qui la réunit bien-tôt au reste.

On fait une partie des effets que produit un pareil mouvement sur les animaux. Les jeunes gens se divertissent quelquefois à faire tourner des poules après leur avoir mis la tête sous l'aîle, pour les endormir, disent-ils; & en effet on voit souvent ces animaux rester immobiles à l'endroit où on les pose après cet exercice; mais il y a toute apparence que c'est moins l'effet d'un sommeil, que celui d'un étourdissement causé par le trouble qui s'est mis dans leurs sens, & qui les empêche, tant qu'il dure, de recevoir les impressions qui les déterminent dans leurs mouvements ordinaires.

Je fais, à n'en point douter, qu'un animal peut mourir quand on l'ap-

plique à cette épreuve. J'ai attaché par les pattes de derrière un fort lapereau , à une corde que j'ai fait tourner rapidement par deux hommes , environ 100 tours de suite , & lorsque l'on cessa , il n'étoit pas mort , mais il ne put se soutenir sur ses pattes , & il expira quelque temps après. Un chat que l'on fit tourner de même , ne mourut point , mais il vomit beaucoup ; & quoiqu'il n'eût reçu aucun coup , on apperçut à sa gueule quelques gouttes de sang. L'économie animale se déränge sans doute en pareil cas , parce que la force centrifuge détermine les fluides à se porter vers la tête , leur cours naturel est interrompu par ce mouvement étranger , & leurs fonctions cessent.

Le jeu de bague , celui de l'escarpolette seroient dangereux par la même raison , si la position du corps ne prévenoit les accidents : si au lieu d'y être assis , ou dans une situation qui met les vaisseaux à peu-près parallèles à l'axe de la rotation , l'on y étoit couché de manière que la longueur du corps fût perpendiculaire à ce même axe , je ne doute nulle-

ment qu'on n'en fût bien-tôt incommodé : peut-être aussi pourroit-on tenter ce moyen , pour rétablir le cours des humeurs dans des membres qui sont attaqués de paralysie. Un Savant m'a prévenu sur cette pensée; mais comme il ne fait pas son étude ordinaire d'anatomie , ni de médecine, non plus que moi, je crois que c'est aux gens de l'art à juger de ce qu'elle vaut, & de l'usage qu'on en peut faire.

LA force centrifuge n'étant autre chose que l'effort d'un corps qui tâche de continuer son mouvement, par la tangente de la courbe qu'on lui fait décrire; elle doit se mesurer comme le mouvement même, par la masse & par la vitesse : ainsi de deux mobiles qui circulent avec des vitesses égales, celui-là a plus de force centrifuge qui a le plus de matière; de même aussi, quand les masses sont égales, cette même force ne peut différer que par le degré de vitesse.

Pour connoître le degré de vitesse d'un corps qui circule, il faut avoir égard à deux choses; 1<sup>o</sup>. à la gran-

deur de sa révolution ; 2°. au temps qu'il emploie pour la faire.

V.  
LEÇON.

On appelle *révolution*, la courbe que décrit le mobile, à compter du point d'où il part, jusqu'à ce qu'il se rencontre sur ce même point, ou vis-à-vis, sur une ligne qui passe au centre. Tel est le cercle qui commence en *A*, *Fig. 17.* & qui finit au même point, ou la spirale *AED*, qui commence & finit sur la même ligne *DC*, *Fig. 18.*

Le temps qui s'écoule pendant que le mobile fait une révolution entière, s'appelle *temps périodique*. La vitesse est d'autant plus grande, que le temps périodique est plus court, & la révolution plus ample : ainsi le mobile *A* iroit avec plus de vitesse que le mobile *D*, si chacun d'eux parcourroit en même temps le cercle dans la circonférence duquel il est ; ou bien, si tous deux ayant la même révolution à faire, comme *A*, *F*, le dernier faisoit son tour plutôt que l'autre. De même, que l'on mesure un cercle par son rayon, la révolution circulaire s'estime par la distance du mobile au centre ; par conséquent si la distance de *C* en *D* est une fois plus

petite, que de *C* en *A*, on doit conclure que la révolution du mobile *A* est une fois plus grande que celle de *D*.

En comparant les forces centrifuges de deux corps, nous avons donc trois choses à considérer, la masse, la distance au centre, & le temps périodique.

### III. EXPERIENCE.

#### PREPARATION.

Sur l'une des deux poulies horizontales *A* ou *B*, de la machine qui est représentée par la *Fig. 16*. on établit un support, *Fig. 19*. sur lequel sont arrêtés quatre tubes de verre inclinés au plan, & qui se joignent au milieu. Dans chaque tuyau de la première paire, sont renfermées deux liqueurs dont les pesanteurs spécifiques sont différentes; savoir dans le premier, de l'eau commune & de l'huile de térébenthine colorée; & dans le second, de l'huile de tartre avec de l'esprit-de-vin. Ceux de la seconde paire sont pleins d'eau avec une petite boule de cuivre dans l'une, & une de liege dans

l'autre. Quand tout est en repos, les deux liqueurs les plus légères se tiennent dans la partie la plus élevée des tubes qui les renferment, & chacune des petites boules occupe aussi la place qui convient à son poids : celle de métal demeure en bas, & celle de liege en haut dans son tube. Mais lorsque l'on met la machine en mouvement :

#### E F F E T S.

L'esprit-de-vin & l'huile de térébenthine cèdent leurs places à l'eau, & descendent dans la partie inférieure de leurs tubes ; la boule de cuivre gagne le haut du sien, & celle de liege, tout au contraire, se porte de haut-en-bas.

#### E X P L I C A T I O N S.

Par le mouvement de rotation imprimé au support, chaque portion des tubes, & ce qu'elle contient, décrit un cercle, & acquiert une force centrifuge ; la première couche d'eau qui touche l'huile de térébenthine exerce donc contre cette liqueur, toute la tendance qu'elle a

pour s'éloigner du centre de son mouvement : cet effort seroit impuissant , si la force centrifuge de l'huile étoit égale à celle de l'eau ; parce qu'étant soutenue par une colonne de même liqueur appuyée contre l'extrémité du tube , rien ne l'obligeroit à céder sa place : mais elle est moins pesante ; & l'eau , en conséquence de son excès de masse , prévaut contre l'huile , & la précipite peu-à-peu ; car ce qui se passe entre les deux premières couches, arrive de même pour toutes les autres : ainsi l'huile & l'esprit-de-vin se déplacent, non par un effort positif de leur part , ( car le mouvement circulaire donne aussi de la force centrifuge à ces deux liquides ; ) mais parce que cette force en eux n'égale point celle de l'eau ; & comme la matiere est impénétrable , & que la place nécessaire pour contenir la colonne d'eau ne suffit pas pour comprendre avec elle celle de l'huile , le lieu le plus éloigné du centre est occupé par celle des deux liqueurs qui a le plus de force pour s'en emparer.

On doit expliquer de même le dé-

## 60 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

placement des deux boules ; par-tout où elles se trouvent dans leurs tubes, chacune répond à un volume d'eau dont la masse est différente de la sienne, en plus ou en moins. Cette inégalité fait naître un excès de force centrifuge dans l'un des deux volumes qui se touchent ; & de cette manière la boule de liege plus foible que l'eau, est obligée de descendre ; le cuivre au contraire prévaut, & s'élève au-dessus de tous les petits volumes d'eau corespondants.

### *A P P L I C A T I O N S .*

On voit donc par ces effets, que la force centrifuge augmente comme la masse des corps, quand les vitesses sont égales, & que la force centripete d'une matiere, peut être l'effet de la force centrifuge d'une autre, qui circule avec elle ou autour d'elle. Le Payfan qui vanne son bled, nous en offre un exemple qui a mérité l'attention des Philosophes : lorsqu'il veut rassembler la paille qui est mêlée avec le grain pour l'en purger, il imprime à toute la masse un mouvement circulaire, & aussi-tôt

## EXPÉRIMENTALE. 61

on voit les parties les plus légères se porter au centre du mouvement, parce que les plus pesantes ont plus de force qu'elles pour aller à la circonférence.

---

V.  
LEÇON.

On remarque aussi que tous les corps qui flottent sur une eau qui tourne, se rassemblent vers le centre de son mouvement; c'est pourquoi l'on évite avec tant de soin tous les endroits de la mer & des grandes rivières, où l'eau laisse appercevoir un semblable mouvement; car une triste expérience a fait connoître qu'on y périt le plus souvent.

Mais ce qui arrive par un excès de masse, se feroit de même par une plus grande vitesse: un corps environné d'une matiere en circulation, quoiqu'il fût plus pesant que cette matiere, céderoit pourtant à sa force centrifuge, si elle tournoit beaucoup plus vite que lui; de maniere, par exemple, que le degré de vitesse dans l'une, l'emportât sur le plus de masse dans l'autre. Les tourbillons de vent qui enlèvent la poussiere & le sable, nous en fournissent un exemple & une preuve; car on peut ob-

---



---

 V.  
 LEÇON.

server que ces corps beaucoup plus pesants que l'air dans lequel ils tournent, sont en plus grande quantité au centre du tourbillon, quand il commence, & qu'ils n'ont point encore acquis toute la vitesse du fluide.

Descartes, en parlant de ce principe, avoit ingénieusement imaginé qu'on pourroit expliquer mécaniquement cette force centripete des corps, qu'on nomme *pesanteur*, en supposant autour de notre globe un tourbillon de matière très-subtile, dont la vitesse seroit grande : car (disoit-il) cette matière, à cause de la rapidité de son mouvement, auroit beaucoup de force centrifuge ; & tous les autres corps qu'elle rencontreroit comme flottants en ayant beaucoup moins qu'elle, seroient obligés de lui céder dans tous les instants, jusqu'à ce qu'ils fussent arrivés à l'endroit le plus bas, c'est-à-dire, au centre du mouvement, ou qu'ils eussent rencontré quelque obstacle invincible qui les empêchât d'y aller.

Ce Philosophe cherchant à appuyer son raisonnement sur quelques faits, - pour donner plus de vraisem-

blance à son hypothèse, indiqua une expérience fort curieuse, qu'on n'a pas lieu de croire qu'il ait jamais exécutée, mais qui l'a été depuis, & que nous allons rapporter.

#### IV. EXPERIENCE.

##### P R E P A R A T I O N .

*A*, Fig. 22. est un globe de crystal plein d'eau, avec laquelle on a fait entrer un peu d'esprit de térébenthine coloré. Cette boule est soutenue aux poles par deux piliers ou poutres à pointés, entre lesquels elle peut tourner très-librement, lorsqu'on met en mouvement la grande roue verticale *B*, qui communique par une corde croisée avec la poulie *C*, fixée à l'un des poles; le plan qui porte les deux pilliers ou supports du globe, peut s'élever & s'incliner plus ou moins par le moyen de deux charnières *D*, *D*, & d'une vis *F*, qui sert à le fixer à la hauteur que l'on veut; le tout est porté sur une table à trois pieds, que l'on met de niveau par des vis.

1°. Quand on fait tourner le globe sur son axe placé horizontalement, l'esprit ou l'huile de térébenthine qui n'occuperoit qu'un petit segment du globe en sa partie supérieure, se divise en un grand nombre de petits globules qui flottent dans la masse d'eau renfermée avec eux, & qui peu à peu reçoivent comme elle un mouvement de rotation : on les voit ensuite se resserrer de plus en plus, & former autour de l'axe de la rotation commune une enveloppe, ou plutôt un solide, dont la figure est ordinairement cylindrique :

2°. Dès que l'on cesse de faire tourner le globe de verre, le cylindre formé par les parties d'huile colorée, se dilate d'abord par les extrémités, & ensuite dans le reste de sa longueur, jusqu'à ce que le mouvement venant à cesser dans l'eau, toute l'huile se rassemble par sa légèreté, à la partie supérieure du globe où elle étoit avant l'expérience.

3°. Si l'on recommence le mouvement de rotation, & qu'on incline l'axe

l'axe du globe lorsque les particulés d'huile y sont rassemblées; elles se portent peu à peu au pole le plus élevé, & s'y tiennent tant que dure cette inclinaison.

4°. Quand, au lieu d'huile colorée, on met dans l'eau une petite boule de cire; elle est portée dans l'axe par le mouvement de rotation, & s'y comporte comme chacun des globules d'huile; c'est-à-dire, que si cet axe est bien horizontal, elle se tient par-tout où elle se trouve dans sa longueur, & que s'il est incliné, elle gagne le pole le plus élevé.

5°. Un globule d'air que l'on substitue à la boule de cire, fait voir la même chose; mais si lorsqu'il est à l'un des poles on arrête, ou qu'on ralentisse le mouvement du globe de verre, il arrive quelquefois que cette particule d'air se porte vers le centre de la sphere.

6°. Si l'on met dans le globe une petite boule de cire, que l'on aura rendue un peu plus pesante que l'eau, en introduisant au centre un petit grain de plomb, & qu'on la fasse circuler lentement à quelques pouces de

V.  
LEÇON.

distance de l'axe; en redoublant alors de vitesse, on voit cette petite masse, quoique plus pesante qu'un pareil volume d'eau, descendre dans l'axe, & y demeurer constamment, en tournant sur elle-même; & lorsqu'on incline l'axe de la rotation, au lieu de se porter au pôle, le plus élevé, comme la précédente, elle prend une route toute contraire. Cette expérience est délicate, elle demande un peu d'habitude dans celui qui la traite; mais quand de dix fois qu'on la tente, elle ne réussiroit qu'une, c'en est assez pour prouver le principe sur lequel ce fait est fondé. •

#### EXPLICATIONS.

Pour bien entendre tous ces faits, il faut concevoir d'abord la masse d'eau renfermée dans le globe de verre, comme composée d'une infinité de couches fluides fort minces, les unes sur les autres, & qui vont toujours en décroissant de diamètre jusqu'au centre.

Quand on met le globe de verre en mouvement, la surface solide entraîne par son frottement celle du

fluide qui la touche immédiatement ; & comme l'huile colorée en fait partie, elle est déplacée au premier tour. Son déplacement occasionne sa division ; car étant portée plus bas qu'elle n'étoit, sa légèreté exige qu'elle remonte ; elle rencontre l'eau en mouvement qui la sépare , & chacune de ses parties pressée également de toutes parts par le fluide qui l'environne , prend une figure globuleuse. Le globe continuant de tourner , le mouvement se communique de couche en couche à toute la masse de l'eau , de manière qu'elle se meut ensuite comme un solide ; je veux dire , que toutes les parties en tournant gardent entr'elles des situations constantes. Ainsi comme tous les points de la surface du verre *C, D, E, F, G, Fig. 23.* à compter d'un pôle à l'autre, désignent des circonférences de cercles parallèles, de même on peut se représenter toutes les tranches d'eau qui leur répondent, comme autant de plans circulaires qui tournent parallèlement sur le même axe *AB.*

Maintenant si nous considérons

F ij

---

V.  
LEÇON.

nos petits globules d'huile dispersés dans l'eau, nous verrons que chacun d'eux est sollicité à s'approcher du centre, non de la sphère commune, mais du cercle particulier dans lequel il se trouve. Celui qui est en *a*, par exemple, & qui tourne dans ce parallèle, a bien, en conséquence de son mouvement circulaire, une force centrifuge, par laquelle il tend vers *F*, & avec laquelle il s'échapperait certainement avec l'eau, si le globe étoit ouvert en cet endroit; mais il est renfermé, & il répond continuellement à un volume d'eau qui a plus de masse que lui, & qui tournant avec une vitesse presque égale à la sienne, lui dispute la place la plus élevée, avec une force centrifuge prévalente; ce qui l'oblige de céder jusqu'au centre du mouvement où cette force est nulle. Chaque particule d'huile éprouve le même sort dans la tranche d'eau où elle se rencontre; ainsi elles viennent toutes se ranger au centre de leurs révolutions particulières, comme les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6, &c. & cet effet cesse dès que la cause ne subsiste plus;

c'est-à-dire, que l'huile remonte par sa légèreté respective, quand l'eau perd sa force centrifuge en cessant de tourner.

Tant que l'axe de la rotation est horizontal, & que le mouvement est uniforme dans toute la masse du fluide, les particules d'huile rangées dans l'axe conservent constamment la forme d'un cylindre; & par quelle raison en affecteroient-elles une autre? La figure du verre l'exige-t-elle, comme l'a pensé un Physicien de ces derniers temps? c'est un sentiment qui est insoutenable, non-seulement parce qu'il est pleinement démenti par l'expérience; mais encore parce qu'on ne trouve rien dans la théorie des forces centrales, ni dans les autres loix du mouvement, qui le favorise.

En effet, quand un corps plus léger que l'eau est poussé vers l'axe de la rotation commune à toute la masse; est-ce la partie du fluide qui est au-dessus de lui qui le sollicite à tomber? n'est-ce pas plutôt celle qui est au-dessous, qui tend à le déplacer? quelle part ont donc à cet effet

V.  
LEÇON.

la surface du vaisseau & sa figure? quelle qu'elle puisse être, quand le vaisseau est plein, je n'y vois qu'un point d'appui qui retient le fluide, mais qui ne change rien à la direction des parties inférieures.

Mais si le raisonnement laissoit quelque apparence de doute sur cette question, n'est-elle pas clairement décidée par l'expérience? Si la concavité sphérique du verre étoit capable de convertir par sa réaction les forces centrifuges particulières de chaque cercle, en une force centripète commune, comme on l'a prétendu; je demande pourquoi l'on ne voit aucun signe de cette conversion, lorsqu'on fait tourner avec l'eau des parcelles d'huile, ou toute autre matière légère: pourquoi ces corps en venant à l'axe n'affectent-ils jamais de former ensemble une figure qui puisse faire croire qu'ils tendent à un même centre? par quelle raison une boule de cire, une bulle d'air, &c. demeurent-elles indifféremment dans tous les points de l'axe où elles se rencontrent?

Enfin pour achever de convaincre ceux qui auroient encore quelque

doute , changeons de vaisseaux , mettons notre fluide dans un hémisphère, dans un cône, dans un cylindre creux : si l'inclinaison des parois entre pour quelque chose dans les effets , nous verrons sans doute les corps légers se porter vers la base des deux premiers, & demeurer dans l'autre indifféremment où ils se trouveront : cette différence donneroit à la vérité quelque crédit à l'opinion que nous combattons , mais elle ne s'apperçoit nullement , & les personnes mêmes les plus intéressées à l'y trouver, sont convenues qu'on ne la voyoit pas, quand je leur ai répété ces expériences, avec tout le soin & toute l'attention possible.

Après un tel aveu, n'avois-je pas lieu de croire que mes preuves étoient victorieuses ? non , voici encore une objection à laquelle il faut répondre. On oppose expérience à expérience : une bulle d'air, dit-on, revient du pôle vers le centre de la sphère ; elle y est donc poussée par une force qui ne peut être que la force axifuge, convertie en centripète par réaction.

Quand le mouvement est unifor-

me dans le fluide, une boule de cire, une parcelle d'huile, &c. demeure dans tous les points de l'axe indifféremment, & aussi long-temps que dure l'uniformité du mouvement; si la bulle d'air quitte le pôle pour aller vers le centre de la sphere, c'est un tour de main qui n'en peut imposer qu'à ceux qui ne l'apperçoivent pas, ou qui sont trop prévenus pour leur opinion : en effet, cela n'arrive que quand on ralentit le mouvement du globe de verre, & en voici la raison.

Comme le mouvement se communique de la surface du verre à la masse de l'eau par le frottement, il se ralentit de même; mais ces frottements ont d'autant plus d'effet, que les surfaces répondent à un plus petit volume d'eau : ainsi la partie du liquide qui est contenue sous la surface solide *CH*, perd son mouvement bien plutôt que celle qui est sous *G* ou sous *F*; la vitesse commence donc à diminuer par les pôles; & les paralleles qui approchent le plus de l'équateur, conservent la leur plus long-temps que les autres.

Quand la bulle d'air est dans l'axe,  
en

en quelque endroit que ce soit, elle y est retenue par la force centrifuge de l'eau; mais cette force diminue comme le mouvement circulaire, plutôt au pôle qu'ailleurs; la bulle d'air qui s'y trouve, sort bien-tôt du lieu qu'elle occupe à cause de sa grande légèreté; l'inclinaison des parois du verre la conduit obliquement; mais comme en s'avancant ainsi, elle se rencontre dans des parallèles plus voisins de l'équateur, & dans lesquels le mouvement, & par conséquent la force centrifuge s'est conservée, elle est aussi-tôt repoussée vers l'axe, & plus près du centre qu'elle n'étoit avant son déplacement.

Sur quels fondemens pourroit-on penser que cette bulle d'air en pareil cas, ait une détermination fixée précisément au centre? Il arrive à la vérité qu'elle y va quelquefois; mais c'est l'effet de quelque accident, balancement ou secousses dans le fluide, défaut de position dans l'axe, &c. car le plus souvent elle ne va pas jusqu'à ce terme, ou bien elle passe outre.

Le mouvement du fluide plutôt  
Tome II. G

rallenti aux pôles qu'ailleurs, est aussi la véritable cause par laquelle l'huile rangée en cylindre autour de l'axe, se dilate par les extrémités, dès qu'on arrête le mouvement du verre.

Enfin, quand on incline l'axe de la rotation, les corps qui s'y trouvent se portent au pôle le plus élevé, ou à celui qui l'est le moins, selon qu'ils sont plus légers ou plus pesants que le fluide. Ce qui prouve bien encore qu'ils n'éprouvent du centre aux pôles aucune force qui les sollicite à rester au centre, & qu'ils sont retenus dans l'axe par la force centrifuge, à-peu-près comme ils seroient dans un tuyau, selon la longueur duquel il leur seroit libre de se mouvoir.

Il reste à dire comment une boule de cire que l'on a rendue plus pesante que l'eau, peut être chassée au centre, & y être retenue par la même action qui y conduit un autre corps plus léger que le même fluide : la même chose produit-elle deux effets contraires ?

Si l'on voit aller au centre du mouvement commun un corps qui circule avec un fluide, c'est infailli-

blement qu'il a moins de force centrifuge que ce fluide; mais cet excès de force dans celui-ci, peut venir ou de sa masse, ou de sa vitesse. Dans le cas présent, c'est par la vitesse que l'eau a cet avantage sur la boule de cire: lorsqu'on la tient à quelques pouces de distance de l'axe, on augmente tout-à-coup le mouvement de l'eau qui ne communique pas d'abord toute cette augmentation de vitesse au petit corps solide; l'excès de vitesse qu'elle a sur lui pendant quelques instants, surpasse son excès de masse qui est très-peu considérable; ainsi la force centrifuge du fluide, devenue plus grande que celle de la petite boule flottante, par cet accroissement de vitesse, chasse cette dernière jusques dans l'axe. Dès qu'elle y est, elle tourne sur elle-même, & ses parties prenant des forces centrifuges directement opposées entr'elles, sa pesanteur ne peut agir que selon la direction d'un pôle à l'autre.

V.  
LEÇON.

*APPLICATIONS.*

On voit par ces résultats que la pensée de Descartes sur la cause phy-  
G ij

---

V.  
LEÇON.

sique de la pesanteur, est moins juste qu'ingénieuse; car s'il étoit vrai que les corps tombassent vers la terre, par la force centrifuge d'un tourbillon fluide, comme l'huile ou la boule de cire de notre expérience; leur tendance ne seroit pas toujours dirigée au centre du globe, comme les phénomènes les plus connus de la pesanteur nous l'apprennent; mais à différents points de l'axe, ce qui est évident par les expériences précédentes.

M. Hughens éclairé par la seule théorie, avoit aperçu cette difficulté bien avant que l'expérience l'eût rendue sensible. En trouvant l'hypothèse d'un seul tourbillon insoutenable, il imagina que le fluide, à la force centrifuge duquel on devoit attribuer la descente des corps graves, formoit un grand nombre de tourbillons, dont les révolutions se faisoient en toutes sortes de sens. Ce nouveau système n'a pas été beaucoup plus heureux que le premier: l'un est simple; mais son insuffisance est prouvée: l'autre pourroit peut-être satisfaire à l'explication des phénomènes; mais quel moyen d'admettre une matière dont

le mouvement se fait dans toutes sortes de directions, sans se détruire ? aura-t-elle prise sur les autres corps, sans l'avoir sur elle-même ? & si elle se heurte en sens contraire, comment son mouvement subsistera-t-il ?

Cette dernière opinion sur la cause de la pesanteur essuya beaucoup de contradictions, & donna lieu à des discussions fort curieuses ; mais quelque ingénieuses qu'aient été les raisons qu'on a rapportées en sa faveur, il faut convenir, qu'elles n'ont point été assez fortes, pour faire regarder cette question comme décidée, puisque l'Académie des Sciences la proposa pour sujet du prix de l'année 1728.

Celui des Mémoires envoyés qui fut couronné, ne suppose dans le tourbillon que deux mouvements dont les directions se croisent à angles droits, c'est-à-dire, que l'un a pour axe un des diamètres de l'équateur, & que l'autre se fait sur les pôles de ce même cercle, comme l'eau de notre globe de verre.

M. Bulfinger, qui est l'Auteur de cette nouvelle hypothèse, voulant,

## 78 LEÇONS DE PHYSIQUE

V. LEÇON. comme Descartes, rendre son idée sensible par quelque fait, a eu à-peu-près le même sort; il a imaginé & indiqué un moyen, *Fig. 24.* pour faire tourner en même temps le globe de verre sur deux axes qui se coupent à angles droits. Ce n'étoit point là l'essentiel: il falloit que la masse d'eau contenue dans ce globe, prit les deux mouvements qu'on suppose dans le tourbillon; mais c'est ce qui n'arrive pas, & ce qui ne peut arriver; je suis sûr du fait, pour avoir fait l'expérience avec soin, & pour l'avoir répétée plusieurs fois devant des témoins bien clairvoyants. En appliquant une marque à la surface extérieure du globe de verre, on voit que ces deux rotations n'ont lieu que par rapport au globe seulement; mais que relativement à quelque point fixe pris au-dehors ou au-dedans de la sphere, l'une des deux se réduit à une espece de mouvement qui décrit un 8 de chiffre, & dont la révolution entiere par conséquent se fait en deux sens contraires, par rapport aux objets qui sont dehors ou dedans le globe de verre:

d'où l'on voit que l'eau contenue dans ce vaisseau ne reçoit pas en même temps deux mouvements de rotation, comme on le pourroit croire, & comme on l'a prétendu; car le mouvement se communique du globe au fluide qu'il renferme, par le frottement de sa surface intérieure; mais quoique ce globe tourne sur deux sens, les différents points de sa surface ne décrivent point de cercles qui se coupent à angles droits. On ne doit donc pas être surpris de ce que, lorsqu'on en vient au fait, les corps légers ne font voir qu'une tendance à l'axe, comme dans les expériences d'une seule rotation, & non pas une direction au centre de la sphere, comme on l'avoit imaginé. Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'an 1741, page 184.

Quoique les hypothèses & les expériences que nous venons de rapporter, n'ayent point l'avantage d'expliquer d'une manière bien satisfaisante, pourquoi les corps sublunaires tendent à se porter vers le centre de la terre; nous savons pourtant, à n'en pas douter, qu'une matière fluide

G iv

---

V.  
LEÇON.

V.  
LEÇON.

qui circule, peut précipiter, non-seulement des corps plus légers qu'elle, mais même ceux qui ont plus de masse. Si ce principe, qui est incontestable, n'a pas été jusqu'ici appliqué assez heureusement, pour résoudre pleinement la question, nous ne devons pas désespérer qu'il ne le puisse être un jour. Il me paroît plus raisonnable de croire que d'autres pourront faire ce que nous n'avons pas fait, que de regarder comme absolument impossible ce que nous avons tenté inutilement.

## V. EXPÉRIENCE.

### PREPARATION.

Sur les deux poulies horizontales de la machine représentée par la *Fig. 16.* il faut fixer les deux supports *A, B,* *Fig. 20 & 21.* les deux lettres précédentes désignent deux boîtes qui glissent fort librement sur deux fils de métal tendus parallèlement d'un bout à l'autre du support, & dont on peut varier les poids, en mettant dedans des rondelles de plomb. *C, D,* sont encore des boîtes qui glissent

verticalement entre deux fils parallèles de métal soutenus & tendus par deux potences d'acier : l'on peut aussi varier leurs poids. Ces boîtes sont jointes entr'elles par des cordons & par des poulies de renvoi ; de manière que *B* ne peut s'avancer vers le bout du support, sans enlever d'autant la boîte *D*. Sous chacune des deux premières boîtes il y a un petit ressort très-foible, qui traîne sur une crémaillere dont les dents sont presque à fleur du plan, & qui empêche la boîte de revenir en arriere, quand elle s'est avancée. Le support depuis le milieu de sa longueur jusqu'à son extrémité, de part & d'autre, est divisé en pouces & en lignes, pour régler la grandeur de la révolution de chaque boîte *A*, ou *B*, par la longueur du rayon au bout duquel on l'a posée.

E F F E T S.

1°. Les deux boîtes *A*, *B*, étant également pesantes, comme aussi les deux autres *C*, *D* : si l'on place les deux premières à 4 pouces de distance du milieu de leurs supports,

## 82 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON. & qu'on fasse tourner l'une & l'autre avec des vitesses égales, en mettant la corde dans les gorges des deux poulies horizontales, qui sont égales entr'elles; chacune des deux boîtes *A* & *B*, s'échappe en même temps vers l'extrémité de son support, & enleve la boîte *C*, ou *D*, qui lui fait résistance.

2°. Le même effet arrive, quand la boîte *A* pese deux fois autant que l'autre, & que celle-ci est au bout d'un rayon une fois plus long. Si, par exemple, *A* pesant 4 onces est au chiffre 4, il faut placer *B* pesant 2 onces au chiffre 8.

3°. Mais si les poids restant égaux, l'on met l'une des deux boîtes à 4, & l'autre à 8 de distance, celle-ci part, & la première reste en place, à moins qu'on n'augmente le mouvement.

4°. Enfin, tout étant disposé comme dans le cas précédent, si l'on veut que les deux boîtes, *A* & *B*, s'échappent en même temps, il faut doubler le contrepoids de celle qui est à une distance double du centre, & cela réussit.

## EXPLICATIONS.

V.  
LEÇON.

Nous avons dit ci-dessus que l'estimation des forces centrifuges dépendoit de trois choses ; de la masse du corps qui circule , de sa distance au centre du mouvement , & du temps périodique de sa révolution. Dans les expériences que nous venons de citer , les temps périodiques sont égaux , parce que les deux poulies horizontales sur lesquelles sont établis les deux supports , & qui leur distribuent l'action du moteur commun , sont toutes deux de même grandeur : le milieu de chaque support est toujours le centre de la révolution , & par conséquent on en règle la grandeur par la distance que l'on met entre le centre & la position de la boîte : la masse du mobile est connue par le plomb dont on le charge ; & l'on peut connoître la quantité de la force centrifuge , par la valeur du poids *C* , ou *D* , qu'elle enleve , & qui doit être considéré comme une force centripète.

Dans le premier cas , & dans le second , les forces centrifuges paroîs-

## 84 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

sent égales dans les deux mobiles ; puisqu'ils enlèvent dans le même instant des résistances égales. Et elles le sont en effet : car d'abord la masse, la distance au centre, le temps périodique, tout est égal de part & d'autre : ensuite les masses, à la vérité, & les distances au centre sont différentes ; mais comme elles sont en raison réciproque, l'une compense l'autre. Car nous avons dit & prouvé que la force centrifuge augmente autant par la vitesse que par la masse : or ici la vitesse dépend de la distance au centre, puisque les temps périodiques sont égaux ; ce sont deux mobiles, dont l'un décrit un cercle une fois plus grand que l'autre dans le même temps, n'est-ce point aller avec une vitesse double ? Ainsi comme 2 de vitesse & 1 de masse équivalent à 2 de masse & 1 de vitesse, les forces centrifuges de nos deux mobiles sont égales, quand leurs distances au centre sont en raison réciproque de leur poids.

Dans le troisième cas, la vitesse est plus grande dans l'un des deux ; il décrit un plus grand cercle, dans le

temps que l'autre en parcourt un plus petit ; la force centrifuge doit donc être aussi plus grande : & le quatrième cas nous apprend que cet excès suit celui de la vitesse , puisque la force qui en résulte , enlève une résistance double.

---

V.  
LEÇON.

APPLICATIONS.

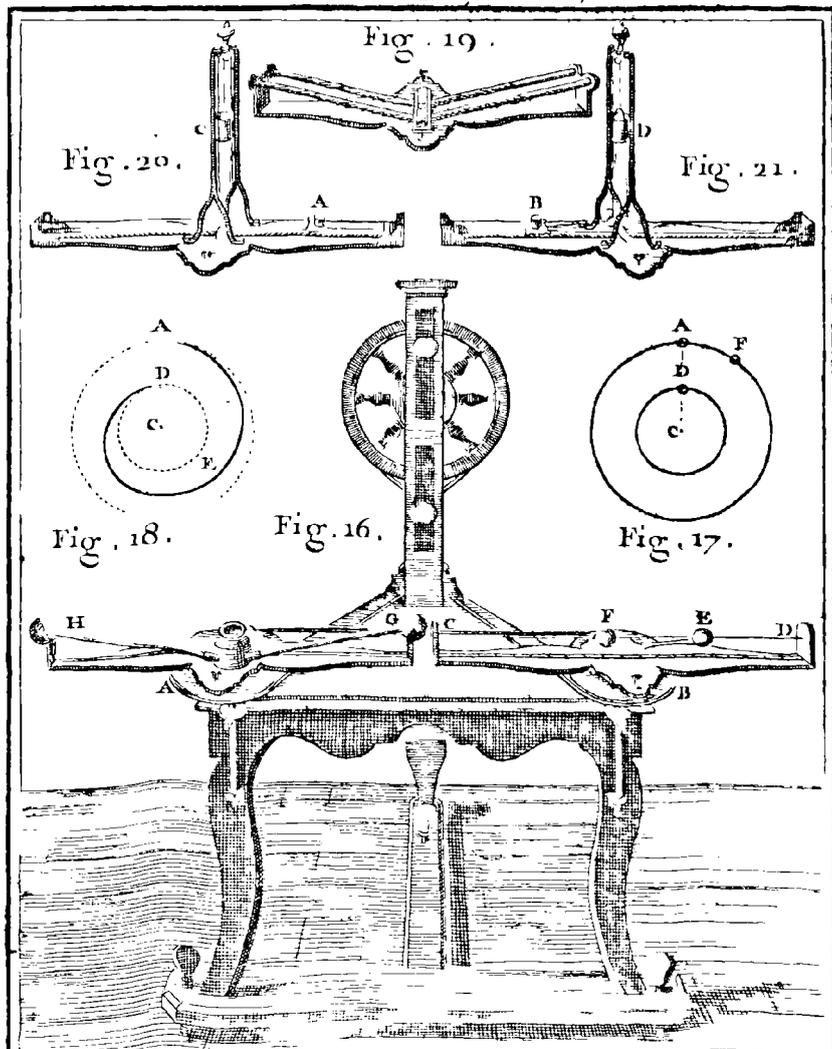
Lorsque l'on a posé l'une des deux boîtes *A* , ou *B* , de l'expérience précédente , à une certaine distance du centre ; si la dent de la crémaillère ne la retenoit en place , on conçoit aisément que le poids *C* , ou *D* , l'entraîneroit par un rayon à l'extrémité duquel elle est. On voit aussi que quand on la fait tourner avec assez de rapidité , sa force centrifuge la fait aller dans un sens contraire , & que les dents de la crémaillère n'ont rien à faire. Mais entre ces deux excès , il est un certain degré de force centrifuge , qui feroit un juste équilibre avec le poids *D* ; & s'il pouvoit subsister , il est hors de doute que le mobile continueroit ses révolutions , sans s'approcher ni s'éloigner du centre.

C'est une chose qui devient évi-

V.  
LEÇON.

dente, si l'on se rappelle le troisieme cas de la premiere expérience. Deux boules d'ivoire, de poids égaux, liées par un fil, & placées à distances égales du centre de leur mouvement, se font réciproquement équilibre, & ne se déplacent point, avec quelque vitesse qu'on les fasse tourner. Les masses étant égales, leurs forces centrifuges ne peuvent augmenter que par la vitesse; mais tant qu'elles sont dans le même cercle, on ne peut augmenter celle de l'une, qu'on n'augmente en même temps & également celle de l'autre; ainsi leurs forces sont toujours égales & directement contraires. Dans quelque instant que l'on considere donc un de ces mobiles, il est en équilibre entre sa force centrifuge & celle de son antagoniste; & c'est par cette égalité de forces opposées, qu'il s'entretient constamment à la même distance du centre, ou, ( ce qui est la même chose, ) que ses révolutions sont toujours semblables entr'elles.

Les corps célestes ont des mouvements qui doivent s'expliquer selon ces principes. Si la Lune tourne autour de la terre, la terre elle-même





& les autres planetes autour du Soleil, en faisant des révolutions si bien réglées, qu'un Astronome en connoît la durée & l'étendue avec une certaine précision ; c'est que tous ces astres sont sollicités en même temps par deux puissances : d'un côté la force centrifuge, qui résulte de leur mouvement presque circulaire, tend à les éloigner du centre de cette révolution ; du côté opposé, ils sont retenus par une force centripete, dont l'existence est avouée de tous les Philosophes, quoiqu'ils soient encore peu d'accord sur la nature de cette force. Si l'une de ces deux forces cessoit d'agir, ces grands mobiles viendroient se précipiter au centre du monde, ou bien ils iroient se perdre dans l'immensité des cieux : mais n'ayons point de pareilles craintes, & ne nous arrêtons point à de vaines fictions. L'Etre qui a été assez sage, pour arranger l'univers tel qu'il est, a pourvu à la durée de ses œuvres, par des loix sur l'infailibilité desquelles nous devons compter.

Nous ne nous étendrons pas davantage ici sur l'application que l'on

## 88 LEÇONS DE PHYSIQUE

V.  
LEÇON.

peut faire des forces centrales aux mouvements des corps célestes; parce que nous en traiterons à part dans la Leçon qui regarde le système général du monde.

APRÈS avoir fait connoître d'où naissent les forces centrales, & de quelle maniere on doit en faire l'estimation, je pourrois examiner les différents rapports qu'elles peuvent prendre entr'elles, & toutes les sortes de courbes qui peuvent naître de ces changements: mais ces questions ne peuvent guere se traiter comme il convient, sans employer des démonstrations géométriques, qui ne seroient point entendues par la plupart de ceux pour qui j'écris. D'ailleurs ce seroit passer les bornes que je me suis prescrites, dans des Leçons où je n'ai prétendu enseigner que par voie d'expérience. Je passerai donc légèrement sur cet article, & je me contenterai de faire entrevoir mécaniquement les principaux effets qui doivent arriver, lorsque les forces centripetes & centrifuges ne persévéreront point dans le même rapport pendant

pendant une seule ou pendant plusieurs révolutions de suite.

V.  
LEÇON.

Pour prendre une idée des différentes formes que peut recevoir la courbe de révolution par ces changements, prenons un fil que nous replierons sur lui-même, & dont nous joindrons les deux bouts ensemble par un noeud. Qu'il soit retenu d'une part à une épingle fixée perpendiculairement à quelque plan, & de l'autre qu'on le tienne tendu avec le bout d'un crayon, comme on le voit en la Fig. 25. Le crayon sera le mobile; l'effort que l'on fera pour tenir le fil tendu, exprimera la force centrifuge; & la longueur du fil, ou plutôt la distance qu'il entretiendra de l'épingle au crayon, représentera la force centripete.

Si l'on promene le crayon sur le plan autour de l'épingle, & que le fil le tienne toujours à une distance égale, il est évident que la ligne de sa révolution sera un cercle; puisque pendant tout le temps de son mouvement, il aura été au bout d'un rayon de même longueur; & l'on jugera avec raison qu'un mobile fait une

V.  
LEÇON.

révolution parfaitement circulaire, quand ses forces centrales ne changent point, pendant qu'il se meut.

Mais si pendant qu'on promène le crayon, on diminue la distance qui est entre l'un & l'autre, en faisant prendre au fil la forme d'un triangle, comme  $a d e$ , *Fig. 25.* ou autrement, la ligne de révolution, au lieu d'être la circonférence d'un cercle, comme ci-devant, sera toute autre courbe comme  $b c$ , dont la nature dépendra des proportions qu'on aura mises entre les degrés de raccourcissement du fil & leurs durées. Cet effet fera comprendre qu'un mobile, dont les forces centrales varient entr'elles pendant sa révolution, décrit une courbe relative aux changements de leurs rapports; & l'on en pourra tirer les conséquences qui suivent.

I. Que si les rapports qui auront été changés pendant la révolution, se rétablissent dans leur premier état, avant qu'elle soit entièrement finie, la courbe que décrira le mobile, telle qu'elle puisse être, rentrera sur elle-même; & si les rapports des forces

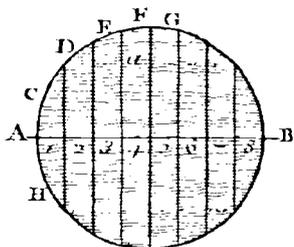


Fig. 23.

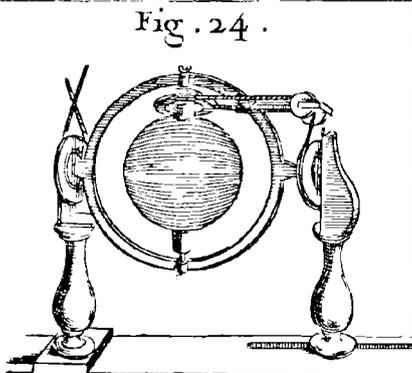


Fig. 24.

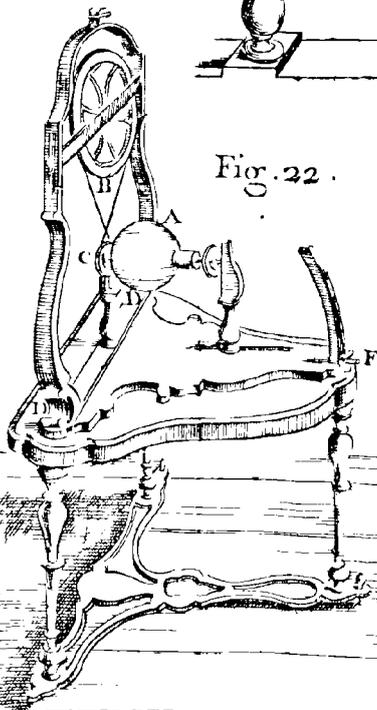


Fig. 22.



varient ensuite , comme ils ont varié d'abord , la seconde révolution sera parfaitement semblable à la première , &c.

2°. Que si ces rapports ne se rétablissent point , & que la force centripete , par exemple , soit plus foible au commencement de la seconde révolution , qu'elle n'étoit lorsqu'on a commencé la première , la courbe ne sera point rentrante ; le mobile , en s'éloignant du centre de son mouvement , décrira des spires plus ou moins régulières , selon le progrès de la force centrifuge , ou la diminution de la force centripete.

Enfin , pour donner un exemple des courbes régulières qui peuvent résulter de la variation des forces centrales , au lieu de retenir le fil par un seul point fixe , attachons deux épingles , *F* , *f* , *Fig. 26.* & faisons toujours mouvoir le crayon de manière que le fil soit aussi tendu qu'il peut l'être ; nous aurons par la révolution entière une espèce d'ovale , que les Géomètres appellent *ellipse*. Le caractère principal de cette courbe est , que deux lignes tirées des points *F* , *f* , ( qu'on nomme

H ij

V.  
LEÇON.

les foyers,) à tel point que ce puisse être de la circonférence, comme  $FG, fG$ , ou bien  $FL, fL$ , que ces deux lignes, dis-je, prises ensemble, égalent la longueur du grand axe  $HI$ .

Un mobile décrit donc une ellipse, lorsque par les variations des forces centrales, sa distance à l'un des deux foyers  $F$ , ou  $f$ , diminue, & augmente régulièrement, comme les lignes  $FH, FM, FG$ , &c. & réciproquement, quand on lui voit décrire une pareille courbe, on peut légitimement conclure, que les forces centrales se mettent dans les rapports convenables, pour le mettre successivement dans tous les degrés de distance d'où elle procède.

Ces différents mouvements s'exécutent encore fort bien, avec la même machine que nous avons employée précédemment, & qui est représentée par la *Fig. 16.* en y joignant ce qui suit.

## VI. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

La *Fig. 27.* représente une table

fonde, qui a environ deux pieds & demi de diametre, ouverte au centre par un trou rond large de 3 pouces; cette table s'attache solidement & parallelement sur celle de la machine, *Fig. 16.* mais de maniere qu'il reste entre l'une & l'autre une distance d'environ un pouce, pour donner la liberte au mouvement de la poulie horizontale *A* ou *B*: au centre de cette poulie on fixe avec des vis une espece d'alidade coudée, sur la longueur de laquelle glisse très-librement une boîte *R*, qui pese environ 2 onces, & sous laquelle on a attaché un porte-crayon. En *S* est un barillet garni d'un ressort, & qui tire à lui la boîte *R*, par le moyen d'un cordonnet de soie, qui tient d'une part au porte-crayon, & de l'autre à une fusée qui tient au barillet, & sur laquelle il fait plusieurs tours.

*E F F E T S.*

Lorsqu'on fait tourner la poulie horizontale, l'alidade se met en mouvement; & pendant qu'elle circule, la boîte glisse d'*r* en *R*, & le crayon marque sur un carton qui couvre la

table ronde, une ligne spirale qui commence en  $r$ , & qui finit en  $R$ .

*EXPLICATIONS.*

La boîte  $R$  mue circulairement reçoit une force centrifuge : dès que cette force vient à excéder la puissance du ressort qui retient le mobile, celui-ci s'éloigne aussi-tôt du centre de son mouvement. Il glisse en ligne droite sur l'alidade ; mais c'est une ligne droite qui se meut elle même, & dont tous les points décrivent des cercles concentriques. Ainsi, comme le mobile passe par tous les points de cette ligne, à la fin de chaque révolution il se trouve dans la circonférence d'un plus grand cercle que celui où il étoit, en la commençant, & de ce double mouvement naît la spirale qu'on trouve tracée sur la table après l'expérience.

*APPLICATIONS.*

C'est par des lignes semblables à celle que nous venons de faire connoître, que viennent au centre du mouvement tous les corps qui circulent avec d'autres dont la force

centrifuge prévaut. L'huile colorée du globe rempli d'eau, la paille qu'on fait tourner avec le grain pour l'en séparer, les corps qui flottent sur une eau qui tourne, &c. tous ces mobiles ne viennent point en ligne droite au centre commun, c'est toujours en circulant de manière que la courbe qu'ils décrivent rentrant au-dessous d'elle même, diminue jusqu'à zéro l'étendue de ses révolutions; ce qui est la même chose que d'aller au centre par une ligne spirale.

V.  
LÉON.

## VII. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

Les choses demeurent disposées comme dans l'expérience précédente, excepté seulement qu'au lieu du barillet à ressort, on ne met qu'une petite poulie qui tourne horizontalement; & au point *T*, *Fig. 28.* une autre petite poulie, dont l'axe est aussi vertical. Dessous la boîte *V* est encore une poulie qui tourne sur le porte-crayon; & un fil dont les bouts sont liés ensemble comme celui de la *Fig. 25.* embrasse les trois poulies.

## EFFETS.

---



---

 V  
 LEÇON.

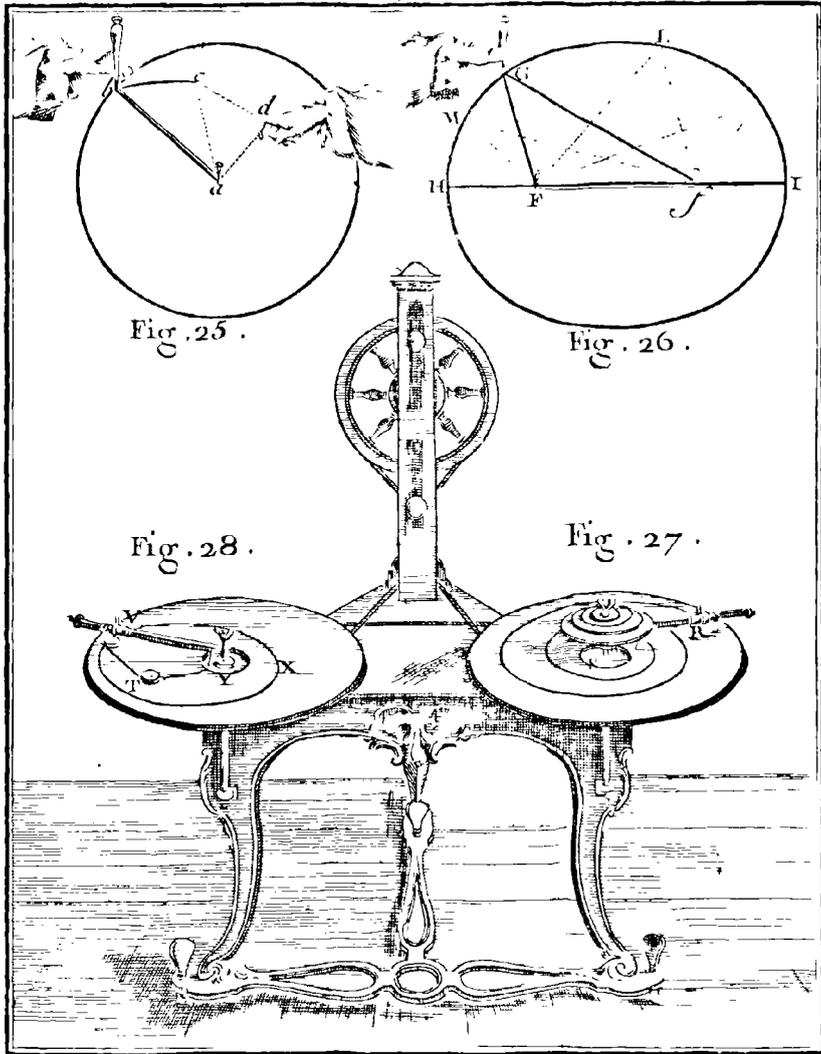
Lorsqu'on met l'alidade en mouvement avec une vitesse suffisante, le mobile *V* décrit exactement l'ellipse *TVX*, dont les deux foyers sont *T, Y*; & s'il fait plusieurs révolutions, c'est toujours en repassant sur la même ligne.

## EXPLICATIONS.

La force centrifuge du mobile tient toujours le fil aussi tendu qu'il peut l'être; mais à cause des deux points fixes *T, Y*, sa distance au point *Y* diminue & augmente successivement & régulièrement, comme celle du crayon au point *F* de la *Fig. 25*. c'est pourquoi sa révolution se fait exactement dans une ligne semblable à celle de cette figure; & comme les circonstances demeurent les mêmes, pendant les révolutions suivantes, le mobile continue aussi de se mouvoir dans la même ellipse.

## APPLICATIONS.

La connoissance de l'ellipse, & de ses principales propriétés, est d'autant plus

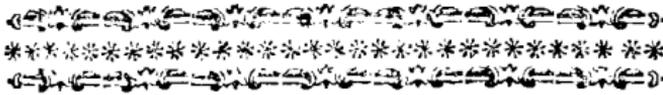




tant plus intéressante, que tous les corps célestes font leurs révolutions dans des courbes rentrantes de cette espece ; l'Astronomie plus éclairée maintenant qu'elle ne l'étoit dans des temps reculés, n'admet plus ces cercles excentriques, auxquels on étoit obligé d'avoir recours, pour expliquer certaines variations que l'on observe depuis long-temps dans les distances des astres ; c'est un sentiment presque universellement reçu, que les *aphelies* & *périhélies* des planètes primitives, que les *apogée* & *périgée* de la Lune, sont des suites nécessaires d'un mouvement elliptique. Mais ne prévenons point ici ce que nous devons dire ailleurs touchant les mouvements célestes ; contentons-nous d'avoir établi des principes que nous rappellerons, lorsque l'ordre des matieres demandera que nous expliquions la forme, la durée, les rapports, &c. de ces révolutions, & que nous tâchions d'en indiquer les causes physiques.







## VI. LEÇON.

### *Sur la Gravité ou Pesanteur des Corps.*

ON appelle *gravité* ou *pesanteur*, cette force qui fait tomber les corps de haut en bas, lorsque rien ne s'oppose à leur chute, ou que les obstacles ne sont pas suffisants pour les arrêter.

Les Philosophes ne sont point d'accord entr'eux sur la cause de cette force. Les différentes opinions que cette question a fait naître, peuvent se ranger en deux classes; dans les unes on regarde la pesanteur comme un principe de la nature, comme une qualité inhérente & primordiale des corps, qui peut n'avoir d'autre cause que la volonté tout-à-fait libre du Créateur; & c'est couper court à toutes difficultés: dans les autres on prétend qu'elle est l'effet de quelque matière invisible; mais les preuves sur

---

 VI.  
LEÇON.

lesquelles ces opinions sont appuyées (il faut l'avouer) ont essuyé de grandes objections, auxquelles il ne paroît pas qu'on ait encore pleinement répondu.

Dire avec Aristote & avec ceux qui l'ont suivi, que les corps en se portant de haut en bas, obéissent à un principe qui les fait tomber; ce n'est rien dire qui puisse éclairer l'esprit.

Regarder avec Newton la pesanteur des corps sublunaires, comme la suite naturelle d'une gravitation générale, qu'on observe dans toute la nature, & dont il a si bien calculé les loix; c'est abandonner la cause pour s'attacher à l'effet.

Prétendre avec la plûpart des Newtoniens d'aujourd'hui, que cette pesanteur des corps qui nous environnent, n'est qu'un exemple particulier d'une tendance ou *attraction* réciproque, que tous les êtres matériels ont naturellement les uns vers les autres, par la seule volonté de Dieu; c'est introduire en Physique une nouveauté qui s'est présentée à l'esprit de Newton, comme à celui de plusieurs Philo-

\* Kepler  
Fractio, Rø-  
erval.

sophes avant lui, \* mais qu'il n'a pas

EXPÉRIMENTALE. ICI

voulu qu'on lui imputât, s'il en faut croire ses propres paroles. \*

Mais aussi attribuer, comme Gassendi, la chute des corps à certains écoulemens d'une matiere qui agisse comme celle de l'aimant; n'est-ce point indiquer une cause bien obscure, bien vague, & dont l'existence n'est fondée, sur rien de certain ?

Enfin nous avons vu en parlant des forces centrifuges, quelle a été la pensée de Descartes sur cette question, en quoi son hypothese est defectueuse, ce que plusieurs grands hommes ont fait depuis pour la rendre recevables, & pour la défendre; & tout bien considéré, il semble que ceux qui voudront n'entendre, sur la cause physique de la pesanteur, que des explications qui soient en même temps satisfaisantes & intelligibles, ne doivent point les chercher dans aucun ouvrage, qui soit connu jusqu'à présent.

Tenons-nous-en donc aux phénomènes; si la cause échappe à notre curiosité, nous avons de quoi nous en dédommager, par la connoissance des effets : autant celle-là est incer-

---

VI.  
LEÇON.  
\* *Philos.*  
*Naturalis*  
*Princ. Meth.* tom. I.  
pag. 11. ed.  
*Genev.*

---

 VI.  
LEÇON.

taine , autant celle-ci est bien constatée ; & ce qu'elle peut nous apprendre est également curieux & utile.

Avant Galilée , c'est-à-dire , il y a environ un siècle & demi , on étoit peu instruit des loix de la pesanteur : c'est à ce Philosophe Italien que nous sommes redevables des plus intéressantes découvertes qu'on ait faites sur cette matière. Sa théorie a été généralement reçue de tous les Savants ; & c'est sur ses fondemens que Messieurs Hughs , Newton , & Mariotte , ont travaillé depuis avec tant de succès & d'applaudissemens. Je ne me propose point de faire entrer dans cette leçon , tout ce que ces grands hommes ont enseigné touchant la pesanteur ; cette entreprise excéderoit les bornes que je me suis prescrites , & c'est dans leurs écrits mêmes qu'il faut les étudier , quand on veut savoir tout ce qui est connu sur cette matière ; mais en suivant toujours le plan que je me suis fait ; dès le commencement de ce Cours , je ferai choix des propositions les plus intéressantes , & je les appuierai sur des preuves d'expérience.

Je traiterai d'abord des effets qui

viennent de la pesanteur seule ; & je  
passerai ensuite à ceux où cette force  
n'entre que pour une part.

---

 PREMIERE SECTION.
 

---

*Des Phénomènes où la Pesanteur  
agit seule sur le Mobile.*

IL ne faut point confondre ces deux termes, *pesanteur* & *poids*, quand on les prend dans le sens absolu, c'est-à-dire, quand ce qu'ils expriment s'entend d'un seul corps, sans aucune comparaison avec d'autres corps. Par *pesanteur*, on doit concevoir la force qui sollicite les corps à descendre, & qui leur fait parcourir de haut en bas un certain espace, dans un temps donné. Par *poids*, nous entendons la somme des parties pesantes qui sont contenues sous le même volume.

La pesanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps ; qu'elles soient unies ou séparées, cette force n'en est ni augmentée, ni diminuée ; mais le poids d'un corps

VI.  
LEÇON.

change comme la quantité de matière qui le compose. Qu'on laisse tomber en même temps deux onces de plomb, elles descendront avec la même vitesse, soit qu'elles tiennent ensemble, soit qu'elles soient séparées; mais le poids dans l'une des deux, n'est que la moitié de ce qu'il seroit, si elles ne faisoient qu'un même corps.

On peut donc dire en parlant exactement, qu'un petit corps a autant de pesanteur qu'un plus grand de la même matière, quoiqu'il ait moins de poids, parce que l'un & l'autre tendent de haut en bas avec la même vitesse.

Mais quand on compare deux matières ensemble par rapport à leurs poids, & que l'on prend un volume déterminé pour terme de comparaison, comme lorsque l'on compare un pouce cube d'eau avec un pouce cube de mercure, le poids comparé s'appelle pesanteur *spécifique*, c'est-à-dire, la quantité de parties pesantes, dont une matière surpasse l'autre ou en est surpassée, sous un volume donné. On dira donc, par exemple, la pesanteur ( en sous-entendant *spé-*

*cifique*) de l'eau est à celle du mercure comme 1 est à 14, pour dire que le dernier de ces deux fluides, à volume égal, a 14 fois autant de poids que l'autre. Nous donnerons à la fin de l'Hydrostatique, une table des pesanteurs spécifiques des matières les plus vulgairement connues ; mais avant que d'en venir à cet examen, tout ce que nous dirons doit s'entendre de la pesanteur absolue.

Quoiqu'on ne puisse pas dire que la gravité est essentielle à la matière, puisqu'on la peut concevoir, sans ce penchant qu'elle a pour aller vers le centre de la terre ; cependant une longue & continuelle expérience ne nous permet pas de croire, que de tous les corps qui sont en notre pouvoir, il y en ait aucun exempt de cette affection. Si quelques Philosophes ont pensé qu'il y eût des corps naturellement légers, c'est qu'ils ont été trompés par les apparences, & qu'ils ignoroient des choses qu'on a vues depuis. Ces corps qu'ils ont vu se mouvoir de bas en haut, comme les vapeurs, la fumée, la flamme, &c. n'affectent cette direction con-

traire à celle de la pesanteur, que parce qu'ils sont dans certaines circonstances qui les y forcent. Que l'on fasse cesser ces causes, & bien-tôt on les verra tomber comme tous les autres corps, & prouver par leur chute, qu'ils pesent comme eux, & dans le même sens.

## PREMIERE EXPERIENCE.

## P R E P A R A T I O N .

On met sur la platine d'une machine pneumatique, un bout de grosse chandelle allumée, ou bien un petit morceau de papier trempé dans une liqueur faite avec l'étain & le mercure, & qui fume beaucoup; on met dessus un récipient cylindrique de verre, qui a 4 pouces de diamètre & environ un pied de hauteur; & l'on fait le vuide le plus promptement & le plus parfait qu'il est possible. Voyez la *Fig. 1.*

## E F F E T S .

Après quelques coups de piston, la flamme de la chandelle s'éteint; & quand l'air est suffisamment raré-

fié, la fumée de la mèche, ou la vapeur qui s'est élevée du papier, retombe à la maniere des corps graves & s'étend sur la platine.

*EXPLICATIONS.*

La flamme ne pouvant subsister dans un air trop raréfié, par des raisons que nous dirons ailleurs, lorsqu'on a diminué la densité de celui qui est dans le récipient, la chandelle s'éteint; mais lorsque cet air est raréfié à un certain degré, non-seulement la fumée ou la vapeur ne s'y élève plus, mais celle même qui avoit gagné le haut du récipient, se précipite, parce que le fluide qui l'environne étant moins pesant qu'elle spécifiquement, ne peut ni la solliciter à monter, ni s'opposer efficacement à sa chute. Il ne faut point passer légèrement sur ce principe, parce qu'il sert à expliquer une infinité de phénomènes de cette espece. Examinons donc en détail ce qui se passe dans cette expérience, & voyons comment l'air & la fumée changent de pesanteur relativement l'un à l'autre.

Une matière raréfiée est celle qui

## 108 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON.

sous un volume donné, n'a plus un aussi grand nombre de parties propres, qu'elle en avoit avant sa raréfaction. L'air du récipient, après plusieurs coups de piston, est réduit à un petit nombre de parties, sans rien perdre de son volume, car il remplit toujours le récipient; chaque portion prise au hazard dans ce vaisseau, contient donc moins de particules d'air, ou bien est composée de parties beaucoup plus écartés les unes des autres, qu'elles ne l'étoient avant la raréfaction. Ainsi comme le poids suit le nombre des parties matérielles, une ligne cube de cet air pèse moins qu'une ligne cube du même air non raréfié. Ce que nous disons de ce petit volume doit s'entendre, par proportion, d'une suite de volumes semblables, posés les uns sur les autres en forme de colonne; d'où l'on peut concevoir, que si la masse d'air contenue dans le récipient est divisée en un certain nombre de colonnes pareilles, chacune d'elles pèsera plus ou moins, suivant que la masse totale aura été plus ou moins raréfiée.

La fumée, ou la vapeur dont la

source est placée au fond du vaisseau, peut être aussi considérée sous des petits volumes, dont la suite fera une colonne, & si l'on compare un volume de vapeurs à un pareil volume d'air, on conçoit que celui des deux qui a le plus de parties pesantes, a plus de forces pour aller à l'endroit le plus bas, ou pour s'y tenir.

Ainsi l'air étant dans son état naturel, élève les vapeurs, la fumée, la flamme, &c. parce qu'à volume égal, il a plus de poids; mais quand on l'a raréfié, c'est-à-dire, quand on a diminué le nombre des parties pesantes de ce volume égal, il ne peut plus les élever, il ne peut pas même les soutenir, & la fumée répandue dans le vaisseau, se trouvant alors plus pesante relativement à l'air, qui a changé de densité, le déplace à son tour, par sa gravité naturelle,

*APPLICATIONS;*

De tous les corps qui sont à la surface de la terre, il se détache continuellement des corpuscules qui, lorsqu'ils ont quitté la masse dont ils faisoient partie, se répandent & s'élé-

vent dans l'atmosphère, jusqu'à ce que certaines circonstances les déterminent à retomber. Ces petits corps connus sous le nom de *vapeurs* & d'*exhalaisons*, sont la matière d'une infinité de phénomènes admirables, étonnants & nécessaires relativement à nos besoins. Nous ferons mention ailleurs des différentes formes qu'ils prennent, & de leurs principaux effets; nous ne voulons parler ici que de leurs mouvements, c'est-à-dire, de la manière dont ils s'élèvent & retombent, à quoi nous conduit naturellement l'expérience que nous venons d'expliquer.

Cette question peut se réduire à quatre chefs principaux, savoir, 1°. comment ces corpuscules se détachent de leurs masses; 2°. par quelle cause ils s'élèvent dans l'air; 3°. de quelle manière ils s'y soutiennent à une certaine hauteur; 4°. & enfin, pourquoi il arrive qu'ils retombent vers la surface de la terre.

Quant à la première demande, l'opinion la plus universellement reçue est qu'il regne sur notre globe, & au-dedans, un certain degré de cha-

leur qui entretient en mouvement les parties insensibles de tous les corps. Ce mouvement, dit on, détermine celles de ces parties qui sont les plus subtiles, & par conséquent les plus mobiles, à quitter la masse commune, comme on le remarque visiblement à la surface de l'eau que l'on fait chauffer, des viandes & des fruits que l'on fait cuire.

Il est assez vraisemblable que la chaleur naturelle ou artificielle, soit la cause principale de cet effet; mais on a peine à croire qu'elle soit la seule, quand on considère que l'évaporation ne diminue pas toujours comme la chaleur. Dans les hivers les plus rigoureux, on voit quelquefois d'un jour à l'autre disparaître la neige qui couvroit la surface de la terre; & l'expérience a fait voir à plusieurs habiles Physiciens, que la glace diminue considérablement dans l'air le plus froid & le moins exposé aux rayons du soleil.

Je ne fais s'il faudroit en conclure, selon l'opinion d'un Auteur \*

\* Muschenbroek dans ses Comment. sur les exper. de Florence, 1. part. p. 137. Ed. de Leyde 1731.

VI.  
LIÇON. fort versé dans la Physique expérimentale, que la glace a un principe interne de dilatation qui n'est point la matière du feu, ni le degré de chaleur qui a pu s'y conserver, mais le mélange d'une autre matière très-subtile qui la fait comme fermenter.

Ne pourroit-on pas s'en tenir à des principes connus & avoués de tous les Physiciens, en disant que dans les cas où il ne paroît pas qu'on puisse attribuer l'évaporation à la seule action du feu, on doit en chercher la cause dans la grandeur des surfaces, dans leur état, ou dans la nature du fluide ambiant, par rapport à celle des corps qui s'évaporent ? Car toutes choses égales d'ailleurs, il est certain qu'un cube de glace isolé présente à l'air six fois plus de surface, que l'eau d'un vase dont l'ouverture seroit égale à un des côtés de ce cube : les parties évaporables ont donc six fois plus de liberté de s'échapper de la masse.

Mais à surfaces égales en apparence, n'a-t-on pas lieu de croire que les parties de la glace donnent plus de prise à l'air que celles de l'eau ? N'en est-il

est-il pas de ce fluide comme de tous les autres? à mesure qu'il approche de la congélation, sa fluidité ne diminue-t-elle point par degrés? les parties ne commencent-elles point par se pelotoner, avant que de se lier ensemble? Et si la glace n'étoit qu'un assemblage de ces petites masses, ou petits composés plus grossiers que les parties de l'eau, sa surface raboteuse, sinon pour nos sens, au moins pour un contact proportionné à ces petites rugosités, ne donneroit-elle pas plus de prise à l'air qui la touche?

Si ceci n'est qu'une conjecture par rapport à la glace, on ne peut nier que ce ne soit une chose évidente par rapport à la neige. Au premier coup d'œil on remarque que sa surface est un assemblage de molécules légères & à jour, pour ainsi dire, de tous côtés; & cette légéreté est d'autant plus grande que la neige s'est formée dans un temps plus froid.

Mais quel avantage prétendons-nous tirer de cette augmentation de surface pour l'explication du fait dont il s'agit? En supposant que la masse

d'air qui environne les corps puisse contribuer à leur évaporation, d'une autre maniere que par le degré de chaleur qu'elle peut leur communiquer, il est certain que cet air aura d'autant plus d'action sur les corpuscules évaporables, qu'il les touchera dans une plus grande étendue, ou (ce qui est la même chose) que ces petits corps tiendront par moins d'endroits à leur masse commune. On peut donc dire en général, que les mêmes parties d'un corps ( de l'eau par exemple) sont d'autant plus disposées à s'exhaler, qu'elles sont plus isolées; & qu'en conséquence, la neige ou toute autre congélation de ce genre peut s'évaporer autant, & peut-être plus que l'eau contenue dans un vase.

Mais que peut faire, dira-t-on, l'air extérieur sur ces petites parties presque isolées ?

Non-seulement il aura plus d'avantages pour les détacher de la masse, en les heurtant de côté & d'autre, mais il emploiera pour les enlever directement, les mêmes moyens qui les font monter, quand elles sont entièrement détachées.

Celui de ces moyens qui est le plus connu & le plus généralement reçu, c'est son excès de pesanteur. On dit communément que ces petits corps, qui forment les vapeurs & les exhalaisons, étant spécifiquement moins pesants que l'air qui les environne, s'élèvent dans l'atmosphère, comme la fumée de notre expérience s'est élevée dans l'air du récipient, & qu'ils montent ainsi jusques dans la moyenne région, où ils se trouvent en équilibre avec un air plus rare: la difficulté a toujours été de faire entendre, comment les parties évaporées des corps terrestres pouvoient acquérir cette légèreté respective, capable non-seulement de les élever au-dessus de l'air, mais encore de vaincre la résistance du frottement, qui s'oppose continuellement à leur ascension: on a toujours peine à comprendre comment de l'eau, par exemple, peut devenir plus légère qu'un fluide, qui, à volume égal, pèse environ 800 fois moins qu'elle.

Quand on suppose ces particules fort divisées, leur extrême petitesse aide à concevoir comment elles se

K ij

---

VI.  
LEÇON.

soutiennent en haut par le frottement, qui s'augmente comme les surfaces multipliées par la division ; mais cette réponse qui lève une difficulté, quand il ne s'agit que d'expliquer la suspension des vapeurs, en fait naître une autre très-considérable, quand on examine leur ascension. Car le même frottement qui les soutient, leur fait obstacle, quand elles ont à monter, & cet obstacle est d'autant plus grand qu'elles sont plus divisées.

D'ailleurs que gagne-t-on par cette division, si chaque partie, (quelque petite qu'elle soit,) immédiatement environnée d'air, reste telle qu'elle étoit dans la masse d'où elle s'est échappée? Le volume d'air qui lui répond, ne décroît-il pas dans la même proportion? Et si l'eau en général pèse 800 fois plus que l'air, ce rapport se trouvera dans les plus petits volumes, comme dans les plus grands.

Il faut donc de deux choses l'une, ou que les parties qui s'exhalent des corps, changent d'état en quittant la masse, ou que l'air, qui les touche, emploie, pour les enlever, un autre moyen que sa pesanteur.

Cette considération a fait naître quelques hypothèses fort ingénieuses : on a supposé que chacune de ces particules étoit un petit ballon rempli d'un air subtil, que la chaleur dilate, à peu près comme les boules de savon dont les enfans se divertissent.

» Cette vésicule, dit-on, est plus légère que le volume d'air auquel elle » répond dans l'athmosphère, & son » excès de légéreté peut être tel, » qu'il surpasse encore la résistance du » frottement.

L'imagination est ingénieuse, il faut l'avouer, & je crois qu'il ne seroit point impossible de lui conserver de la vraisemblance; mais s'il faut de la chaleur pour donner à ces petits ballons un volume suffisant, nous n'aurons guere de vapeurs en hiver? ou s'il en faut si peu pour les enfler, comment ne créveront-ils pas en été?

D'autres cherchant dans la dilatation des vapeurs, un principe de légéreté suffisante, ont considéré les parties comme autant de molécules, dont les pores agrandis & distendus par l'action du feu, augmentent leur

## 118 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON.

volume autant & plus, que leur première densité n'excédoit celle de l'air. Suivant cette opinion, une particule d'eau réduite en vapeurs, fera, par exemple, 1000 ou 1200 fois plus grande qu'elle n'étoit, & par conséquent elle répondra à un volume d'air plus que suffisant pour la soulever. Cette grande dilatabilité des vapeurs est appuyée sur des expériences qu'on ne peut révoquer en doute, & que nous rapporterons, quand l'ordre des matières le permettra; mais elle exige un degré de chaleur beaucoup plus grand que celui qui règne ordinairement dans les corps qui commencent à s'évaporer; & si, partant d'un tel exemple, lorsqu'on voit des vapeurs s'élever par un temps frais, on conclut qu'il fait assez chaud pour les dilater au point d'être plus légères que l'air, il paroît que c'est supposer ce qui est en question: je crois qu'il y a une grande différence entre la simple évaporation, & la dilatation des vapeurs.

Mais si la chaleur naturelle ne peut le plus souvent que contribuer à détacher ces corpuscules de leurs mas-

ses, & qu'elle ne les mette pas toujours en état de s'élever; si l'air d'ailleurs ne peut par son poids seul les forcer de monter tels qu'ils sont; quel est donc le moyen que la nature ajoute à cette première cause? Car il est certain que les vapeurs s'élèvent en tout temps; il n'y a que du plus ou du moins.

S'il m'est permis de hasarder ici mes conjectures, je dirai que l'air de l'atmosphère fait en même temps l'office de dissolvant & d'éponge à l'égard des corps qu'il touche immédiatement. Comment conçoit-on que de l'eau douce devient salée, quand on la met dans un vaisseau au fond duquel il y a du sel? C'est que la liqueur s'insinuant dans les pores du corps solide, se rejoint elle-même de tous côtés dessous les parties qui composent la surface, les soulève enfin, & les divise à tel degré, que ces parties elle-mêmes entrent dans les pores de l'eau, de la même manière, & par la même cause que celles de l'eau ont pénétré le sel. Plus les parties du sel sont isolées, plus le sel est poreux, plus il est humide, avant qu'on le

VI.  
LEÇON.

plonge, & plus aussi sa dissolution devient facile ; & l'on en voit la raison, sans qu'il soit besoin de la dire : de même les corps qui s'évaporent, continuellement plongés au fond d'une masse d'air spongieuse, fournissent une quantité de vapeurs d'autant plus abondante, que leurs parties sont plus exposées à l'action de ce fluide, & qu'il est lui-même par son état actuel, plus disposé à les admettre dans ses pores. Je n'oserois dire que l'air s'insinue dans les pores des corps solides ou des liquides, comme l'eau dans du sucre ou du sel qu'elle dissout ; mais je n'avancerai rien que de croyable, quand je dirai, que, puisqu'il y a dans tous les corps une très-grande quantité d'air disséminé, leurs surfaces sont composées de molécules dont un très-grand nombre n'est que de l'air, & que cet air communique à d'autre qui fait de même, partie des couches inférieures ; tellement que la matière propre de ces corps, lorsqu'ils sont environnés d'air, ressemble à un grain de sel humide qu'on plonge dans l'eau, & qui est d'autant plus dissoluble qu'il a été plus

plus pénétré d'eau avant que d'être plongé. La surface qui nous paroît la plus unie, présente donc à l'air qui la touche, des parties isolées, & qui ne tiennent à la masse que par un petit nombre de points; & comme il n'y a aucune matiere connue, en tel état qu'elle puisse être, dont les parties soient parfaitement en repos les unes à l'égard des autres, il n'y a donc à la superficie des corps aucune particule qui ne soit disposée plus ou moins à céder aux efforts de l'air qui l'entoure.

Mais si l'air est comme on l'imagine, pour expliquer son élasticité, un corps spongieux dont les parties ressemblent à de petits filaments ou à de petites lames spirales; pour enlever les petites parties des corps dont nous venons de parler, il n'aura pas besoin d'autre force, que celle qui s'observe tous les jours dans les corps de cette espece; car comme le sel s'éleve dans une masse d'eau, à mesure qu'elle le dissout, quoique ses parties soient plus pesantes que celles de l'eau, comme l'eau s'éleve dans du sucre, malgré son propre poids, de même on

---

VI.  
LEÇON.

pourra dire que les vapeurs & les exhalaisons, sans devenir plus légères que l'air, s'élevent dans l'athmosphère suivant la proportion qu'il y a entre elles & la porosité du fluide.

Il est vrai qu'on ne fait pas bien comment les liqueurs s'élevent au-dessus de leur niveau, dans une éponge, dans les tubes capillaires & autres corps semblables; car de dire que l'attraction est la cause de cet effet, c'est ne satisfaire qu'une partie du monde, encore n'est-ce pas celle qui n'admet que des idées claires & intelligibles: mais on est parfaitement d'accord sur le fait; & quand je dis que les vapeurs montent dans l'athmosphère, comme l'eau dans une éponge, je ne prétends pas remonter jusqu'à la première cause; je m'en tiens à la cause prochaine & immédiate; en un mot, je ne me propose que d'expliquer un fait par un autre, ce qui est très-permis en Physique.

Je ne puis étendre ici cette idée autant qu'il le faudroit pour lui donner toute la vraisemblance dont elle est susceptible; cette digression nous éloigneroit trop de notre objet pré-

sent ; j'aurai occasion de la reprendre & de la suivre plus loin, en parlant des tuyaux capillaires ; j'ajouterai seulement que si cette dernière cause ajoutée aux autres , que nous ne rejetons point , les rend suffisantes pour former & pour élever les vapeurs , elle pourra de même contribuer à les tenir suspendues, jusqu'à ce que l'atmosphère venant à changer de densité , soit par compression , soit par condensation , soit même par dilatation , ces petits corps suspendus se rapprochent , pour former des masses plus pesantes , ou bien qu'ils soient seulement abandonnés à leur propre poids ; comme on voit qu'il arrive dans le récipient d'une machine pneumatique , où l'on apperçoit un petit brouillard après les premiers coups de piston , parce que l'air en se raréfiant abandonne les corps étrangers qu'il contient \*.

Pour revenir à notre première expérience, il est donc certain qu'Aristote & ceux qui l'ont suivi, se sont trompés , lorsqu'ils ont prétendu qu'il y a des corps qui tendent naturellement à se mouvoir de bas en haut.

L ij

---

VI.  
LEÇON.

\* Mem. de  
l'Acad. des  
Scien. 1740.  
p. 252.

VI.  
LEÇON.

Ce que nous avons dit touchant les faits qui leur en ont imposé, suffit pour faire entendre qu'il n'y a point de légèreté absolue, & que les corps à qui l'on donne improprement le nom de légers, sont ceux qui ont peu de poids ou de matière propre sous un grand volume.

ON peut considérer dans la pesanteur comme dans toute autre force, la *direction*, & l'*intensité*, c'est-à-dire, la mesure, ou la quantité de son action sur les corps.

La direction de la pesanteur est toujours la même; les corps qui tombent librement, se dirigent d'eux-mêmes vers la surface de la terre, par une ligne perpendiculaire à l'horizon, comme il paroît, quand on en fait l'épreuve sur une eau dormante; & s'ils décrivent quelquefois en tombant des lignes obliques ou des courbes, c'est qu'ils y sont forcés par des obstacles: telle est la chute d'un pendule pendant sa demi-vibration; il ne décriroit pas un arc de cercle, s'il n'étoit retenu par le fil ou la verge qui l'oblige de tourner autour du point de suspension.

Au lieu d'exprimer la direction de la pesanteur, par une perpendiculaire à l'horizon, on l'exprime souvent, par une tendance au centre de la terre, ce qui signifieroit la même chose, si notre globe étoit parfaitement sphérique; car alors tous les rayons prolongés du même point, seroient autant de perpendiculaires à la surface. Mais cette hypothese n'est plus ni reçue ni recevable; & si le globe terrestre est un sphéroïde aplati vers les pôles, comme il y a tout lieu de le croire, le compas & la regle font voir, que les lignes dirigées perpendiculairement à tous les points de sa surface n'aboutissent pas au vrai centre, mais à différents points qui composent un espace autour du centre. Mais comme cet espace est fort petit, à cause du peu de différence qu'il y a entre la figure attribuée à la terre, & celle d'une sphere parfaite; on peut sans erreur sensible, & quand il ne s'agit point de cette question, garder l'expression commune, & prendre le centre de la terre pour celui des corps graves.

Quant à l'intensité de la pesanteur,

L. iij

---

VI.  
LÉON.

on peut demander, 1°. si elle est la même dans tous les corps, dans tous les temps, dans tous les lieux. 2°. Si elle varie suivant l'état des corps. 3°. Si elle peut augmenter dans le même mobile, & comment se font ses progrès.

L'expérience ne peut nous apprendre qu'à peu près, combien un corps parcourt d'espace dans un certain temps, en vertu de la pesanteur qui l'anime; parce qu'il a toujours à vaincre des obstacles inséparables de l'état naturel, comme en éprouvent les corps qui obéissent à toute autre puissance. La résistance des milieux qui varie comme leurs densités, la figure du corps qui tombe, le rapport de sa masse à son volume, & quelque autre considération dont nous parlerons dans la suite, empêchent qu'on ne sache bien exactement la mesure de la pesanteur primitive, & telle qu'elle seroit, si elle n'étoit diminuée par des causes étrangères. On fait seulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, une balle de plomb, ou tout autre corps qui auroit beaucoup de matière avec

peu de volume, parcourt dans l'air libre environ 15 pieds de France dans la première seconde de sa chute : on verra bientôt pourquoi j'embrasse toutes ces circonstances dans cette proposition.

VI.  
LEÇON.

On croyoit autrefois que la pesanteur & le poids étoient synonymes ; & que les corps tomboient d'autant plus vite, qu'ils avoient plus de masse. Il y avoit effectivement quelque vraisemblance à croire qu'un mobile composé de quatre parties pesantes, devoit tendre davantage au terme de la pesanteur, que celui qui n'en auroit qu'une ou deux ; & ce qui achevoit d'induire en erreur, c'est qu'on voyoit une plume, un papier, un ballon de laine, &c. tomber toujours plus lentement qu'une pierre, un morceau de métal, &c. mais un *plus* ou un *moins* ne décident rien, quand il n'a point de proportion avec la cause que l'on soupçonne. Galilée vit bien comme Aristote, qu'une plume tomboit moins vite qu'une livre de plomb ; mais il mesura ce *moins*, il le compara avec l'excès de masse du corps le plus prompt à tomber, &

Liv

il trouva qu'il ne répondoit pas à la différence qu'il y avoit entre les poids des deux mobiles. Il prit donc une autre idée de la pesanteur, & au lieu de penser, comme on avoit fait jusqu'alors, qu'il y en avoit plus dans le plomb que dans la plume, il imagina que cette force étoit égale dans l'un & dans l'autre, mais que la résistance du milieu se faisoit plus sentir sur celui des deux corps qui avoit le moins de matiere. Ce raisonnement étoit bien fondé, & nous en ferons connoître toute la justesse en expliquant l'expérience qui suit.

## II. EXPERIENCE.

### *PREPARATION.*

On établit solidement sur la platine d'une machine pneumatique, un châssis qui contient un tuyau de verre qui a six pieds de longueur, deux pouces  $\frac{1}{2}$  de diametre, plus large & ouvert par ses deux extrémités *A, B*, Fig. 2. On joint en haut par le moyen d'un anneau de cuir mouillé, une platine de cuivre sous laquelle est fixée la chappe d'une piece qui tourne verti-

calement, & qui se divisant en six rayons, forme autant de pinces à ressort. Cette piece est représentée seule de face dans la *Fig. 3.* & elle se voit de côté en *CD*, *Fig. 4.* son axe porte un pignon à lanterne qui engrene une roue à chevilles *F*, enarbrée sur une tige de cuivre bien cylindrique qui traverse la platine & un collet *G* rempli de cuirs gras. Le bout de cette tige est fixé à un rouleau *H* au-dessus duquel est un anneau qui répond à un levier *I*, & ce levier se meut par le moyen d'un cordon; *K* est un barillet garni d'un ressort de montre, pour contretirer le cordon qui enveloppe, & qui fait tourner le rouleau *H*.

Avant que de placer cette piece sur le tuyau de verre, il faut avoir soin de garnir les six pinces, en mettant à chacune deux petits corps dont les volumes soient à peu près semblables, mais qui différent en poids: de sorte cependant que ces différences ne soient pas également grandes dans chaque paire. Ainsi l'on pourra mettre, par exemple, dans la première un morceau de plomb & une plume; dans la seconde, un morceau

de cuivre & une petite feuille de papier; dans la troisième un morceau de bois & un morceau de fer, &c.

Lorsqu'on a raréfié l'air dans le tuyau le plus qu'il est possible avec la pompe, en tirant la corde *L*, on fait tourner la roue *F*, pour mettre une des pinces dans une situation verticale, comme *D*; on tire ensuite le cordon *M*, pour élever la roue *F*, dont le bord presse le petit levier *n*, & fait ouvrir la pince; celle-ci ayant fait son office, on en fait passer une autre de même, & ainsi de suite jusqu'à la dernière.

## E F F E T S.

Tous ces corps échappant deux à deux, tombent en même temps, & ne laissent appercevoir aucune différence sensible dans la durée de leur chute.

Mais si l'on recommence l'expérience, en laissant le vaisseau plein d'air dans son état naturel, ceux qui ont le plus de poids tombent plus vite, & la lenteur des autres est plus sensible à mesure que leur masse est moins grande. Ainsi le bois tombe plus len-

tement que le fer ; mais sa lenteur n'est pas si grande que celle du papier & de la plume.

On peut faire la même expérience sans un aussi grand appareil , en se servant d'un tuyau de verre , long de 4 à 5 pieds , & d'un pouce ou environ de diametre , dans lequel on enferme une piece de métal & un morceau de papier de même grandeur : le tuyau étant absolument fermé par un bout & garni d'un robinet par l'autre , on l'applique à la machine pneumatique pour y faire le vuide , après quoi on l'ôte ; & en le renversant tantôt d'un bout , tantôt de l'autre , on voit autant de fois qu'on le veut , que le morceau de papier tombe dans le vuide , aussi vîte que le métal ; & qu'il n'y a de différence de l'un à l'autre , à cet égard , que quand le tuyau est plein d'air.

*E X P L I C A T I O N S .*

La premiere partie de cette expérience prouve évidemment & directement , que la pesanteur est égale dans tous les corps , & que les différences qu'on apperçoit dans leurs chûtes,

ne doivent être attribuées qu'à la résistance des milieux par lesquels ils tombent : puisqu'en supprimant ou en diminuant beaucoup cette résistance, les temps qu'ils emploient à descendre de hauteurs égales, sont sensiblement les mêmes. La seconde partie nous apprend comment nous devons évaluer ces différences que nous remarquons dans la chute des graves qui diffèrent entr'eux par leur quantité de matière. Car si nous regardons la pesanteur comme une vitesse commune & égale dans tous les graves, les quantités de mouvement, ou les forces de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entr'elles que par la masse. Supposons donc un morceau de plomb qui pèse 12 onces, & un morceau de bois de même volume & de même figure qui en pèse une : puisque la vitesse initiale, ou la pesanteur de ces deux mobiles est la même, leurs quantités de mouvement, au premier instant de leur chute, seront comme leurs masses, c'est-à-dire, 1 dans celui-ci, & 12 dans l'autre. Supposons maintenant que pendant leurs chûtes,

la résistance du milieu ralentisse leur mouvement d'un demi-degré ; cette diminution sera égale dans l'un & dans l'autre , puisque c'est le même milieu , que les volumes sont égaux & les figures semblables : mais le morceau de plomb qui a perdu un demi-degré de mouvement , en a encore  $11\frac{1}{2}$  , au lieu que le morceau de bois , par une semblable perte , ne s'en trouve plus avoir qu'un demi ; dans l'un le mouvement est ralenti seulement de la vingt-quatrième partie , dans il l'est de la moitié , quoique ces deux effets procedent de la même cause.

*APPLICATIONS.*

Le principe que nous venons de prouver par l'expérience précédente, est d'une grande importance ; aussi n'a-t-on rien négligé pour le mettre dans tout son jour. M. Newton l'a confirmé par les vibrations de plusieurs boules suspendues , dont il a mis les diametres & les poids en différents rapports : nous ferons voir incessamment que cette espece de mouvement est un effet de la pesanteur ;

---

 VI.  
LEÇON.

ainsi quand deux boules de même poids, de même grosseur, & suspendues à des fils égaux, continuent de balancer aussi long temps dans le même air, elles font voir qu'elles sont animées par des pesanteurs égales: & l'on doit persévérer dans le même sentiment, quoique la diminution du poids y apporte une différence, si, comme l'expérience le fait voir, cette différence ne suit pas le rapport des masses.

Messieurs Frenicle & Mariotte éprouverent, d'après Galilée, la chute directe des corps à de grandes hauteurs; mais personne ne fit ces sortes d'épreuves dans des circonstances plus avantageuses que celles où se trouva M. Desaguilliers\* en profitant de la grande élévation du dôme de S. Paul à Londres, & des lumières de Messieurs Newton, Halley, &c. qui voulurent être présents.

\* *Transact.*  
*Philosoph.n.*  
362. art 4.

On fit tomber plusieurs corps de différents poids, & de différents volumes, de la hauteur de 272 pieds; & l'on remarqua que deux boules dont les diamètres étoient d'environ 5 pouces  $\frac{1}{2}$ , & qui pesoient l'une

2610 grains, & l'autre 137  $\frac{1}{2}$ , employerent des temps fort différens à tomber de toute cette hauteur; car la plus pesante acheva sa chute en 6 secondes  $\frac{1}{2}$ , & celle de l'autre en dura près de 19 : ce qui fait bien voir que la vitesse des corps qui tombent, n'est point proportionnelle à leur masse; car dans cette dernière expérience, les deux boules, quant au poids, sont à peu près dans le rapport de 19 à 1; & toutes les autres circonstances sont égales pour l'une & pour l'autre; cependant il s'en faut bien que la plus pesante tombe 19 fois plus vite que l'autre, car au lieu de 6 secondes, elle n'auroit dû en employer qu'une.

Il est facile d'expliquer maintenant, pourquoi la même matière devient plus lente à tomber, à mesure qu'elle se divise, ou qu'elle augmente de volume; comme un morceau de bois que l'on réduit en copeaux minces, un jeu de cartes, ou un paquet de plumes qui n'est pas lié. La chute d'une grosse pluie est bien différente de celle de la neige; & l'eau qui tombe, sans se diviser, fait un effort bien

plus considérable que celle qui se réduit en gouttes, & qui s'étend dans l'air qu'elle traverse.

Sans cette résistance de l'air, qui retarde, & qui divise les corps, dont les parties ne sont point fortement liées, on verroit avec autant de danger que d'étonnement une potée d'eau jettée par une fenêtre, tomber sur le pavé, avec autant de bruit & d'effort qu'un glaçon de même poids. S'il y en avoit la valeur d'une pinte; autant vaudroit presque recevoir sur la tête une pierre du poids de deux livres, qui tomberoit de la même hauteur. Mais la surprise ne dureroit pas longtemps, pour ceux qui seroient au fait des principes que nous expliquons. Car ils sauroient qu'une masse liquide qui tombe par quelque milieu matériel que ce soit, éprouve une résistance directe en sa partie inférieure, & un frottement aux surfaces latérales: que ces deux sortes de résistances retardent davantage ce qui est exposé à leur action immédiate, que le reste; & qu'ainsi le mobile, dont les parties ne sont presque point liés, doit en peu de temps changer

de figure, & se diviser; mais ces deux derniers effets doivent cesser, quand la cause qui a coutume de les produire, ne subsiste plus.

Une expérience presque aussi ancienne que la machine pneumatique, & qui, pour n'avoir pas le mérite de la nouveauté, n'en est pas moins curieuse, prouve admirablement bien ce que nous disons ici de la chute des liqueurs.

### III. EXPERIENCE.

#### PREPARATION.

Dans une tube de verre un peu fort, *Fig. 5.* dont le diametre égale 8' ou 10 lignes, on met quelques pouces d'eau; & après avoir fait le vuide dans le reste de la capacité, on le scelle à la lampe d'un Emailleur, en *A.*

#### EFFETS.

Quand on secoue ce tube perpendiculairement, l'eau se trouve élevée toute d'une piece, à la hauteur de quelques pouces, comme en *B*; & en retombant de même sur le fond, elle

fait le même bruit & le même effort qu'un corps solide ; & ce son est beaucoup plus aigu , quand on réserve une boule creuse , & mince en la partie supérieure , comme on le voit par la figure.

*E X P L I C A T I O N .*

Si dans ce vaisseau il y avoit de l'air tel que celui de l'atmosphère , depuis la surface de l'eau C jusqu'en A , lorsque par la secousse on éleveroit l'eau de C en B , la colonne d'air soutenue dans cette partie prendroit sa place pour un instant , & l'eau en retombant rencontreroit ce fluide flexible qui retarderoit sa chute , & qui après une division réciproque , lui céderoit sa première place ; mais quand il n'y a que de l'eau dans le tube , & que rien ne la définit , elle retombe toute ensemble , & la base de cette colonne liquide frappe immédiatement le fond du vaisseau , comme pourroit faire un cylindre solide du même poids.

*A P P L I C A T I O N S .*

Le mercure d'un barometre, (si l'inf-

trument est bien fait, ) se trouve dans le même cas que l'eau de cette dernière expérience ; quand on le fait balancer dans le tube, si la secousse est forte, on court risque de casser le verre, & l'on entend toujours le coup, comme celui d'un corps solide, parce que la partie supérieure du tuyau est vuide d'air, & que le mercure heurte immédiatement le fond.

---

VI.  
LEÇON.

LE temps n'apporte par lui-même aucune différence à la pesanteur des corps ; à moins qu'on ne suppose, (mais pourquoi le supposeroit-on ?) que les changements qui lui arrivent, sont uniformes & proportionnels dans toute la nature, car pour ce qui est des poids comparés, ce qui pese une livre, continue toujours de peser exactement une livre, tant que la quantité de matière reste la même. On en peut juger par les pesanteurs spécifiques de matières connues ; l'or, par exemple, est constamment dans le rapport de  $19\frac{1}{4}$  à 1 avec l'eau pure. Il est vrai que ces quantités sont sujettes à de petites différences ; mais il est plus raisonnable de les attribuer

M ij

---

 VI.  
LEÇON.

aux différents états des matieres, au froid, au chaud, à la sécheresse, à l'humidité, &c. que de les rejeter sur une cause inconnue qu'on n'a pas lieu de soupçonner. S'il arrive tous les jours qu'un corps devienne plus ou moins pesant qu'il n'étoit, on doit faire attention qu'il a perdu ou acquis des parties matérielles qui augmentent, ou diminuent sa masse. Une éponge, ou quelque corps équivalent, suspendue au bras d'une petite balance, & exposée aux impressions de l'air, devient tantôt plus, tantôt moins pesante; c'est que l'humidité qui regne dans l'air, ajoute à son poids en certain temps, & qu'au contraire elle en sort, quand il fait plus sec. Cette explication est si naturelle & si bien reçue, que bien des personnes emploient ce moyen pour connoître l'humidité ou la sécheresse de l'air. On fait que le bois flotté est plus léger que le bois neuf, faudroit-il en conclure que la pesanteur varie? n'est-il pas visible que cette diminution de poids vient de ce qu'il a perdu une partie de sa substance? Au moins ne peut-on pas douter que l'eau ne lui

ait fait perdre une grande partie de ses sels ; car la lessive que l'on fait de sa cendre , en contient peu , & par cette raison elle est moins propre qu'une autre à blanchir le linge.

Si quelques expériences ont paru indiquer des changements dans le poids d'une même matière , nous ne devons donc point croire qu'elles puissent prouver , comme quelques personnes l'on cru , que la pesanteur varie par succession de temps ; il nous paroît plus vraisemblable que ceux qui les ont faites , auront été trompés par quelque défaut dans l'exécution , qui aura échappé à leur vigilance. Les poids des pendules , des horloges , des tournebroches , &c. sont des preuves d'expérience qu'on peut leur opposer , & qu'on ne peut révoquer en doute.

Mais si le temps n'apporte aucune variation à la pesanteur des corps , cette force ne change-t-elle pas selon les lieux ?

Lorsqu'on fait attention que le centre des corps graves est celui de la terre , on peut être porté à croire qu'à une distance plus ou moins grande de

ce terme, la pesanteur pourroit bien n'être pas la même. Mais quand, pour comparer cette force à elle-même, nous l'avons éprouvée aux plus grandes hauteurs & profondeurs qui nous soient accessibles, & que nous n'y apercevons aucune différence, il semble qu'il soit permis de croire qu'elle est uniforme par tout. Aussi l'a-t-on supposé avant qu'on eût trouvé des raisons pour croire le contraire.

Newton nous assure, (& Newton mérite qu'on l'écoute,) que cette puissance secrète qui sollicite les corps à tomber vers la terre, agit moins sur eux, quand ils en sont plus éloignés; il fait plus, il nous donne des regles pour évaluer cette diminution, & comme s'il eût porté la balance jusqu'aux Astres, il veut que l'on croie, qu'une pierre qui commenceroit à tomber de la Lune, ne feroit pas plus de chemin en une minute, qu'elle en fait ici bas en une seconde; c'est-à-dire, qu'à une telle hauteur, elle tomberoit 3600 fois plus lentement qu'elle ne fait aux environs de la surface de la terre.

S'il est étonnant que ce Philosophe ait osé prononcer ainsi sur des cho-

ses qui paroissent au-dessus des forces de l'esprit humain, on-doit être encore bien plus surpris qu'il ne les ait pas données comme des systêmes, mais qu'il ait appuyé tout ce qu'il a avancé, sur des preuves & sur des démonstrations (a). A la vérité, Newton n'a pas démontré que la force centripete de la Lune soit la même que celle des autres corps qui appartiennent à notre globe; mais il l'a supposé avec beaucoup de vraisemblance.

Comment donc peut-on savoir ce qui se passe à la Lune, pour en parler avec tant de hardiesse, & pour avoir encore l'avantage de se faire croire ?

C'est dans les ouvrages même de M. Newton, ou dans des extraits plus amples que ceux que nous pouvons nous permettre ici, qu'il faut étudier ses pensées & ses preuves. Ce qu'il a enseigné touchant la pesanteur des corps, est lié avec tout le systé-

(a) Quoique la théorie de M. Newton s'accorde bien avec la plupart des observations astronomiques, cependant on est obligé de convenir, par rapport à la Lune, que la loi suivant laquelle il fait diminuer la pesanteur, n'est pas recevable. Voyez ce qu'en dit M. Clairaut, *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1745.

## 144 LEÇONS DE PHYSIQUE

### VI. LEÇON.

me général du monde qu'il a plus heureusement concerté qu'aucun autre Philosophe ; & il est assez difficile de se former une idée bien juste de cette partie , quand on la sépare des autres avec lesquelles elle a une connexion nécessaire. Nous nous contenterons donc de faire seulement entrevoir ici , comment il est possible de juger de la pesanteur des corps à la hauteur de la Lune , par celle qu'ils ont ici-bas ; en supposant que la force centripète de la Lune n'est autre chose que cette gravité qui fait que tous les corps qui sont près de nous , tendent à descendre vers le centre de la terre.

Supposons que *T*, *Fig. 6.* représente la terre , *L* la Lune , *LQRS* l'orbite de cet astre , c'est-à-dire , la révolution qu'elle fait autour de la terre dans l'espace de près d'un mois. On connoît assez bien la distance qu'il y a de la terre à la Lune , c'est à-peu-près 60 fois le demi-diamètre du globe terrestre , voilà des quantités connues depuis long-temps , & sur lesquelles tout le monde est d'accord.

En parlant des forces centrales  
dans

dans la Leçon précédente, nous avons fait connoître qu'un corps qui circule, ne le fait qu'en conséquence d'une force qui le pousse, ou qui le tire toujours vers un même point, pendant qu'une autre force le sollicite à se mouvoir dans une autre direction. Lorsque nous voyons tourner la Lune autour de nous, nous pouvons donc conclure en toute sûreté qu'elle a une force centripète, ou, ce qui est la même chose, qu'elle pèse vers la terre.

Nous avons fait voir aussi en parlant du mouvement composé, que si un mobile obéit en même temps à deux puissances, comme  $LP$ ,  $LC$ , on connoît le rapport de ces deux puissances par la diagonale  $LQ$  que ce corps décrit.

Comme on fait le temps que la Lune est à parcourir tout son orbite, on connoît aussi celui qu'elle emploie pour en décrire une petite portion, comme  $LQ$  : & par-là on peut juger du chemin qu'elle auroit fait en pareil temps, si elle n'avoit obéi qu'à l'une des deux puissances. Si, par exemple,  $LQ$  est ce qu'elle parcourt

de son orbite en une heure, *LP* représente la quantité dont elle descendroit en une heure, si elle suivoit l'impulsion de la seule pesanteur.

C'est à-peu-près de cette manière que Newton est venu à bout de connoître qu'un corps grave, en commençant à tomber de la Lune, parcourroit à-peu-près 15 pieds dans l'espace d'une minute ; puis comparant cette vitesse à celle des corps qui obéissent ici bas à la pesanteur ; il la trouva 3600 fois moins grande ; car une pierre qui tomberoit librement pendant une minute, parcourroit 3600 fois 15 pieds, ou bien 54000 pieds : d'où il conclut que la pesanteur décroît comme le quarré de la distance augmente ; car 3600 est le quarré de 60, & la Lune est 60 fois plus éloignée du centre de la terre que les corps qui sont, comme nous, à la surface.

Si nous pouvions nous élever à des hauteurs assez considérables, ce seroit une chose bien curieuse de constater cette théorie par quelque expérience ; mais nos plus hautes montagnes ne sont pas suffisantes, & quand on les

supposeroit de deux lieues perpendiculaires au-dessus du terrain le plus bas où nous puissions descendre, on voit par le calcul que le décroissement de la pesanteur seroit encore insensible dans des chûtes directes & non retardées (a).

Si une distance plus ou moins grande des corps graves au centre de la terre, a pu faire reconnoître quelque variation dans leur pesanteur, la différence des climats devoit-elle faire naître de semblables soupçons? Dans un temps

---

VI.  
LEÇON.

(a) Lorsque j'écrivois ceci, nous ne jouissions point encore des connoissances acquises par les Académiciens envoyés au Pérou, pour les mesures relatives à la figure de notre globe. Feu M. Bouguer nous a appris dans son livre de la *Figure de la Terre*, publié en 1749, qu'ayant comparé par les oscillations d'un corps grave, les effets de la pesanteur au bord de la mer, avec ceux de cette même force mesurés sur le sommet du Pichincha, montagne dont la hauteur est de 3434 toises, il avoit trouvé que le pendule à secondes, devoit être plus court d'une demi-ligne & un peu plus, dans ce dernier lieu que dans le premier; ce qui marque une diminution de pesanteur dont ce Savant fait voir qu'on ne peut attribuer qu'une très-petite partie à la force centrifuge résultante d'une rotation plus rapide dans l'endroit le plus élevé de la terre.

N ij

---



---

 VI.  
LEÇON.

sur-tout où la figure de la terre étoit encore réputée sphérique, tous les lieux de sa surface ne devoient-ils point paroître indifférens pour cette tendance au centre ?

Dès qu'on a supposé que la terre se meut en 24 heures autour de son axe, on auroit pu faire attention, que toutes les parties de sa surface ne tournent pas également vite; celles qui sont sous l'Équateur, décrivant des cercles beaucoup plus grands que celles qui avoisinent les poles, comme nous l'avons fait voir en expliquant l'expérience du globe de verre dans la Leçon précédente \*. Cette considération conduisoit naturellement à penser que tous les corps qui sont à la surface de notre globe, participant à son mouvement, ont une force centrifuge; que cette force contraire à la pesanteur doit être plus grande vers l'Équateur que vers les poles; & qu'ainsi la pesanteur doit diminuer, à mesure qu'on est plus près de cette partie de la terre. Mais avant Descartes & M. Hughens il n'étoit guere question de forces centrifuges; & si Copernic, en proposant

\* 5. Exper  
Fig. 22. &  
2, 4

son hypothese , l'eût encore chargée de cette nouveauté , il y a bien de l'apparence que dans son temps elle n'eût pas été mieux reçue que le reste.

L'Académie des Sciences y pensa dès qu'elle fut formée ; & en 1672. elle recommanda cet objet à M. Richer , lorsqu'il alla, par ordre du Roi, à l'Isle de Cayenne , située à-peu-près à 5 degrés de latitude , pour des observations qu'on ne peut faire dans notre climat ; cela donna lieu à une découverte plus intéressante sans doute que toutes celles qu'on s'étoit proposées. M. Richer observa qu'un pendule qui battoit les secondes à Paris , mesuroit des temps plus longs dans le pays où il étoit.

Un pendule est un instrument composé d'un corps pesant , comme une balle de plomb , par exemple , qui décrit des arcs autour d'un point fixe , par le moyen d'un fil ou d'une verge mince qui le tient suspendu. Nous ferons voir dans la suite de cette Leçon , que son mouvement , que l'on nomme *oscillation* , est un effet de la pesanteur , & qu'il est plus ou moins prompt , selon que le fil de suspension

à plus ou moins de longueur.

M. Richer s'étant donc bien assuré que son pendule réglé à Paris pour battre les secondes, retardoit à la Cayenne, y remédia en le raccourcissant d'une quantité dont il tint un compte exact; & cette expérience répétée depuis par plusieurs bons Observateurs, & en dernier lieu par les Académiciens qui sont allés au Pérou, & par ceux qui ont fait le voyage du Nord, pour les mesures qui ont rapport à la figure de la terre, a toujours fait connoître que les corps tombent plus lentement vers l'Equateur qu'ailleurs. & que ce retardement diminue, à proportion que la latitude du lieu augmente.

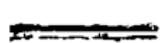
Fondé sur cette connoissance on a compté plus que jamais sur le mouvement journalier de la terre; & comme cette rotation, une fois admise, imprime aux parties du globe des forces centrifuges, qui ne sont point égales dans toute son étendue, on commença à former des doutes sur sa figure qui passoit pour sphérique dans l'opinion commune.

Tant que l'on a considéré la terre

comme immobile, il étoit vraisemblable qu'elle fût une sphere parfaite, parce que ses parties n'obéissant qu'à une pesanteur égale, devoient former autour du centre commun de leur gravité, des rayons ou des colonnes de même longueur, pour se mettre en équilibre. Mais si cette gravité primitive se trouve diminuée par une force contraire, & que cette diminution ne se fasse point en quantités égales dans toute l'étendue du globe, il n'est guere possible d'accorder l'équilibre de ses parties avec une figure parfaitement sphérique.

Soit *ADBE*, *Fig. 7.* une coupe diamétrale de la terre, au moment de la création, composée de parties également pesantes vers le point *C*, & assez fluides pour s'arranger en conséquence de cette pesanteur; il est certain que tous les rayons *AC*, *DC*, *FC*, &c. pour être en équilibre, doivent être de même longueur, & que toutes leurs extrémités seront rangées dans la circonférence d'un cercle.

Mais si l'on considère la terre comme ayant un mouvement de rotation



VI.  
LEÇON.

sur l'axe  $AB$ , l'équilibre ne peut plus subsister entre des rayons égaux : car alors la force centrifuge détruit une partie de la pesanteur, & cette diminution va toujours en augmentant du pôle à l'Equateur. Car le point  $D$  décrit en 24 heures un grand cercle, le point  $F$  dans le même temps parcourt un parallèle dont le diamètre est beaucoup plus petit, & le point  $A$  ne tourne point. La colonne  $CD$  pour être aussi pesante que  $CA$ , doit donc augmenter en longueur, & compenser par plus de matière ce que la force centrifuge diminue de sa gravité.

Le mouvement de rotation cause un semblable effet dans les autres parallèles ; mais cet effet va toujours en diminuant jusques aux pôles, par deux raisons ; 1°. parce que la vitesse du mouvement, & par conséquent la force centrifuge qui en résulte, diminue dans cette proportion ; 2°. parce que cette force, qui est directement contraire à la gravité sous l'Equateur, ne lui est qu'obliquement opposée par-tout ailleurs, comme il est aisé de le remarquer dans la figure ; car,

par exemple, à la latitude du point  $F$ , la pesanteur agit selon la direction  $FC$ , & la force centrifuge a sa tendance par  $FL$ .

Il suit donc de tout ceci, que si la terre tourne sur son axe, la pesanteur n'est point égale par-tout; la matiere qui compose ce globe, pour être en équilibre avec elle-même, doit s'élever de plus en plus depuis les poles jusqu'à l'Equateur, comme  $HIKG$ ; d'où il résulte que le diametre de son Equateur, est plus grand que son axe  $AB$ . Ceci devient sensible par l'exemple qui suit.

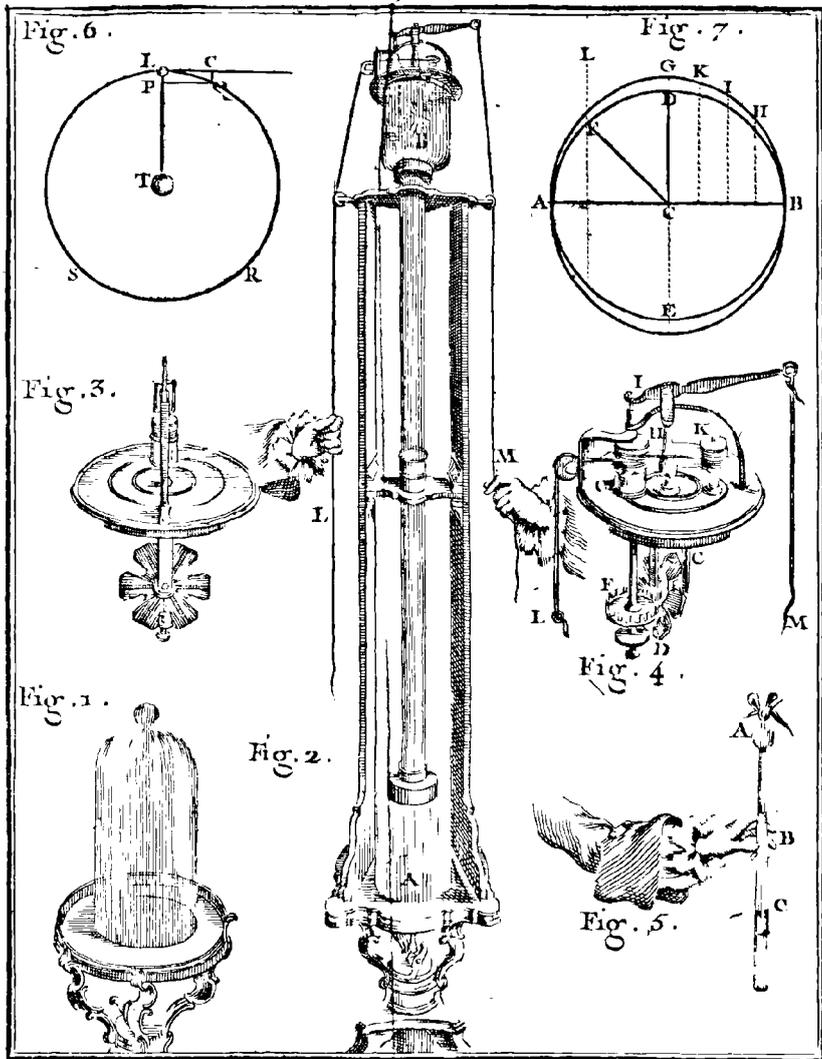
On emplit de paille d'avoine un sac de cuir de mouton, composé de 12 fuseaux semblables aux imprimés dont on couvre les globes qui représentent le ciel ou la terre; cette espece de sphere flexible est garnie à ses deux poles, de deux morceaux de bois percés qui glissent sur un axe de fer quarré, dont les deux extrémités sont arrondies comme deux pivots, & par le moyen d'une poulie fixée à l'une des deux, comme il paroît par la *Fig. 8.* on imprime à ce globe un mouvement de rotation, par le

## 154 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON.

moyen de la machine avec laquelle nous avons fait tourner le globe de verre, & que nous avons représentée par la *Fig. 22.* de la Leçon précédente. Ce mouvement lui fait perdre en peu de temps la figure sphérique, pour prendre celle d'un sphéroïde qui paroît sensiblement applati par les poles, & élevé à l'Equateur, plus qu'une sphéricité parfaite ne l'exige.

MM. Hughens & Newton, sans avoir recours à de pareilles expériences, qui auroient peu de poids dans une matiere qui exige tant de précision, fondés seulement sur les loix de la Statique & des forces centrales, avoient reconnu que la terre devoit être un sphéroïde applati vers les poles; ils avoient même poussé leurs calculs jusqu'à déterminer, de combien le diametre de l'Equateur excédoit l'axe en longueur. Mais comme cette décision tenoit à des hypothèses qui y laissoient encore de l'incertitude, le travail de ces deux grands hommes n'eut presque pas d'autre succès, que de fixer l'attention des Savants sur cette question, & d'en faire sentir l'importance.





Quand la théorie nous conduit à quelque découverte physique, il semble qu'il soit réservé à l'expérience d'y mettre le dernier sceau; mais quel moyen de faire des expériences sur la figure de la terre? Les plus décisives qu'on puisse faire, c'est de la mesurer actuellement en comparant ensemble les arcs d'un de ses méridiens, comme on a fait depuis.

Quoique l'histoire de ce qui s'est passé à ce sujet, soit des plus curieuses & des plus intéressantes, je m'abstiendrai de la rapporter, parce qu'elle n'est point nécessairement liée avec mon objet présent; elle est beaucoup mieux détaillée que je ne pourrois faire ici à cause des bornes que je me suis prescrites, dans plusieurs ouvrages très-récents, & sur-tout dans celui qui a été écrit exprès par M. de Maupertuis, qui a pris fort à cœur le succès de cette belle entreprise; je dirai seulement que les opérations faites au Nord par cet Académicien, & par MM. Clairaut, le Camus, le Monnier, l'Abbé Outhier & Celsius, ont déjà confirmé, quoiqu'avec quelques légères différences, la figure que

## 156 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON.

MM. HUGHENS & NEWTON avoient attribuée à la terre, & que les résultats des mesures prises au Pérou par MM. BOUGUER, LA CONDAMINE & GODIN s'accordent aussi à faire du globe terrestre un ellipsoïde dont l'axe est plus court que le diamètre de son Equateur. Voyez sur cela l'Ouvrage de M. BOUGUER. (a)

UNE autre question qui se présente maintenant, c'est de savoir si le poids d'un corps varie selon les différents états qu'il peut prendre ; si le mouvement, le repos, le froid, le chaud, la solidité, la fluidité, &c. peuvent le rendre plus ou moins pesant dans le même lieu ?

On peut répondre en général que le poids ou la pesanteur absolue d'un corps ne varie point, tant que sa quantité de matière est la même : une livre de plomb pèse toujours intrinséquement une livre, soit qu'on la tienne fondue ou solide, plus ou moins chaude, qu'elle se meuve ou non ; car lorsqu'elle a passé par tous ces états,

(a) La figure de la Terre déterminée par les observations faites au Pérou, &c. in-4°. Chez Jomber, 1749.

si elle n'a rien perdu de sa quantité de matière, on y retrouve constamment le même poids.

Mais si l'on considère la pesanteur comme la vitesse actuelle avec laquelle le corps grave se porte de haut-en-bas, il s'en faut bien qu'elle soit la même au commencement ou à la fin de la chute. Quelle que puisse être la cause de la gravité, il faut concevoir cette force comme si elle étoit placée dans le mobile même, sur lequel elle agit : à peu près comme le feu qui élève une fusée par l'inflammation successive des parties qu'elle contient ; de manière qu'elle agit sur un corps, pendant qu'il tombe, autant & de même à chaque instant, que s'il étoit arrêté ; ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, une balle de plomb qui a cédé à sa pesanteur pendant l'espace d'une seconde, a une vitesse actuelle plus grande, que celle qui ne seroit tombée que pendant une demi-seconde. Rendons ceci sensible par une expérience,



## IV. EXPÉRIENCE.

## P R E P A R A T I O N .

*AB*, Fig. 9. est une caisse plus longue que large, ouverte par-dessus, & dans laquelle glisse un tiroir rempli de terre molle. *AD*, & *BC*, sont deux colonnes cylindriques de 3 pieds &  $\frac{1}{2}$  de hauteur, divisées en pouces, & sur lesquelles on fait glisser une traverse mobile *EF*, qui s'arrête avec des vis, à telle hauteur que l'on souhaite. Au milieu de cette traverse est un trou, dans lequel on retient une boule d'ivoire d'un pouce de diamètre, par le moyen d'une pince à ressort *G*; la boule *H*, semblable à la précédente, est suspendue par un fil à la moitié de la distance entre la cuvette & la traverse mobile: & le fil de suspension est arrêté de manière que, quand on lâche la boule *G*, l'autre commence à tomber en même temps.

## E F F E T S .

Les deux boules ayant commencé à tomber en même temps, n'ache-

vent leur chute que l'une après l'autre; & la boule *H*, qui arrive la première sur la terre molle, y fait un enfoncement, qui est beaucoup moindre que celui de la boule *G* qui arrive après.

*EXPLICATIONS.*

L'enfoncement que chaque boule fait dans la terre molle, est le produit de son effort; cet effet exprime la force actuelle du mobile à la fin de sa chute; cette force ne peut venir que de sa masse & de son degré de vitesse: mais les masses sont égales; si les forces sont différentes, c'est donc que la boule *G*, en achevant de tomber, avoit plus de vitesse que la boule *H*.

V. EXPERIENCE.

*PREPARATION.*

Le tiroir de la machine que nous venons de décrire ci-dessus, ayant été tiré un peu en avant, afin qu'une nouvelle boule puisse tomber sur un endroit où la terre molle n'ait point été enfoncée; on arrête la traverse

---

 VI.  
 LEÇON.

mobile à un pied d'élévation au-dessus de la caisse, pour faire tomber une boule de cuivre qui pèse 3 onces; ensuite on élève la traverse à trois pieds, pour faire tomber sur une nouvelle place, une autre boule de cuivre, creuse, de même diamètre que la première, & qui ne pèse qu'une once.

## E F F E T S.

En comparant les deux enfoncements, on les trouve parfaitement égaux.

## E X P L I C A T I O N S.

Ce que l'expérience précédente n'a fait qu'indiquer en général, celle-ci le démontre avec plus de précision; car non-seulement elle fait connoître que la vitesse des corps qui tombent librement, s'augmente par une chute plus longue, mais elle nous donne la mesure de cet accroissement, en faisant connoître qu'il est proportionnel à la hauteur: c'est ce qui devroit être évident, quand on fait attention qu'une once de masse a produit le même effet que 3 onces, parce  
 que

que la hauteur de sa chute a été 3 fois plus grande.

*APPLICATIONS.*

Il n'y a pas de payfan qui ne sache, que la chute d'une pierre est d'autant plus à craindre qu'elle vient de plus haut, & que les corps fragiles courent plus de risque de se rompre en pareil cas. Ces faits sont trop connus pour mériter qu'on s'y arrête. Nous remarquerons seulement, que comme dans notre expérience une plus grande masse, venant d'une moindre hauteur, a produit le même effort qu'une moindre masse qui venoit de plus haut; on peut choisir entre ces deux moyens, lorsqu'il s'agit d'emprunter la puissance d'un mobile qui doit agir par sa chute: car il est souvent avantageux de pouvoir substituer du poids à une grande élévation.

Il n'est pas douteux, par exemple, que des marteaux employés à force de bras avec une vitesse suffisante, ne vinssent à bout d'enfoncer des pilotis, de forger des ancres, de battre le fer des mines dans les forges où on les prépare en grand, &c. mais il en

---



---

 VI.  
LEÇON.

coûte bien moins de dépense en faisant tomber d'une hauteur médiocre des masses très-pesantes, dont le mouvement est animé & réglé le plus souvent par la force de l'eau, ou par celle du vent.

Nous venons de voir en général que la chute des corps s'accélère dans tous les instants : voyons maintenant par des expériences quelle est la progression de cet accroissement de vitesse.

## VI. EXPÉRIENCE.

## P R E P A R A T I O N .

*AB* & *CD*, *Fig. 10.* sont deux cordes de métal ou de boyaux, d'environ 28 pieds de longueur, fortement & parallèlement tendues à quelques pouces de distance l'une de l'autre, & faisant avec l'horizon un angle d'environ 18 degrés ; *G* est un mobile qui glisse fort librement par le moyen de deux petits rouleaux sur la corde *AB*, & son centre de pesanteur est plus bas que la corde, afin que la pointe qui est à sa partie supérieure garde toujours la même

situation; *H* est un pendule un peu pesant qui se meut sur deux pivots *A, a*, & dont la verge excède un peu vers *f*. La longueur du pendule doit être telle qu'il fasse justement une vibration, pendant que le mobile *G* parcourt la neuvième partie de la corde *AB*; pour s'en assurer, il faut avoir une petite règle de bois, qui serve à mesurer la corde en neuf parties égales; & placer vis-à-vis la première de ces parties, & sur la corde *CD* un petit timbre *K*, dont le portant glisse & s'arrête avec une vis, à telle distance que l'on veut. Il doit aussi avoir un petit marteau, que le mobile *G* détende en passant. D'une autre part le pendule *H* fait sonner de même un autre timbre *I* dont le ton est différent; & la queue de la verge qui excède en *f*, fait lâcher en passant un petit fil de soie qui retient le mobile *G*; de sorte que quand tout est bien ajusté, le mobile *G* ne part que quand le pendule fait sonner son timbre *I* pour la première fois; & l'autre timbre *K* ne sonne son premier coup, que quand le pendule fait entendre le second coup du sien: ainsi entre le

O ij

premier & le second coup du timbre, il s'écoule un temps dont on a la mesure, & pareillement pendant ce temps le mobile parcourt un espace connu. On recule ensuite le timbre K jusqu'à ce que l'espace parcouru par le mobile G, soit fixé par le deuxième temps; c'est-à-dire, jusqu'à ce que le troisième coup du timbre I s'accorde avec celui du timbre K que l'on a reculé, & ainsi de suite. Et en mesurant les espaces parcourus, on les compare avec les temps.

## E F F E T S.

Pendant la première vibration du pendule, le mobile G parcourt la neuvième partie de la corde; s'il continue de se mouvoir de suite pendant le second temps, il parcourt trois fois autant d'espace, & dans le troisième, cinq fois; de sorte que la vitesse est accélérée, puisque dans des temps égaux il mesure des espaces qui vont en augmentant, & le progrès de cette accélération suit les nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9, &c. ce qui fait dire que les espaces parcourus, à commencer du premier instant de la chû-

te, répondent au quarré des temps : car à la fin du second temps on trouve pour le nombre des espaces, 4 qui est le quarré de 2; & à la fin du troisieme, 9 qui est le quarré de 3.

EXPLICATIONS.

Si la pesanteur étoit une force externe une fois imprimée extérieurement, c'est-à-dire, que son action sur le mobile qu'elle anime, fût semblable à un coup de marteau qui produit dans le premier choc tout ce qu'il peut faire; la vitesse du corps grave seroit toujours égale & uniforme (abstraction faite des obstacles étrangers.) Car pourquoi changeroit-elle, si rien ne la diminueoit, & si la puissance qui l'a fait naître, ne continuoit d'agir? Mais la pesanteur, comme nous l'avons déjà dit, est une force qui suit le mobile, & qui répète sur lui ses impulsions à chaque instant. La vitesse d'un corps qui tombe, n'est donc pas seulement celle qu'il avoit en commençant à descendre, mais la somme de celles qu'il a acquises, pendant tout le temps de sa chute.

Quand le mobile G de notre expé-

---



---

 VI.  
LEÇON.

rience parcourt l'espace  $AI$ , c'est la pesanteur qui le fait descendre; par conséquent si l'on subdivise le temps qu'il emploie pour faire ce chemin, on doit concevoir qu'à chaque instant il a reçu une nouvelle vitesse, & que quand il est arrivé au chiffre 1, sa vitesse actuelle est plus grande que lorsqu'il est parti du point  $A$ .

Pour savoir précisément ce que vaut cette augmentation, supposons que la ligne  $AB$ , *Fig. 11.* représente ce premier temps divisé en 6 instants égaux; & exprimons les petits espaces parcourus pendant ces instants, par autant de lignes perpendiculaires à  $AB$ . Si dans le premier instant, la pesanteur fait parcourir au mobile un espace égal à  $cc$ , celui qu'il parcourra pendant l'instant suivant  $dd$ , fera double, parce que l'impulsion du second instant, se joignant à celle du premier qui subsiste toujours, doublera la vitesse, & ainsi de suite: l'inspection seule de la figure suffit, pour faire comprendre, que les vitesses acquises sont comme le nombre des instants.

Imaginons maintenant qu'au com-

mencement du second temps exprimé par  $BC$  égale à  $AB$ , la pesanteur cesse d'agir sur le mobile, il continuera de descendre sans accélération, en parcourant autant d'espaces semblables à  $BD$  qu'il y a dans  $BC$  de parties égales à celles du premier temps  $AB$ . Mais la somme de ces lignes est double de celles du premier temps, comme il est facile de le voir en partageant le quarré  $BDCE$  en deux triangles; il est donc démontré, que le mobile, en vertu des vîteses acquises pendant le premier temps, est en état de parcourir un espace double de celui qu'il a parcouru. Ainsi quand le mobile  $G$  de notre expérience est parvenu à la fin du premier espace, quand bien même il n'acqueroit plus de nouvelles vîteses, pendant la seconde vibration du pendule, il s'avanceroit jusqu'au chiffre 3.

Mais si la pesanteur continue d'agir, elle doit produire pendant le second temps autant d'effet que pendant le premier. Si l'on ajoute donc sur le côté  $DE$  qui représente un temps égal à  $AB$ , des lignes dont le nombre &

---

VI.  
LEÇON.

## 168 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON.

la longueur soient semblables aux premières  $cc$ ,  $dd$ , &c. on aura, pour les espaces parcourus dans le second temps, les trois triangles  $BCD$ ,  $CDE$ , &  $DEF$ , dont la somme égale trois fois  $ABD$ .

De même quand le mobile  $G$  part du point  $1$ , il est en état de parcourir dans le second temps deux espaces, en vertu des vitesses acquises pendant le premier temps, & un troisième, en conséquence de la nouvelle impulsion qu'il reçoit à chaque temps, & de cette manière il parvient au chiffre 4.

La même chose se passe pour tous les autres temps; & pour peu qu'on y fasse attention, on voit que le quatrième, neuvième, seizième espaces parcourus, répondent au deuxième, troisième, quatrième temps, & que les quantités qui appartiennent à chaque temps, prises séparément, sont entr'elles comme les chiffres 1, 3, 5, 7, &c.

Il suit de-là qu'un corps qui est tombé d'une certaine hauteur, se trouve avoir à la fin de sa chute, un degré de vitesse, tel qu'il lui faudroit  
pour

pour remonter aussi haut, si quelque cause changeoit sa direction. Et s'il remonte en effet avec sa vitesse acquise, son mouvement est retardé en montant, comme il a été accéléré en descendant.

Car supposons, par exemple, que le corps *A*, *Fig. 12.* soit arrivé en *B* par une vitesse accélérée, c'est-à-dire, en parcourant dans le premier temps l'espace 1, & dans le second, l'espace 2, trois fois plus grand; s'il remontoit en vertu de la vitesse actuelle qu'il a, & que la pesanteur cessât d'agir sur lui, il monteroit dans le premier temps de *B* en *A*.

Mais si la pesanteur vient à retarder ce mouvement, elle agira sur le mobile qui monte, comme sur celui qui descend; elle lui donnera de haut en-bas, une tendance capable de le faire descendre de la quatrième partie de *AB*. Ainsi au lieu de remonter jusqu'en *A*, il n'arrivera que en *C*; & dans le temps suivant, la même tendance qu'elle continue de lui donner, étant trois fois plus grande, il ne fera, en montant, que la troisième partie de ce qu'il a fait dans le premier

## 170 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON. temps ; il arrivera donc en *A* en deux temps : & les espaces qu'il parcourra seront 3 & 1. D'où l'on voit que la vitesse d'un corps qui remonte, est retardée par la pesanteur selon la progression des nombres impairs 1, 3, 5, 7, &c.

### APPLICATIONS.

Ce que nous venons d'enseigner par l'expérience précédente, touchant l'accélération des corps graves, & touchant les loix de cette accélération, se trouve exactement vrai dans la spéculation : dans la pratique même, les différences ne sont point sensibles, quand on n'examine que des chûtes peu considérables, telles que celles que nous avons employées. Mais si l'on applique cette théorie aux effets naturels, lorsqu'il s'agit de grandes hauteurs, elle n'a pas lieu dans toute son étendue à cause de la résistance des milieux ou des autres obstacles qui peuvent retarder la vitesse des corps qui tombent. Nous en avons déjà donné des preuves par la seconde expérience, & nous en avons cité

d'autres qui ont été faites en grand, tant en Italie qu'en France & en Angleterre. En 4 secondes  $\frac{1}{4}$  (a) une boule de plomb tombe de la hauteur de 272 pieds; \* selon la loi de l'accélération que nous venons détablir, en comptant 16 pieds (b) de chute pour la première seconde, & sans avoir égard à aucune résistance étrangère, ce mobile devroit en parcourir 289; c'est donc 17 pieds que la résistance de l'air retranche en pareil cas, du produit de son accélération.

Cette diminution seroit encore plus considérable, si la boule, au lieu d'être de plomb, étoit de bois, ou de quelque matière encore plus légère.

(a) Dans le texte des Transactions on lit 4 secondes  $\frac{1}{2}$ : j'en ôte  $\frac{1}{4}$  de seconde, parce que l'on comptoit l'instant de la chute par le coup que l'on entendoit d'un lieu élevé de 272 pieds, & nous ferons voir ailleurs que le bruit ou le son emploie environ  $\frac{1}{4}$  de seconde pour faire ce trajet.

(b) J'ai dit ci-dessus qu'un corps grave tombe d'environ 15 pieds pendant la première seconde de sa chute libre: mais l'expérience dont il s'agit ici, ayant été faite à Londres, on doit compter sur 16 pieds; parce que 15 pieds de France équivalent à-peu-près à 16 pieds d'Angleterre.

---

VI.  
LEÇON.

\* *Transact.*  
*Philosoph. n.*  
*562. art. 4.*

VI.

LEÇON.

Car nous avons déjà fait voir que la résistance du milieu retarde d'autant plus le mouvement des corps, qu'ils ont plus de volume & moins de masse, & l'on voit aussi par les expériences de M. Desaguilliers que nous avons déjà citées, qu'une boule de carton de 5 pouces de diamètre employa 6 secondes  $\frac{1}{2}$  pour tomber d'aussi haut que la boule de plomb : au lieu qu'une chute de cette durée auroit dû produire 676 pieds, c'est-à-dire, 404 de plus qu'elle n'a fait.

La chute des corps ne diffère des autres mouvements que par sa direction ; la résistance des milieux s'y fait donc appercevoir de même ; c'est-à-dire, qu'il faut avoir égard non-seulement au volume du mobile relativement à son poids, mais encore à son degré de vitesse, & à la densité du fluide dans lequel il fait sa chute.

Car il faut plus de force ou de temps pour déplacer de l'eau, que de l'air en pareille quantité. Il arrive de-là que quand un corps a acquis par son accélération un certain degré de vitesse, qui le met en équilibre avec la résistance actuelle du milieu, il con-

tinue de s'y mouvoir uniformément.

Les corps qui tombent, arrivent plutôt ou plus tard à ce mouvement uniforme, selon la densité des milieux qu'ils traversent, ou selon qu'ils ont plus ou moins de volume avec la même masse. C'est pourquoi si l'on jette par une fenêtre des corps de différents poids, comme des fragments de papier, de bois, de pierre, on peut remarquer que les premiers, après avoir accéléré dans l'espace de 12 ou 15 pieds, tombent ensuite d'un mouvement sensiblement égal; la grêle tombe plus vite que la pluie, & la pluie plus vite que la neige par la même raison. Sans ces retardements l'eau du Ciel qui fertilise la terre, & dont la nature dispose selon nos besoins, désoleroit continuellement nos campagnes & nos habitations; & la plus petite grêle, par l'extrême vitesse de sa chute, seroit un fardeau à craindre pour nos têtes.

Ce que la résistance des milieux retranche de l'accélération de la pesanteur dans les corps qui descendent, elle l'ajoute à son retardement dans les corps qui se meuvent de bas

P iij

---

VI.  
LEÇON.

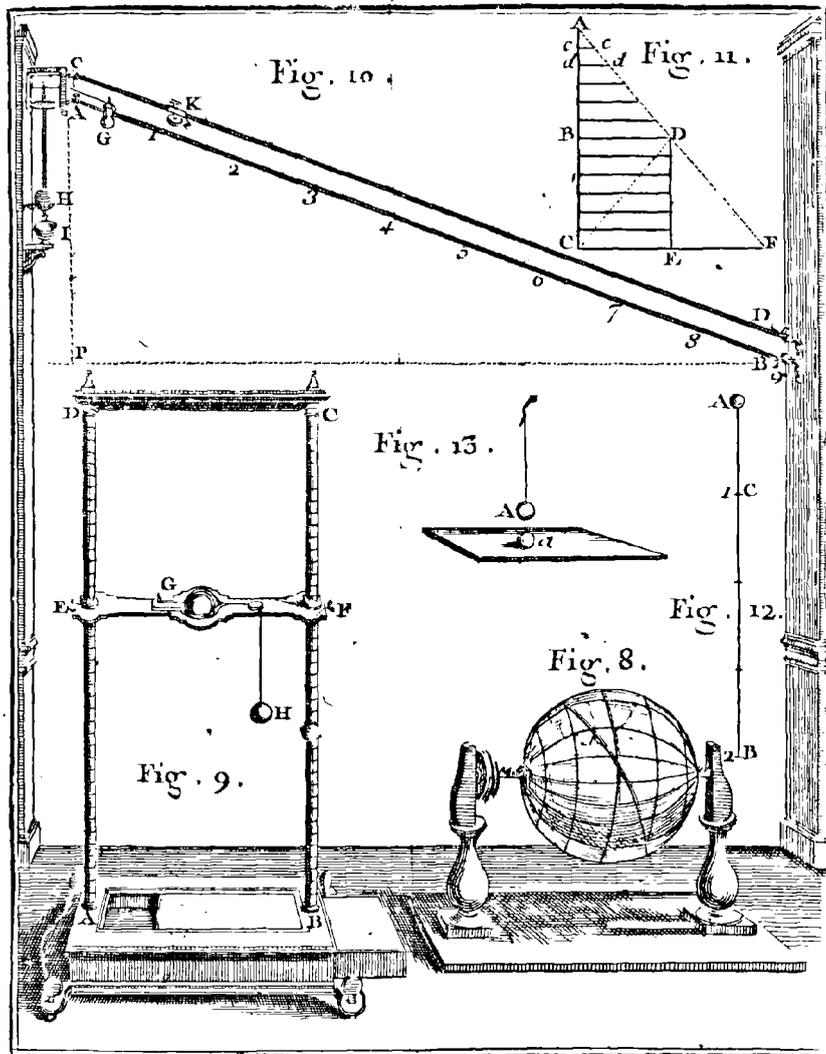
en haut. Ainsi le corps *B*, *Fig. 12*, qui, en vertu de sa vitesse acquise, pourroit remonter jusqu'au point *A* d'où il est descendu, s'arrêtera plus bas à cause du milieu qui lui résiste, & qui détruit une partie de son mouvement. Quand on laisse tomber une balle d'ivoire sur un marbre, ces deux corps fussent-ils d'une élasticité parfaite, il ne faudroit pas s'attendre que la balle remontât jusqu'au lieu de son départ; l'expérience est tout-à-fait d'accord avec cette théorie.

---

## II. SECTION.

*Des Phénomènes où le mouvement est composé de la pesanteur & de quelque autre puissance.*

SI l'on se rappelle ici ce que nous avons dit du mouvement composé, on n'aura plus que des applications à faire des principes généraux que nous avons établis; car la pesanteur est une puissance dont la direction & l'intensité sont connues par ce que nous ve-





nons d'enseigner. Si l'on connoît les autres forces qui contribuent avec elle au mouvement d'un corps, les différents effets qui peuvent en résulter, seront toujours conformes aux loix du mouvement composé, que nous avons établies dans la Leçon précédente. Parcourons les cas les plus généraux & les plus intéressants.

Quand un corps n'obéit pas pleinement à sa pesanteur, tant pour la direction que pour l'intensité, c'est qu'il est retenu par quelque obstacle, ou sollicité par quelque force qui agit directement ou indirectement contre cette première puissance.

Si l'obstacle est directement opposé à la pesanteur, & qu'il soit invincible, comme le fil qui suspend la boule *A*, *Fig. 13.* ou bien le plan horizontal qui l'empêche de passer outre; c'est un mobile qui se trouve entre deux puissances égales opposées dans la même ligne, savoir, l'action de sa gravité, & la réaction du point fixe auquel il est suspendu, ou du plan sur lequel il repose; & nous avons dit qu'en pareil cas, le mobile

reste en repos. Ou bien si l'obstacle peut céder à la pesanteur, c'est le cas de deux forces dont l'une obéit suivant l'avantage que l'autre a sur elle; le mouvement demeure simple, mais seulement retardé, comme il arrive, quand les corps graves tombent par des milieux résistants.

Les corps graves à qui les obstacles ne cèdent qu'insensiblement comme le poids d'une horloge, d'un tourne-broche, &c. ne laissent appercevoir aucune accélération dans leur chute, parce que dans ces sortes de machines le mouvement est modéré par des moyens qui à chaque instant ramènent le mobile à sa vitesse initiale, c'est-à-dire, à ce degré de vitesse infiniment petit, avec lequel il commenceroit à tomber, s'il étoit libre.

Pour concevoir comment un corps peut tomber long-temps, & de suite, sans accélérer son mouvement, qu'on se représente une boule qui tombe par un escalier dont les marches sont un peu larges, & de manière qu'en tombant de la première sur la seconde, elle n'acquiert que la vitesse nécessaire pour gagner le bord en roulant,

& pour tomber sur la troisième, & ainsi des autres ; il est évident qu'à la centième marche sa chute sera semblable à celle qu'elle a faite à la première, parce que, comme on le suppose, chaque fois qu'elle a roulé horizontalement, elle a perdu la vitesse qu'elle avoit acquise par la chute précédente. Il arrive à peu près la même chose, quoique moins sensiblement, au poids d'une pendule, quand une dent du rochet échappe aux palettes, la fusée tourne un peu, la corde file d'autant, & le poids fait une petite chute que les yeux n'aperçoivent pas, à cause de son peu de durée, mais qui est pourtant plus prompte à la fin qu'au commencement ; la résistance qu'éprouve la dent suivante, jusqu'à ce qu'elle échappe, consume bien-tôt cette petite augmentation de vitesse, & la seconde chute se fait comme la première, c'est-à-dire, comme si le mobile partoit du repos.

Si quelque chose oblige un corps grave à descendre par une ligne oblique à l'horizon, ou c'est un obstacle dont la réaction se proportionne aux

efforts de la pesanteur, comme un plan incliné, ou un fil qui tient le mobile suspendu; ou bien c'est une force active qui a sa mesure déterminée, comme l'effort du bras qui jette une pierre, ou celui de la poudre enflammée qui fait partir une balle de mousquet. Examinons en détail ces deux cas dans les Articles suivants.

## ARTICLE PREMIER.

*De la chute des Corps par des plans inclinés.*

LE plan incliné dont il est ici question, est celui qui n'est ni vertical comme  $ap$ , Fig. 14. ni horizontal comme  $pC$ , mais qui, comme la ligne  $aC$ , forme un triangle avec les deux premières lignes.

Le plan incliné l'est d'autant moins qu'il s'éleve davantage au-dessus du plan horizontal; ou, ce qui revient au même, que la ligne  $ap$  est plus longue par rapport à  $pC$ . Ainsi le plan  $aC$ , est plus incliné que  $aD$ .

Quand un mobile descend par un plan incliné, c'est la même chose qu'il soit soutenu par un plan solide dont

l'inclinaison soit constante, ou qu'il soit toujours proportionnellement tiré par une puissance dont la direction fasse à tous les instants un angle semblable avec celle de la pesanteur, comme  $FA$ , ou  $fa$ .

Un corps grave qui est obligé de descendre ainsi par une ligne oblique à l'horizon, doit être considéré comme obéissant à deux forces dont les directions sont différentes, & son mouvement doit se composer selon les loix que nous avons établies dans la Leçon précédente : les effets que nous avons à examiner ici, n'en sont que des applications & des exemples.

Supposons donc que  $AP$  représente la pesanteur, c'est-à-dire, l'espace que parcourroit le mobile  $A$  dans le premier temps de sa chute, s'il tomboit librement ; & que  $AF$  soit une autre puissance qui le tire en avant & obliquement : en formant sur ces deux premiers côtés le parallélogramme  $PAFa$ , comme nous l'avons enseigné, la petite diagonale  $Aa$  donnera & la direction & la quantité du mouvement composé. Ainsi l'on voit qu'à la fin du premier temps

le mobile sera en  $a$ , c'est-à-dire, beaucoup moins bas qu'il ne seroit, s'il n'avoit suivi que l'impulsion de la pesanteur.

Si l'on veut savoir quel sera le produit du second temps, il faut représenter les deux puissances par des lignes trois fois plus longues; car la pesanteur qui auroit fait tomber le mobile par  $AP$  dans le premier temps, lui auroit fait parcourir  $ap$  trois fois plus long dans un pareil temps pris de suite.

Cette augmentation de puissances, si leurs directions ne changent point de rapport, donnera pour le second temps la diagonale  $ab$ , trois fois plus longue que  $Aa$ , & dans le même alignement: & si l'on continue la même opération, on aura enfin par la suite de ces diagonales le plan incliné  $AC$ .

Si l'on change la direction de la puissance qui fait obstacle à la pesanteur, & qu'elle devienne comme  $ca$ , ou  $da$ , le parallélogramme change, & par conséquent la diagonale qui exprime le mouvement composé. Le mobile, au lieu de descendre par

$ab$ , tombera par  $ag$  ou  $ah$ , de sorte que si ce changement de direction alloit jusqu'à faire agir l'obstacle perpendiculairement au penchant de la pesanteur, comme  $ea$ , alors la chute du mobile ne seroit nullement retardée, au lieu qu'elle le seroit totalement si la résistance se faisoit dans un sens directement contraire comme  $ia$ , ce qui n'a pas besoin d'être expliqué.

De ces principes il suit, 1°. qu'un corps ne tombe jamais aussi vite par un plan incliné, que par la ligne verticale, qui est sa direction naturelle. Car au lieu de parcourir  $AP$  dans le premier temps, on voit qu'il ne descend que de la quantité  $Ak$ ; & aucun des points  $bgh$  n'est aussi bas que  $p$ .

2°. Que plus le plan est incliné à l'horizon; plus la chute est retardée: car en descendant par le plan  $aC$ , le mobile ne parcourt que la ligne  $ab$ , dans le temps qu'il parcourroit la ligne  $ag$ , s'il descendoit par le plan  $aD$  moins incliné; & si le plan étoit tout à-fait horizontal, c'est-à-dire, directement opposé à la pesanteur, la

---

chûte du mobile seroit absolument nulle.

VI.  
LEÇON.

3°. Que la pesanteur, quoique retardée, accélère la chûte des corps suivant les mêmes loix & les mêmes proportions, que la pesanteur qui agit seule & avec liberté. Car on voit que la ligne  $ab$ , produit du second temps, est trois fois plus grande que  $Aa$ , produit du premier. Cette différence est semblable à celle des lignes  $Ap$  &  $ap$  qui expriment des chûtes libres.

4°. Que l'on peut comparer la vitesse d'un mobile qui descend par un plan incliné, à celle du même corps, qui tomberoit librement par la ligne verticale, ou les degrés de vitesse de deux corps qui parcourent des plans différemment inclinés; puisqu'on fait la quantité de la chûte pour chaque instant pris de suite, comme  $Aa$ ,  $ab$ , sur un plan dont on connoît l'inclinaison, & la différence de ces quantités sur différents plans, comme  $ab$ ,  $ag$ , en temps égaux. Ainsi en prenant pour terme de comparaison le temps que le mobile mettroit à tomber perpendiculairement de la hau-

teur du plan  $ap$ , on trouve que la durée de sa chute par le plan incliné, est plus longue de la même quantité dont le plan  $aC$  ou  $aD$ , excède en longueur la ligne  $ap$ . Rendons ceci sensible par une expérience,

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut disposer les cordes de la *Figure 10.* de maniere qu'elles forment un plan incliné  $AB$  qui ait deux fois autant de longueur que de hauteur, & ajuster le pendule de maniere qu'il fasse une vibration pendant qu'une balle d'ivoire tombe de la hauteur  $AP$ , si le mobile  $G$  part en même temps que cette balle.

EFFETS.

Il n'arrivera au bout du plan incliné qu'à la fin du second temps; c'est-à-dire, que la durée de sa chute est à celle de la balle d'ivoire, comme la longueur du plan incliné qu'il parcourt, est à sa hauteur ( $a$ ).

( $a$ ) Comme les cordes, quelque tendues qu'elles soient, ne forment point des plans d'une in-

## 184 LEÇONS DE PHYSIQUE

VI.  
LEÇON.

Si l'on conçoit  $ap$ , *Fig. 14.* hauteur du plan incliné comme le diamètre d'un cercle, & que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chute perpendiculaire dans un temps donné, la demi-circonférence de ce cercle passera par l'extrémité de toutes les chûtes obliques  $b$ ,  $g h$ ; cette méthode une fois connue, est plus simple pour savoir tout d'un coup le rapport de la chute oblique  $ML$ ,  $MN$ , &c. *Fig. 15.* avec la chute perpendiculaire  $MP$ . C'est une abbréviation de la règle que nous avons donnée d'abord, & elle suffit, quand on connoît l'inclinaison du plan.

Il suit de-là cette proposition générale : *Qu'un corps emploie pour descendre obliquement par la corde quelconque d'un cercle, autant de temps qu'il lui en faudroit pour tomber par le diamètre entier de ce même cercle posé verticalement.*

Cela est démontré pour les cordes qui partent du point  $M$ , *Fig. 15.* par

inclinaison constante, sous un corps grave qui les parcourt, à cause de leur flexibilité, on ne doit pas s'attendre que cette expérience soit exacte à la rigueur.

ce

ce qui a été dit touchant  $ab$ ,  $ag$ , *Fig. 14.* &c. & la même preuve vaut pour  $OP$ ,  $QP$ , & semblables, puisqu'étant parallèles à  $ML$ ,  $MN$ , &c. elles leur sont égales en longueur & en inclinaison : une expérience rendra cette démonstration plus facile à saisir.

## II. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

La machine qui est représentée par la *Figure 16.* est un grand cercle, dont le diamètre qui a environ 3 pieds  $\frac{1}{2}$ , est terminé par deux trous qui reçoivent successivement une alidade  $BC$  creusée en forme de gouttière, & qui tournant sur le point  $A$  & sur le point  $B$  alternativement, peut mesurer toutes les cordes du cercle. Il faut avoir deux balles de cuivre ou de plomb qui aient environ 6 lignes de diamètre, dont l'une se place en  $A$ , sous une petite pince à ressort  $D$ , qui ne la laisse tomber que quand on tire le fil de la détente. Quand on veut disposer l'autre balle, pour descendre par une corde qui tende au point  $B$ ,

VI.

LEÇON.

on y place le centre de l'alidade, &c. l'on met la balle sous une pince semblable à la première, retenue par une bride qui glisse, & qui s'arrête où l'on veut par le moyen d'une vis *E*. Cette même bride porte par derrière une espèce de coq qui embrasse la circonférence du grand cercle, & qui sert à fixer l'alidade à tel degré d'inclinaison que l'on souhaite. Lorsqu'on veut faire descendre la seconde balle par une corde venant du point *A*, il faut y placer l'alidade, & une balle dans la gouttière précisément au centre du mouvement, de manière qu'on l'aperçoive par le trou *A*. On met dans cet œil un petit cylindre de bois qui s'y meut avec liberté, & sur lequel on pose l'autre balle que l'on retient avec la pince à ressort, & alors la même pression fixe les deux balles à cause de l'interposition du petit cylindre. Un curseur qui glisse sur l'alidade, termine la gouttière à l'endroit où finit la corde que l'on mesure.

*E F F E T S.*

L'alidade étant placée comme *BC*,

dès qu'on tire le fil qui tient aux deux détentes, les deux balles tombent en même temps, & se rencontrent en *B*; & cet effet ne varie point, quoique la corde du cercle devienne plus longue ou plus courte, par le changement d'inclinaison de l'alidade; de même si l'alidade est placée en *A*, les deux balles arrivent en même temps l'une en *B*, l'autre en *F*, à quelque distance que *F* soit du point *A* dans la circonférence du cercle, ce qui s'apperoit, parce que la balle qui frappe l'obstacle qui est dans la gouttière, & celle qui touche le point *B*, ne font entendre qu'un même coup.

*EXPLICATIONS.*

Ce que nous avons dit ci-dessus, nous dispenseroit d'expliquer cette expérience, si l'on s'est donné la peine de suivre les démonstrations; mais si l'on se contente de savoir en général, pourquoi en pareil cas un mobile met autant de temps à faire un court chemin qu'un plus long (ce qui semble un paradoxe,) il faut faire attention qu'un corps grave en tombant,

Q ij

ne fait jamais plus de chemin que quand il descend perpendiculairement à l'horizon ; qu'il n'en fait au contraire jamais moins que lorsqu'il est sur un plan presqu'horizontal ; puisque si l'alidade étoit disposée comme *Be*, ou *Af*, la balle ne descendroit point du tout : & qu'ainsi les lignes décrites par sa chute dans un temps fixe, doivent être d'autant plus courtes qu'elles sont plus inclinées à l'horizon, ou (ce qui est la même chose,) qu'elles s'écartent plus de la direction verticale.

#### A P P L I C A T I O N S.

Puisque le plan incliné est toujours plus long que le plan vertical à hauteur égale, il est aisé de voir qu'un escalier, une rampe douce, une échelle dressée obliquement, ne mènent point à une certaine élévation, par la route la plus courte. Cependant tous les jours on choisit ces moyens par préférence à ceux qui pourroient faire gagner du temps. Quand il s'agit, par exemple, d'arriver en voiture à quelque endroit fort élevé, ou de faire monter de grands

fardeaux, comme des tonneaux de vin qu'on tire d'une cave, ou des blocs de marbre que l'on mène du bateau sur le port, &c. c'est presque toujours par des plans inclinés, qui exigent plus de temps qu'une ascension plus directe. Il y a donc une raison qui détermine à employer plus de temps ou à faire plus de chemin; car naturellement les moyens les plus prompts sont ceux que l'on aime le mieux. Oui sans doute; si le plan incliné retarde la vitesse des corps qui descendent, il faut moins d'effort pour arrêter leur chute; & quand ils sont ainsi soutenus, leur poids est toujours plus facile à vaincre, soit qu'on veuille les tenir en repos, soit qu'on se propose de les transporter de bas en haut. Quand on choisit de pareils plans pour élever les corps, ou pour ralentir leur chute, le temps qu'on emploie de plus, est donc moins une perte, qu'un échange de la vitesse en force; la liberté de choisir entre l'une & l'autre est d'un grand avantage dans les mécaniques. Nous pourrions examiner ici quel rapport il y a entre la vitesse que

l'on perd, & la quantité de force qu'on est dispensé d'employer sur un mobile, quand on le fait descendre ou monter par un plan incliné; mais c'est une question qui trouvera naturellement sa place, lorsque nous traiterons des machines qui servent à employer le mouvement.

Si la vitesse actuelle d'un corps qui descend par un plan incliné, est toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement, il est vrai de dire qu'à chaque point de sa chute oblique, la vitesse acquise est égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable: toute la différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vitesse par un mouvement oblique, que par un mouvement direct à l'horizon.

Quand le mobile *A*, *Fig. 17.* est en *a*, il a donc la même vitesse qu'il auroit, s'il étoit tombé directement d'*A* en *a*, ou d'*M* en *1*; quand il est en *b*, comme s'il venoit de *B*, par une ligne qui est égale à *M2*; & à la fin de la chute par *Aa*, *ab*, *b3*,

la somme de ces vitesses acquises est égale à celle que lui auroit procurée une chute verticale par  $M_3$ ; ce qui vient de ce que la hauteur verticale de cette dernière chute est égale à celle des trois premières prises ensemble, & que l'accélération par le plan incliné est proportionnelle à celle d'une chute verticale & libre.

Or nous avons dit que la chute accélérée donne au mobile une force capable de le faire remonter aussi haut que le lieu d'où il est descendu : & comme cette accélération suit les mêmes loix dans la chute oblique, comme dans la chute perpendiculaire à l'horizon, cette proposition que nous n'avons fait qu'énoncer, sera prouvée, si nous faisons voir, par des expériences, qu'un corps remonte autant qu'il a descendu, dans quelque direction que se fassent sa chute & son ascension. Mais afin de tout prouver en même temps, il faut dire un mot de la descente des corps gravés par les courbes.

Nous avons déjà dit ailleurs qu'une ligne courbe doit être considérée comme un assemblage de petites li-

---

 VI.  
 LEÇON.

gnes droites contiguës, & inclinées les unes aux autres ; on peut donc regarder aussi le mobile qui descend, ou qui remonte par une courbe, comme parcourant plusieurs petits plans inclinés entr'eux ; & en appliquant successivement à toutes ces parties diversement inclinées, tout ce que nous avons dit d'un seul plan dont l'inclinaison seroit uniforme, il sera aisé d'appercevoir la cause des variations que les différentes courbures font naître, dans le mouvement des corps graves, soit de haut en bas, soit de bas en haut.

Pour bien entendre ceci, supposez que le quart de cercle *AED*, Fig. 18. soit composé de 4 lignes droites : le mobile en les parcourant sera soutenu sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera plus du terme de sa chute *D*, & il est évident, après tout ce que nous avons dit ci-dessus, que si l'effet de la pesanteur étoit uniforme, il mettroit beaucoup moins de temps à parcourir la partie *AB*, que *EC*, ou *CD*, parce que cette première ligne s'écarte bien moins que les autres de la direction verticale.

verticale. Mais à cause de l'accélération, si le mobile se trouve de  $C$  en  $E$ , sur un plan plus incliné, il a aussi plus de vîteses acquises; & comme cette vîtesse actuelle du mobile au point  $C$ , dépend des vîteses particulières que l'inc'inaison des autres parties lui a permis de prendre, il y a telle courbe où ces premières parties plus approchantes de la direction verticale, rendent le commencement de la chute plus prompt, & la chute entière d'une moindre durée: telle est, par exemple, la ligne  $EGH$ , *Fig. 19.* que l'on nomme *cycloïde*, courbe fameuse en Géométrie par le grand nombre & l'importance de ses propriétés, & en mécanique par l'usage que  $M. \text{Hughens}$  en fit, lorsqu'il appliqua les vibrations du pendule aux horloges.

Un mobile ne tombe donc pas aussi vite par un arc de cercle que par un arc de cycloïde de même hauteur, *Fig. 19* parce que le commencement de la courbure dans la première de ces deux lignes, s'écarte davantage de la direction verticale que dans l'autre: & que les retardements causés sur

la fin par l'inclinaison du plan, ne sont pas suffisamment compensés par les vitesses précédemment acquises. C'est par cette raison qu'on explique un effet qui paroît encore plus singulier : c'est que la chute qui se fait par la corde qui mesure l'arc du cercle comme *HI*, quoique plus courte, est cependant moins prompte ; ce qui est contraire au préjugé où l'on est que le chemin le plus court est toujours celui qui demande le moins de temps.

Il est temps maintenant de prouver que les corps remontent à la même hauteur d'où ils sont descendus, quelque direction qu'ils aient eue en tombant, & par quelque espece de ligne qu'on les conduise en remontant.

### III. EXPERIENCE.

#### P R É P A R A T I O N .

Au centre du grand cercle de la machine que nous avons employée dans l'expérience précédente, on attache un pendule fait d'un fil de soie & d'une balle de plomb qui peut avoir 7 ou 8 lignes de diametre, &

l'on calle le pied avec les vis, de maniere que le fil du pendule en repos soit parallele a la ligne *AB*. Il faut avoir 2 aiguilles de fer qui se fixent perpendiculairement au plan du cercle, l'une aux points *c* & *d*, *Fig. 20.* & l'autre aux points *e, f, g*, successivement.

*E F F E T S.*

Quand on laisse tomber le pendule librement du point *h*, s'il ne rencontre point d'obstacles sur la ligne *ab*, il s'éleve jusqu'en *g*; s'il rencontre une aiguille au point *c*, il remonte en *f*, & si l'aiguille est placée en *d*, il remonte en *e*; on juge aisément de l'endroit où il s'éleve, en plaçant en *e, f* & *g* une aiguille de fer qu'il va toucher.

*E X P L I C A T I O N S.*

La balle du pendule étant tombée de *h* en *b*, & ne rencontrant point d'obstacle, emploie la vitesse qu'elle a acquise par son accélération, dans un arc de cercle, qui a le même centre que celui qu'elle vient de décrire; l'aiguille qui se trouve ensuite au

R ij

---



---

 VI.  
LEÇON.

point  $c$  ou  $d$ , devient un nouveau point fixe, autour duquel elle emploie ce qu'elle a de mouvement; & au lieu de décrire l'arc  $bg$ , elle remonte par  $bf$  ou  $be$ , selon la longueur du rayon qui lui reste, après la rencontre de l'aiguille; mais quoiqu'elle remonte par des arcs fort différents, il est facile de voir qu'elle arrive toujours à la même hauteur, car  $d$   $e$   $f$   $g$  sont dans la même ligne

Cette expérience prouveroit trop, si le centre de la balle s'élevoit exactement jusques dans la ligne  $dg$ , parce que la résistance de l'air, & quelques petits frottements inévitables, lui font perdre un peu de sa vitesse; aussi doit-on faire attention que quand elle touche l'aiguille placée au point  $e$ ,  $f$  ou  $g$ , il s'en faut de tout son demi diamètre que son centre ne soit arrivé à cette hauteur.

#### APPLICATIONS.

Cette expérience nous conduit naturellement à dire quelque chose de cette espèce de mouvement qu'on nomme *oscillation*. Le fréquent usage qu'on en fait dans les horloges, & la

liaison qu'il a avec la Physique, par les moyens qu'on emploie pour l'exécuter, exigent que nous fassions connoître ce qu'il importe le plus d'en savoir; mais nous devons nous borner à ce qui peut être soumis à l'expérience, & nous renvoyons pour ce qui est purement Mathématique, aux savants Ouvrages de Galilée, de MM. Hughens, de Mairan, &c. & aux extraits qu'on en a faits.

On appelle *oscillation* ou *vibration de pendule*, le mouvement d'une balle de plomb, ou de quelque autre corps équivalent, attachée par un fil, ou par une verge, à un point fixe, autour duquel elle décrit un arc, comme dans l'expérience que nous venons d'expliquer.

On distingue deux sortes de pendules; le simple & le composé.

Le pendule simple seroit celui dont le fil de suspension n'auroit aucune pesanteur, & dont la balle ne peseroit que par un seul point, comme si, par exemple, toute sa gravité résidoit au centre.

Le pendule composé est celui qui pèse par plusieurs points de sa lon-

---

 VI.  
 LEÇON.

gueur, comme si, par exemple, la même verge de suspension portoit deux boules, l'une au-dessus de l'autre. Quand il n'y auroit qu'une balle à la même verge, si cette verge a un poids considérable, ou que la boule soit grande (ce qui est le cas le plus ordinaire dans la pratique), ce pendule alors doit être regardé comme composé, quoiqu'il soit d'un seul et de le nommer simple. Ce que nous allons dire d'abord touchant la théorie du pendule, doit s'entendre du plus simple, c'est-à-dire, de celui dont toute la pesanteur résideroit au point *h*, Fig. 20.

Ce point de gravité qui décrit les arcs, se nomme *centre d'oscillation*, & le point *a*, autour duquel il se meut, s'appelle *centre de mouvement*.

Quand la boule du pendule est amenée de *b* en *h*, & qu'on la laisse libre, sa pesanteur qui la sollicite à descendre, & le fil qui la retient toujours à égale distance du point *a*, lui font décrire l'arc *hb*; mais un corps qui descend ainsi par un, ou par plusieurs plans inclinés, acquiert la même vitesse qu'il auroit, s'il étoit des-

ce *ndu* perpendiculairement de la hauteur *ab* du plan; il continue donc son mouvement en remontant en *g*, c'est à-dire, à une hauteur égale à celle d'où il est parti. Alors ayant consumé toute sa vitesse, il ne peut point passer outre; il ne peut pas non plus rester en repos, parce que sa pesanteur exige qu'il descende; & comme il est dans le même cas où il étoit au point *h*, il doit retourner de *g* en *b*, & de *b* en *h*, & ainsi de suite pour les autres vibrations: d'où l'on voit que rien n'approche plus du mouvement perpétuel qu'un pendule, puisque sans la résistance du milieu, les oscillations seroient toujours égales, la boule ayant toujours en *b* des vitesses suffisantes pour remonter à la hauteur, dont il faut qu'elle descende pour en reprendre de pareilles.

Ceci se prouve fort bien avec la machine que nous avons décrite dans la *Fig. 17.* de la quatrième Leçon, en employant un fil très-fin, & une balle de plomb de 7 ou 8 lignes de diamètre; car en s'y prenant ainsi, on réduit la résistance de l'air à très-peu

Riiiij

de chose, & toutes les vibrations se font par la tangente en deux arcs sensiblement égaux, à l'endroit le plus bas de la chute.

Nous avons fait voir précédemment, que le temps de la chute par la corde d'un cercle, est égal à la durée de celle qui se fait par le diamètre du même cercle posé verticalement : nous avons remarqué aussi qu'un mobile qui descend par un arc de cercle, achève sa chute plutôt que s'il tomboit par la corde de cet arc ; parce que, quoique cette ligne droite soit plus courte que la courbe correspondante, celle-ci beaucoup moins inclinée qu'elle à l'horizon dans sa partie la plus élevée, procure au mobile une vitesse initiale, & de-là une accélération, qui fait plus que compenser l'excès de cette étendue. Mais comme la chute par la corde est plus prompte quand le diamètre du cercle auquel elle répond est moins grand, parce que cette corde elle-même est plus courte à pareils degrés d'inclinaison ; de même aussi la chute par l'arc doit durer moins quand cet arc fait partie d'une

plus petite circonférence ; car s'il est semblable à celui d'un plus grand cercle par le nombre de ses degrés, il a moins d'étendue que lui, comme on le peut voir, en comparant  $bc$  à  $DH$ , *Fig. 19.* & s'il a la même étendue, alors sa partie supérieure  $ab$ , est moins inclinée à l'horizon ; par l'une ou par l'autre de ces deux raisons le mobile qui le parcourt, doit achever sa chute en moins de temps. La dernière de ces deux causes surtout a tant de force, & contribue tellement à accélérer la chute du mobile, que dans la même circonférence de cercle, les grandes vibrations ne durent presque pas davantage que les plus petites.

---

VI.  
LEÇON.

En voilà assez pour faire sentir qu'il y a une certaine proportion entre la durée d'une demi-vibration (je veux dire la chute de  $D$  en  $H$ ,) & la longueur du pendule ou du rayon qui conduit le mobile dans cet arc. Et en effet, la longueur du pendule étant donnée, on fait combien doit durer sa demi-vibration, & sa vibration entière ; car lorsque le mobile  $b$  est à la fin de sa chute au point 3. *Fig.*

---

 VI.  
 LEÇON.

17, la vitesse acquise le fait remonter en  $c$ , dans un temps égal à celui qu'il a employé pour descendre; ainsi la vibration totale se fait en deux temps parfaitement égaux; & c'est connoître le tout que d'en connoître la moitié.

Cette proportion est telle que si l'on fait tomber un corps grave verticalement d'une hauteur qui égale deux fois la longueur du pendule, & que celui-ci décrive un petit arc de cercle, la durée de la demi-vibration est à celle de la chute verticale, comme le quart de la circonférence d'un cercle est à son diamètre, c'est-à-dire un peu moindre, & dans le rapport de 11 à 14 à peu près.

Et si de deux pendules, l'un doit faire des vibrations qui durent 2 fois, 3 fois, ou 4 fois plus que celles de l'autre, il faut que sa longueur soit pour cet effet 4, 9, ou 16 fois plus grande que la sienne; ainsi l'on doit dire que les longueurs des pendules sont comme les carrés des temps qu'ils mesurent: car 16 est le carré de 4, 9 celui de 3, & 4 celui de 2.

## P R E P A R A T I O N .

On ôte l'alidade de la machine que nous avons représentée par la *Figure 16.* & l'on y laisse le pendule comme dans l'expérience précédente; on retient la balle à une petite hauteur, comme au point *G*, par le moyen d'une pince à ressort qui se fixe à la circonférence du cercle; on retient de même une autre balle semblable en *A*, & l'on ajuste les détentes de façon qu'en tirant le même fil, on fasse ouvrir en même temps les deux pinces

La fleche *D* qui est tronquée dans la figure, doit être assez longue pour y mesurer trois longueurs égales *aAB*, au dessus du point *A*, pour y placer la pince & la balle.

## E F F E T S :

1°. Quand on fait ouvrir les deux pinces, la balle *A*, & celle du pendule *G* partent en même temps, & celle-ci passe au point *B* un peu avant l'autre.

2°. Si l'on transporte la pince & la

## 204 LEÇONS DE PHYSIQUE

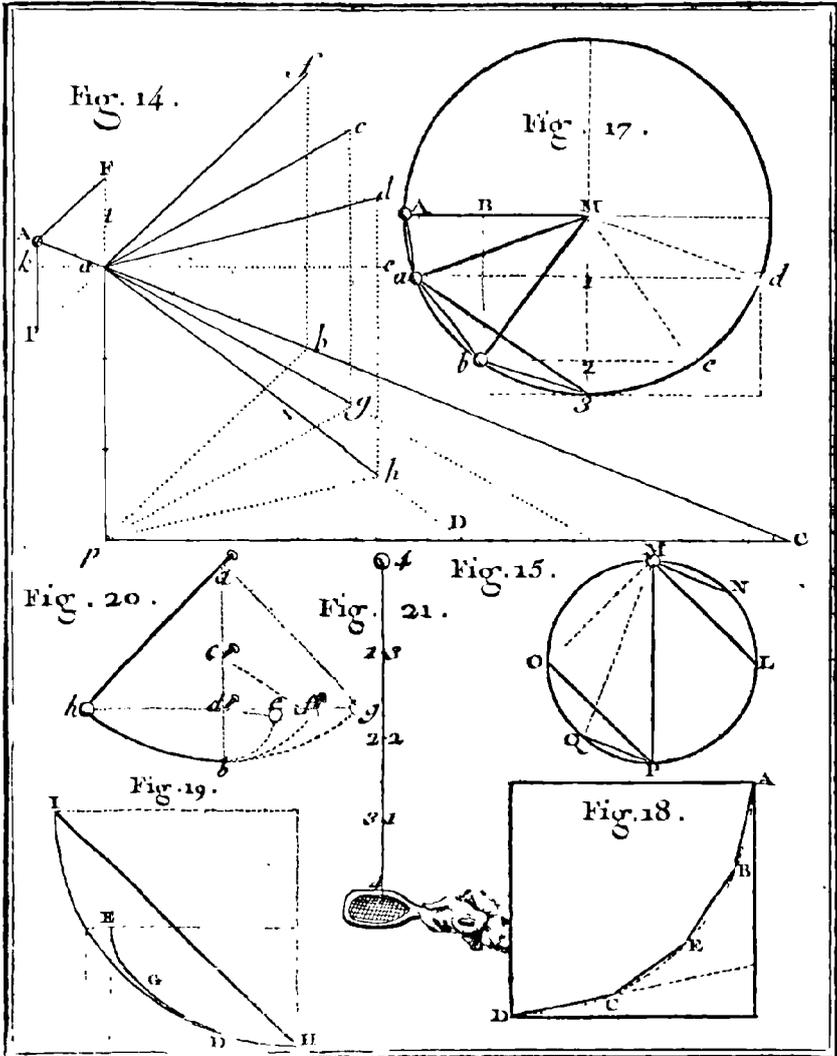
### VI. LEÇON.

balle au bout de la fleche, de maniere qu'elle soit 4 fois aussi élevée que le diametre  $AB$ ; en répétant ainsi l'expérience, la vibration entiere s'acheve sensiblement plutôt que la chute verticale de la balle  $A$ ; ce qui s'observe aisément, en faisant frapper le pendule contre quelque obstacle sonore que l'on met au terme de la vibration

3°. Si l'on fait osciller deux pendules de même longueur, comme  $G, M$ , & que leurs arcs soient égaux; s'ils partent en même temps, ils se rencontrent toujours ensemble vis-à-vis de  $B$ .

4°. Si les arcs qu'ils décrivent sont inégaux, après un certain nombre de vibrations, celui qui a parcouru les plus petits, précède l'autre.

5°. Enfin, si les pendules sont de différentes longueurs, quand bien même ils partiroient ensemble, le plus court fait des vibrations qui durent moins que celles de l'autre; & si le rapport des longueurs est comme 1 à 4, le plus long ne fait qu'une vibration contre deux.





EXPLICATIONS.

VI.  
LEÇON.

Ces expériences, & les moyens qu'on emploie pour les exécuter, sont expliqués par tout ce que nous avons dit ci-dessus; & les résultats dont il est aisé de faire l'application, prouvent évidemment les principes que nous avons établis en dernier lieu.

Le premier, par exemple, fait voir, contre l'opinion de plusieurs Auteurs, que la chute, par un petit arc de cercle, dure moins de temps que la descente par la corde correspondante, car on voit qu'elle dure moins que par le diamètre; & nous avons montré précédemment, que par le diamètre, ou par la corde quelconque, le temps de la chute est égal,

Le second résultat confirme encore cette doctrine, & fait voir que le premier effet n'est point un accident qu'on doive au hazard: car si la demi-vibration duroit autant qu'une chute verticale par le diamètre; pendant une vibration entière, il faudroit que le mobile pût tomber d'une hauteur, égale à 4 fois ce même diamé-

tre ; puisqu'une vibration se fait en deux temps égaux ; & que l'effet de la pesanteur est toujours trois fois aussi grand dans le second temps que dans le premier : cependant lorsqu'on fait tomber la balle d'une hauteur quadruple de la première, la différence entre le temps de sa chute, & la durée de la vibration, est encore plus grande & plus sensible : il est donc important, même dans la pratique, de ne point confondre, pour la durée, la chute par la corde avec celle qui se fait par un petit arc, puisque celle-ci dure notablement moins que la descente par le diamètre, qui se fait, comme on fait, en même temps que par la corde.

Il seroit à souhaiter qu'on pût représenter aux yeux, par ces mêmes expériences, le véritable rapport qu'il y a entre la durée de la chute verticale par la longueur simple ou doublée du pendule, & le temps de la demi-vibration ; mais le procédé mécanique n'est guère susceptible de cette précision, & nos sens auroient peine à la saisir ; je ne dissimulerai pas même, que dans tout ce qui re-

garde le mouvement des corps en général, plusieurs des expériences qu'on emploie sont moins des preuves qui assurent la théorie, que des représentations qui en facilitent l'intelligence, & qui ne doivent être ni utiles, ni agréables à ceux qui sont assez initiés dans les Mathématiques, pour s'éclairer tout d'un coup par la démonstration.

*APPLICATIONS.*

On fait de quelle importance est la mesure du temps, non-seulement dans la vie civile, pour mettre de l'ordre dans nos actions & régler les devoirs de la société; mais encore dans la plûpart des Sciences, surtout dans l'Astronomie & dans la Physique, où la durée des effets est assez souvent le principal objet de notre étude, & le moyen le plus propre à nous donner une juste idée de la cause. Le pendule, comme il paroît par ce que nous venons de prouver, est un instrument qui peut mieux que tous ceux qui sont connus d'ailleurs, mesurer des parties de temps fort égales entr'elles, & nous en faire

VI.  
LEÇON.

connoître la quantité par la durée & par le nombre de ses oscillations: on ne peut trop applaudir à ceux qui en ont fait la découverte, ou d'heureuses applications.

Galilée n'eut pas plutôt trouvé les propriétés du pendule, qu'il sentit l'avantage qu'on en pourroit tirer; l'usage qu'il en fit lui-même pour régler ses observations & ses expériences, lui valut une exactitude & une précision, qu'il auroit eu bien de la peine à se procurer autrement, & le dédommagea en quelque sorte du travail pénible que cette invention avoit pû lui coûter.

Mais le pendule, tel qu'il l'employoit, ne pouvoit mesurer qu'une quantité de temps peu considérable, parce que la résistance de l'air diminuoit peu-à-peu l'étendue des oscillations, & les faisoit enfin cesser, si quelqu'un n'avoit soin de ranimer le mouvement. De plus, il falloit avoir l'attention de les compter l'une après l'autre, pour en avoir la somme: & cette sujétion rendroit cette nouvelle mesure du temps impraticable en bien des occasions; de sorte que le pendule

dule n'étoit encore qu'un instrument de Philosophe, dont ne pouvoit profiter le commun des hommes, qui préfere toujours la facilité à l'exactitude, quand l'une & l'autre ne vont point ensemble.

M. Hughens, en 1657, fit une application du pendule, dont tout le monde peut profiter; il le joignit aux horloges pour régler leur mouvement; & cette ingénieuse addition a eu tant de succès, & a été si généralement reçue, que les horloges de chambre en ont pris le nom de *pendules*.

Pour être en état d'entendre comment un pendule rend une horloge plus exacte, il faut savoir que ces sortes d'instruments sont animés par un ressort, ou par un poids qui met en mouvement un certain nombre de roues, par le moyen desquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran: si ce mouvement n'étoit point retenu par un modérateur, il seroit trop précipité, & l'aiguille qui marque les heures, ne pourroit jamais aller assez lentement, pour ne faire que deux tours en 24 heures.

---

 VI.  
 LEÇON.

Mais si le modérateur est sujet à des inégalités, soit qu'il les cause lui-même, soit qu'il se laisse maîtriser par celles du rouage, ou du moteur qui l'anime, le mouvement sera inégalement modéré, & l'aiguille ne mesurera pas en temps égaux des parties égales du cadran, il y aura des heures qui paroîtront plus longues ou plus courtes qu'elles ne doivent être.

C'est à ce modérateur imparfait jusqu'alors, que l'on a substitué le pendule, & voici comment.

Comme toutes les roues s'engrenent réciproquement, & qu'elles ne peuvent ni se mouvoir, ni s'arrêter l'une sans l'autre, si l'une de ces roues va régulièrement, le mouvement commun de toutes les autres sera régulier. Une d'entr'elles qu'on nomme *rochet*, ou *roue de rencontre*, ne peut tourner que quand une certaine piece, qui porte deux palettes ou quelque chose d'équivalent, se leve pour laisser passer une de ses dents. Si du passage d'une dent à l'autre il se passe toujours des temps égaux, & que la roue soit exactement divisée, il est évident que le mouvement de

cette roue ; & celui de toutes les autres auxquelles elle communique, fera parfaitement uniforme. C'est donc à cette piece d'échappement qu'on a adapté le pendule , afin que ses vibrations, dont la durée est toujours égale, réctifiassent les petites irrégularités qui peuvent venir du rouage ; ou de la force motrice.

Nous avons dit que les oscillations qui se font par les arcs du même cercle , ne sont point d'une durée parfaitement égale, quand ces arcs sont plus grands les uns que les autres : quoique cette différence soit fort petite, & qu'on puisse la négliger, quand il ne s'agit que d'un temps peu considérable, cependant après un grand nombre d'oscillations , ces petites quantités multipliées feroient une somme sensible, & cette source d'erreur n'a point échappé à M. Hughens. Il prévint bien qu'avec le temps le rouage d'une horloge se saliroit, que les huiles s'épaissiroient, que les frottements pourroient s'augmenter, en un mot que le mouvement pourroit se ralentir , & que le pendule réglé d'abord pour faire des oscillations

S ij

VI.  
 LEÇON.

d'une certaine grandeur, lesferoit plus courtes dans la suite. C'est ce qui le porta à chercher une courbe d'oscillation, dans laquelle il fût absolument indifférent que le pendule mesurât de grands ou de petits arcs. Le succès de ses recherches, auxquelles plusieurs Savants prirent part, fut aussi heureux que leur objet étoit curieux & intéressant pour la Géométrie; il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit, & il la substitua au cercle, en mettant au centre du mouvement du pendule une portion de cette courbe, autour de laquelle le fil qui suspendoit la verge pouvoit s'envelopper. Mais, comme nous l'avons fait voir par la *Fig. 19.* le cercle & la cycloïde se confondent en la partie inférieure; les oscillations se font aussi exactement dans le cercle, si elles ont peu d'étendue; & c'est le parti que l'on a pris depuis dans l'Horlogerie, pour éviter une certaine flexibilité qu'il falloit donner à la verge en sa partie supérieure, pour obéir à la portion de cycloïde qui devoit déterminer la nature de son mouvement.

Mais si la Géométrie a fourni des moyens pour rendre les vibrations toujours égales en durée, par la nature ou par la qualité de la courbe dans laquelle elles se font, des causes physiques les dérangent souvent, par les changements qu'elles apportent à la longueur du pendule.

Comme il faut que le pendule maîtrise la pièce principale qui sert à l'échappement, on ne peut pas suspendre la boule, ou la lentille qui fait les vibrations, avec un fil mince & flexible; on se sert ordinairement d'une verge d'acier, qui a environ une demi ligne d'épaisseur, & 3 ou 4 lignes de large. Ces deux dimensions, & sa longueur sur-tout, ne sont constantes que dans une température parfaitement égale; car du plus grand froid au plus grand chaud, un tel pendule devient sensiblement plus ou moins long, par la dilatation ou par la condensation du métal, comme nous le ferons voir en parlant des effets du feu. Les oscillations, par cette seule cause, seront donc plus lentes en Eté qu'en Hyver; la même horloge avancera & retardera suivant les

---

VI.  
LEÇON.

différentes faisons ou les différents états de l'air dans laquelle elle est.

Le soupçon d'un pareil effet suspendit le jugement des Physiciens, sur l'observation de M. Richer à la Cayenne; plusieurs crurent que le retardement du pendule qu'il attribuoit à la pesanteur plus diminuée par la force centrifuge vers l'Equateur, qu'en France, n'étoit qu'un effet de la chaleur du climat qui avoit allongé le pendule. Mais les expériences qui ont été faites depuis avec beaucoup de soin par plusieurs personnes fort intelligentes, & sur-tout par les Académiciens qui étoient allés par ordre du Roi tant au Cercle polaire qu'à l'Equateur, pour les mesures qui devoient constater la figure de la terre; ces expériences, dis-je, font connoître évidemment que ce n'est point la température du climat, mais sa position, qui a obligé M. Richer à raccourcir son pendule, parce que l'état de l'air à la Cayenne n'est point assez différent de la température que nous avons à Paris, eu égard à la correction qu'on est obligé de faire au pendule. Car, selon M. de

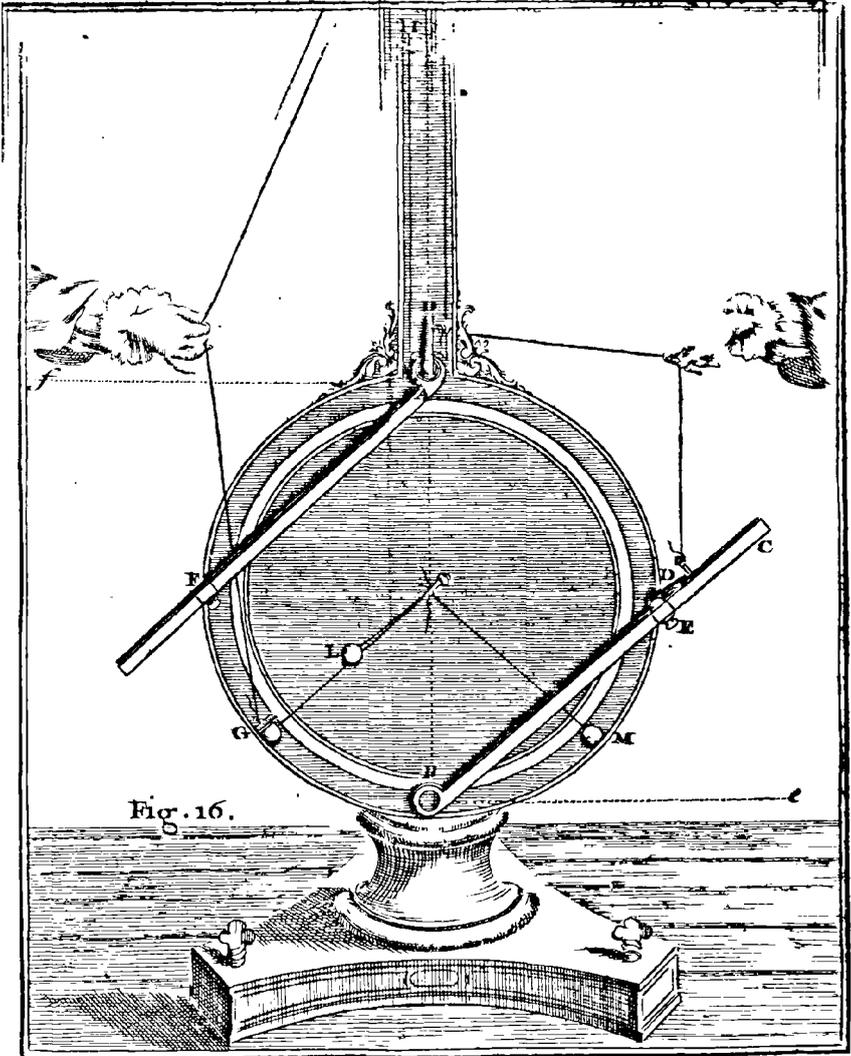


Fig. 16.



EXPÉRIMENTALE. 215

Mairain \* dont on connoît la sagacité & l'exactitude, le pendule le plus simple qu'on puisse exécuter, c'est-à-dire, une boule de métal d'un pouce de diametre suspendue par un fil de pite, doit avoir, pour battre les secondes à Paris, 3 pieds 8 lignes &  $\frac{1}{2}$  de ligne, à compter du centre d'oscillation jusqu'à celui du mouvement; & par toutes les expériences qui ont été faites en différents temps, & par diverses personnes, il résulte constamment, qu'un tel pendule seroit de plus de deux lignes trop long pour battre les secondes dans les climats voisins de l'Equateur; différence trop grande pour pouvoir être attribuée à la température du lieu; car l'expérience \* fait voir qu'une chaleur égale à celle de l'eau bouillante, n'allonge que d'un tiers de ligne une verge de fer de 3 pied 8 lignes  $\frac{1}{2}$ , telle qu'on l'emploie pour le pendule.

Pour procurer au pendule toute la perfection qu'il mérite, les Physiciens ont imaginé d'opposer à elle-même la cause qui en fait varier la longueur: la dilatation, en allongeant

---

VI.  
LEÇON.  
\* Mém. de  
l'Acad. des  
Scien. 1735.  
P. 203.

\* Mém. de  
l'Acad. des  
Scien. 1735.  
pag. 214.

la verge, fait descendre trop bas le centre d'oscillation ; ce dérangement n'en fera plus un, si quelque autre piece dilatée par la même chaleur & en même temps, agit en sens contraire, & en telle proportion, que l'allongement de la verge n'ait pas son effet ; on a imaginé pour cela plusieurs moyens qui ont assez bien réussi. M. Julien le Roi qui joint aux talents d'un excellent Artiste, les connoissances physiques, & les vûes qui tendent à la perfection de l'horlogerie, en a proposé & exécuté un dont le succès est assuré par une expérience de plusieurs années. Et il y a 8 ou 10 ans que M. de Cassini donna à l'Académie le projet d'un autre qui fut fort applaudi, parce qu'il peut s'employer plus commodément que la plupart de ceux qui sont connus jusqu'à présent, & que d'ailleurs il ne promet pas moins d'exaëtitude. Mais comme le mal & le remede dont il est ici question, ont leur source commune dans la dilatation plus ou moins grande des métaux, nous remettons ce que nous avons à en dire à la Leçon qui traite du feu, & des effets de la chaleur sur les corps.

ARTICLE

ARTICLE II.

VI.  
LEÇON.

*Du mouvement des corps causé par  
la pesanteur & par une force  
active & uniforme.*

CETTE force que nous supposons agir avec la pesanteur sur le même mobile, se nomme ordinairement *force projectile*; tel est l'effort du bras qui jette une pierre, ou celui de la poudre qui chasse une bombe.

Ce mouvement une fois déterminé par le moteur, continueroit uniformément, si la résistance des milieux, les frottements, &c. n'y mettoient obstacle; quoique cela soit inévitable dans l'état naturel, nous en ferons cependant abstraction, parce qu'il est plus simple & plus facile de faire connoître ce qui seroit, si ces obstacles n'y étoient pas, que de dire exactement ce qui est, lorsqu'ils y sont.

Quand un coup de raquette, *Fig. 21.* ou quelque autre impulsion détermine une balle à s'élever de bas en haut perpendiculairement à l'horizon, elle lui imprime une force directement

Tome II,

T

VI.   
 LEÇON. I. opposée à la pesanteur, le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pesanteur; c'est à-dire, que si la première est capable de produire une ascension de 60 pieds par seconde, comme l'autre opere une chute de 15 pieds en pareil temps, l'élévation de la balle sera bornée à 45 pieds pour la première seconde. Dans la seconde suivante, la pesanteur ayant trois fois plus d'effet que dans la première, causera un rabais de 45 pieds sur les 60 que la balle auroit fait en vertu de la force projectile qui agit uniformément; ainsi elle ne s'élèvera que de 15 pieds, après quoi elle cessera de monter, parce qu'alors la pesanteur a de l'avantage sur la force projectile: celle-ci ne donne jamais qu'une vitesse de 60 pieds par seconde au mobile; celle-là au troisième temps lui donne une vitesse de 5 fois 15, c'est-à-dire, de 75 pieds en sens contraire. Il arrive donc en pareil cas, ce que nous avons fait voir\* qu'il arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vitesses acquises par sa chute accélérée.

\* I. Seēt  
 fix. Expér.  
 Fig. 12.

Dirigeons maintenant la force projectile horizontalement ; & en la supposant toujours uniforme , partageons son effet total  $FG$ , *Fig. 22.* en quatre parties égales, qui représentent autant d'instants semblables. Si le mobile  $F$ , pendant le premier temps, descend de la quantité  $1 a$  en vertu de sa pesanteur, pendant le temps suivant, la même cause agissant trois fois plus le fera tomber de la quantité  $bc$ , qui jointe au produit de la première chute, donnera  $2c$ ; en ajoutant de même à cette dernière quantité  $3d$ , l'effet du troisième temps  $de$ , & à cette somme  $3e$ , le produit du quatrième temps  $fg$ , on aura une suite de points  $Faceg$ , qui formeront une espèce de courbe que les Géomètres nomment *parabole*.

Hors la perpendiculaire à l'horizon, dans quelque direction que l'on mette la force projectile, pourvu qu'elle soit uniforme, si la pesanteur agit en même temps sur le mobile, le mouvement composé de ces deux forces se fait toujours sensiblement dans cette courbe, il n'y a de différence que pour l'*amplitude* qui est plus

T ij

VI. ou moins grande, comme  $Hg$  ou  $Hi$ .

LEÇON.

En supposant, par exemple, que le mobile  $M$ , *Fig. 23.* tende directement au point  $P$  par une force projectile, si l'on retranche de cette force, pendant une suite d'instants égaux, autant de parties qui expriment les effets de la pesanteur, en augmentant entr'elles comme le carré des temps; c'est-à-dire, qu'après le second temps elle ait perdu 4 fois autant qu'après le premier, à la fin du troisième neuf fois autant, &c. l'extrémité de toutes ces lignes qui expriment les déviations causées à la direction de la force projectile par la pesanteur, donnera la courbe  $Mrq$ ; c'est-à-dire, deux demi-paraboles semblables à celle de la *Fig. 22.* qui se joignent au sommet  $r$ .

Avant de mettre ceci en expérience, il est à propos d'avertir qu'on ne doit pas s'attendre à des effets parfaitement conformes à la théorie; les Géomètres énoncent les choses avec exactitude, parce qu'ils n'ont qu'à supposer les quantités qui doivent entrer dans leurs calculs; mais quand il

faut que la Physique s'en mêle, il y a presque toujours à rabattre, parce que l'on a le plus souvent supposé trop ou trop peu; la force projectile & la pesanteur ne peuvent produire ensemble un mouvement véritablement parabolique, que quand elles ne souffrent aucune altération; quand, par exemple, la première est toujours uniforme dans tous les instants, & que la seconde est toujours exactement accélérée, selon la progression que nous avons établie; & cela n'est point dans l'état naturel, parce que la résistance de l'air retarde l'une & l'autre, & les retarde irrégulièrement.

Il y auroit bien encore quelque chose à dire en faisant attention que la direction de la pesanteur n'est point parallèle à elle-même; c'est-à-dire, que toutes les lignes perpendiculaires à l'horizon, par l'extrémité desquelles le mobile passe pour décrire la courbe *Faceg*, ne sont point parallèles comme on le suppose, puisqu'elles tendent toutes au centre de la terre; mais la force projectile que nous sommes capables d'imprimer à un corps, donne un mouvement d'une

---

VI.  
LEÇON.

si petite étendue, que cette cause n'a lieu que dans la rigueur géométrique, & ne produit aucun effet sensible.

VI.  
LEÇON.

## V. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

La *Figure 24.* représente une cuvette plus longue que large, qui porte sur un de ses grands côtés un plan vertical, & sur un de ses petits côtés, un gros tuyau de verre, au bas duquel est une espèce de robinet, dont la clef en tournant porte dans toutes sortes de directions le petit ajutage *A*, que l'on ouvre en tournant une autre petite clef *B*; on met du mercure dans le tuyau jusqu'à une hauteur convenable; & le robinet est percé de façon que les frottements sont diminués le plus qu'il est possible.

### E F F E T S.

1°. L'ajutage *A* étant vertical, lorsqu'on laisse échapper le mercure, il se fait un petit jet dans la même direction, qui après s'être élevé un peu moins haut que la surface supérieure

du réservoir *C*, retombe sur lui-même, & s'épanouit comme les jets d'eau qu'on voit dans les jardins.

---

VI.  
LEÇON.

2°. Lorsqu'on met l'ajutage dans la direction horizontale *AD*, & que le mercure est à une hauteur convenable dans le tuyau, le jet se fait vis-à-vis de la parabole *AED*.

3°. Quand l'ajutage est oblique, comme dans la direction *AF* ou *AG*, le jet décrit l'une ou l'autre des paraboles *AIK*, ou *ALM*.

EXPLICATIONS.

Lorsque le mercure sort par l'ajutage, il est poussé par une force projectile qui lui vient de la pesanteur de celui qui est dans le tuyau, & cette force peut-être regardée comme uniforme, si le jet dure peu, & que la surface *C* du réservoir ne baisse point sensiblement. Le mercure s'élève jusqu'à ce que sa pesanteur qu'il faut vaincre, ait consumé entièrement sa force projectile; & cet effet arrive avant qu'il parvienne à la hauteur de la surface *C*, parce que les frottements & la résistance du milieu affoiblissent un peu cette force qui le fait monter.

T iv

VI.  
LEÇON. Quand le jet du mercure s'échappe dans une direction horizontale, il continueroit dans la même ligne, s'il n'obéissoit qu'à la force qui le pousse dehors; mais dès qu'il est sorti, la gravité s'en empare aussi, & son action qui croît comme les nombres impairs 1, 3, 5, &c. fait voir à l'œil ce que nous avons supposé dans la Fig. 22.

Enfin l'on peut dire la même chose de la ligne que décrit le mercure lorsqu'il s'échappe par *AF*, ou *AG*: la pesanteur ne lui permet pas d'y continuer son mouvement; elle l'en écarte par des quantités qui sont conformes aux loix de son accélération, & la ligne qu'il suit est sensiblement une parabole, parce que vers la fin, où la résistance de l'air fait le plus d'obstacle, le jet, en s'épanouissant, devient plus large, & la partie supérieure ne sort presque pas de la parabole géométrique, qui est tracée sur le plan.

On peut encore appeller ici en preuves les expériences sur le mouvement composé, où nous avons fait entrer la pesanteur pour une des puis-

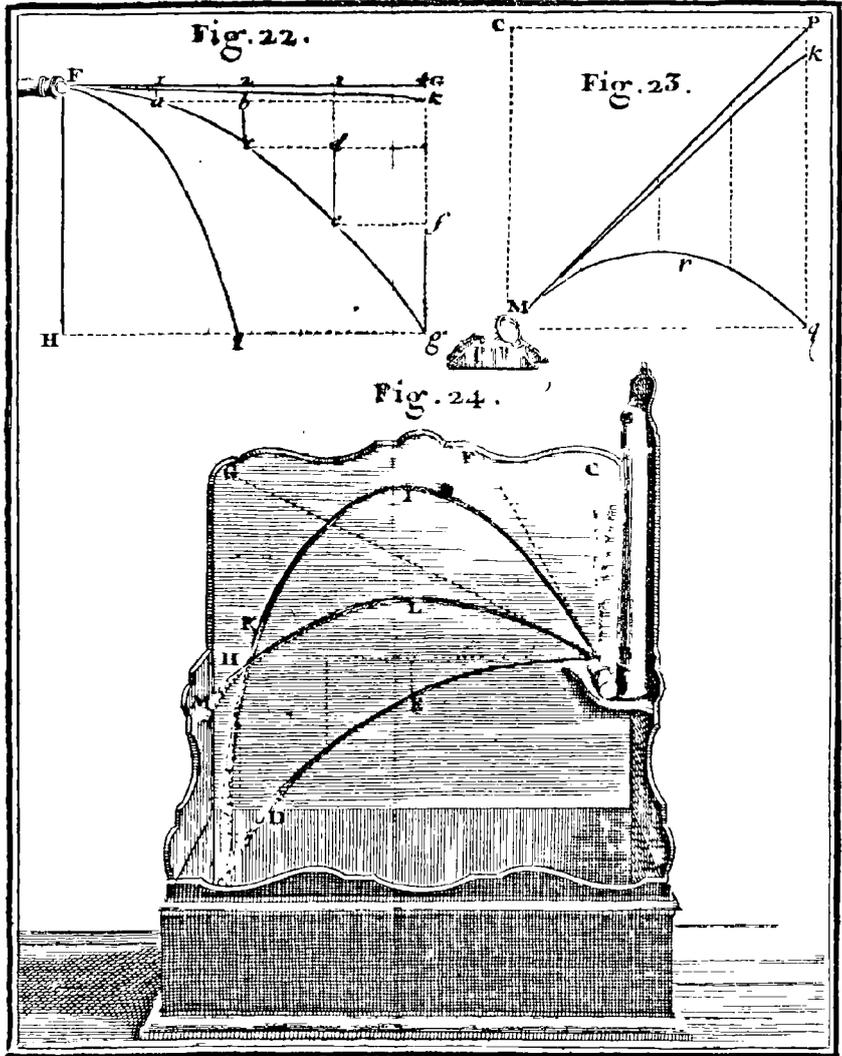
stances composantes ; telles sont celles que nous avons représentées par les *Figures* 11. & 13. Car dans l'une & dans l'autre, la courbe que trace le mobile par son mouvement, & que nous n'avons pas nommée alors, est encore une parabole, comme on le peut voir en y appliquant les règles que nous avons établies ci-dessus.

APPLICATIONS.

Toute la *ballistique*, c'est-à-dire ; cette partie de l'artillerie qui consiste à mesurer avec justesse le jet d'un corps fort pesant, comme une bombe, un boulet de canon, &c. consiste dans la combinaison qu'il faut faire de la force projectile, & de la pesanteur du mobile. On conçoit aisément, par la seule inspection des *Figures* 22. & 23. que la direction d'un boulet de canon ou d'une bombe étant une fois réglée, l'amplitude  $Hg$  ou  $Mq$  est d'autant plus grande, que le mobile est poussé avec plus de vitesse ; car s'il pouvoit parcourir dans le premier instant toute la distance qui est entre les deux parallèles  $FH$ ,  $Gg$ , ou  $MC$ ,  $Pq$ , la pa-

rabole passeroit au point *k*, & ne différe- roit pas beaucoup d'une ligne droite : ainsi un mortier qui a une certaine inclinaison, chasse donc la bombe d'autant plus loin, que la force projectile imprime plus de vitesse ; mais cette force projectile vient de l'explosion de la poudre, & c'est une chose très-difficile que d'estimer avec quelque justesse la valeur de cette impulsion. Elle dépend principalement de la qualité de la poudre & de la quantité, non pas que l'on y emploie, mais qui s'enflamme ; car il ne faut pas croire que dans ces grandes charges, le feu prenne partout avant le départ : l'expérience a fait voir qu'une grande partie tourne en pure perte ; ainsi l'on voit qu'une des quantités les plus essentielles à connoître, pour juger le mouvement d'une bombe, est sujette à beaucoup de variations ; \* aussi quoiqu'on exige avec raison que les Officiers d'Artillerie soient instruits des principes, on a encore plus de raisons pour vouloir qu'ils soient bien exercés aux Ecoles établies dans cette vue.

\* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1716. pag. 79.*







## VII. LEÇON.

### *Sur l'Hydrostatique.*

ON appelle *Hydrostatique* la science qui a pour objet, la pesanteur & l'équilibre des liqueurs. Quoique la gravité de ces corps soit la même que celle des autres, & qu'elle soit soumise aux mêmes loix que nous avons enseignées dans la Leçon précédente, l'état de liquidité donne lieu à des phénomènes particuliers qu'il est important de connoître, & qui méritent d'être traités à part.

Archimede, parmi les anciens Philosophes, est celui qui paroît avoir fait le plus de progrès dans cette étude; on lui fait encore honneur aujourd'hui de la manière ingénieuse par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la pesant dans l'eau. Parmi les modernes, Galilée, Toricelli, Descartes, Paschal; & dans ces derniers temps MM. Ma-

VII.

LEÇON.

riotte & Varignon, ont ajouté beaucoup de belles connoissances à celles que l'on avoit déjà; & leurs expériences aussi convaincantes que curieuses, nous ont mis en état de savoir ce que nous devons craindre ou attendre de la force des eaux qui agissent par leur poids, & comment nous pouvons la tourner à notre utilité, en l'employant par le moyen des machines hydrauliques.

Les liqueurs, suivant l'idée que nous en avons donnée dans notre première Leçon, page 44. sont des matières dont les molécules extrêmement petites & mobiles entr'elles, n'ont point une cohérence bien sensible, de façon que chacune obéit librement à son propre poids: tout au contraire des corps solides, dont les parties liées & adhérentes les unes aux autres, résistent plus ou moins fortement à leur séparation, ne se meuvent que toutes ensemble, & exercent leur pesanteur en commun.

Nous ne cherchons point ici quelles sont les causes de la liquidité, ni les différentes propriétés qui con-

viennent à cet état des corps : ces questions trouveront leurs places dans la suite. Il ne s'agit maintenant que de la manière dont les liqueurs pesent ; & comme tout ce qui est liquide, ne l'est pas également, il est bon d'avertir que ce qu'exigent les loix de l'hydrostatique, s'exécute d'autant moins exactement, que les corps s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau & l'huile se répandent si leurs vaisseaux viennent à se casser ; mais l'entière effusion de celle-ci est plus lente.

Les fluides dont les parties sont aussi subtiles, aussi mobiles que celles des liqueurs, ont les mêmes propriétés qu'elles ; mais s'ils sont composés de molécules grossières & capables de s'accrocher fortement les unes aux autres, leur gravité a des effets un peu différents : l'air prend aussi exactement que l'eau, la forme du vaisseau qui le contient ; mais la fumée ne se répand pas de même, ni aussi promptement, dans le lieu où elle est.

Pour se former de la pesanteur des liqueurs ou des fluides une idée juste,

---

 VII.  
 LEÇON.

une idée qui facilite l'intelligence des phénomènes que nous avons à expliquer, il faut considérer les matières qui sont en cet état, comme un amas de petits corps solides, très-durs, indépendants les uns des autres, pesants séparément & à proportion de leurs petites masses. Mais une chose sur-tout qu'on ne doit jamais oublier, c'est l'extrême petitesse de ces molécules, qui les rend non-seulement impalpables, mais qui les soustrait aux yeux les plus perçants, lors même qu'il empruntent le secours des meilleurs microscopes. C'est principalement de cette dernière qualité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique, ceux dont l'explication a peine à se concilier avec une démonstration rigoureuse.

Nous comprendrons en trois sections ce que nous avons à dire touchant l'hydrostatique. Dans la première, nous examinerons de quelle manière s'exerce la pesanteur d'une liqueur dont les parties sont homogènes, ou considérées comme telles; dans la seconde, nous ferons voir

comment se comportent ensemble plusieurs liqueurs dont les densités sont différentes; & dans la troisième, nous comparerons les corps solides avec les liqueurs, en les y plongeant.

---

PREMIERE SECTION.

*De la pesanteur & de l'équilibre  
des liqueurs, dont les parties  
sont homogènes.*

SELON l'idée que nous nous sommes faite des liqueurs, celles qui sont homogènes sont composées de particules qui sont semblables, tant par la figure, que par la grandeur & le poids : une certaine quantité d'eau, par exemple, sera donc un amas de très-petits corps mobiles, qui auront des forces égales pour se mouvoir de haut en bas ; sur ces principes on peut établir les propositions suivantes.

PREMIERE PROPOSITION.

*Les liqueurs pèsent, non-seulement  
quant à leur masse totale, mais encore en  
elles-mêmes, c'est-à-dire, quant aux  
parties qui les composent.*

---



---

 VII.  
LEÇON.

La première partie de cette proposition n'a pas besoin d'autre preuve, que l'expérience qu'on en a tous les jours, en portant un verre plein d'eau ou de vin à la bouche ; on sent bien que quand il est vuide, il ne pèse pas autant. Comment donc se pourroit-il faire qu'une somme de petits corps pesants n'eussent point de poids ?

L'autre partie est une suite nécessaire de la première, & ne semble pas avoir plus besoin qu'elle d'être prouvée. Car si la masse totale pèse, d'où lui peut venir cette pesanteur, sinon des parties matérielles qui la composent ? Cependant la plupart des Physiciens s'y arrêtent, parce qu'il s'en est trouvé quelques-uns qui ont prétendu que les liquides ne pesoient point *dans leur propre élément* ; mais par cette expression vouloient-ils dire que les parties d'une liqueur ne pesent point dans la masse qu'elles composent ; qu'elles n'ont plus de pesanteur absolue ? Ou bien seulement, qu'elles sont en équilibre entr'elles ? Si ce dernier sens est celui qu'ils ont attaché à leur proposition, c'est combattre un phantôme, que de s'amuser

ser

ser à prouver qu'une certaine quantité d'eau, par exemple, est encore pesante, quand elle est mêlée avec d'autre eau, ou qu'elle contribue au poids de la masse dont elle fait partie. Quoi qu'il en soit, voici la preuve qu'on en donne.

VII.  
LEÇON.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Figure 1.* représente un fléau de balance, qui tient en équilibre dans un vase plein d'eau, une petite bouteille de verre fort épaisse, vuide & bouchée.

EFFETS.

Aussi-tôt qu'on débouche la bouteille, elle s'emplit d'eau, & elle va au fond du vase.

EXPLICATIONS.

On fait que de deux corps attachés aux bras d'une balance, celui qui enleve l'autre a plus de poids : si la bouteille, en se remplissant d'eau, enleve le bassin qui la soutenoit en équilibre, c'est que cette eau la rend

plus pesante qu'elle n'étoit ; & pour preuve que l'augmentation de son poids n'est autre chose que celui de l'eau qu'elle reçoit , il n'y a qu'à rétablir l'équilibre, en ajoutant du poids dans le bassin opposé ; ce poids ajouté fera égal à celui d'une pareille quantité d'eau pesée hors de la masse dont elle fait partie : ce qui fait bien voir, à quiconque en voudroit douter, qu'une certaine quantité de liqueur a toujours sa pesanteur absolue, soit qu'elle fasse partie d'une plus grande masse de la même liqueur, soit qu'elle se prenne séparément.

#### *APPLICATIONS.*

Des exemples sans nombre nous mettent tous les jours sous les yeux des effets semblables à celui que nous venons de voir dans l'exemple précédent. De même qu'une bouteille, quand on la débouche, devient plus pesante par l'eau qui la remplit, unseau qui flotte, ou une barque s'enfonce & se perd, lorsqu'il s'y fait quelque ouverture qui lui fait faire eau. La matière qui compose ces sortes de vaisseaux, est ordinai-

rement plus pesante que le fluide qui les soutient : s'il peut s'y introduire & remplir leur capacité, le tout ensemble fait une masse dont le poids excède celui d'un égal volume d'eau ; & par cette raison, le vaisseau tombe au fond.

Les corps bien poreux ou spongieux, qui demeurent quelque temps exposés à un air humide, comme les bois, les pierres tendres, la terre même, n'en deviennent-ils pas plus pesants? & tout au contraire ne perdent-ils pas dans un air plus sec, une partie de leur poids avec leur humidité? Ceux qui vendent au poids des marchandises qui sont susceptibles de sécheresse & d'humidité, comme le tabac, l'indigo, le sucre, &c. ont grand soin de les tenir dans des lieux frais, pour prévenir ou réparer une évaporation qui leur causeroit un déchet réel.

On est dans l'usage de conserver dans l'eau les bois qu'on destine à la construction des vaisseaux. Quand on les a jettés dans le bassin, on les voit surnager d'abord, mais peu à peu ils s'enfoncent, & demeurent cachés

V ij

---

VII.  
LEÇON.

VII.  
LEÇON.

sous la surface de l'eau : c'est que ce liquide les pénètre avec le temps, soit qu'il remplisse des vuides, soit qu'il prenne la place d'autres matieres plus légères qui cedent à son effort ; & alors la piece composée de bois & d'eau, égale ou surpasse même en pesanteur le liquide qui l'environne ; car c'est un fait constant, que les parties propres du bois le plus léger pesent plus que l'eau. Le liege même ne surnage plus, lorsqu'ayant été long-temps macéré, ses parties se désunissent, & ne composent plus, comme d'ordinaire, un volume où il y a beaucoup plus de vuide que de solide.

L'eau qui pénètre les corps, ajoute donc à leur poids, en qualité de liqueur pesante, non-seulement lorsque ces corps sont hors d'elle, mais lors même qu'ils y sont entièrement plongés ; & cela, parce que les parties des liquides, comme celles des autres corps, sont de petites portions de matiere, & que toute matiere est pesante.



II. PROPOSITION.

VII.  
LEÇON.

*Les parties d'une même liqueur exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres.*

Cette propriété leur vient de ce qu'elles n'ont point de cohérence sensible, de ce qu'elles peuvent se séparer presque sans effort, tout au contraire des corps solides, dont les parties sont liées, adhérentes & difficiles à désunir. Si l'on veut enlever une pierre, ou un morceau de bois, par quelque endroit qu'on le prenne, on soutient toute sa masse, il est bien naturel qu'on en sente aussi tout le poids: mais si l'on met le bout du doigt sous le fond d'un vaisseau percé & plein de liqueur, pour arrêter l'écoulement, on n'a à vaincre que le poids de la colonne qui répond perpendiculairement au trou; car pourquoi porteroit-on les autres, si celle-là peut tomber sans les entraîner avec elle? L'expérience rendra ceci évident.

## II. EXPERIENCE.

## P R E P A R A T I O N .

Au fond d'un grand vaisseau cylindrique de verre, représenté par la *Fig. 2.* on a pratiqué un trou & une virole cylindrique d'un pouce de diamètre, que l'on bouche avec un morceau de liege bien arrondi & graissé, afin qu'il puisse céder à une médiocre pression; le canal commencé par la virole, est continué dans le vaisseau par un tube de verre *A*, de même diamètre, qui peut s'ôter quand il en est besoin; & le tout est porté sur un trépied, au-dessus d'un plat ou d'un bassin, pour recevoir l'eau qui s'écoule.

## E F F E T S .

Après avoir versé doucement de l'eau dans le tuyau *A*, on remarque à quelle hauteur elle est, quand son poids chasse le bouchon *B*; on ôte le tuyau, on remet le bouchon, comme il étoit avant, & l'on emplit le vase jusqu'à ce que le bouchon sorte de sa place; on pourra ob-

server que l'eau est précisément à la même hauteur qu'elle étoit précédemment dans le tuyau.

EXPLICATIONS.

On ne peut disconvenir que le bouchon *B* ne soit chassé de sa place par le poids de l'eau. Il résiste autant, lorsqu'on emplit le grand vaisseau, que quand on ne charge que le tube, pourvu que ce soit à même hauteur : il est donc évident que ce tuyau ne change rien à la pression du fluide, & que la colonne qui pèse sur le bouchon, agit de même, soit qu'on la sépare du reste par une enveloppe solide, soit qu'elle ait communication avec la masse totale. Ne dissimulons pas cependant que le frottement cause quelque petite différence, parce que cette résistance est plus grande, quand la colonne d'eau se meut dans un tuyau dont la surface est solide, que quand elle n'est contenue que par une masse d'eau dont les parties sont roulantes.

Pour prendre une idée juste de ces fortes d'écoulements, & pour concevoir avec facilité pourquoi les flui-

des exercent leur pesanteur autrement que les solides, il faut se représenter, comme on le voit par la *Fig. 3.* toute la masse d'eau contenue dans notre grand vase, divisée en plusieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5, dont chacune est composée d'un égal nombre de parties; si le fond du vaisseau qui sert de base & d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la partie inférieure de la colonne 3 n'étant plus soutenue, doit tomber par l'ouverture, & après elle toutes les autres qui sont posées dessus. Cette colonne entiere glissera donc de haut en bas, entre la seconde & la quatrieme, qui sont soutenues aux points *b* & *c*, & dont toutes les parties mobiles, sur leur propre centre, deviennent autant de petits rouleaux qui facilitent sa descente. Si la seconde & la premiere colonne d'un part, la quatrieme & la cinquieme de l'autre part, étoient composées de parties liées & cohérentes, elle subsisteroient de toute leur longueur, & par la chute de la troisieme, il se feroit un vuide entr'elles. Mais comme ces particules sont extrêmement  
petites

petites, extrêmement mobiles les unes sur les autres, dès que le haut de la troisième colonne vient à descendre, & qu'elles cessent d'être soutenues en cet endroit, elles s'écroulent à proportion de l'écoulement; & de cette manière la superficie de la masse totale baisse toute ensemble, quoiqu'il n'y ait qu'une des colonnes qui fournisse à l'écoulement par sa chute.

Quand les parties ont une cohérence sensible, comme celles des liqueurs grasses ou visqueuses; ou que la masse du fluide qui s'écoule, a beaucoup de largeur par rapport à sa hauteur, on s'apperçoit assez bien du vuide que laisse au-dessus d'elle la colonne qui s'écoule; la superficie, au lieu d'être plane comme à l'ordinaire, est plus creuse dans le milieu, parce que les parties voisines n'arrivent point avec assez de vitesse, pour remplacer celles qu'une pesanteur directe fait descendre.

*A P P L I C A T I O N S.*

On voit par l'explication que nous venons de donner, combien la fluidité

---

VII.  
LEÇON.

dité des corps apporte de changement aux effets de leur pesanteur. Si l'on tiroit avec un fil, on qu'on pouffât de bas en haut le bouchon *B*, *Fig. 2.* on n'auroit à soulever que le poids de la colonne dont il est la base, parce que cette portion d'eau étant indépendante du reste, peut se mouvoir librement dans la masse. Mais si cette masse venoit à se convertir en glace; par la seule raison qu'elle ne seroit plus liquide, & que ses parties seroient liées & cohérentes, la main qui soutiendrait la colonne qui répond au bouchon, dès l'instant de la congélation, auroit à porter tout ce qui est contenu dans le vaisseau.

Le frimas, la neige, & toutes les congélations aqueuses qui s'attachent aux arbres & aux plantes, les affaiblissent & les fatiguent bien davantage que l'eau qui les mouille, parce que les branches ont à porter non-seulement les parties humides qui les entourent, & qui sont adhérentes à leur écorce, mais encore celles que la gelée attache à celles-ci, & que leur propre poids seroit tomber de côté, si elles étoient fluides.

Ceux qui ont eu occasion de visiter les cavernes & les grottes naturelles qui se rencontrent en différents pays, ont pu remarquer souvent certaines concrétions pierreuses qui se forment goutte à goutte, & qui pendent aux voûtes, à peu près comme les glaçons qu'un faux dégel fait naître au bord des toits, & de tous les endroits où il s'est fait quelque fonte un peu lente de la neige ou de la glace. Ces sortes de pierres que l'on nomme *stalactites*, sont originairement liquides comme l'eau qui en charrie les parties; la première goutte qui demeure suspendue à la voûte, n'a que l'adhérence qu'il lui faut, pour soutenir son propre poids; mais à mesure que son humidité s'évapore, elle devient solide, & capable d'en porter d'autres à qui la même chose arrive, de manière qu'une masse assez considérable demeure suspendue malgré son poids, par la seule raison qu'elle est solide, & qu'une partie tient à la voûte.

Cette opération de la nature est imitée d'assez près par les ouvriers qui fabriquent la bougie & la chan-

delle ; les mèches sont enfilées parallèlement sur des baguettes , & on les plonge à plusieurs reprises dans des baquets qui contiennent le suif fondu, ou bien on fait couler par en-haut la cire toute chaude le long de la mèche ; cette dernière pratique est surtout en usage pour les cierges, qui doivent être plus gros par en bas ; car on conçoit bien que la matière en se refroidissant coule moins vite vers la fin de sa chute , & l'on a grand soin aussi de ne la point employer trop chaude, afin qu'il en reste davantage à chaque immersion, ou chaque fois qu'on la verse.

Ne quittons point cet article sans observer un fait qui trouve encore son explication dans notre seconde proposition. Les liqueurs ne touchent pas à la manière des solides ; leur choc , à quantités égales de matière, ne se fait pas sentir de même ; en un mot, on craint la chute d'un glaçon du poids d'une livre , & l'on n'appréhende point d'être blessé par une pareille quantité d'eau.

Indépendamment de ce que les liqueurs sont divisées en tombant par

des milieux résistants, & que leur superficie augmentée par cette division, retarde assez considérablement la vitesse de leur chute; indépendamment, dis-je, de cette raison, les corps en cet état s'appliquent à une plus grande surface, & divisent leur effort total en une infinité de petites impressions peu sensibles. Supposons, par exemple, qu'on présente le plat de la main à la chute d'une livre d'eau qui ait une figure sphérique; on peut concevoir cette boule fluide comme un assemblage de petites colonnes, parallèles entr'elles & à la direction de leur chute commune; la plus longue de toutes, à cause de la sphéricité de la masse, portera son effort seule au milieu de la main, & les autres, par la même raison, arriveront un peu plus tard, & frapperont les parties voisines, chacune en raison de sa masse particulière: ainsi tout le coup sera partagé à toute la largeur de la main qui le reçoit. Mais si cette boule est de glace, ce ne sera pas la même chose, la main ne sera frappée qu'en un très-petit espace, qui recevra l'effort non-seulement de

la colonne qui lui répond; mais encore de toutes les autres qui sont unies à celles-ci, & qui exercent leur pesanteur en commun avec e'le. De-là vient qu'un corps anguleux, ou pointu, fait plus de mal en tombant, qu'un autre qui seroit plat, parce que son effort est réuni sur une plus petite place; & par la raison du contraire, on risque moins de se blesser, quand on tient la main creuse, pour recevoir une boule qui tombe, que lorsqu'on l'étend.

### III. PROPOSITION.

*Les liqueurs exercent leur pesanteur en toutes sortes de sens.*

C'est à-dire, que non-seulement elles pésent de haut-en-bas, comme tous les autres corps, mais elles pésent aussi latéralement tous les obstacles qui les retiennent; & elles tendent à s'élever de bas-en-haut, lorsqu'elles communiquent avec des quantités plus hautes, & par-là plus pesantes qu'elles.

On conçoit aisément comment les liquides pésent de haut-en-bas, puisqu'ils sont composés de parties

qui participent à la gravité, qui est commune à tous les corps. Mais il n'est pas aussi facile de comprendre leur pression latérale. Cependant si l'on fait attention que leurs molécules sont dans le vase qui les contient, comme un amas de petits globules, on pourra bien imaginer qu'elles ne sont pas toutes arrangées régulièrement les unes sur les autres, comme dans la *Fig. 3.* mais que le plus souvent une colonne exerce sa pression entre deux autres, & tend à les écarter, comme on peut le voir en la *Fig. 4.* où la pression perpendiculaire, qui se fait vis-à-vis du point *d*, est transportée par les colonnes latérales vers les côtés *e, f*, du vase. De la même manière, quand la colonne *df* agit contre les deux parties *g, h*, la première fait une résistance suffisante à cause des parois du vase qui l'appuient: mais la partie *h* souffre un effort qui la soulève de bas-en-haut, & qui aura son effet, à moins qu'une colonne égale à *ik*, ou quelque chose d'équivalent, ne pese dessus pour la contenir.

Cette pression qui se communique

X iij

VII.  
LEÇON.

---

VII.  
LEÇON.

ainsi à la partie *h*, & qui tend à la soulever, a donné lieu à cette expression, *les liqueurs pèsent de bas-en-haut*; mais ce seroit en abuser, & prendre de la pesanteur des liquides une idée très-fausse, si l'on prétendoit en effet qu'elles ont d'elles-mêmes une tendance à s'élever : une colonne de liqueur est portée de bas-en-haut, par la pression d'une autre qui s'exerce de haut-en-bas avec avantage, comme une livre de plomb au bras d'une balance, jusqu'à ce que toutes deux soient également élevées au-dessus de l'horizon. Venons maintenant à la preuve de notre proposition.

### III. EXPERIENCE.

#### PREPARATION.

Dans un grand vase plein d'eau colorée, *Fig. 5.* on plonge successivement trois tubes de 6 à 7 lignes de diamètre, ouverts des deux bouts, mais dont on tient le haut bouché avec le pouce pendant le temps de l'immersion.

E F F E T S.

VII.  
LEÇON.

Quand chacun de ces tubes est plongé, & qu'on le débouche par le haut en ôtant le ponce, l'eau s'éleve dedans à la même hauteur où elle est dans le grand vase, quelque figure qu'ait le tube.

EXPLICATIONS.

Le tube que l'on plonge perpendiculairement dans le vase, contient une colonne d'air qui remplit sa capacité, & qui ne peut en sortir, tant qu'on le tient bouché par en haut; car ce fluide étant plus léger que l'eau, ne peut plus sortir par en-bas, dès que le bout du tube est plongé. Mais si-tôt que le ponce est ôté de dessus l'orifice supérieur, & que l'air cessant d'être appuyé en cette partie, ne fait plus un obstacle invincible à l'eau, elle y est portée par le poids de celle qui reste dans le grand vase en la maniere qui suit.

Lorsque le tube C est plongé, l'eau par sa pesanteur naturelle tombe de D en E, & coule d'E en F, parce qu'elle est composée de parties mo-

---

 VII.  
LEÇON.

biles & roulantes, & que cette partie du tube forme un plan incliné. L'effet en demeureroit là, s'il y avoit en *F* un obstacle invincible, ou que ce qui est contenu dans la sinuosité *EF*, ne pût s'y mouvoir facilement. Mais c'est un fluide pressé par la colonne *GD*, qui répond perpendiculairement à l'orifice du tube, & qui est continuée jusqu'en *E*; l'eau s'élève donc dans la branche *CF*, non qu'elle ait une tendance réelle de bas-en-haut, mais parce qu'elle obéit au poids d'une colonne *GE*, qui pèse de haut-en-bas; & elle continue de s'élever jusqu'en *C*, c'est-à-dire, à telle hauteur où elle est en équilibre avec *GE* qui la pousse.

En quelque endroit du vase que l'on plonge le tube *H*, son orifice inférieur, de quelque côté qu'il se présente, reçoit toujours un volume d'eau pressé latéralement par la colonne perpendiculaire à laquelle il répond, & qui porteroit son effort contre la paroi du vase, comme on le voit en *e* & en *f*, *Fig. 4.* ainsi l'eau étant poussée dans l'orifice *I*, avec une pression égale au poids de la co-

lonne *IK*, elle s'éleve à la même hauteur dans le tuyau, & de la même maniere que dans le précédent.

Enfin, si le tube n'est point recourbé, & qu'il se présente comme *LM*, dans l'instant où il est débouché par le haut, l'eau qui se présente à son orifice *M*, est dans le cas du globule *h*, *Fig. 4.* appuyée sur la colonne perpendiculaire *Mk*, par les colonnes latérales, *lo*, *lo*, qui ont leur point d'appui contre les parois du vase, & pressée par le poids des colonnes voisines *no*, *no*; elle est donc obligée de s'échapper par le tube où elle trouve moins de résistance, jusqu'à ce que son propre poids, augmentant avec sa hauteur, soit enfin égal à celui qui la force de monter.

## VI. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

*PQ*, *Fig. 2.* sont deux viroles de la même largeur que celle qui est en *B*, & propres à recevoir le même bouchon; mais quand il est placé à l'une des trois viroles, il faut que les deux autres soient fortement bouchées.

## EFFETS.

VII.  
LEÇON.

A telle virole que soit placé le bouchon mobile, il cede toujours à l'effort de l'eau que l'on verse dans le vase, quand elle parvient à une même hauteur.

## EXPLICATIONS.

Cette expérience prouve la même chose, & s'explique de même que la précédente; l'effort que l'eau fait perpendiculairement, en pesant sur le fond du vase, comme tout autre corps pourroit faire, se distribue contre les parois mêmes, & en toutes sortes de sens, à cause de la mobilité, de la figure & de la petitesse des parties; mais comme cet effort vient de la pesanteur, & que la direction naturelle de cette puissance est perpendiculaire au fond du vaisseau, le bouchon ne cede que quand la liqueur a une certaine hauteur, & la même quantité d'eau ne suffiroit pas, si le vase, étant plus large, tenoit la superficie du fluide moins élevée.



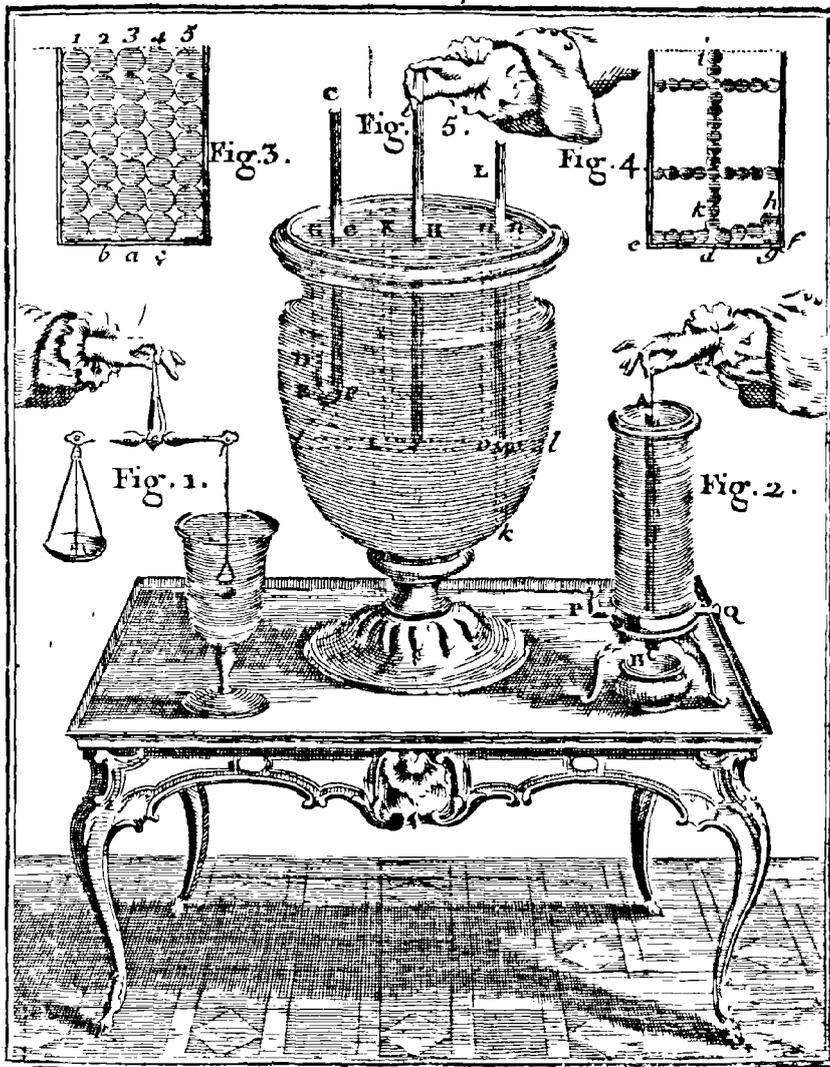
On rencontre à tout instant des preuves de la pression latérale des fluides : un pot , une bouteille inclinée , un tonneau que l'on met en perce , ne se vuideroient jamais , si la liqueur qu'ils contiennent , ne les pressoit que de haut-en-bas , à la maniere des corps solides : un navire percé d'un coup de canon , fait eau par le côté , & risque de se perdre , si l'on n'y met remède , comme si le mal étoit au fond vers la quille ; & l'eau y entre avec d'autant plus de vitesse , que la mer a plus de hauteur au dessus du trou.

Quand on bâtit des digues , des réservoirs , & autres ouvrages hydrauliques , on a grand soin de les proportionner aux efforts de l'eau. On a vû quelquefois des provinces submergées , & quantité d'autres accidents funestes , parce qu'on n'avoit point opposé des résistances suffisantes à la pression latérale des eaux.

On doit porter ces sortes de précautions jusques dans les travaux où les matieres sont tant soit peu flui-

des, soit par la petitesse de leurs parties, soit par le peu de liaison; si, par exemple, on élève une digue avec de la terre, ou avec du cailloutage, on la voit bien-tôt s'écrouler, si l'on ne donne à ses côtés une pente suffisante qu'on appelle *talus*; & les murs qui retiennent les terrasses, ne résistent à la poussée, que quand ils ont une solidité proportionnée à la hauteur & à la nature des terres.

Creuser un puits, c'est former dans la terre un canal perpendiculaire à l'horizon. Ce canal est dans le cas du tuyau *LM*; s'il y a dans le voisinage, des eaux dont la surface soit plus élevée que le fond du puits, elles doivent le remplir jusqu'à ce qu'il en contienne assez, pour leur faire équilibre. Il arrive souvent que l'on creuse fort profondément, avant que de trouver une terre de nature à laisser passer l'eau; c'est comme si l'on enfonçoit beaucoup le tube, sans ôter le ponce qui le bouche par en-haut: si on le débouche alors, les colonnes latérales étant fort longues & fort pesantes, chassent l'eau dans le tube avec précipitation; de même il est





arrivé souvent que des ouvriers ont été surpris par l'abondance de l'eau au fond d'un puits neuf, parce que la nature du terrain leur avoit fait chercher trop avant un passage à la source, & qu'il s'étoit trouvé tout-à-coup trop libre.

VII.  
LEÇON.

De ce qu'une liqueur peut être élevée de bas-en haut par le poids des colonnes voisines, il suit qu'on peut indifféremment remplir un vaisseau par le fond, s'il est percé, en le plongeant perpendiculairement, ou bien par son embouchure en l'inclinant; & ce choix est d'un avantage considérable en plusieurs occasions, je n'en citerai qu'une.

Pour tirer l'eau des puits qui sont fort profonds, on se sert quelquefois de deux seaux attachés aux deux bouts d'une même corde, qui embrasse un tambour qu'on fait tourner, de manière que l'un descend, pendant que l'autre monte; c'est, à mon avis, la meilleure machine connue qu'on puisse employer en pareil cas, c'est-à-dire, quand une grande profondeur rend l'application des pompes très-difficile; mais comme

---

VII.  
LEÇON.

ces feaux sont ordinairement fort grands, & qu'on est souvent obligé de leur donner de la longueur aux dépens de la largeur, pour s'accommoder au diamètre du puits, on prend le parti de les emplir par le fond, & pour cet effet on y pratique une ou plusieurs soupapes, qui laissent entrer l'eau, & qui ne lui permettent pas de retomber.

#### IV. PROPOSITION.

*Toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entr'elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, quand leur surface supérieure est dans le même plan horizontal.*

Pour ôter toute équivoque, j'entends ici par le mot de *parties*, des volumes égaux & en tout semblables; car comme les molécules changent selon le degré de liquidité, il pourroit se rencontrer des cas où la densité ne seroit point uniforme dans toute la masse, & alors on devroit considérer la liqueur, comme s'il y en avoit plusieurs mêlées ensemble.

En supposant donc toutes les parties parfaitement semblables, comme on a  
tout

tout lieu de croire qu'elles le font dans  
 la plupart des liqueurs, je dis qu'il y  
 a équilibre entr'elles, ou qu'elles se  
 meuvent, jusqu'à ce qu'elles soient  
 parvenues à cet état, parce qu'elles  
 ont des forces égales; car la force  
 d'un corps qui tend à tomber, n'est  
 autre chose que cette tendance, &  
 sa quantité de matiere. Or la ten-  
 dance à tomber est égale dans tous  
 les corps, comme nous l'avons prou-  
 vé dans la Leçon précédente; & dans  
 toutes les parties d'une liqueur ho-  
 mogène, la masse est la même selon  
 notre supposition; ainsi les couches  
 supérieures ne peuvent déplacer cel-  
 les qui sont au-dessous, parce que  
 celles-ci ont autant de force pour res-  
 ter où elles sont, que celles-là peu-  
 vent en employer pour les déplacer.

Qui dit équilibre, dit repos; ce-  
 pendant je ne prétends exclure ici  
 d'autre mouvement que celui qui  
 viendrait de la pesanteur plus grande  
 d'une part que d'une autre. Plusieurs  
 Physiciens prétendent que les parties  
 des liquides se meuvent continuelle-  
 ment: s'ils entendent par ce mou-  
 vement celui que la chaleur entre-

tient dans tous les corps, il n'est guere possible de le leur contester; & nous ferons voir ailleurs qu'il est très-compatible avec l'équilibre dont il s'agit maintenant; mais si l'on veut que ce soit une qualité affectée aux liqueurs en tant que telles, j'avoue que je ne connois aucun phénomène qui m'oblige à recevoir cette supposition; & je pense qu'on ne doit pas, sans de bonnes raisons, supposer un mouvement actuel, où peut suffire une mobilité de parties incontestables. Passons aux preuves de notre proposition.

## V. EXPÉRIENCE.

### PREPARATION.

Dans un siphon renversé, tel qu'il est représenté, par la *Fig. 6.* il faut verser de l'eau colorée, du vin, ou du mercure, &c. & poser le support sur un plan bien horizontal.

### EFFETS.

La liqueur s'éleve également dans les deux branches en même temps.

La partie inférieure du siphon étant pleine, s'il s'éleve dans l'une des deux branches une colonne de liqueur comme *AB*, son poids s'exerce sur la partie *BC* qui est mobile, la sollicite à s'élever dans l'autre branche, & cet effort est vaincu par le poids d'une colonne semblable *CD*; ainsi puisque *CD* & *AB* qui sont de même longueur, se soutiennent mutuellement, on peut conclure que les parties semblables d'une même liqueur sont en équilibre entr'elles.

## VI. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

Le canal *EF*, *Fig. 7.* par le moyen d'un robinet qui est au milieu, ouvre une communication entre le grand vaisseau *GH*, & le tuyau montant *EI*. Ce tuyau est ajusté en *E*, de façon qu'on peut l'ôter, & mettre en sa place un autre tuyau *K* qui s'éleve obliquement, ou *L* qui a plusieurs sinuosités, & l'on remplit le grand vase jusqu'en *GH*, avec une liqueur colorée.

Y ij

## E F F E T S.

VII.

LEÇON.

Dès qu'on a tourné le robinet pour ouvrir la communication entre le grand vaisseau  $GH$ , & le tuyau montant  $EI$ , la liqueur s'éleve jusqu'en  $I$ ; & cet effet est toujours le même, soit que le tuyau soit droit & perpendiculaire, soit qu'il soit oblique ou tortu.

## E X P L I C A T I O N S.

Quand on compare des liqueurs par rapport à leur poids dans des vaisseaux qui communiquent, ce ne sont point les quantités contenues de part & d'autre qu'il faut comparer, mais les colonnes qui se touchent par leurs bases au trou de communication. Dans notre expérience, par exemple, c'est le trou de la clef du robinet qui mesure la base de ces colonnes; or comme ce trou est commun aux deux, quelque quantité de liqueur qu'il y ait dans le grand vase, il n'y a jamais qu'un filet capable de passer par ce trou, qui y exerce sa pression: le reste est porté tant sur le fond, que sur les parois inclinées du

vase ; il n'est donc point étonnant qu'une petite colonne d'eau contre-balance cette pression dans le tuyau, & ne s'éleve pas plus haut que la surface  $GH$ , *Fig. 7.*

Si le tuyau montant est incliné en un sens commun  $K$ , ou en plusieurs comme  $L$ , il faudra une plus grande quantité de liqueur pour faire équilibre à la pression qui vient du grand vase, parce que tous les corps qui pesent par des plans inclinés, perdent une partie de leur poids, & que le filet de liqueur qui pese en  $E$ , est capable d'en porter un semblable à la hauteur  $EI$ , quelque chemin qu'il tienne.

APPLICATIONS.

Quand l'eau d'une riviere, d'un étang, d'un lac, &c. pénètre par son propre poids dans la terre ; si les canaux qu'elle y trouve, ou qu'elle se pratique avec le temps, prennent une forme semblable à la *Figure 6.* quelque distance qu'il y ait entre  $AD$ , quelque disposition que prenne le terrain entre  $BC$ , l'eau remonte aussi haut que le lieu d'où elle est descen-

VII.  
LEÇON.

due. On ne doit donc pas regarder comme un phénomène inexplicable, une source qui fait naître ou qui entretient une pièce d'eau considérable sur une montagne fort élevée; c'est qu'elle vient de quelque endroit encore plus haut; & quoiqu'on n'en connoisse point de tels à 40 ou 50 lieues de distance, ce n'est point une raison pour rejeter cette explication.

Si l'on a dessein de conduire l'eau par sa propre pesanteur, il ne faut pas, comme l'on voit, se flater d'y réussir, si le lieu où elle est, se trouve plus bas que celui où l'on veut qu'elle vienne; il ne suffiroit pas même que les deux lieux fussent de niveau, parce qu'il faut de la pente pour vaincre la résistance des frottements. C'est pourquoi dans tous les aqueducs, dans les tuyaux de conduite, dans les canaux où l'on veut qu'il y ait écoulement, on donne ordinairement  $\frac{1}{2}$  ligne d'inclinaison par toise.

On ne doit pas non plus désespérer de conduire l'eau où l'on veut, quoiqu'on soit obligé de la faire passer par des endroits beaucoup plus

bas que celui où l'on a dessein qu'elle aille, pourvu que celui ci ne soit pas aussi élevé que la source d'où elle part. L'eau qui se distribue dans les jardins, dans les maisons de Paris, & que l'on fait monter jusques dans les appartements pour l'usage des garde-robes, vient par des tuyaux enterrés sous le pavé des rues; mais cette eau qu'ils amènent arrive de quelque édifice public, des réservoirs du Pont Notre-Dame, de la Samaritaine, &c. qui sont plus élevés que les lieux de sa destination, soit par eux-mêmes, soit par la disposition du terrain.

Tout le monde fait que la surface des liqueurs est un plan horizontal, quelque forme que puisse avoir le vaisseau qui les contient. C'est une suite nécessaire de l'équilibre de leurs parties; car si les colonnes  $GM$ ,  $OP$ ,  $HN$ , *Fig. 7.* exercent l'une contre l'autre des pressions égales à la hauteur  $MN$ , où elles rencontrent les parois du vaisseau, étant d'une même matière, il faut qu'elles aient à compter de-là, des volumes égaux, & par conséquent que leurs extrémités d'en-

haut se trouvent dans la même ligne  
GH.

---

VII.

LEÇON.

Mais ce plan que représente la superficie des liqueurs, n'en est un que pour nos sens. Car lorsque la surface des eaux a beaucoup d'étendue, par le même principe il est prouvé qu'elle est convexe, & l'expérience est parfaitement d'accord avec la théorie.

Il n'y a personne qui ait été dans un port, ou qui ait voyagé sur mer, qui n'ait dû remarquer qu'on apperçoit les mâts d'un vaisseau qui aborde, avant qu'on puisse voir le corps du bâtiment; comme aussi en approchant d'une ville, on découvre les clochers & les toits avant d'apercevoir le rez-de-chaussée des maisons. C'est que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite, & que la convexité de la mer interrompt le rayon visuel qui vient du corps du vaisseau à l'œil du spectateur, à une distance où le rayon qui vient du mât est libre, comme on le peut voir par la *Figure 8*.

En effet, si les colonnes d'eau qui composent la mer en vertu de leur pesanteur égale, doivent avoir  
leurs

leurs extrémités supérieures  $a, b, c$ , également distantes du centre de la terre  $d$ , qui est le centre commun de tous les corps graves, elles ne peuvent pas se ranger dans un plan représenté par la ligne  $ef$ , il faut nécessairement qu'elles composent une surface convexe, qui ait son centre en  $d$ , *Fig. 9.*

VII.  
LEÇON.

Enfin il suit encore de cet équilibre des parties d'une même liqueur, que de plusieurs réservoirs qui communiquent, il n'en faut voir qu'un pour juger à quelle hauteur est la liqueur dans les autres. Car quand on me cacheroit une des deux branches du siphon de la *Figure 6.* ou le grand vaisseau de la *Figure 7.* en conséquence du principe établi, la liqueur élevée en  $A$  ou en  $I$ , m'apprendroit infailiblement qu'elle est à une semblable hauteur de l'autre part. Je saurai donc combien il reste de vin dans un tonneau, si je puis seulement joindre au robinet un tuyau montant comme  $EI$ , *Fig. 7.*

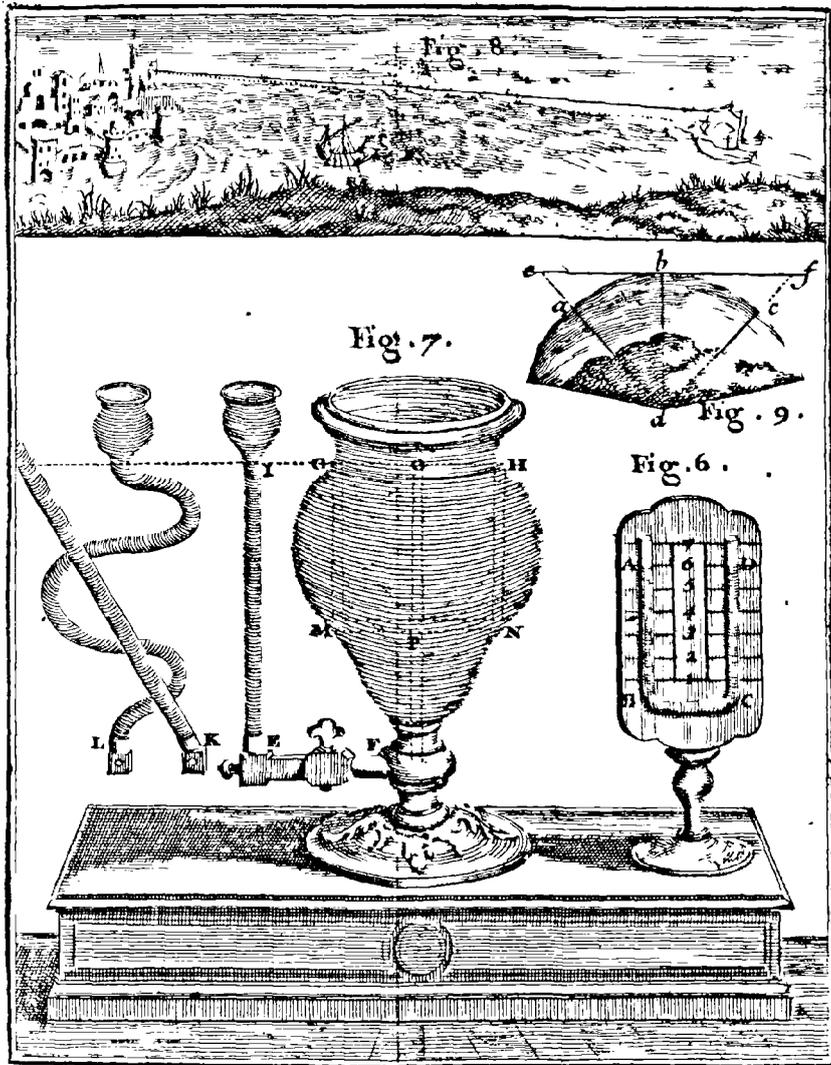
Non-seulement on peut connoître de cette manière à quelle hauteur est une liqueur dans des vaisseaux opa-

ques ou inaccessibles, mais on peut aussi s'en servir pour les emplir. Car si l'on verse de la liqueur dans le tuyau *I*, elle ne pourra s'y soutenir que par le contrepoids d'une colonne semblable dans le grand vase *GH*. Mais cette colonne ne peut s'y élever, & se soutenir toute seule; à mesure qu'elle commencera, elle s'écrasera par son propre poids & par la fluidité de ses parties, & elle ne parviendra à la hauteur *O*, qu'autant que le vase s'emplira pour la soutenir latéralement.

## V. PROPOSITION.

*Les liqueurs exercent leur pression tant perpendiculaire que latérale, non en raison de leur quantité, mais en raison de leur hauteur au-dessus du plan horizontal, & de la largeur de la base qui les soutient.*

C'est-à-dire, que si l'on conserve la hauteur & le fond du vaisseau toujours les mêmes, on pourra changer indifféremment sa forme & sa capacité; de sorte qu'une certaine quantité d'eau, par exemple, pourra faire un effort 200 ou 300 fois plus ou





moins grand , selon la maniere dont elle sera employée : proposition paradoxale , mais très-certaine , & d'autant plus importante , qu'elle influe sur presque toutes les machines hydrauliques.

VII. · E X P É R I E N C E .

P R E P A R A T I O N .

Sur les deux petits côtés de la cuvette *AB*, *Fig. 10.* s'élevent deux montants *AC*, *BD*, creusés par dedans en coulisses, pour recevoir les deux pieds de la piece *EF*, qui, par ce moyen, hausse & baisse, & se fixe où l'on veut avec les deux vis *C*, *D*. En *E* & en *F*, sont deux petits piliers ouverts par le haut en fourchettes, pour recevoir deux leviers, *G*, *H*, terminés de part & d'autre par deux portions de poulies, dont les gorges ont pour centre celui du mouvement dans la fourchette.

Au fond de la cuvette est attaché un trépied de fer, qui porte un cylindre creux de métal *IK*, dans lequel glisse un piston qui a peu de frottement. Ces deux pieces ensemble

Z ij

ble sont représentées par la *Figure 11.*

VII.  
LEÇON.

Le cylindre reçoit à vis plusieurs vaisseaux de verre, représentés par les *Figures 10. 12. & 13.* garnis par le bas, d'une virole de cuivre, & par le haut, d'une large cuvette. La hauteur de tous ces vaisseaux est égale, mais leurs figures & capacités sont, comme l'on voit, fort différentes.

Quand un de ces vaisseaux est adapté au cylindre, comme on le peut voir par la *Figure 10.* deux poids *L, M* qui tirent sur les leviers, tendent à élever perpendiculairement le piston, par le moyen d'une verge de métal *N*, & d'un double cordon attaché en *G* & en *H*, & qui traverse une mortaise pratiquée à la piece *E F*.

La *Figure 14.* représente une espèce de lanterne cubique de métal, garnie de glaces, à laquelle s'ajuste le cylindre de la *Figure 11.* & quelqu'un des vaisseaux de verre dont nous avons parlé; au fond de la lanterne est fixée une poulie *O*, qui renvoie un bout de chaîne du piston à la tige *N*, de sorte que cette piece étant placée sur le trépied dans

la cuvette, le jeu des leviers fait mou-  
voir le piston dans une direction ho-  
rizontale.

VII.  
LEÇON.

La cuvette *AB* est doublée de plomb ; les pieces qui sont en fer , sont vernies ; celles qui se joignent à vis, ont des anneaux de cuirs gras interposés ; le piston est le plus libre qu'il est possible ; & les poids *L* & *M*, sont deux petits seaux ou deux bassins de balances, que l'on peut charger plus ou moins ; & l'on a pratiqué en *K* une espece de robinet pour l'écoulement de l'eau.

E F F E T S.

Si l'on remplit d'eau le vaisseau cylindrique, quand il est monté à la machine, comme on le voit par la *Figure 10.* & que les poids *L, M*, soient tels, qu'ils enlèvent à peine le piston ; le même effet subsiste, quoiqu'on substitue à ce vaisseau ceux des *Figures 12. & 13.* dont les capacités sont très-différentes.

Les mêmes poids sont encore nécessaires & suffisants , si l'on place sur le trépied les pieces qui sont représentées par la *Figure 14.* & que l'on

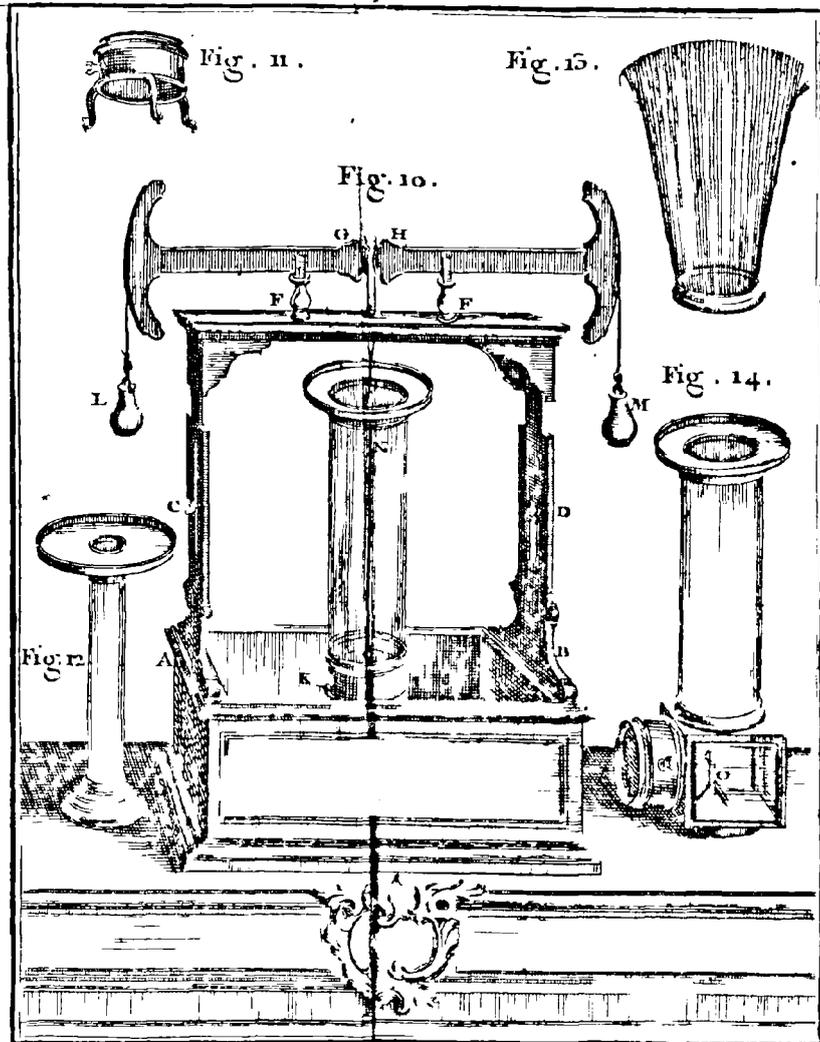
Z ij

mette de l'eau à la même hauteur que dans les expériences précédentes, à compter du dessous de la petite poulie de renvoi O.

*EXPLICATIONS.*

Pour mouvoir le piston de bas en haut, il y a deux sortes de résistances à vaincre; savoir, celle de son frottement dans le cylindre, & celle du poids de l'eau. La première ne doit point varier, quand on fait les expériences de suite, puisque c'est le même piston & le même cylindre. Si l'on n'est point obligé d'augmenter, & qu'on ne puisse pas non plus diminuer les poids, lorsqu'on emploie le plus grand ou le plus petit des trois vaisseaux, pourvu que l'eau soit toujours à même hauteur; c'est donc que les liquides, comme nous l'avons énoncé dans notre proposition, ne pesent pas sur le fond de leur vase en raison de la quantité, mais selon la largeur de ce fond, & leur hauteur perpendiculaire.

Et puisqu'il faut, pour tirer le piston horizontalement, autant de force que pour soulever la même quan-





tité d'eau dans une direction verticale, c'est une preuve que la pression latérale des liqueurs équivaut à celle qui se fait perpendiculairement à même hauteur.

VII.  
LEÇON.

Ces faits, tout surprenants qu'ils paroissent, sont incontestablement prouvés par les expériences que nous venons de rapporter ; mais ils ne sont point expliqués. S'il est utile de les savoir, il n'est pas moins curieux d'en connoître la cause ; & c'est pour tâcher de la dévoiler, que nous allons examiner comment la chose se passe dans chacun des vaisseaux : commençons par le plus simple.

La masse cylindrique d'eau qui est dans le vaisseau *IKN*, peut être considérée de deux manières, ou comme un faisceau de petites colonnes contenues sous une enveloppe commune, ou comme des tranches orbiculaires posées en pile les unes sur les autres : voyez la *Fig. 15.* de quelque façon qu'on la considère, il est évident que la base *ab* est chargée de la somme totale, ou des colonnes ou des tranches, & que si l'on connoît seulement le poids d'une

Z iv

d'entr'elles, on saura le poids de toute la masse, parce que la largeur de la base donne le nombre des colonnes, ou bien la hauteur de l'eau au-dessus de la base, détermine celui des tranches. D'où il suit que dans un vaisseau cylindrique posé perpendiculairement à l'horizon, les liqueurs, eu égard à la base, ne pesent pas autrement que les solides.

Dans le vase représenté par la *Fig. 13.* dont la coupe, selon l'axe, se voit en la *Fig. 16.* il est encore facile de voir que la base *cd* ne porte que les colonnes qui reposent perpendiculairement dessus, les autres étant soutenues par les parois, comme par des plans inclinés. Si *cd* est égal à *ab* de la *Fig. 15*, il est donc visible que ces deux bases son également chargées. La fluidité fait ici quelque chose; car c'est parce que la partie *cesd* peut se mouvoir, & exerce sa pesanteur indépendamment du reste de la masse, qu'elle charge la base de son poids. Si cette masse totale étoit composée de tranches orbitulaires, mais solides, comme *gh, ik, &c.* il est aisé de voir qu'elle seroit

toute soutenue sur les côtés du vase, & que le fond *c d* ne porteroit que la dernière tranche infiniment mince.

Enfin, comment se fait-il que la base du vase représenté par la *Fig. 12.* soit aussi chargée que celle des deux autres? Puisqu'il n'y a que la petite colonne *nn*, *Fig. 17.* qui ait toute sa hauteur, les parties voisines *oo*, doivent-elles être également comprimées?

Que ces parties du vase soient pressées, cela s'entend facilement, puisqu'elles portent une partie du fluide qui est pesant, & nous avons expliqué par la *Fig. 4.* comment non-seulement celles-ci, mais encore toutes les autres *pp*, *qq*, *Fig. 17.* participent à cette pression; mais qu'elles soient autant pressées que la partie *n*, c'est ce qu'on a peine à concevoir. On voit bien en effet que la colonne *nn* doit communiquer sa pression en *o* & en *q*, par les globules qu'elle tend à écarter; mais comme la force avec laquelle elle agit sur ces deux parties, a une direction oblique sur l'une & sur l'autre, & qu'une force qui s'exerce obliquement, n'est point égale à celle qui est directe, il semble que

la pression en  $p$  & en  $q$  ne peut jamais éga-  
 liser celle qui se fait en  $n$ .

VII.  
 LEÇON.

Il faut convenir aussi que cette égalité n'est pas démontrée à la rigueur ; mais l'expérience n'y laisse appercevoir aucune différence , & l'on concevra que celle qui peut y être , est infiniment petite , si l'on fait attention à ces deux choses : 1<sup>o</sup>. Que les molécules des corps liquides sont très-petites. 2<sup>o</sup>. Qu'elles ne se touchent point d'aussi près , que quand les causes de la liquidité viennent à cesser : avec ces deux principes , je crois qu'on peut rendre raison du fait en question. Car ces parties des liquides étant infiniment petites , quand bien même elles ne seroient qu'infiniment peu écartées les unes des autres , l'action d'une de ces particules poussée entre deux autres , devient infiniment peu oblique , c'est-à-dire , presque directe ; voyez la *Fig. 18*. Ce qui rend cette idée fort probable , c'est que la pression latérale , qui ne diffère pas sensiblement de la pression perpendiculaire dans les liqueurs , est notablement moins grande dans les fluides

grossiers, comme le sable, les menus grains, le plomb à giboyer, &c. & qu'elle diminue & cesse entièrement dans les matieres qui passent de l'état de liqueur, à celui de corps solides. Ce qui n'arrive, sans doute, que parce que les parties se rapprochent, se pelotonnent en molécules plus grossieres, & qu'au lieu de continuer d'agir les unes sur les autres, comme le globule 1 sur les deux qu'il touche, elles exercent une action plus oblique, comme le globule 2.

APPLICATIONS.

Les expériences que nous venons d'expliquer, nous conduisent naturellement à dire quelque chose des pompes; ce sont de toutes les machines hydrauliques, celles dont l'usage est le plus fréquent & le plus généralement utile: il est à propos d'en connoître au moins les principales parties, les principes sur lesquels on doit régler leurs dimensions, comment la force qu'on emploie, s'applique par leur moyen à vaincre la résistance du fluide qu'on élève; afin de n'être

---



---

 VII.  
 LEÇON.

point la dupe de son imagination; ou des fausses promesses de certains gens, dont le génie naturel n'est point assez éclairé par les lumières de la théorie.

Les principales parties des pompes, sont pour l'ordinaire des cylindres creux *AB*, ou *CD*, *Fig. 19.* faits le plus souvent de métal; des pistons *E, F*, qui remplissent une portion du cylindre, & que l'on y fait mouvoir alternativement d'un bout à l'autre par le moyen d'une tige *G* ou *H*, au bout de laquelle on applique le moteur immédiatement, ou bien à l'aide d'un levier *I*, ou de quelque autre machine; des tuyaux montants comme *K, L*, pour conduire l'eau à la hauteur qu'on desire; & enfin des *valvules, soupapes, ou clapets*, qui laissent passer l'eau dans un sens, & qui l'empêchent de revenir en sens contraire, comme on le peut voir à chaque fond des deux cylindres *B* ou *D*.

On peut distinguer en général deux fortes de pompes, composées des parties que nous venons de nommer; savoir, celles qu'on appelle *af-*

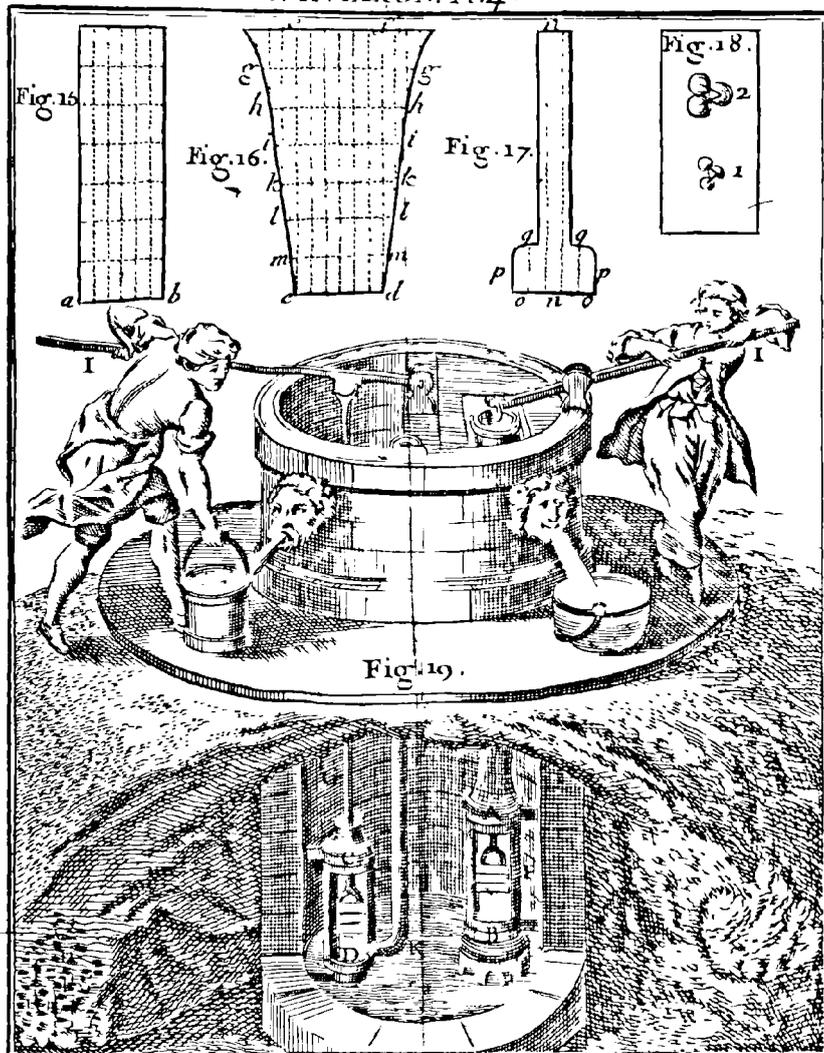
*pirantes*, & celles qui se nomment *foulantes*; nous ne dirons rien ici des premières, parce que, pour les entendre, il faut connoître quelques propriétés de l'air, dont nous n'avons point encore parlé; il ne s'agit donc maintenant que des dernières, de celles où le piston pousse immédiatement l'eau de haut en bas, ou de bas en haut.

Dans le cylindre *AB*, par exemple, lorsqu'on élève le piston de *B* vers *A*, il laisse un vuide entre lui & le fond de la pompe, & l'eau du bassin dans lequel elle est plongée, s'y élève par la pression des colonnes voisines, comme dans les tuyaux de la *Fig. 5.* & par une autre cause, que nous ferons bien-tôt connoître; lorsqu'ensuite on vient à baisser le piston, l'eau retenue par un clapet qui est au fond du cylindre, passe à travers le corps même du piston où l'on a pratiqué un canal, & un autre clapet en-dessus, pour l'empêcher de retomber; ainsi quand on élève le piston pour la seconde fois, le dessous s'emplit de nouveau, & l'eau qui étoit passée au-dessus, est portée plus

VII.  
LEÇON.

haut; en continuant ainsi, l'on parvient à remplir le tuyau montant, & ce qu'on fait après, fournit autant d'eau, dont on peut disposer. Dans l'autre pompe *CD*, dont le corps est entièrement plongé, l'eau tombe d'elle-même, & passe à travers du piston, pour remplir l'espace qu'il laisse vuide, quand on l'éleve; & lorsqu'on vient à le presser en en-bas, le trou se bouche par un clapet qui est à sa base, & l'eau est obligée de passer dans le tuyau *K*, d'où elle ne peut retomber parce qu'il y a en-bas une autre soupape qui la retient. En réitérant donc les coups de piston, ce tuyau montant se remplit, & fournit ensuite de l'eau à la hauteur où il finit.

Dans l'une & dans l'autre de ces deux machines, il est facile d'évaluer la résistance qui vient du poids de l'eau qu'on éleve: car selon les principes établis ci-dessus, & les expériences que nous avons employées pour les prouver, quelque forme que prenne la colonne du fluide, on aura sa juste valeur, en multipliant la largeur de sa base qui est celle du piston même, par la hauteur perpen-





diculaire du tuyau montant. Dans l'une de nos deux pompes la colonne d'eau repose sur le piston que l'on tire; dans l'autre elle résiste au piston que l'on pousse; & c'est précisément la même chose, quant à la force qu'il faut employer. En supposant donc un piston de telle largeur, que la colonne d'eau, dont il est la base, pese 20 livres par pied, le tuyau montant, ne fût-il que d'un pouce de diamètre, s'il a 20 pieds de haut, la somme de la charge contre le piston sera 400, produit de 20 multiplié par 20, comme si la colonne d'eau étoit dans toute sa longueur d'un diamètre égal à celui de sa base.

On ne gagne donc rien, comme l'on voit, à faire des tuyaux menus pour conduire l'eau d'une pompe; on y perd au contraire par l'augmentation des frottements; car nous avons fait voir dans la troisième Leçon\*, que cette espèce de résistance, toutes choses égales d'ailleurs, croît comme les surfaces, & que la superficie intérieure d'un petit tuyau, par rapport à la solidité du contenu, excède celle d'un plus gros.

\* page 253.

VII.  
LEÇON.

Puisqu'une colonne de liqueur fort menue peut exercer une grande pression, lorsqu'elle aboutit à une large base, on ne doit pas s'étonner que quelques pintes d'eau fassent crever un tonneau plein, quand on les élève perpendiculairement sur le trou de la bonde dans un tuyau fort long : car alors cette colonne ayant la largeur du tonneau pour base, elle a la même force, que si dans toute sa longueur elle avoit cette même largeur. Mais ceux qui seroient curieux de répéter cette expérience, doivent être avertis que les tonneaux ordinaires, dans lesquels on met le vin à Paris & aux environs, sont capables d'une résistance beaucoup plus grande qu'on ne le pourroit croire; 20 pieds de tuyaux ne m'ont quelquefois point réussi pour faire crever un demi-muid; le muid creve plutôt, parce qu'il fournit une plus large base.

Les écoulements qui se font de vaisseaux percés au-dessous de la superficie de la liqueur à ouvertures égales, ont d'autant plus de vitesse, que la liqueur est plus haute au-dessus du trou; parce que la partie du fluide  
qui

qui s'écoule actuellement, est pressée par le poids d'une colonne plus longue; c'est pourquoi les jets-d'eau s'élevont & dépenfent d'autant plus, que leurs réfervoirs font plus hauts; & la hauteur du jet diminue auffi à mefure que ces réfervoirs fe vuident. De-là vient encore qu'un vaiffeau dont la capacité eft uniforme, comme un cylindre, un prifme, &c. pofé fur fa bafe, ne fe vuide point également entemps égaux, fi l'écoulement fe fait par en-bas. Les quantités pour chaque temps vont en diminuant, comme la hauteur de la fuperficie du liquide quis'écoule; c'eft par cette raifon que dans les réfervoirs publics, où l'eau fe diftribue felon les concessions faites aux particuliers, on doit avoir foïn que le baffin d'où elle part, foit toujours également plein.

Avant que l'horlogerie fût auffi parfaite, & d'un ufage auffi commun qu'elle l'eft préfentement, on étoit fort dans l'ufage de mefurer le temps, par l'écoulement de quelque liqueur ou de quelque fluide; la *clepsydre* & le *fable* ne font autre chofe que des vaiffeaux dont une partie fe vuide d'eau,

ou de quelque poudre fine, pendant un certain temps; mais ces sortes d'instruments ne peuvent jamais être bien parfaits, parce qu'en général la vitesse des écoulements dépend non-seulement de la hauteur perpendiculaire du fluide, qui est ce que nous avons principalement en vûe ici, & qu'on peut aisément mesurer, mais encore de la quantité des frottements, du degré de fluidité & de densité, qui sont variables, & qu'il est difficile d'évaluer.

---

## II. SECTION.

*De la pesanteur & de l'équilibre de plusieurs Liqueurs, dont les densités sont différentes.*

Nous avons donné au commencement de la première Section une idée des liqueurs en général, en les représentant comme un amas de petits corps solides, très-durs, indépendants les uns des autres, pesants séparément & à proportion de leurs petites masses; tout ce que nous

avons à ajouter à cette description, pour faire entendre comment se comportent dans le même vaisseau deux liqueurs de densités différentes, c'est que ces petits corps qui les composent, sont eux-mêmes des assemblages de parties plus subtiles, fortement liées & adhérentes entr'elles; la densité de ces petites masses étant plus ou moins grande, leurs figures & leurs grandeurs occasionnant plus ou moins de vuide dans leur assemblage, on conçoit bien qu'il en doit résulter des fluides ou des liqueurs plus ou moins denses.

Quand on compare plusieurs liqueurs par rapport à leurs poids, ou la comparaison se fait entre des volumes d'une grandeur sensible, comme lorsqu'on pese de l'eau contre de l'huile, ou contre du mercure, dans des vaisseaux séparés; ou bien ce sont les parties mêmes que l'on compare ensemble, comme lorsqu'on mêle de l'eau avec du vin, ou avec de l'air: de quelque façon que cela se fasse, la pesanteur exerce ses droits comme ailleurs; mais la fluidité donne lieu à des effets particuliers que nous allons examiner.

A 3 ij

---

 VII. PREMIERE PROPOSITION.

LEÇON.

*La différence du poids, ou de la densité, suffit pour séparer les parties de deux liqueurs qu'on a mêlées ensemble, si d'autres causes plus fortes n'empêchent cet effet.*

## PREMIERE EXPERIENCE.

## PREPARATION.

Dans un vase de verre divisé en deux parties, qui communiquent par un petit canal d'une ligne & demie de diametre, *Fig. 20.* il faut mettre d'abord du vin rouge jusqu'en *A*, & achever de l'emplir avec de l'eau, & l'exposer en quelque endroit où il ne soit point agité.

## EFFETS.

De l'extrémité du canal *A* on voit aussi-tôt s'élever une petite colonne de vin, qui se répand ensuite sur la superficie de l'eau; & peu-à-peu tout le vin passe ainsi à la place de l'eau, & celle-ci à la place du vin.

Les particules qui composent la masse d'eau, étant plus pesantes que celles du vin, font plus d'effort pour occuper le fond du vase, que celles-ci n'ont de force pour leur résister; de-là il arrive qu'une colonne d'eau, capable d'occuper à-peu-près la moitié du canal *A*, prend son cours de haut en bas, & qu'une pareille quantité de vin s'éleve en même temps de bas en haut: & comme ces colonnes d'eau & de vin, à mesure qu'elles passent, se réparent continuellement aux dépens de la masse dont elles font partie, à cause de sa fluidité; il arrive enfin que toute l'eau se trouve où étoit le vin avant l'expérience, & que le vin est obligé d'occuper la partie du vase la plus élevée: parce que deux corps ne peuvent pas être en même temps dans le même lieu, comme nous l'avons fait voir dans la troisième Leçon \*, en

\* 3. Sect.  
P. 71. & s.

parlant de l'impénétrabilité de la matière.

## II. EXPERIENCE.

VII.  
LEÇON.

## P R E P A R A T I O N .

La phiole cylindrique qui est représentée par la *Fig. 21.* contient 5 fluides différens ; savoir , 1. du mercure , 2. de l'huile de tartre , 3. de l'esprit-de-vin , 4. de l'esprit de térébenthine , 5. & de l'air.

## E F F E T S .

Quand le vase est en repos , toutes ces matieres occupent les places qui conviennent à leur pesanteur spécifique ; c'est-à-dire , que le mercure se tient au fond , l'huile de tartre immédiatement au-dessus , après celle-ci l'esprit-de-vin , l'esprit de térébenthine ensuite , l'air au-dessus de tout ; & si l'on renverse plusieurs fois la phiole en l'agitant , dès qu'on la repose , chacune de ces liqueurs reprend sa place , mais l'air , le mercure & l'huile de tartre plus promptement que les autres.

## E X P L I C A T I O N S .

Ces cinq fluides différent plus entr'eux , que le vin & l'eau de l'expé-

rience précédente, non-seulement par leurs pesanteurs spécifiques, mais encore par leur nature; ce qui fait, sans doute, qu'en les agitant ensemble, ils ne se divisent point, & ne se mêlent point autant que d'autres liqueurs qui seroient plus analogues; c'est par la même raison, que le mercure & l'huile de tartre se démêlent plus vite que les autres.

#### APPLICATIONS.

Les vaisseaux propres à exécuter ces sortes d'expériences, peuvent recevoir différentes formes, & se disposer de diverses manières. On peut, par exemple, cacher la capacité inférieure, qui contient le vin de la première expérience, dans un petit piédestal, ou autrement, *B*, *Fig. 20.* en ne laissant ainsi appercevoir que la partie du vase où l'on met l'eau, il semble à ceux qui ne connoissent point ces effets, que l'eau se change en vin; c'est ainsi que l'on trompe quelquefois les yeux par de petits artifices, qui perdent tout leur merveilleux, quand on en connoît les causes. Nous n'en parlons que pour ap-

VII.  
LEÇON.

prendre à suspendre son jugement dans les choses que l'on ne conçoit pas d'abord, & à ne pas regarder comme surnaturels des effets qui surprennent, & dont la cause physique ne s'apperoit pas.

Les matieres grasses, animales, végétales ou minérales, étant pour l'ordinaire composées de molécules moins denses que celles de l'eau, s'en dégagent, lorsqu'elles y sont mêlées, & le plus souvent l'on n'emploie pas d'autre moyen, pour les en séparer, que de leur donner le temps de surnager; c'est ainsi qu'on sépare la crème du lait.

On remarque souvent à la superficie des eaux croupies des taches luisantes, qui font paroître des couleurs d'iris, quand on les regarde dans certains sens; ce sont des parties grasses, salines, ou sulfureuses, qui se sont élevées du fond, comme il arrive dans les terrains bitumineux; ou qui se sont démêlées de l'intérieur de l'eau, ce qui ne manque guere d'arriver dans les bassins où l'on va laver le linge. Mais si une goutte d'huile, une parcelle de graisse, s'élève  
au-dessus

au dessus de l'eau, la même chose doit arriver, & arrive en effet, quand il y en a une plus grande quantité : ainsi plus un animal est gras, toutes choses égales d'ailleurs, plus il a d'avantage pour nager. Un bœuf, ou un cochon, à cet égard, court donc moins de risque de se noyer, qu'un lévrier, ou tout autre animal maigre.

Nous pourrions encore citer ici pour exemple, l'ascension des vapeurs & des exhalaisons ; mais nous avons prévenu cette application, en faisant connoître dans la Leçon précédente, que la fumée & la flamme, suivant l'opinion commune, ne s'élevent dans l'air que par une légéreté respective, qui n'est, à proprement parler, qu'une moindre pesanteur, comme l'air s'éleve dans l'huile, l'huile dans l'eau, l'eau dans le mercure.

Quoiqu'une liqueur plus légère soit capable de s'élever au travers d'une liqueur plus pesante, il y a pourtant telle circonstance où cet effet n'apoint lieu. L'eau & le vin, par exemple, que nous avons employés dans notre première expérience, ne se séparent point, quand on les a versés brusque-

ment l'un sur l'autre. L'huile & l'eau battues ensemble avec l'air qui s'y mêle, perdent leur fluidité; le blanc d'œuf & la crème fouettée font la même chose, & ces sortes de mélanges subsistent assez long-temps.

Tous ces exemples prouvent seulement, qu'il y a des causes qui s'opposent aux effets de la pesanteur dans la séparation des fluides mêlés, & que ces causes peuvent devenir prédominantes; mais elles ne détruisent point notre proposition. Il faut se souvenir ici de ce que nous avons dit des frottements dans la troisième Leçon. Cette sorte de résistance s'augmentant à mesure que les surfaces se multiplient, les liqueurs mêlées peuvent être divisées en si petits volumes, que l'une touche l'autre par trop d'endroits, & que la différence de leurs pesanteurs, qui seroit la cause de leur désunion, n'égale pas le frottement, ou (ce qui est la même chose,) la difficulté qu'elles ont à se séparer. C'est par cette raison que le vin, presque aussi pesant que l'eau par lui-même, quand il est fort divisé par une chute trop brusque, demeure dans l'eau, comme il

s'y trouve; au lieu que si par la forme du vase, ou par la façon de le verser, on met en opposition des volumes plus considérables, & qui aient moins de surface par rapport à leur solidité, il arrive le plus souvent que le frottement cede à la pesanteur de l'eau. C'est encore par la raison des frottements augmentés par la division des parties, que l'huile & le vin deviennent *onguent*, que le blanc d'œuf, la crème, &c. demeurent en mousse; car l'air y est si divisé, & son mélange avec ces liquides est si intime, que la légèreté ne suffit plus pour l'en dégager. Ajoutez à ces raisons deux autres causes qui rendent encore la séparation des parties difficiles; c'est la viscosité qui est plus ou moins grande dans une matiere que dans une autre, mais dont aucune n'est parfaitement exempte; & l'analogie qui se trouve souvent entre deux liqueurs & qui consiste vraisemblablement dans une certaine convenance de figures, de grandeur, ou de surface. L'esprit-de-vin mêlé avec l'eau ne s'en sépare plus; & l'huile de térébenthine, qui n'est guere plus légère, ne fait pas la même chose.

## II. PROPOSITION.

VII.  
LEÇON.

*Plusieurs liqueurs ou plusieurs fluides, quoique de natures différentes, pesent les uns sur les autres en raison de leurs densités & de leur hauteur.*

Cette proposition n'a besoin ni d'explication, ni de preuves; car si toute liqueur est pesante, par la raison seule qu'elle est matière, ajouter une liqueur sur une autre, c'est ajouter un poids à un autre poids, & quand l'un des deux seroit plus petit que l'autre, il n'a pas moins une valeur réelle qui doit être comptée dans la somme. Si l'on a dessein de charger le fond d'un vaisseau cylindrique de deux livres de liqueur, & qu'on commence par y verser une livre d'eau, on pourra certainement achever la charge avec de l'huile; celle-ci étant moins pesante, il en faudra un plus grand volume, mais son poids ne contribuera pas moins à la pression qu'on s'est proposée.

## III. PROPOSITION.

*Deux liqueurs de densités différentes sont en équilibre, lorsqu'ayant la même*

base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon sont en raison réciproque de leurs densités ou pesanteurs spécifiques.

VII.  
LEÇON.

### III. EXPERIENCE.

#### PREPARATION.

*ECD*, Fig. 22. est un siphon renversé, dans lequel on verse du mercure, jusqu'à ce que la surface de part & d'autre soit d'un demi-degré plus élevée que la ligne *CD*; après quoi l'on verse de l'eau colorée dans la branche *CE*.

#### EFFETS.

Lorsque la colonne d'eau mesure 14 degrés, le mercure se trouve d'un degré plus élevé dans la branche *D*, que dans l'autre.

#### EXPLICATIONS.

Le mercure chargé d'un côté par la colonne d'eau, s'élève dans l'autre branche jusqu'à ce qu'il soit en équilibre avec la liqueur qui le presse; quand il cesse de monter, sa hauteur au-dessus de son niveau égale la quatorzième partie de celle de l'eau, &

B b iij

l'on fait d'ailleurs que le poids de l'eau est à celui du mercure, comme 1 est à 14; il est donc évident que les hauteurs de ces deux liqueurs en équilibre, sont en raison réciproque des densités, puisque l'eau se tient 14 fois aussi haute, comme le mercure est 14 fois aussi pesant.

*APPLICATIONS.*

La proposition que nous venons de prouver, étant une fois reconnue pour vraie, il sera aisé de connoître le rapport de densités de plusieurs liqueurs, en comparant ainsi leurs hauteurs, lorsqu'elles seront en équilibre; car on conçoit bien qu'au lieu de mercure on pourroit mettre avec l'eau toute autre matiere liquide, comme de l'huile, de l'esprit de vin, &c. & qu'on jugeroit de même par leur hauteur au-dessus du niveau, de combien l'une seroit plus ou moins pesante que l'autre.

Comme on peut juger des densités par la comparaison des hauteurs, on pourroit aussi par l'élévation de la plus pesante des deux liqueurs, si l'on connoissoit les densités, estimer

la hauteur de la plus légère en tel cas où l'on ne pourroit la mesurer. Si, par exemple, un plongeur avoit au fond de l'eau un siphon renversé avec du mercure, sur lequel la pression de l'eau agît seule, & seulement par une des deux branches, dès qu'il verroit le mercure élevé d'un pied, il pourroit conclure en toute sûreté que la colonne d'eau qui presse, a 14 pieds de hauteur.

Nous sommes sur la terre comme les poissons qui rampent au fond de la mer, plongés dans un vaste fluide qui nous environne de toutes parts, & dont nous ne savons pas au juste la hauteur : accoutumés dès l'instant de notre naissance à la pression de l'air qui est égale & uniforme sur toute l'étendue de nos corps, nous ne la sentons point, parce qu'elle est continuelle; car sentir n'est autre chose que juger de notre état actuel, par comparaison à un autre qui a précédé : une sensation qui n'est jamais interrompue, à proprement parler, n'en est pas une. Aussi la connoissance de la pesanteur de l'air est-elle une découverte qui a encore tout le goût

de la nouveauté. Il y a à peine un siècle que l'on compte sur la pression de ce fluide; avant ce temps-là bien loin de le croire pesant, plusieurs Philosophes l'avoient mis au rang des matieres à qui ils attribuoient une légèreté absolue.

Ce n'est pas que la nature n'eût parlé par des faits qui avoient fixé l'attention des Savants; mais ce qu'elle avoit dit avoit été mal interprété. On avoit vu avec admiration l'eau s'élever au-dessus de son niveau dans les pompes aspirantes; on avoit remarqué que le piston d'une seringue ne pouvoit se tirer qu'à grande force, quand elle étoit bouchée par le bout. On voyoit avec surprise qu'un soufflet n'avoit son jeu libre, qu'autant qu'il étoit ouvert par son canon, que deux corps durs & polis comme le marbre, appliqués l'un à l'autre se séparoient très-difficilement, &c. « Mais » c'est, disoit-on, que la nature à un » amour secret pour le plein; dès » qu'il y a quelque part défaut de ma- » tiere, elle s'empresse d'y en por- » ter; en un mot, *la nature abhorre » le vuide.* »

Ces mauvaises raisons si peu respectables, mais pourtant trop respectées dans des temps où la raison cédoit à l'autorité d'un nom célèbre, ont retardé long-temps les progrès de la Physique. Galilée se paya, comme les autres, de l'horreur du vuide, tant qu'il n'en vit point les bornes; mais s'étant assuré par des épreuves, que l'eau ne pouvoit monter qu'à trente-deux pieds dans les pompes aspirantes, & que le reste du tuyau, s'il étoit plus long, demeueroit vuide, il se révolta enfin contre cette maniere de philosopher; & bien loin de penser, comme auroit pu faire quelqu'autre, que l'horreur du vuide avoit ses limites au-delà desquelles elle se tournoit en indifférence, il commença à croire que ces sortes de phénomènes avoient une cause physique bien différente de ce qu'on avoit imaginé jusqu'alors pour les expliquer. Ce qu'il avoit soupçonné, Toricelli, son Disciple, le mit en évidence. Ce Philosophe Italien fit voir le premier en 1643, qu'une colonne d'air prise dans l'athmosphère, se met en équilibre avec une colonne d'un autre

fluide qui a la même base. Cette expérience que nous allons répéter, prouva invinciblement la pesanteur de l'air, & restitua authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels que l'on avoit attribués jusqu'alors à une cause purement chimérique.

## IV. PROPOSITION.

*L'air est un fluide pesant, & qui exerce sa pression dans tous les sens à la manière des liqueurs.*

- Quoique nous ayons résolu de traiter à part des propriétés de l'air, nous avons cru qu'il étoit à propos de placer ici ce qui regarde sa pesanteur, parce que c'est une dépendance de l'hydrostatique. Ce que l'air opere en qualité de fluide pesant, il le fait en conséquence des principes de cette science, & nous ne faisons mention de lui en particulier, que parce que sa gravité est une des plus curieuses & importantes découvertes que l'on ait faites dans ces derniers temps. Mais nous n'y parlerons que de sa pesanteur relative, remettant à traiter avec ses autres proprié-

tés de sa pesanteur absolue, en répétant les expériences qui la prouvent *à priori*.

#### IV. EXPERIENCE.

##### PREPARATION.

On fait couler du mercure bien net dans un tube de verre qui a environ 3 pieds de longueur, & qui est fermé par un bout. Quand le tube est entièrement plein, on met le doigt dessus l'orifice pour le boucher, & après l'avoir renversé, on porte le bout qui est fermé avec le doigt, dans un vase qui contient du mercure, & l'on ôte le doigt. Voyez la *Figure 23*.

##### EFFETS.

Le tube ainsi plongé & ouvert par en-bas, se vuide en partie dans le vase; mais il y reste une colonne de mercure qui a environ 27 pouces  $\frac{1}{2}$  de hauteur.

##### EXPLICATIONS.

L'air étant une matière, a, comme tous les autres corps, un gravité qui

## 300 LEÇONS DE PHYSIQUE

VII.  
LEÇON.

a pour centre celui de la terre même ; un corps grave, comme nous l'avons vu précédemment, agit par son poids surtout ce qui s'oppose à sa chute, ou qui lui sert de base ; ainsi quand une colonne d'air de l'atmosphère repose sur quelque corps, elle le comprime selon toute la valeur de son poids. La superficie du mercure dans le vase de notre expérience, est donc comprimée par le poids d'une colonne d'air, dont elle est la base ; lorsqu'on applique à quelque endroit de cette superficie comprimée, un tuyau qui contient une colonne de mercure plus pesante que la colonne d'air dont sa base occupe la place, elle s'enfonce, & s'abaisse jusqu'à ce que sa hauteur diminuée, mette son poids en équilibre avec la pression qui s'exerce sur toutes les parties semblables de la surface du mercure où le tube est plongé.

Cette expérience seule aux yeux d'un homme entêté de l'horreur du vuide, n'eût guere eu plus de force que l'observation de Galilée sur l'impuissance des pompes aspirantes au-

dessus de 32 pieds; il se seroit encore fait illusion en limitant l'amour de la nature pour le plein; mais quel subterfuge peut-il rester, quand on compare l'un & l'autre fait? Quand on voit que les colonnes de liqueurs élevées ainsi au-dessus de leur niveau, diminuent comme leurs densités augmentent; quand on est assuré que la cause qui élève l'eau à 32 pieds, ne peut soutenir le mercure qu'à 27 pouces  $\frac{1}{2}$ , & que l'on fait d'ailleurs que ces deux colonnes si différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'est-on pas forcé de reconnoître que la cause de leur suspension n'est point une qualité abstraite, puisqu'elle se rapporte avec tant d'exactitude aux loix de la Statique? En un mot, cet effet n'a-t-il pas tout l'air d'un équilibre? C'est aussi le jugement qu'en porta Toricelli, & qu'en porterent après lui la plupart des Physiciens qui eurent connoissance de cette belle & curieuse expérience. Mais personne ne contribua davantage à découvrir & à faire connoître la pesanteur de l'air, que M. Pascal: il

avoit employé l'horreur du vuide, comme un langage reçu ; mais il l'avoit fait, de même que Galilée, avec toute la répugnance que peut sentir à s'exprimer obscurément, un génie que la nature a formé pour ne recevoir & ne transmettre que des idées claires & distinctes. Il entra avec toute l'ardeur & la sagacité dont il étoit capable, dans les vues de Toricelli ; & tant par lui-même que par les soins de M. Perrier son beau-frere, qui étoit à Clermont en Auvergne, & qui pouvoit tirer avantage d'une haute montagne connue sous le nom du *Puy de Dôme*, il mit dans la dernière évidence, ce que la colonne de mercure suspendue au-dessus de son réservoir, indiquoit déjà d'une manière assez décisive, à ceux qui avoient abjuré les qualités occultes, & qui ne vouloient plus admettre que des causes mécaniques pour expliquer les effets naturels.

Voici la méthode que suivit M. Pascal, pour s'assurer si la suspension des liqueurs au-dessus de leur niveau dans les pompes aspirantes, ou dans le tube de Toricelli, étoit

un fait d'équilibre, & si la puissance opposée au poids du mercure, étoit véritablement une colonne d'air prise dans l'athmosphère, comme il y avoit toute apparence. » Si l'air, dit-il, » est la cause de ce phénomène, c'est » parce qu'il est pesant & fluide; sa » pression doit donc se faire comme » celle des liqueurs; elle doit diminuer » ou augmenter selon sa hauteur; & » les colonnes de liqueur avec lesquelles on le mettra en équilibre, » seront toujours plus ou moins longues, selon qu'elles seront plus ou moins denses : voyons ce que dira l'expérience. »

Quelque étendue que puisse avoir l'athmosphère au-dessus de la surface de la terre, on ne peut guère se dispenser de croire qu'elle forme autour du globe une enveloppe, dont la superficie est uniforme & sphérique, à peu près comme celle de l'eau paroît plane, quelque figure qu'ait le fond du vase qui la contient. Dans cette supposition, les colonnes d'air, à compter de l'extrémité de l'athmosphère jusqu'à l'endroit où elles rencontrent la terre, sont plus ou moins

---

VII.  
LEÇON.

longues, selon le moins ou le plus d'élevation du lieu où elles aboutissent ; elles ont donc plus de longueur au bas d'une montagne , & elles en ont moins au sommet ; si l'air est pesant , ces colonnes dans un lieu bas , doivent faire une plus grande pression que dans un lieu plus élevé.

M. Perrier ayant remarqué à quelle hauteur étoit le mercure dans le tube de Toricelli , au pied du Puy de Dôme , trouva qu'il baïssoit de plus en plus & constamment , à mesure qu'on s'avançoit vers le haut de la montagne , & qu'il remontoit au contraire , & suivant les mêmes proportions , à mesure qu'on descendoit vers la ville ; & cette expérience imaginée par M. Pascal , & réitérée plusieurs fois selon ses intentions , a toujours donné le même résultat ; on a donc conclu dès-lors que le mercure se soutenoit au-dessus de son niveau dans le tube de Toricelli , par la pression de l'air sur le réservoir , parce qu'on voyoit baïsser le mercure dans le tube , lorsque la colonne qui répondoit à ce réservoir , devenoit moins longue.

Mais si la pression de l'air sur le  
réservoir

réservoir soutenoit 27 pouces  $\frac{1}{2}$  de mercure dans le tube, il falloit que cette colonne ainsi suspendue, ne fût aucunement soumise au poids de l'air par sa partie supérieure; car alors étant entre deux pressions égales, elle doit tomber à son niveau par son propre poids. C'est aussi ce qui arrive, si l'on ouvre le bout du tube par le moindre petit trou; & pour faire voir par une même expérience qu'il est également nécessaire que l'air agisse sur la surface du réservoir, & qu'il n'agisse qu'en cet endroit, pour soutenir la colonne de mercure au-dessus de son niveau, M. Pascal imagina l'expérience qui suit.

## V. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

FG, Fig. 24. est un tuyau de verre doublement recourbé & renflé en H, ayant environ 30 pouces de G en K, & autant de H en F. K est un petit canal ouvert qui communique avec l'intérieur du tube & que l'on bouche avec un morceau de vessie mouil-

léc. On emplît tout le tuyau de mercure, & on le plonge dans le réservoir comme celui de Toricelli.

*E F F E T S.*

1°. Le mercure descend en *I*, & se fixe à 27 pouces  $\frac{1}{2}$  ou environ au-dessus du niveau : il en reste seulement dans la partie renflée *H*. 2°. Si l'on pique avec une épingle la vessie qui bouche l'orifice *K*, aussi-tôt l'air y entre, & le mercure contenu depuis *I* jusqu'en *G*, tombe dans le réservoir ; & celui qui est contenu dans le renflement *H*, remonte dans le tuyau *H F*, & y demeure suspendu à peu près à la hauteur de 27 pouces  $\frac{1}{2}$ .

*E X P L I C A T I O N S.*

Il paroît par cette expérience, 1°. que l'air est la cause de ces deux effets, puisqu'ils n'ont lieu que quand on pique la vessie. 2°. Que l'élévation du mercure de *G* en *I*, est véritablement causée par la pression de l'air extérieur sur la surface du réservoir, puisque le mercure retombe aussi-tôt que cette pression est contrebalancée par l'introduction d'une colonne d'air en *K*. 3°. Que cette pression de l'air extérieur est bien

capable de soutenir le mercure à 27  
pouces  $\frac{1}{2}$ , puisqu'elle l'élève de nou-  
veau à cette hauteur dans la partie *HF*.

Enfin, M. Pascal répéta l'expé-  
rience de Toricelli avec de l'eau, du  
vin, de l'huile, &c. & il parut par  
tous ses résultats, que c'étoit à la pres-  
sion de l'air qu'on devoit attribuer la  
suspension de toutes ces liqueurs au-  
dessus de leur niveau, parce que  
leurs hauteurs étant toujours plus ou  
moins grandes dans les tubes, à pro-  
portion de leurs différentes densités,  
il étoit palpable qu'elles se mettoient  
en équilibre avec un poids qui étoit  
toujours le même à peu près; &  
comme il n'y avoit que l'air qui ré-  
pondit à leur base, ce fluide s'annon-  
çoit lui-même comme la vraie cause  
de cet effet.

*A P P L I C A T I O N S.*

L'expérience de Toricelli ne fut  
pas plutôt connue, que les Physi-  
ciens s'empresserent de la répéter,  
& d'en étudier toutes les circonstan-  
ces; chacun d'eux avoit dans son  
cabinet la colonne de mercure sus-  
pendue, & la visitoit souvent. Un

---

 VII.  
LEÇON.

examen aussi assidu ne devoit pas laisser ignorer long-temps les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube ; on s'en aperçut bien-tôt ; & nous voyons par des Lettres de M. Canut chargé des affaires du Roi de France en Suede, que Descartes, Pascal & Perrier, ne l'ont point ignoré, & que l'on a pensé dès ce temps-là à faire, au moyen de cette expérience, un nouvel instrument météorologique ; on l'a nommé depuis, *barometre*, ou *baroscope*, c'est-à-dire, mesure ou observation de la pesanteur ( de l'air. ) En effet, puisque c'est le poids de l'air qui soutient le mercure dans le tube, lorsqu'il monte plus haut, ou qu'il descend plus bas que 27 pouces  $\frac{1}{2}$  sa hauteur moyenne, n'a t-on pas raison de conclure que la pression de l'air est augmentée ou diminuée ? & cette colonne de mercure qui hausse & baisse, n'est-elle pas une indication de la pesanteur actuelle de l'atmosphère ?

Quand le barometre n'auroit que cet avantage, de nous avertir que

le fluide dans lequel nous vivons, agit plus ou moins fortement sur nos corps, il mériteroit déjà d'occuper une place dans nos appartements, par préférence à tant d'autres meubles superflus ou inutiles; mais il en a un autre qui le rend encore plus précieux, il annonce d'avance les changements de temps, sur-tout quand ils doivent être considérables; & l'on doit convenir que ces sortes de prédictions sont importantes pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, & dans une infinité d'autres circonstances.

Cette propriété du barometre, est constatée par les observations de près d'un siecle, faites en différents pays, & par diverses personnes attentives & exactes: & sur-tout depuis l'établissement des Académies, nous avons des tables d'observations météorologiques, par lesquelles il paroît constant.

1°. Que la hauteur moyenne du mercure dans le barometre est de 27 pouces  $\frac{1}{2}$  en France.

2°. Que le plus grand abaissement ne va pas tout-à-fait à 26 pou-

ces, ni la plus grande élévation à 29;

3°. Que vers l'Equateur, les variations sont moins grandes, & qu'elles le sont plus dans les climats septentrionaux.

4°. Que quand le mercure baisse dans le barometre, quelle que soit la hauteur où il se trouve alors, il annonce de la pluie ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais temps.

5°. Qu'au contraire, quand il monte, il annonce le calme, le sec, le beau temps.

6°. Que ces prédictions manquent quelquefois, sur tout quand les variations de hauteur du mercure se font lentement, & en petite quantité.

7°. Qu'au contraire, elles sont presqu'infailibles, quand le mercure monte ou descend d'une quantité considérable en peu de temps, comme, par exemple, de 3 ou 4 lignes en quelques heures.

8°. Qu'à Paris il est assez rare que les variations du barometre s'étendent plus loin que de  $26\frac{3}{4}$  à  $28\frac{1}{2}$  pouces.

EXPÉRIMENTALE. 311

Cette dernière observation a fait naître l'envie d'avoir des barometres dont les variations eussent plus d'étendue, afin que les plus petites pussent être observées; de-là sont venus les barometres à deux branches, qu'on a nommés *doubles* par cette raison; les barometres coudés, les barometres raccourcis, &c. dont nous ne donnerons point ici la description, parce qu'ils sont assez connus, & que cette digression nous éloigneroit trop de notre sujet. Nous dirons seulement que de tous les moyens qu'on a imaginés jusqu'à présent pour perfectionner le barometre, il n'y en a aucun qui soit assez avantageux, & qui n'ait trop d'inconvénients pour mériter qu'on le préfere à celui de Toricelli, c'est-à-dire, à celui qu'on nomme communément barometre *simple*, & qu'on a représenté par la Fig. 25.

---

VII.  
LEÇON.

Mais ce dernier, tout simple qu'il est, doit être construit avec des attentions que n'ont point ordinairement les Ouvriers qui les vendent. Il faut qu'il soit rempli d'un mercure parfaitement pur; que le tube ait au

moins deux lignes de diametre intérieurement, que le verre en soit parfaitement net, & qu'il ne reste aucune particule sensible d'air entre le mercure & lui. Il faut encore que le petit vase qui sert de réservoir au bas du tuyau, soit de telle largeur, que la surface du mercure qu'il contient, demeure sensiblement à la même hauteur pendant que celui du tuyau monte ou descend. On doit aussi avoir attention que l'échelle de graduation soit bien exactement divisée; car ce seroit un défaut considérable, s'il se trouvoit quelque ligne de mécompte sur les 27 pouces  $\frac{1}{2}$  de hauteur moyenne, ce qui n'est que trop possible, quand on se contente de coller sur une planche une impression toute divisée, comme on fait le plus souvent.

Si les Physiciens conviennent entr'eux, que le mercure du barometre est soutenu à sa hauteur moyenne, par le poids de l'air de l'athmosphère, ils ne sont pas tout-à-fait d'accord sur les variations qu'on y remarque. On fait bien qu'une plus grande élévation du mercure dénote une plus grande

grande pression de la part de l'air ; mais par quelles raisons l'air presse-t-il davantage dans un temps que dans un autre ? & quelle affinité ya-t-il entre cette pression plus ou moins grande, & le changement de temps qui n'arrive quelquefois que 10 ou 12 heures après ? c'est ce que nous examinerons ailleurs, quand nous aurons fait connoître plus amplement les propriétés de l'air, & les différents états de l'athmosphere.

## VI. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

On applique à la superficie d'un vase plein d'eau colorée, un tuyau de verre ouvert par les deux bouts, & l'on suce avec la bouche ou autrement, l'air qu'il contient, *CD*, *Fig.* 20.

### EFFETS.

Dès que l'on suce l'air qui est dans le tube, l'eau y monte & le remplit.

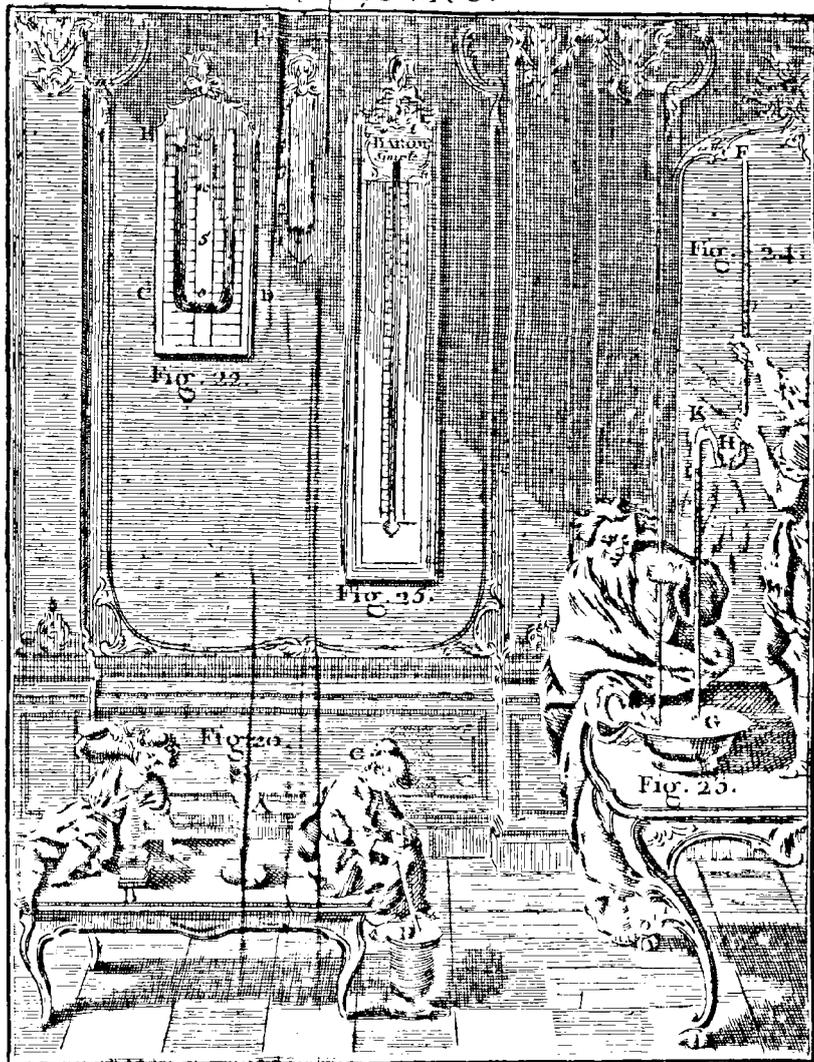
### EXPLICATIONS.

Puisque l'air est un fluide universel  
Tome II. D d

VII.  
LEÇON.

sellement répandu sur tous les corps qui sont à la surface de la terre, il faut concevoir l'eau de notre vase comme ayant deux sortes de poids qui la font peser sur le fond; savoir, celui qui lui vient de sa propre masse, & celui d'une colonne d'air qui répond à sa surface, & qu'elle soutient. Car nous avons vu ci-dessus que plusieurs liqueurs l'une sur l'autre, exercent leur pesanteur en commun sur le même fond. Supposons maintenant que l'eau soit divisée en un certain nombre de petites colonnes semblables à celle qui répond à l'orifice du tube; chacune de ces colonnes répondra à une colonne d'air semblable en diamètre; & l'on pourra dire d'elle ce que nous venons de dire de la masse totale, qu'elle pese ou qu'elle tend au fond du vase par elle-même, & par le poids de l'air qu'elle porte.

Tant qu'on ne suce pas l'air du tube, toutes les extrémités de ces colonnes d'eau sont dans le même plan, parce qu'étant également pesantes, & également chargées, il n'y a pas de raison qui oblige l'une ou





l'autre à se tenir ou plus haute, ou plus basse que le reste; mais si l'une d'entr'elles se trouve déchargée du poids de l'air qu'elle portoit, (& c'est l'en décharger que d'ôter l'air du tuyau de verre, ) alors cette colonne doit s'élever au-dessus des autres, parce qu'elle n'est plus en état de leur faire équilibre. Et comme la fluidité de la masse ne permet pas que cette colonne ainsi élevée laisse aucun vuide dans le fond, elle se répare continuellement aux dépens des autres qui diminuent de longueur, & le vaisseau se vuide de cette manière.

Si la pression de l'air sur la surface de l'eau étoit infinie, on pourroit ainsi avec un tuyau assez long élever l'eau, ou toute autre liqueur, à une hauteur non limitée. Mais si le poids de l'air n'a qu'une certaine valeur, quand l'eau sera parvenue à telle hauteur, où son propre poids sera égal à celui de l'air qui la souleve, on aura beau sucer celui du tuyau, la puissance de l'air extérieur épuisée, n'aura plus d'effet au-delà.

## VII. EXPERIENCE.

---



---

 VII.  
LEÇON.

## P R E P A R A T I O N .

Cette expérience se fait de même que la précédente ; mais on se sert de mercure au lieu d'eau , & le tube doit avoir au moins 30 pouces de longueur , & ne pas excéder une ligne de diamètre.

## E F F E T S ,

Le mercure arrivé à 27 pouces  $\frac{1}{2}$  ou environ de hauteur perpendiculaire au-dessus de la surface du réservoir , ne s'élève pas davantage , quoiqu'on continue de sucer l'air du tuyau.

## E X P L I C A T I O N S ,

Nous n'avons rien à ajouter à l'explication de l'expérience précédente , pour faire entendre celle-ci , sinon que , comme le mercure est beaucoup plus pesant que l'eau , la pesanteur de l'air extérieur qui sert à l'élever , se trouve en équilibre avec une colonne moins longue. S'il y avoit quelque fluide encore plus pesant que le mercure , on le verroit sans doute se fixer encore plus bas.

Vuider d'air un tuyau en le suçant avec la bouche, ou bien en traînant dedans, & de bas en haut, un bouchon bien exact, c'est la même chose quant à l'effet qui doit s'ensuivre; c'est toujours donner lieu à la pression de l'air qui répond au réservoir, & cela suffit pour élever le fluide. C'est précisément ce que l'on voit dans les seringues ou pompes aspirantes; car le piston passant de bas en haut du cylindre creux qui le contient, souleve la colonne d'air qui pèse sur son plan supérieur; il se fait au-dessous un vuide, où le poids de l'atmosphère fait monter l'eau, comme dans le tuyau de l'expérience précédente. Voyez la *Fig. 27.*

Mais comme le poids de l'atmosphère est limité, & qu'une colonne d'eau d'environ 32 pieds, lui fait équilibre dans nos climats, & dans les lieux qui ne sont pas beaucoup élevés au-dessus du niveau de la mer, on conçoit bien qu'une pompe, telle que celle dont nous parlons, & qu'on nomme *aspirante*, ne peut point

élever l'eau à toute hauteur. Quand celle-ci ne suffit pas, on emploie celles dont nous avons parlé ci-dessus, & que nous avons appellées pompes foulantes. Comme dans ces dernières la colonne d'eau qu'on élève est immédiatement portée par le piston, & que ce piston est mené par une puissance que l'on peut augmenter autant que l'on veut, il est évident que l'ascension de l'eau n'est bornée à aucune hauteur.

Si les pompes foulantes ont l'avantage de porter l'eau à toutes sortes de hauteurs, elles n'ont pas celui de pouvoir être placées hors du puits ou du bassin d'où l'on veut tirer l'eau, comme les pompes aspirantes. Et c'est une incommodité très-grande de placer & d'entretenir ces sortes de machines dans des lieux fort profonds, souvent étroits, difficiles à épuiser, & assez ordinairement dans des pays où la disette d'ouvriers intelligents ajoute encore à la difficulté des réparations.

On évite ces inconvénients, & l'on jouit d'un double avantage, en construisant les pompes de manière qu'el-

les soient en même temps aspirantes & foulantes, telles que celles qui sont représentées par la *Fig. 28*. Le piston aspire en montant, & foule en descendant. Le tuyau qui conduit l'eau de la source à la pompe, ne peut à la vérité avoir que 32 pieds tout au plus de hauteur perpendiculaire; mais cela suffit souvent pour placer la pompe dans un lieu commodément accessible; & le tuyau montant, qui porte l'eau refoulée, peut avoir autant de longueur que la force motrice le permet.

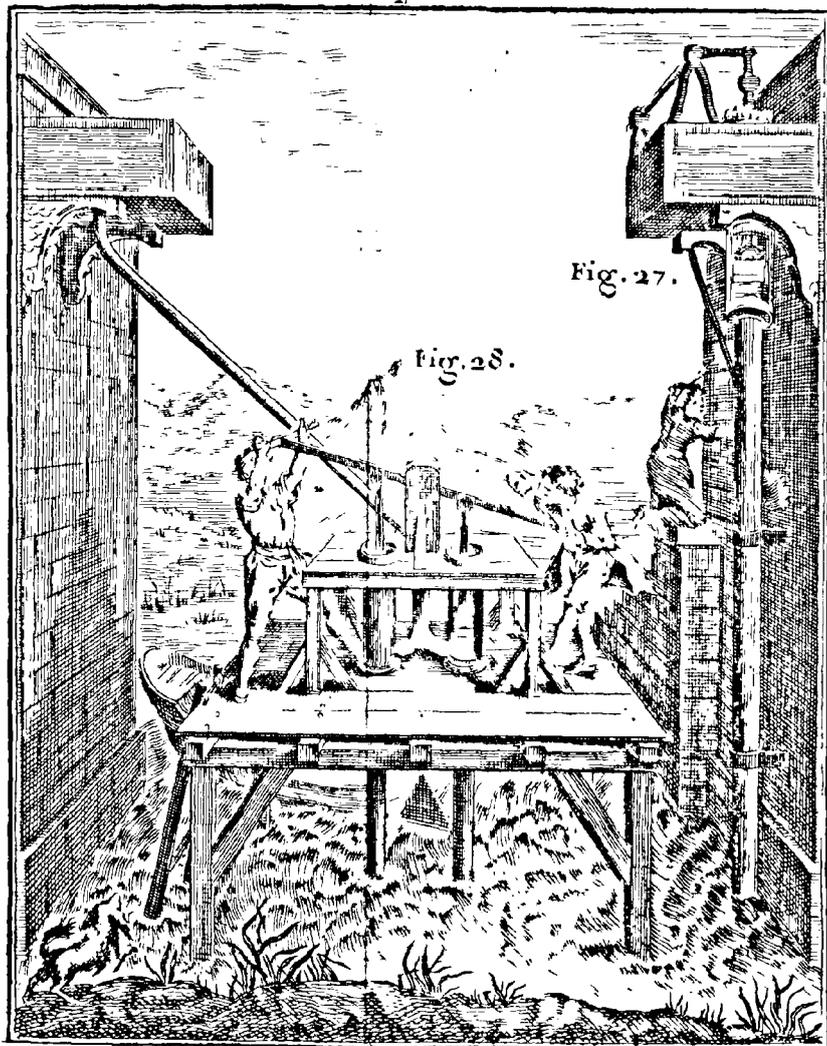
Quand on emploie des pompes aspirantes, il faut avoir égard à la situation du lieu; car puisqu'elles n'élèvent les eaux qu'à l'aide de l'atmosphère qui pèse sur la surface de la source, plus cette source est élevée au-dessus du niveau de la mer, moins la colonne d'air qui la presse est longue. J'ai porté un barometre au plus haut des Alpes \*, & j'ai trouvé que le mercure s'y tenoit d'environ un quart moins haut qu'à Turin. Si j'y eusse porté une pompe aspirante, & que je l'eusse mise en jeu, elle ne m'auroit donc élevé l'eau tout au plus

\* *Le 23.  
Juill. 1759.*

qu'à 24 pieds; & par la raison du contraire, dans les souterrains très-profonds on pourroit attendre du poids de l'air des effets plus grands que ceux qu'il opere ailleurs.

C'est par une mécanique assez semblable à celle des pompes aspirantes, que les oiseaux à longs becs, comme les hérons, les cicognes, les bécasses, &c. & la plûpart des quadrupedes, les chevaux, les vaches, les cerfs, &c. élèvent l'eau dans leur estomac : ces animaux boivent en fucant ; & fucer n'est autre chose que raréfier l'air intérieur, en dilatant les capacités qui le contiennent, pour donner lieu à l'athmosphère d'agir par sa pression. La poitrine en s'élevant, semblable à un soufflet dont on écarte les panneaux, fait naître un nouveau vuide, que l'air du dehors va remplir ordinairement, ( ce que l'on nomme *respirer* ; mais si la bouche se trouve baignée ou remplie d'eau, quand ce dernier fluide seroit au-dessous de l'estomac où se fait le vuide, il y est porté par le poids de l'air dont il est toujours chargé.

S'il restoit encore quelque incerti-





tude après les explications que nous venons de donner de l'aspiration des pompes ; & des autres effets de cette espece si l'on doutoit encore que la pression de l'air en fût la véritable cause , on pourroit achever de s'en convaincre par l'expérience que nous allons rapporter.

## VIII. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

Sur la platine d'une machine pneumatique on place un petit gobelet qui contient du mercure : on le couvre d'un récipient surmonté d'une petite pompe aspirante , dont le tuyau , qui est de verre , plonge dans le petit vaisseau , & l'on fait le vuide le plus parfait qu'il est possible. *Fig. 29.*

### E F F E T S.

Quand on leve le piston de la petite pompe ; on sent une résistance considérable , & le mercure ne s'élève point dans le tuyau ; mais si l'air vient à rentrer dans le récipient , la pompe alors a son effet ordinaire.

## EXPLICATIONS.

VII.

LEÇON.

Nous prétendons que l'action de l'air fait monter les fluides dans les pompes aspirantes; on le supprime en évacuant le vaisseau sous lequel est placé le mercure, & la pompe n'a plus son effet. Il est donc prouvé que ce que l'on a supprimé ( l'air & sa pression ) est la vraie cause de cette ascension des liqueurs dans les pompes.

La difficulté qu'on éprouve en élevant le piston, quand le récipient est vuide, est encore une preuve du poids de l'air. Que la seringue aboutisse à un vaisseau vuide d'air, ou qu'elle soit bouchée par en bas, c'est la même chose; tant que le piston pressé en sa partie supérieure, par une colonne d'air qui pèse de haut en-bas, l'est en même temps par une autre colonne du même air qui soutient sa partie inférieure, soit immédiatement, soit par l'intermede d'un autre fluide qu'il pousse, ce piston est en équilibre entre deux puissances égales, & pour le mouvoir on n'a que son frottement à vaincre; mais quand on sup-

prime la colonne d'air qui le soutient en-dessous, on ne peut plus le tirer de bas en haut, qu'on ne souleve l'air qu'il porte, & cet air est un cylindre qui a toute la hauteur de l'atmosphère, & dont le piston même est la base.

---

VII.  
LEÇON.

APPLICATIONS.

Qu'on se rappelle ici le moyen que nous avons employé dans la seconde Leçon \*, pour forcer l'eau & le mercure de passer à travers des pores du bois & de la peau ; & l'on concevra, par ce que nous venons de dire touchant la pression de l'air, pourquoi ces fluides ont pénétré à travers le fond de leur vase, lorsqu'on a fait le vuide dans les canons de verre sur lesquels ils étoient établis. Car il est aisé de comprendre qu'en supprimant, comme nous avons fait, l'air qui fait équilibre en-dessous, à celui qui presse par-dessus, celui-ci exerce tout son poids sur la liqueur, & la force de passer.

\* 1. & 2.  
*Expérience*  
*Tome I. page*  
*83. & seqq.*

Un soufflet bouché de toutes parts n'a plus le mouvement libre ; parce que, comme le piston de la seringue de la dernière expérience, il porte une masse d'air considérable, à

quoi rien ne fait équilibre en dedans.

VII.  
LEÇON.

Par la même raison, la poitrine des animaux ne peut plus se dilater, comme elle a coutume de faire pour la respiration, dès qu'on ferme tout accès à l'air qui doit y entrer; & les Anatomistes conviennent que les animaux qui se noient, meurent moins de la quantité d'eau qu'ils avalent, que par l'interruption du mouvement nécessaire pour respirer.

La pesanteur ou la pression latérale de l'air peut se prouver par l'expérience qui suit.

## IX. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

Il faut établir & fixer sur la platine de la machine pneumatique, un petit moulinet que l'on couvre d'un récipient, percé par le côté & garni d'un petit bout de tuyau, que l'on tient bouché avec le doigt, pendant qu'on raréfie l'air d'un coup de piston seulement. *Fig. 30.*

### E F F E T S.

Dès qu'on ôte le doigt pour lais-

ser le canal ouvert, on entend un souffle, & l'on voit tourner le moulinet très-rapidement.

*EXPLICATIONS:*

Le souffle qu'on entend, ne peut point être attribué à autre chose, qu'à l'air qui passe avec beaucoup de vitesse du dehors au-dedans du récipient, pour remplacer celui qu'on a pompé; & comme le canal qui lui donne passage est horizontal, on ne peut se dispenser de reconnoître que l'air, comme tous les autres fluides, exerce sa pesanteur de côté, de même que de haut en bas.

*APPLICATIONS,*

Tout le monde fait qu'un tonneau plein & percé par le bas seulement, ne s'écoule point, à moins que le trou ne soit fort grand; c'est que l'air par son poids soutient la liqueur qui tend à sortir, & qui pese moins que lui, parce qu'elle n'a point une hauteur suffisante: mais si l'on fait une ouverture à la partie supérieure du tonneau, l'air qui pese sur la liqueur par ce nouveau trou, fait autant d'ef-

---



---

 VII.  
LEÇON.

fort pour la chasser de haut en-bas, qu'une colonne d'air semblable en fait pour l'empêcher de sortir par en-bas, & alors cette liqueur s'écoule par son propre poids. Cette explication peut servir à rendre raison d'un fait qui paroît d'abord assez singulier. On emplit d'eau un flacon, *Fig. 31.* percé en *A* d'un petit trou, que l'on tient bouché avec une boulette de cire; à travers du bouchon qui ferme exactement l'orifice, passe un tube de verre *B*, qui est ouvert des deux bouts; & l'on emplit d'eau le flacon & le tube. Si l'on débouche le trou qui est en *A*, l'eau s'écoule jusqu'à ce que le tube soit vuide; & aussi-tôt après elle s'arrête.

Ce qui est contenu dans le tube doit s'écouler par son propre poids, parce que l'air presse autant en *B*, qu'il résiste en *A*; mais quand ce tube est entièrement vuide, l'écoulement doit cesser: car l'eau qui est au-dessous de *AC*, est retenue par son propre poids, comme elle l'est ordinairement dans une tasse; & celle qui est au-dessus de cette ligne demeure suspendue, non-seulement par la pres-

sion de l'air en *A*, mais encore par celle d'une colonne qui agit par *B* le long du tuyau.

Enfin tous les effets qui dépendent du poids de l'air, se font dans une chambre aussi-bien qu'en dehors; le barometre, par exemple, s'y tient aussi haut, & les pompes élèvent également l'eau dans des lieux couverts: ce qui prouve bien que les planchers ne bornent point la colonne d'air qui soutient le mercure ou les autres liqueurs; mais qu'elle emprunte son poids de l'athmosphère avec laquelle elle communique, par les fenêtres ou par les portes.

Voici maintenant des preuves de la résistance que l'air fait de bas en haut,

## X. EXPERIENCE,

### PREPARATION.

Remplissez d'eau le canon de verre représenté par la *Fig. 32.* couvrez-le d'un morceau de papier qui touche bien les bords; mettez la main dessus, & renversez le vaisseau dans une situation perpendiculaire à l'horizon,

## EFFETS.

Quand on ôte la main qui tient le morceau de papier appliqué à l'embouchure du vase, l'eau demeure constamment suspendue, & le papier qui lui sert de base y demeure appliqué.

## EXPLICATIONS.

L'eau contenue dans le vase ne peut descendre & s'échapper, qu'en refoulant une colonne d'air *DE*, appuyée contre la terre ou contre le plancher; mais cette colonne ne peut refluer latéralement, parce qu'elle est soutenue de tous côtés par l'atmosphère même, dont le poids seroit capable de porter une masse d'eau qui auroit 32 pieds de hauteur; ainsi la résistance de la colonne *DE* étayée par les colonnes voisines, est plus que suffisante pour empêcher l'eau du vaisseau de tomber.

Le morceau de papier dans cette expérience ne sert qu'à prévenir la division des deux fluides, qui auroient peine à se contenir à cause de la grande différence de leurs densités. Quand  
l'air

l'air & l'eau se touchent par des bases moins larges, cette précaution est inutile, comme on l'a pu remarquer dans les expériences précédentes.

VII.  
LEÇON.

APPLICATIONS.

On peut rappeler ici la fontaine intermittente, dont nous nous sommes servis pour prouver la résistance des corps par celle de l'air\* ; & l'on appercevra aisément d'où lui vient l'intermittence de son écoulement. Car tant que le canal, qui porte l'air dans le réservoir, est bouché par en-bas, l'air qui répond à l'orifice des petits canaux dirigés vers le bassin ; est plus fort qu'il ne faut pour arrêter la chute de l'eau, dont le poids ne peut avoir son effet, que quand elle est entre deux airs d'égale force ; & cela arrive toutes les fois que l'eau du bassin étant écoulée, l'ouverture inférieure du canal reste à découvert. Nous avons parlé aussi au même endroit d'une espèce de pòmpe, ou de chalumeau renflé, en usage dans les offices pour puiser l'eau qu'on met rafraîchir dans des flacons d'étain. Les liqueurs demeurent encore sus-

\* I. Leçon  
Section 3.  
Exper. 2.

VII.  
LEÇON.

pendues dans cet instrument, par la résistance que l'air fait de bas en-haut, & qui ne manque pas d'avoir son effet, quand on bouche avec le doigt l'orifice d'en-haut, pour empêcher que l'air qui y répond ne joigne son poids à celui de la liqueur.

## XI. EXPERIENCE.

### PRÉPARATION.

*FGHI*, *Fig. 33.* est un tuyau de verre recourbé, dont une jambe est plus longue que l'autre, & que l'on nomme un *siphon* : on plonge la jambe la plus courte dans un vase plein d'eau, & en appliquant en *I* la bouche, ou une petite pompe, on suce l'air qu'il contient.

### EFFETS.

Par la succion que l'on fait en *I*, le siphon se remplit d'eau; & dès qu'on ôte la bouche, il se fait un écoulement qui continue, tant qu'il y a de l'eau dans le vase.

### EXPLICATIONS.

L'eau du vase étant pressée en tou-

te sa surface, par le poids de l'atmosphère, doit s'échapper par l'endroit où elle cesse d'éprouver la même pression; c'est pourquoi elle remplit tout le siphon aussi-tôt qu'on en suce l'air, & qu'on suspend son action en *F*. Si les deux jambes étoient égales, comme *FG*, *GH*, après la succion il n'y auroit point d'écoulement, parce que la colonne d'air qui résisteroit en *H*, étant aussi haute que celle qui presse en *F*, lui feroit équilibre, & l'eau retomberoit de part & d'autre par son propre poids, ou demeureroit également suspendue dans toutes les deux. Mais lorsque l'une des deux jambes a son orifice au dessous de la superficie du réservoir, comme *GI*, quoique la colonne d'air qui lui répond, soit plus longue que celle qui pese en *F*, elle n'est pas en état d'empêcher l'eau de couler.

Pour saisir la raison de ceci, il faut considérer la colonne totale d'air *IK* comme divisée en deux parties, dont une *KH*, fait équilibre à *LF*, & seroit capable d'arrêter l'eau, si le tuyau finissoit en *H*. L'eau qui remplit la partie *HI* du siphon, ne

E e ij

trouve donc d'autre résistance en *I*, qu'une colonne d'air de même longueur qu'elle, & qui pese beaucoup moins. Cette portion d'eau s'écoule donc par l'excès de son poids : mais pendant qu'elle tombe, rien ne soutient celle qui est au-dessus; c'est pourquoi elle est continuellement remplacée : ainsi l'écoulement a lieu, non parce que l'air ne résiste pas, mais parce qu'à hauteur égale, l'eau pese plus que lui. Et par cette dernière raison, la résistance de l'air en *I*, qui est toujours vaincue, l'est d'autant plus, que la partie *HI* du tuyau est plus longue ; la pression en *A* en devient d'autant plus forte, & c'est ce qui se voit évidemment par l'expérience suivante.

## XII. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

*AB*, *Fig. 34.* est un gros tuyau de verre qui a environ 15 pouces de longueur, fermé en *B*, & garni en *A* d'une virole de métal, avec un fond auquel sont soudés deux tuyaux qui peuvent avoir intérieurement 2 lignes  $\frac{1}{2}$  de diamètre. Le plus court

des deux, qui est coudé, s'éleve de 2 ou 3 pouces, en forme d'ajutage dans le gros canon; l'autre qui est plus long, ouvert aussi des deux bouts, n'excede point le fond auquel il est soudé; mais il se divise en deux parties qui peuvent se séparer en *D*, & se rejoindre à vis. On renverse cet instrument pour y faire couler, par le plus long tuyau, quelques pouces d'eau, ensuite on le remet dans sa situation naturelle, & dans le même instant on plonge la jambe coudée dans un pot plein d'eau.

*E F F E T S.*

Aussi-tôt l'eau s'écoule par la jambe la plus longue, & l'on apperçoit un jet d'eau dans le gros canon; mais ce jet s'éleve beaucoup plus haut, quand le tuyau par où se fait l'écoulement, est composé de ses deux parties, que lorsqu'on en retranche une.

*E X P L I C A T I O N S.*

Les deux petits tuyaux, & le gros canon auquel ils aboutissent, doivent être considérés comme un siphon; l'eau qui monte par la jambe

la plus courte, & qui s'élance par son extrémité, est élevée par le poids de l'air qui agit sur la surface du pot; & puisque cet élancement de l'eau est d'autant plus grand, que l'autre jambe est plus longue, c'est une marque certaine que la pression qui le cause, croît à proportion de cet allongement, comme nous l'avons dit ci-dessus.

#### APPLICATIONS.

Le siphon que nous venons d'employer, peut être fait de façon que le réservoir & les branches soient cachés dans un piedestal, ou autrement; & alors il fait voir un jet d'eau au-dessus de sa source. Voyez la *Fig. 35*.

En général les siphons sont fort en usage dans les celliers, dans les laboratoires de Chymie, dans les officines, &c. pour tirer les liqueurs à clair; comme cet instrument les puise par la superficie, & qu'on l'emploie sans être obligé de remuer les vaisseaux, c'est un moyen sûr pour tirer sans lie les vins, les ratafias, &c.

La figure & la matière du tuyau ne changent rien à l'effet du siphon.

EXPÉRIMENTALE. 335

S'il se trouve dans une montagne une veine de sable, qui ait la forme de cet instrument ; & qu'elle soit renfermée dans de la glaise, ou dans quelque autre matiere moins propre à filtrer l'eau, ce siphon naturel épuisera une cavité remplie d'eau, à laquelle répondra sa jambe la plus courte ; & si les écoulements qui fournissent au réservoir, se font plus lentement que son évacuation, l'extrémité de la jambe la plus longue sera une source ou une fontaine naturellement intermittente & périodique.

Le verre à siphon représenté par la Fig. 36. rendra cette idée sensible. Sa coupe que l'on remplit d'eau, peut représenter la cavité que nous supposons dans la montagne ; le tuyau recourbé, dont la jambe la plus longue passe à travers du pied, procure une évacuation qui commence dès que l'eau est parvenue en *E*, & qui, lorsqu'elle est finie, ne recommence que quand le verre a été rempli de nouveau.

Il faut convenir que pour tirer de cette expérience une explication complète des sources périodiques, on

---

VII.  
LEÇON.

VII.  
LEÇON.

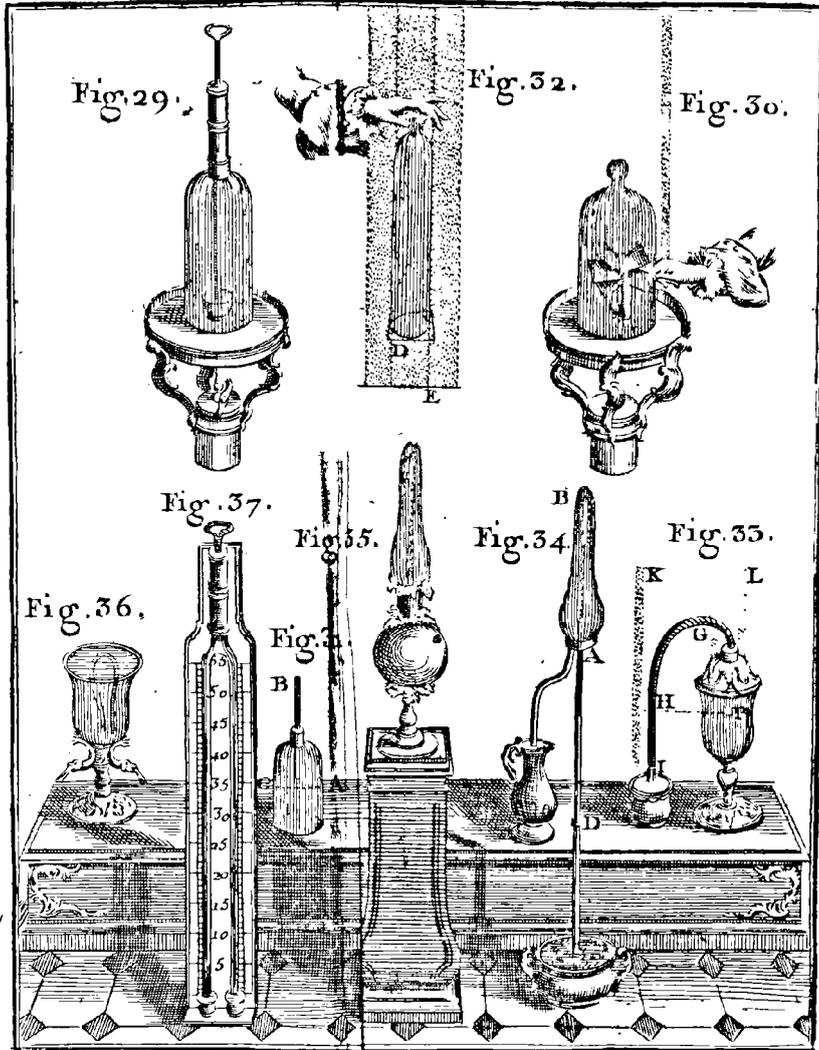
doit supposer un épuisement parfait dans la cavité qui sert de réservoir: car l'écoulement de notre verre à siphon, quand une fois il a commencé, ne finiroit point, si l'on avoit soin d'entretenir de l'eau dans le vase; & l'on aura peine à concevoir que la source qui se fait au bout de la branche la plus longue du siphon, puisse avoir des intermittences, si les écoulements qui fournissent de l'eau à la plus courte, n'en ont point. Mais ces sortes d'effets naturels ont ordinairement plusieurs causes à la fois; & c'est toujours un avantage, que d'en pouvoir indiquer quelqu'une.

Comme les liqueurs doivent monter dans la jambe la plus courte du siphon, avant que de s'écouler par la plus longue, & qu'elles y sont élevées par le poids de l'air qui agit sur le réservoir, on doit régler la hauteur de cette partie du tuyau, selon le poids actuel de l'athmosphère, & la densité de la liqueur qu'il doit contenir. Car, selon ce que nous avons enseigné touchant les pompes aspirantes, l'eau commune ne s'éleveroit point dans un siphon, passé 32  
pieds

pieds, ni le mercure au-delà de 27 ou 28 pouces; encore ne faudroit-il pas que ce fût dans un lieu fort élevé au-dessus du niveau de la mer.

Cette réflexion ma fait penser qu'on pourroit comparer facilement, & en peu de temps, les densités de deux liqueurs, par le moyen d'un siphon ouvert en sa courbure, & surmonté d'une petite pompe aspirante, comme il est représenté par la *Fig. 37*. Car cet instrument étant fixé sur une planche graduée par pouces & par lignes, si les branches sont plongées également dans deux gobelets, dont l'un, par exemple, contienne du mercure, & l'autre de l'eau, en raréfiant l'air des tuyaux par le moyen de la petite pompe, chaque liqueur obéira à la pression de l'air extérieur qui est commune à toutes les deux, selon le rapport de sa densité; si le mercure s'éleve d'un pouce, l'eau montera au quatorzième. Mais si l'on faisoit usage de cet instrument, il faudroit que les tuyaux, de part & d'autre, eussent au moins 3, ou 4 lignes de diametre intérieurement. On en verra la raison à la fin de la Leçon qui suit.





De la science.





## VIII. LEÇON.

*Suite de l'Hydrostatique.*

---

### III. SECTION.

*De la pesanteur & de l'équilibre  
des Solides plongés dans les  
liqueurs.*

QUAND un corps solide est plongé, il occupe la place d'un volume de liqueur égal au sien; à moins que ce ne soit quelque matière spongieuse, qui admette une portion de la liqueur dans ses pores, ou un corps dissoluble, dont les parties désunies peuvent se loger dans les pores mêmes du dissolvant. Car dans ces deux cas, les volumes ou grandeurs apparentes, tant du solide que de la liqueur, se confondent un peu; & lorsqu'ils sont mêlés, il arrive le plus souvent qu'ils occupent moins

F f ij

de place qu'il n'en falloit pour les contenir séparément : un vase, par exemple, dont la capacité égaleroit une pinte, ne seroit pas plein, si l'on y mettoit une chopine d'eau, & une pareille mesure de sucre en poudre, ou de morceaux d'éponge. Nous n'avons pas maintenant ces sortes d'effets en vue: nous considérons les corps plongés comme entiers & impénétrables aux fluides qui les reçoivent; telle est une bille d'ivoire que l'on fait descendre dans l'eau, & qui l'oblige de s'élever vers les bords du vase dans lequel elle est contenue.

Ce volume de liqueur déplacé par le corps plongé, ou la quantité qui s'éleve au dessus du plan dans lequel s'étoit fixée la surface de la liqueur avant l'immersion, ce volume, dis-je, pese plus ou moins selon sa densité; car les fluides, de même que les solides, différent entr'eux, par la quantité de matiere propre qu'ils renferment sous un certain volume, & la même liqueur n'est pas toujours également dense.

On peut faire ici deux suppositions : 1°. Que le volume de liqueur

en question, égale en densité, & par conséquent en poids, le corps solide qui a pris sa place : 2°. ou bien que l'un des deux pese plus que l'autre. Nous appellerons *pesanteur respective*, la quantité dont le plus pesant surpassera le plus léger, de sorte que si un volume d'eau pesant une livre est déplacé par un solide qui pese une livre & demie, la pesanteur respective de celui-ci sera une demi-livre.

PREMIERE PROPOSITION.

*Un corps solide entièrement plongé, est comprimé de tous côtés par la liqueur qui l'entoure; & la pression qu'il éprouve, est d'autant plus grande, que la liqueur a plus de densité, & qu'il est plus profondément plongé.*

Nous avons fait voir dans la première Section de la Leçon précédente, que le poids des liqueurs s'exerce dans tous les sens. Nous avons prouvé encore que cette pression croît en raison de la hauteur du liquide; & enfin, dans la seconde Section il a été démontré qu'il y a équilibre entre deux liqueurs dont les

F f iij

hauteurs sont en raison réciproque de leurs densités ou pesanteurs spécifiques. La proposition que nous venons d'énoncer, n'est qu'une conséquence de celle-ci : de la première, il suit qu'un corps plongé est comprimé de toutes parts. Il suit de la seconde, que la pression qu'il éprouve, est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé. Et de la troisième enfin, il suit, qu'à profondeurs égales, la charge est d'autant plus grande, que le fluide a plus de densité ou de pesanteur spécifique.

## PREMIERE EXPERIENCE.

## P R E P A R A T I O N .

La Fig. 1. représente un grand vase de verre plein d'eau claire, dans laquelle on plonge une petite vessie remplie d'eau colorée, & liée à un tube de verre qui est ouvert par les deux bouts.

## E F F E T S .

Quand la vessie est entièrement plongée, l'eau colorée commence à monter dans le tube, & elle s'y élève de plus en plus, à mesure que

l'on plonge plus avant, de maniere qu'elle est toujours aussi haute que la superficie de l'eau contenue dans le grand vase.

EXPLICATIONS.

L'eau colorée qui s'éleve dans le tube pendant l'immersion, prouve incontestablement que la vessie est comprimée, & que sa capacité est diminuée: quand on voit cet effet augmenter à mesure qu'on la plonge plus avant, on est forcé de reconnoître que la pression de l'eau qui en est la cause, augmente aussi; & comment n'augmenteroit-elle pas, puisque le corps plongé se trouve alors chargé de colonnes plus hautes, & qui ont toujours, à peu de chose près, des bases aussi larges? Je dis à peu de chose près; car la compression diminue le volume total de la vessie, & sa surface n'est pas tout-à-fait aussi grande au fond du vase, qu'elle l'est à fleur d'eau.

L'eau colorée s'éleve dans le tube à mesure qu'il s'avance vers le fond, mais jamais elle n'excede la superficie de l'eau du grand vase; parce que

les deux liqueurs étant de même densité, quand elles se mettent en équilibre, leurs hauteurs doivent être égales. Il n'en seroit pas de même, si la vessie, au lieu d'eau, contenoit de l'esprit-de-vin ou du mercure; le dernier de ces deux fluides se tiendrait beaucoup plus bas que l'eau du vase, & l'autre s'éleveroit un peu au-dessus.

Lorsqu'on se sert d'une vessie un peu grosse, on peut remarquer que, pendant qu'on la plonge, la compression n'est point égale de toutes parts, & qu'elle est plus pressée de bas en haut que latéralement; car sa figure change, & elle est un peu écrasée. Quoique la réfraction de la lumière change l'image de l'objet en pareil cas, on doit convenir qu'il y a quelque réalité dans cette apparence, si l'on fait attention, que la vessie plongée ne peut descendre, sans diviser l'eau, que cette eau qui résiste un peu à sa division occasionne une pression étrangère de haut en bas, & que de cette pression il doit naître un changement dans la figure du corps plongé à cause de sa flexibilité.

Tous les animaux qui appartiennent à la terre, vivent ou dans l'air ou dans l'eau; par conséquent chacun d'eux est exposé à la pression d'un fluide qui l'environne de toutes parts, & dont la charge est considérable, eu égard à sa hauteur. Une colonne de l'atmosphère équivaut, comme nous l'avons vu précédemment, à une colonne d'eau de même base qui auroit 32 pieds de haut. Si c'est seulement un cylindre d'un pouce de diamètre, le poids en est assez considérable; mais combien compteroit-on de bases semblables, ou de cercles d'un pouce de largeur sur la surface entière d'un homme? En appliquant le calcul à cette considération, on trouve qu'une personne de moyenne taille répond à une masse d'air qui excède le poids de 20000.

Mais un poisson au fond d'une rivière ou d'un lac, supporte non-seulement la pression de l'air, comme les animaux terrestres, mais encore celle de l'eau; de sorte que s'il est à 32

VIII.  
LEÇON. pieds de profondeur, il est chargé de deux fois le poids de l'atmosphère. Quelle pression se feroit-il donc sur un animal qui vivroit au fond de la mer ?

Ces poids énormes appliqués continuellement à la surface des corps, ne les écrasent pas cependant ; parce que, comme la vessie de notre expérience, ils sont soutenus intérieurement par un fluide qui est le même que celui qui les environne. Nous respirons le même air qui nous comprime au-dehors : & les poissons sont dans un pareil cas à l'égard de l'eau : car s'ils respirent de l'air avec l'eau, cet air, avant qu'il passe dans leur corps, est en équilibre par son ressort, avec la pression du fluide dont il est chargé. Le mouvement de la poitrine au temps de la respiration, n'est libre qu'autant qu'il y a équilibre entre l'air extérieur, & celui du dedans ; tout accident qui rendroit celui-ci plus foible ou plus fort, feroit aussi qu'on respireroit avec difficulté.

Non - seulement la pression extérieure des fluides ne dérange pas les corps sur lesquels elle agit ; mais elle

les conserve au contraire dans leur forme naturelle à cause de son égalité ; elle contribue souvent à la cohérence de leurs parties, & elle arrête dans plusieurs les progrès de la fermentation ou de la corruption qui tend à les dissiper. Nous en pouvons trouver des preuves, sans sortir du genre animal. Lorsqu'on applique la ventouse, ( opération souvent plus douloureuse que salutaire, & qui n'est plus guere d'usage en France, ) il s'éleve une tumeur à la partie charnue du corps sur laquelle on fait cesser la pression de l'air, en y appliquant une petite pompe, ou une petite cloche de verre, dans laquelle on allume un peu d'étoupes pour rarefier l'air. Cette élévation de la peau est causée par l'affluence du sang & des autres fluides, qui étant plus comprimés par-tout ailleurs, se portent à l'endroit où la pression est moindre.

C'est encore par une suspension du poids de l'air à peu près semblable, que les animaux nouveaux-nés tirent le lait des mammelles de leurs nourrices ; toute la partie où la nature

---

 VIII.  
LEÇON.

a rassemblé cet aliment liquide , étant comprimée comme le reste du corps , excepté l'endroit qui est fucé , il se fait un écoulement , comme il arriveroit , si le mammelon restant exposé à la pression de l'air , le reste étoit plus comprimé que de coutume. Il est donc évident par ces exemples , que la pression égale des fluides ambiants , & la résistance qu'ils font intérieurement , contient les corps dans leur état naturel , & qu'elle est nécessaire pour cet effet.

Il est à présumer cependant que l'équilibre des deux pressions , tant intérieure qu'externe , ne suffiroit pas toujours pour conserver l'oeconomie animale en son entier. Il y auroit sans doute tel degré de compression qui la dérangeroit. Supposons , par exemple , que la vessie de notre expérience , au lieu d'être une membrane mince & solide , soit un tissu lâche & spongieux , il est certain qu'étant plongé fort avant dans l'eau , son épaisseur seroit fort pressée de part & d'autre , que ses fibres se rapprocheroient , & que l'ordre en seroit changé. De même un animal qui est

à son aise dans son élément naturel, y souffriroit, si la pression à laquelle il est accoutumé venoit à s'augmenter considérablement, quoiqu'elle s'accrût également tant au-dedans qu'au-dehors.

Ne feroit-ce point là la principale raison qui empêche les plongeurs de rester assez long-temps sous l'eau, à de grandes profondeurs? Car on les y descend dans une grande cloche pleine d'air, que l'on a même trouvé le moyen de renouveler, depuis qu'on s'est apperçu que cela étoit nécessaire pour respirer sans danger & librement. Cependant, malgré toutes les précautions qu'on a pu prendre jusqu'à présent, il paroît qu'un homme qui s'expose dans cette machine, s'y trouve presque toujours dans un état violent, & souvent on l'en a vu sortir les yeux fort gros, & perdant du sang par le nez ou par les oreilles; de manière que cette invention éprouvée en différents pays, & de bien des façons, n'a point encore eu de grands succès. C'est qu'il ne suffit pas de procurer au plongeur un air nouveau; il faudroit que cet air ne différât pas

beaucoup de sa densité ordinaire ; & c'est ce qui ne paroît point praticable sous un volume d'eau considérable, dont il doit nécessairement supporter la pression. La plus belle épreuve de ce genre qui ait été faite, est celle de M. Halley, qui resta sous l'eau plus d'une heure, sans en être incommodé ; mais sa cloche ne fut plongée qu'à une profondeur d'environ 54 pieds de France, ce qui ne seroit pas suffisant dans bien des occasions ; d'ailleurs elle étoit fort grande ; & si cette condition étoit nécessaire pour le succès qu'elle eut, comme on le peut croire, on ne pourroit s'en servir que rarement, & dans des cas d'une grande importance, à cause des grands frais & des embarras qu'on ne peut éviter dans l'usage d'une telle machine.

## II. PROPOSITION.

*Si le corps plongé est plus pesant que le volume de liqueur qu'il a déplacé, sa pesanteur respective le fait tomber au fond du vase, s'il est libre de lui obéir.*

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

---



---

VIII.  
LEÇON.

L'instrument représenté par la *Fig.* 2. est une balance hydrostatique, qui a pour base une caisse doublée de plomb. Les trois vaisseaux de verre *A, B, C*, se montent à vis sur leurs pieds qui sont creux, & qui communiquent avec un canal caché sous le couvercle de la caisse. Ce canal est garni de quatre robinets; savoir, deux à ses extrémités, dont on voit les clefs en *D* & en *E*; & deux autres en *F*, & *G*. Ces deux derniers ouvrent des communications entre les trois vases, de sorte que celui du milieu étant rempli d'eau ou de quelque autre liqueur, ceux des côtés ensemble, ou l'un sans l'autre, peuvent s'emplir par le fond; les deux robinets *D, E*, servent à évacuer dans la caisse, les vases des côtés, & même celui du milieu, si les communications sont ouvertes. Le chapiteau du grand vase porte un fléau de balance avec deux petits bassins qui peuvent s'ôter, quand il le faut, & sous les-

---

 VIII.  
LEÇON.

quels sont deux petits crochets tournans *h, k*, auxquels on suspend les corps qu'on veut peser, dans les vases des côtés auxquels ils répondent.

Cet instrument assorti de toutes les pièces qui en dépendent, s'emploie commodément, & sans causer aucunes faletés, pour faire toutes les expériences qui ont rapport à cette dernière partie de l'hydrostatique. Mais pour ne point répéter plusieurs fois la même figure, nous ne rapporterons pour chaque expérience que les choses nécessaires au fait dont il sera question, en supposant le reste, comme nous venons de le décrire.

Pour la preuve de notre seconde Proposition, le vase *B* étant presque plein d'eau, on y fait plonger une bille d'ivoire, suspendue par un fil au bras de la balance. Voyez la *Figure 2.*

## E F F E T S.

1°. Si l'on ne met rien dans le bassin opposé à celui qui tient la bille suspendue, cette bille ne manque pas de tomber au fond du vase.

2°. Si l'on charge le bassin opposé  
pour

pour tenir la bille en équilibre dans l'eau, le poids que l'on emploie est toujours beaucoup moindre que celui de la bille pesée dans l'air.

EXPLICATIONS.

La bille d'ivoire de notre expérience, tient la place d'un volume d'eau, qui, s'il y étoit, seroit parfaitement en équilibre avec toutes les parties semblables de la même masse fluide, selon la quatrième proposition de la première Section; ce volume ne pourroit ni déplacer par son poids celui de dessous, ni être déplacé par celui de dessus, parce que celui-ci n'auroit pas plus de force que lui pour aller au fond, & que celui-là en auroit autant que lui pour résister à sa chute; mais lorsqu'en sa place il y a un corps plus dense ou plus pesant, le volume d'eau qui est dessous doit céder, non pas à tout son poids, mais à l'excès qu'il a sur lui; c'est pourquoi, pour empêcher la bille plongée de tomber au fond, il n'est pas besoin de mettre dans le bassin opposé un poids qui soit égal au sien, mais seulement une quantité

qui égale celle dont l'ivoire surpasse un pareil volume d'eau.

---

VIII.  
LEÇON.

Il ne faut pas s'imaginer qu'un corps qui s'enfonce sous l'eau, augmente en poids par l'accroissement de la colonne qu'il laisse au-dessus de lui. Car le poids de cette colonne est toujours contrebalancé par la résistance de celui qui est dessous ; & cette résistance est soutenue par la pression des colonnes voisines, qui égalent en hauteur celle qui pese sur le corps plongé. Celui-ci est donc toujours en équilibre, eu égard aux deux pressions de dessus & de dessous ; & s'il tombe, ce n'est que parce qu'il a, par une plus grande quantité de matière, la force de déplacer continuellement une quantité de liqueur, qui ne lui est égale qu'en volume.

L'accélération qu'on remarque dans la chute des graves, ne peut donc pas être attribuée, comme l'ont prétendu quelques Philosophes, au fluide dont la hauteur s'augmente au-dessus d'eux, à mesure qu'ils tombent ; d'ailleurs cet accroissement de hauteur de la part du fluide, ne ré-

pond point au progrès de l'accélération des corps qui obéissent à leur pesanteur, ni à la nature de la gravité, qui affecte les corps en raison de leur masse, & non en raison de leur volume.

C O N S E Q U E N C E.

Il suit de la proposition que nous venons de prouver, qu'un corps, tel qu'il soit, ne tombe ou ne tend jamais à tomber avec toute l'intensité de sa pesanteur absolue; car en quelque lieu que se fasse sa chute, il est toujours plongé dans un milieu matériel, dont il déplace un volume semblable au sien; ainsi, comme à la bille de notre expérience, il ne lui reste, pour se porter de haut en bas, que sa pesanteur respectivo: les gouttes de pluie, les grains de grêle, les flocons de neige, ne descendent vers la surface de la terre, qu'autant qu'ils excèdent en pesanteur la quantité d'air dont ils occupent la place. Comme l'air est un fluide fort léger, la pesanteur respectivo des corps qu'il environne de toutes parts, diffère bien peu de leur pesanteur ab-

G g ij

solue ; on en apperçoit cependant la différence , lorsqu'on pese un même corps successivement dans l'air & dans le vuide , comme dans l'expérience suivante.

### III. EXPÉRIENCE.

#### *P R E P A R A T I O N .*

Il faut disposer dans un large récipient une balance fort exacte & fort mobile , de maniere qu'on puisse élever le fléau en tirant la tige 1. *Fig. 3.* Avant que de faire le vuide , il faut avoir mis en équilibre une petite balle de plomb d'une part , & de l'autre une grosse boule de liege , & avoir soin que ces deux corps ne posent sur rien d'humide ou de gras qui puisse empêcher les effets naturels de la pesanteur , quand on leve la balance.

#### *E F F E T S .*

La boule de liege qui étoit bien en équilibre dans l'air avec le plomb , se trouve plus pesante que lui dans le vuide.

EXPLICATIONS.

---

VIII.  
LEÇON.

La boule de liege dans l'air n'a que sa pesanteur respective à opposer au plomb : dans le vuide elle jouit de sa pesanteur absolue, n'étant soutenue sensiblement par aucun fluide. Or la pesanteur absolue est toujours plus grande que la pesanteur respective, puisque celle-ci n'est qu'un restant de celle-là. On peut répondre que le plomb dans le vuide revient aussi à sa pesanteur absolue; mais on verra bientôt, (& l'on pourroit déjà l'entrevoir,) que quand les volumes en équilibre différent entr'eux, comme ceux que nous avons employés, ce qu'ils reprennent de leur pesanteur, quand ils cessent d'être plongés, n'est point égal de part & d'autre.

APPLICATIONS.

Si l'immersion réduit les corps à une pesanteur respective toujours moindre que leur pesanteur absolue, les forces qui les soutiennent n'ont plus besoin d'être aussi grandes qu'elles devroient l'être, s'ils n'étoient point plongés. Aussi s'apperçoit-on

---

 VIII.  
LEÇON.

bien de cette différence , lorsqu'on tire hors de l'eau quelque masse d'un volume un peu considérable. Les pêcheurs qui ont fait un bon coup de filet , ne craignent de le rompre que quand ils l'enlèvent de l'eau dans l'air; on sauve sans peine une personne qui est en danger de se noyer , quand on peut la saisir par la partie la plus fragile de ses vêtements; pareil secours ne suffiroit pas à quelqu'un qui seroit prêt de tomber par une fenêtre : c'est qu'un homme dans l'eau , n'a quelquefois pas cinq ou six livres de pesanteur respectivement , & qu'il en a assez souvent plus de 130 dans l'air.

## III. PROPOSITION.

*Ce qu'un solide plongé perd de son poids, est égal à celui du volume de liqueur déplacé.*

Nous avons vu par les preuves de la proposition précédente , qu'un corps plongé perd une partie de son poids pendant l'immersion ; par celle-ci nous voulons faire connoître quelle est cette quantité de son poids qui lui manque , tant qu'il est plongé ; & selon notre énoncé , si le volume de

liqueur déplacé pèse deux onces, & que le corps plongé en pèse quatre, celui-ci perd la moitié de son poids, & la force qu'on emploiera pour l'empêcher de tomber au fond du vase, n'aura plus que deux onces à soutenir.

VIII.  
LEÇON.

#### IV. EXPERIENCE.

##### PREPARATION.

*L*, Fig. 2. est un petit cylindre solide de métal, capable de remplir exactement le petit vaisseau *M* sous lequel il est suspendu. On attache le tout, & on le met en équilibre avec le poids *N* au fléau de la balance, & l'on fait venir de l'eau dans le vase *A* jusqu'à ce que le petit cylindre soit entièrement plongé.

##### EFFETS.

Par l'immersion du corps *L*, le poids *N* devient trop pesant, l'équilibre cesse; mais il se rétablit, dès qu'on emplit d'eau le petit vase *M*.

##### EXPLICATIONS.

Le petit cylindre, dès qu'il est

plongé, devient trop léger, parce que l'immersion lui ôte une partie de son poids; mais comme cette quantité qui lui manque, est égale en pesanteur au volume d'eau déplacé, l'équilibre se rétablit, lorsqu'on charge le bras de la balance, d'une quantité d'eau qui a la même grandeur que le corps plongé. Cette proposition que nous venons de prouver, a plusieurs conséquences que nous allons déduire.

## PREMIERE CONSEQUENCE.

Puisque le volume de liqueur déplacé, mesure la quantité que le corps plongé perd de son poids, il s'ensuit, qu'à quantité égales de matière, plus les corps sont grands, plus ils perdent de leur poids par l'immersion. Une livre d'ivoire seroit donc plus soutenue dans l'eau qu'une livre de marbre; la pesanteur respective seroit différente de part & d'autre, quoique ces deux matières fussent plongées dans le même fluide.

## V. EXPERIENCE.

## V. EXPERIENCE.

## PRÉPARATION.

VIII.  
LEÇON.

Mettez en équilibre au bras de la balance une bille d'ivoire, & une balle de plomb, & faites venir l'eau dans les deux vases auxquels répondent ces deux corps. *Fig. 4.*

## EFFETS.

Dès qu'il y a assez d'eau dans les vases pour plonger les deux balles, le fléau de la balance ne peut plus demeurer dans une situation horizontale, le plomb emporte l'ivoire.

## EXPLICATIONS.

Chacun de ces deux corps perd une partie de son poids dans l'eau, mais ces quantités perdues sont inégales entr'elles ; car elles sont proportionnelles aux volumes d'eau déplacés, & le plomb en déplace moins que l'ivoire ; celui-ci perd donc plus que l'autre de sa première pesanteur ; ce qui rompt l'équilibre.

## APPLICATIONS.

Le plomb, le fer fondu, le cuivre  
Tome II. H h

font les matieres dont on se fert communément pour faire des poids de balance. Ces métaux ont pour l'ordinaire beaucoup moins de volume que les corps avec lesquels on les met en équilibre ; mais pour faire cet équilibre dans l'air où l'on pese toutes les marchandises, il faut suppléer par une plus grande quantité, à l'inégalité de la perte que font deux corps pesés dans le même fluide, quand leurs grandeurs sont inégales ; ainsi le Marchand donne plus d'une livre de plume, quand il la pese contre une livre de plomb : car ces deux matieres dans l'air n'ont que leur pesanteur respective, c'est-à-dire, que ce fluide leur ôte une partie de leur pesanteur absolue, & il en ôte plus à celle des deux qui a le plus de volume ; de sorte que si l'on rapportoit la balance toute chargée dans le vuide, il faudroit nécessairement ôter de la plume, pour conserver l'équilibre. Il y a donc à gagner pour le Marchand, s'il réduit au plus petit volume qu'il est possible, ce qu'il vend au poids ; & si les matieres précieuses, comme le diamant, se pesoient sous des volumes qui va-

lussent la peine d'y faire attention, on gagneroit plus à les vendre au poids de fer, qu'au poids d'or ou de plomb, sur-tout lorsque l'air dans lequel seroit la balance, deviendroit plus dense.

## II. CONSÉQUENCE.

Il suit encore de la troisième proposition, que plus le volume de liqueur déplacé est dense, plus le corps plongé est soutenu; ainsi la pesanteur respective d'un même corps après l'immersion, doit être d'autant plus grande, que la liqueur a moins de densité.

## VI. EXPERIENCE.

### PREPARATION.

On tient en équilibre aux bras de la balance deux billes d'ivoire bien égales en grosseur; on emplit d'eau les deux vases auxquels elles répondent; ensuite l'un des deux ayant été vidé, on substitue à l'eau qu'il contenoit, de l'eau-de-vie ou de l'esprit-de-vin. *Fig. 5.*

### EFFETS,

1°. Tant que les deux vases sont

Hh ij

pleins du même fluide, (d'air, ou d'eau,) l'équilibre subsiste entre les deux billes plongées.

2°. Lorsque l'une des deux billes plonge dans l'eau, & l'autre dans l'esprit-de-vin, ou dans l'eau-de-vie, celle-ci emporte la première.

#### EXPLICATIONS.

Les volumes de liqueurs déplacés étant mesurés par des corps d'égales grandeurs, & ces volumes étant pris dans la même liqueur, ils sont parfaitement semblables entr'eux, eu égard à leurs quantités de matière, & par conséquent ils résistent également aux corps plongés qu'ils ont à soutenir; & comme d'ailleurs ces deux billes ont des pesanteurs absolues fort égales entr'elles, leur immersion dans la même eau ôte des quantités égales à des quantités égales, les restants sont égaux, & l'équilibre subsiste.

Mais quand l'une des deux billes est plongée dans une liqueur moins dense que l'eau, elle est moins soutenue, elle perd moins de son premier poids, sa pesanteur respective est plus

grande elle l'emporte sur l'autre.

III. CONSÉQUENCE.

VIII.  
LEÇON.

Comme la densité est plus ou moins grande non seulement dans différents fluides, mais qu'elle peut aussi varier dans le même par le froid, par le chaud, ou autrement, & que les solides que l'on plonge, sont susceptibles des mêmes variations, il peut arriver que la pesanteur respective d'un même corps varie, quoique dans la même liqueur.

VII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La Fig. 6. représente une fiole de verre pleine d'esprit - de - vin, & dans laquelle on a renfermé une petite figure d'émail, qui se tient pour l'ordinaire en haut, parce qu'elle est plus légère qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle elle est: la fiole aboutit à un bain-marie qu'on fait chauffer par le moyen d'une petite lampe qu'on allume dessous.

H h iij

Quand l'esprit-de-vin a reçu un certain degré de chaleur, on voit descendre la petite figure au fond de la fiole; & elle remonte, lorsque la liqueur est refroidie.

## EXPLICATIONS.

La chaleur dilate tous les corps, comme nous le ferons voir en parlant de l'action du feu. L'esprit-de-vin que l'on a chauffé, est donc moins dense qu'il n'étoit étant plus froid. Mais si la masse totale de cette liqueur occupe un plus grand espace qu'auparavant, il faut que ses parties soient plus rares, plus écartées les unes des autres; en un mot, il y en a moins dans le volume mesuré par la figure d'émail; & par conséquent il n'est plus capable de la soutenir, elle va au fond de la fiole, & elle y demeure, tant que les choses sont en cet état; mais lorsque l'esprit-de-vin se refroidit, ses parties se rapprochent, se condensent, & le volume qui répond à la petite figure, augmentant de matière, & de poids par consé-

quent, devient en état de la soutenir & de la soulever. Il est vrai que la même chaleur qui dilate la liqueur, dilate aussi la figure d'émail; mais elle la dilate moins, & cela suffit pour faire naître les effets que nous venons d'expliquer.

## VIII. EXPÉRIENCE.

## P R E P A R A T I O N .

Le vaisseau représenté par la *Fig. 7.* est une espèce de bouteille longue de verre, élevée sur une patte de même matière; elle est remplie d'eau, & si l'on veut qu'elle ne se gele point pendant l'hiver, on y peut mettre un tiers d'esprit-de-vin. On la bouche avec un morceau de vessie mouillée, que l'on étend sur l'orifice, & que l'on arrête autour du col avec un fil. Dans cette bouteille, est une petite figure creuse d'émail, plus légère que la liqueur, & au pied de laquelle on a pratiqué un petit trou, comme pour passer une épingle; ou bien la figure est solide, & l'on y joint au-dessus de la tête une petite ampoule de verre, percée d'un petit trou en sa partie inférieure.

H h iiiij

## VIII.

## LEÇON.

1°. Lorsque l'on appuie avec le bout du doigt sur la vessie, la petite figure descend au fond de la bouteille, & y demeure tant que la même pression subsiste.

2°. Si l'on appuie moins fort, ou que l'on cesse d'appuier, elle remonte aussi-tot.

3°. Si l'on modere la pression, lorsqu'elle est en chemin pour descendre, elle se tient à tel endroit que l'on veut.

4°. Si l'on presse la vessie, comme par secousses, la petite figure pirouette sur elle même.

Ces effets sont les mêmes, quand on renverse la bouteille & que la pression se fait de bas-en haut; ainsi l'on peut donner à cette expérience un air de mystère, en arrangeant plusieurs tuyaux dans un châssis, & en faisant la pression nécessaire sur leurs orifices, d'une manière cachée aux yeux des spectateurs, soit par des leviers de renvoi, soit par des cordons cachés dans l'épaisseur des bois, ou autrement. Voyez la *Figure 8*.

Les liqueurs, ou ne se compriment point, ou ne se compriment que très-difficilement, comme nous l'avons enseigné dans la seconde Leçon. L'air au contraire est un fluide flexible, & que l'on peut comprimer avec beaucoup de facilité; c'est ce que nous prouverons ailleurs. La petite figure creuse d'émail ou l'ampoule de verre à laquelle elle est attachée, est remplie d'air, & elle est plongée dans l'eau. Elle est donc pleine d'une matière compressible, & environnée d'une autre qui ne l'est point. Quand on appuie avec le doigt sur la vessie, on presse toute la masse de l'eau qui est dans la bouteille, la colonne qui répond au petit trou dont nous avons parlé, ne pouvant rentrer sur elle même à cause de son inflexibilité, porte tout l'effort qu'elle reçoit de la pression, contre l'air qui est dans la cavité; & comme ce fluide se laisse comprimer & resserrer dans un moindre espace, il cède à l'eau une partie de celui qu'il occupe; alors la figure d'émail est plus pesante qu'elle n'étoit, car on

doit la considérer comme un composé d'émail, d'air plus condensé, & d'un peu d'eau qu'elle a reçue. Si le tout ensemble est plus pesant que le volume d'eau correspondant, il va au fond; il remonte au contraire, quand il est plus léger, c'est-à-dire, quand une moindre pression pousse moins d'eau dans la figure, ou qu'on laisse à l'air comprimé la liberté de repousser par son ressort celle qui est entrée: & l'on conçoit aisément qu'en ménageant cette pression du doigt, on retient dans la figure une quantité d'eau, telle que le tout ensemble est en équilibre dans la masse. Enfin comme le petit trou par où l'eau peut entrer ou sortir, est pratiqué à l'une des deux jambes, ou au bas de l'ampoule & un peu de côté, si le fluide qui y passe, est poussé ou repoussé avec une grande vitesse, l'impulsion oblique doit faire tourner la figure sur elle-même; car étant ainsi suspendue dans l'eau, c'est comme si elle étoit mobile sur deux pivots, ou sur un axe.

Cette figure devient donc tantôt plus légère, tantôt plus pesante, que la liqueur dans laquelle elle est plon-

gée, non parce que le volume d'eau correspondant change de densité ou de grandeur, mais parce que le corps plongé devient lui-même alternativement plus dense & plus léger de matiere, sans changer de volume.

*APPLICATIONS.*

Comme de tous les animaux qui respirent l'air, les uns se tiennent à la surface de la terre, pendant que d'autres s'élevent dans l'athmosphere, & s'y meuvent à leur gré; de même parmi ceux qui habitent les eaux, il y en a quantité d'especes qui ne quittent guere le fond, & beaucoup d'autres au contraire qui s'élevent de bas-en-haut, & qui descendent avec une égale facilité, quand leurs besoins l'exigent. On trouve dans la plupart de ces derniers une double vessie remplie d'air, qui porte à croire que le poisson, à l'aide de ce fluide à ressort, augmente ou diminue le volume de son corps, quand il veut ou s'élever, ou descendre; car après ce qui a été dit ci-dessus, on conçoit bien que l'animal augmentant en grandeur, sans augmenter de

matiere, peut devenir plus léger que le volume d'eau auquel il répond actuellement : & qu'au contraire s'il diminue son propre volume, il déplace moins d'eau, & qu'il peut se rendre de cette maniere, plus pesant que le fluide qui s'expose à sa chute.

Ce qui rend cette explication encore plus vraisemblable, c'est que si l'on dilate l'air de la double vessie, en mettant le poisson dans le vuide; tant que cet état dure, il fait de vains efforts pour aller ou pour rester au fond de l'eau, il surnage malgré lui; & il éprouve un effet tout contraire, lorsqu'on l'a privé de cet air intérieur soit en crevant la double vessie, soit en la vidant en partie.

Les animaux qui se noient, vont d'abord au fond de l'eau, parce qu'ils sont plus pesants qu'elle; mais quelque temps après on les voit reparoître à la surface, & communément ces apparitions recommencent plusieurs fois. C'est que ces cadavres deviennent alternativement plus pesants & plus légers que le volume d'eau auquel ils répondent. L'animal suffoqué au fond d'une riviere se corrompt en peu de

jours : la corruption n'est qu'un déplacement de parties, & lorsqu'il se fait un mouvement général dans les parties d'un tout, son volume augmente. Un tel corps furnage donc, parce que, sans avoir plus de matière, il a plus de grandeur, & qu'il répond à un volume d'eau plus pesant que lui. C'est une chose qui ne peut être ignorée de ceux qui ont eu occasion de voir ces corps qui reviennent ainsi sur l'eau. On a dû remarquer qu'ils sont toujours gonflés & tendus comme des ballons; mais s'ils restent quelque temps ainsi entre l'eau & l'air, la corruption augmente, il se fait des dissolutions & des évacuations, qui donnent lieu aux parties les plus solides de s'affaïffer & de se rapprocher, le volume total diminue, & répond à une moindre quantité d'eau qui n'est plus en état de le soutenir; & si après cette nouvelle immersion, quelque autre fermentation vient encore à gonfler le cadavre assez considérablement, on le voit reparoître de nouveau.

Un corps quelconque n'a pas besoin que son propre volume soit augmen-

té pour surnager, il suffit qu'il soit uni à quelque autre matière plus légère que le fluide dans lequel il est plongé, & que le tout ensemble pèse moins que le volume correspondant. Les gens qui apprennent à nager se garnissent le corps de vessies pleines d'air, ou de calebasses. Ces volumes auxiliaires les mettent en état de se soutenir plus facilement sur l'eau; mais avec ces sortes de précautions, les maladroits courent encore beaucoup de risques; car pour se noyer il suffit d'avoir la bouche & le nez dans l'eau, & celui qui ne sauroit pas se tenir toujours dans une situation propre à lui laisser respirer l'air, périroit avant même que d'aller à fond.

Si, pour nager à l'impromptu, les autres animaux ont quelque avantage sur l'homme, je ne pense pas qu'ils en soient redevables, comme on le dit quelquefois, à l'ignorance du danger ou au défaut de réflexion. Quand un cheval, un bœuf, un chien se trouve à la nage malgré lui, de quelque manière qu'il juge de sa situation, j'ai peine à me persuader qu'il n'en sente point le péril. Je lui vois faire tout

ce qu'un homme voudroit imiter en pareil cas ; & quand il a pris terre , il donne des signes de joie , & se comporte avec des précautions qui prouvent assez la peur qu'il a eue. Mais ce qui fait qu'un quadrupede se sauve plus facilement à la nage , c'est , je pense , que son poids qui tend à l'enfoncer , ne change rien à sa posture naturelle , & que quand le reste du corps seroit entièrement plongé à fleur d'eau , sa tête se trouve encore hors de l'eau sans un grand effort. Il n'en est pas de même d'un homme ; l'endroit le plus pesant , ce qui se plonge le premier , est vers la tête ; & quand il nage assez pour ne point aller à fond , il a encore des soins à prendre , & des efforts à faire , pour éviter d'avoir le visage dans l'eau ; aussi les nageurs sont-ils plus à leur aise sur le dos qu'autrement.

Cette explication dont je fais usage depuis plus de 20 ans dans mes Leçons publiques , me paroît d'autant plus probable , qu'elle se trouve assez conforme à celle d'un Savant qui n'a point été à portée de m'entendre , & qui est trop riche de son propre fond

pour être soupçonné de s'approprier les pensées des autres. Feu M. Bazin, ci-devant Bibliothécaire de S. E. Monseigneur le Cardinal de Rohan à Strasbourg, digne Correspondant de M. de Reaumur, à l'Académie des Sciences, & l'Auteur de plusieurs Ouvrages de Physique, qui ont été justement applaudis, fit imprimer en 1741. un volume *in-8°*. dans lequel on trouve une dissertation fort curieuse, sur la différence qu'il y a entre l'homme & les bêtes, par rapport à la facilité de nager. Le Lecteur qui voudra s'instruire amplement sur cette matiere, trouvera dans cet écrit de quoi se satisfaire.

Si des calebasses, ou des vessies pleines d'air empêchent un homme d'aller au fond, de pareils moyens employés d'une maniere convenable peuvent soulever, & amener à la surface de l'eau des corps submergés auxquelson les auroit joints. Lorsqu'un navire a échoué sur le sable, ou qu'il est envasé, pour le remettre à flot, on y attache, dans le temps de la marée basse, de grandes caisses très-fortes, & dont les volumes sont proportionnés au poids du vaisseau, & à l'effort qu'on

qu'on juge nécessaire pour le détacher. A la marée montante, si le volume d'eau qui répond à cet assemblage, pèse plus que lui; il ne manque pas de l'enlever, & de le mettre en état d'être tiré à bord.

Quand cette opération doit se faire dans des endroits où il n'y a point de marée, c'est-à-dire, où la surface de l'eau demeure toujours à même hauteur, on emplit d'eau les caisses que l'on veut joindre au vaisseau, pour les faire enfoncer le plus profondément qu'il est possible, sans cependant les submerger; & lorsqu'elles sont attachées, on les vuide avec des pompes, pour leur rendre la première légèreté qu'elles avoient, & qu'elles doivent partager avec le corps engravé; & ce procédé a le même succès que le premier, si l'on a observé les proportions nécessaires.

Le plus difficile dans ces sortes d'opérations, c'est de passer des cables sous le vaisseau engravé, sur-tout quand il l'a été long-temps, & que la vase s'est durcie autour; & s'y est considérablement accumulée. Cette difficulté a été vaincue il y a environ

**VIII.**  
**LEÇON.** 18 ans avec beaucoup de courage , & fort ingénieusement, par M. Goubert, Officier des vaisseaux du Roi, qui fut joindre à la valeur la plus éprouvée, la sagacité des plus habiles Ingénieurs , & qui est enfin venu à bout d'enlever un des vaisseaux qui avoient péri en 1702 , dans la rade de *Vigo* en Espagne ; entreprise qui avoit été tentée inutilement , & à grands frais, par plusieurs Compagnies formées tant en France qu'ailleurs. C'est dommage qu'un succès aussi heureux n'ait valu à M. Goubert que des applaudissements ; les espérances dont il pouvoit se flatter , avoient échoué sans retour avec le vaisseau ; on avoit sans doute eu soin d'en ôter les effets à l'aspect du naufrage ; on n'y trouva rien qui pût dédommager les entrepreneurs des grands frais auxquels cet ouvrage les avoit engagés.

#### IV. PROPOSITION.

*Si le corps solide est moins pesant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie ; ce qui reste plongé mesure une quantité de liqueur qui pèse autant que le corps entier.*

IX. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

VIII.  
LEÇON.

Le vase représenté par la *Fig. 9.* est de verre , presque cylindrique , & garni par en-bas d'un robinet ; on y met de l'eau à peu près jusqu'au deux tiers , où l'on fait une marque ; on y plonge ensuite une boule de cire bien ronde , & presque aussi grosse que le vaisseau est large ; cette immersion élève la surface de l'eau ; on en ôte par le robinet , tant que la surface soit baissée jusqu'à la marque où elle étoit en premier lieu ; on retire la boule de cire , on l'essuie , & on la pese contre la quantité d'eau qu'on a tirée du vase.

E F F E T S.

La boule & cette quantité d'eau , se font réciproquement équilibre ; ou si cela n'est point à la rigueur , il s'en faut de si peu de chose , qu'il est aisé de voir que cette petite différence vient d'un défaut d'exactitude dans le procédé ; car il suffit pour cela qu'en tirant l'eau du vase , il en soit sorti

I i ij

quelques gouttes de plus ou de moins qu'il ne faut.

VIII.  
LEÇON.

EXPLICATIONS.

La boule de cire plongée ne s'enfonce point entièrement sous l'eau, parce qu'elle est un peu plus légère; mais la plus grande partie qui reste plongée déplace une quantité d'eau qui s'élève au-dessus de la marque. Lorsqu'on tire de l'eau par le robinet, jusqu'à ce que la surface revienne à cette même marque, on est sûr d'avoir la quantité déplacée par l'immersion de la boule, & puisque cette quantité d'eau fait équilibre à la boule entière, n'est-ce pas une preuve, que *la partie plongée mesure une quantité de liqueur qui pèse autant que le corps entier*, comme nous l'avons énoncé dans notre proposition ?

CONSEQUENCES.

Il suit de la proposition précédente;  
1°. Que d'un corps qui surnage, la partie plongée est d'autant plus petite, que la liqueur est plus dense, ou que le corps plongé est moins pesant.

## EXPÉRIMENTALE. 381

2°. Qu'il y a toujours une partie plongée, lorsque le solide qui repose sur la liqueur, a une pesanteur & une épaisseur sensibles. Car s'il est pesant, comme on le suppose, il faut quelque chose qui lui fasse équilibre; & ce qui fait cet équilibre c'est le volume de liqueur déplacé, comme nous l'avons prouvé dans la dernière expérience.

---

---

VIII.  
LEÇON.

### X. EXPÉRIENCE.

#### PREPARATION.

Dans un petit vase long & étroit, qu'on a rempli de quelque liqueur jusqu'aux trois quarts de sa capacité, *Fig. 10*, on plonge une petite bouteille de verre très-mince, qui a un long col gradué, & qui est lestée au fond avec un peu de mercure, afin qu'elle se tienne dans une direction perpendiculaire.

#### E F F E T S.

Cette petite bouteille à long col, qu'on nomme communément *Aréomètre*, ou *Pese-liqueurs*, s'enfonce plus ou moins dans le vase, selon qu'il est

rempli d'une liqueur plus ou moins dense , c'est-à-dire , qu'il descend plus profondément dans le vin que dans l'eau, & dans l'eau-de-vie encore plus que dans le vin. Et si l'on met au haut de sa tige quelque petite lame de métal , il s'enfonce plus avant , quoiquedans la même liqueur.

*E X P L I C A T I O N S .*

La partie plongée de l'aréometre , souleve autant de liqueur qu'il en faut pour faire équilibre à l'instrument entier. S'il pese une once , par exemple , il souleve moins d'eau que de vin , quant au volume , parce qu'il faut plus de vin que d'eau pour le poids d'une once , & comme il ne fait monter la liqueur qu'en s'enfonçant , il doit donc plonger plus avant , dans celle qui est plus légère.

Si l'on augmente le poids de l'aréometre par l'addition de quelque lame de métal ou autrement , il s'enfonce plus avant , quoique dans la même liqueur , parce qu'alors il en faut une plus grande quantité pour lui faire équilibre.

Puisque tous les corps qui flottent ; comme nous venons de le faire voir par l'expérience de l'aréometre, s'enfoncent plus ou moins, selon la densité du fluide ; une barque chargée en mer aura donc moins de parties hors de l'eau , si elle vient à remonter une rivière : car l'eau salée pèse plus que l'eau douce , & les rigeurs assurent qu'ils en sentent bien la différence. On doit donc avoir égard à cet effet, & ne pas rendre la charge aussi grande qu'elle pourroit l'être , si l'on prévoit qu'on doive passer par une eau moins chargée de sel , que celle où l'on s'embarque.

On a vu quelquefois des *isles flottantes* , c'est-à-dire , des portions de terre assez considérables , qui se détachant du continent , & se trouvant moins pesantes que l'eau , se soutiennent à la surface , & flottent au gré des vents. L'eau mine peu à peu certains terrains qui sont plus propres que d'autres à se dissoudre ; ces sortes d'excavations s'augmentent avec le temps & s'étendent au loin ; le des-

---

 VIII.  
LEÇON.

fus demeure lié par les racines des plantes & des arbres, & le sol n'est ordinairement qu'une terre bitumineuse, fort légère, de sorte que cette espece de croute est moins pesante que le volume d'eau sur lequel elle est reçue, quand un accident quelconque vient à la détacher de la terre ferme, & la met à flot.

L'exemple de l'aréometre fait voir encore qu'il n'est pas besoin, pour furnager, que le corps flottant soit d'une matiere plus légère que l'eau. Car cet instrument ne se soutient point en vertu du verre ou du mercure dont il est fait, mais seulement parce qu'il a, avec peu de matiere, un volume considerable qui répond à une quantité d'eau plus pesante. Ainsi l'on pourroit faire des barques de plomb ou de tout autre métal, qui ne s'enfonceroient pas. Et en effet les chariots d'artillerie portent souvent, à la suite des armées, des gondoles de cuivres, qui servent à établir des ponts, pour le passage des troupes.

De

*De la Balance hydrostatique ,  
& de ses usages.*

VIII.  
LEÇON.

La balance hydrostatique que nous avons employée pour les expériences précédentes, est un instrument fort commode pour connoître la pesanteur spécifique des fluides & des solides, qui peuvent être plongés sans se dissoudre & sans changer de volume. Nous ne pouvons pas nous étendre beaucoup sur ses usages, parce que ces sortes de détails passent les bornes que nous nous sommes prescrites dans cet Ouvrage ; ceux qui seront curieux de les savoir, pourront lire ce qu'en ont écrit Boyle, & après lui MM. Cotes, Desaguilliers, s'Gravesande, &c. nous nous contenterons de faire voir que les effets de cette balance ne sont que des applications des principes établis ci-dessus, & nous nous bornerons à quelques exemples qui suffiront pour le prouver.



*Connoître la Pesanteur spécifique  
d'une Lqueur.*

La pesanteur spécifique d'une matière, c'est le poids qu'elle a sous un volume connu : c'est ce qu'on nomme aussi sa *densité*. Un solide entièrement plongé déplace un volume de liqueur égal à lui. On aura donc la solution du problème, si l'on a un moyen de connoître le poids de ce volume déplacé : or la quatrième expérience nous a appris que ce poids est précisément celui que perd le solide par son immersion ; ainsi on procédera de la manière qui suit.

Ayez un corps solide qui puisse se plonger sans changer de volume ; & sans admettre la liqueur dans ses pores, comme du verre, par exemple ; ce corps peut être sphérique, cylindrique, cubique, &c. comme l'on veut. Suspendez-le avec un cheveu, ou un crin, au bras de la balance, pour connoître d'abord sa pesanteur absolue ; faites-le ensuite plonger entièrement dans la liqueur ; l'équilibre

fera d'abord rompu par cette immersion ; ce que vous ferez obligé d'ajouter pour le rétablir , fera justement le poids du volume de liqueur qui a été déplacé par le corps plongé. Si ce corps étoit un cube d'un pouce , & qu'après l'avoir plongé on eût ajouté 4 gros , il faudroit conclure qu'un pouce cube de la liqueur pèse 4 gros , ou une demi-once.

On peut objecter , contre l'exactitude de ce procédé , que la gravité de ce cube de verre , pesé en l'air , n'est point sa pesanteur absolue , puisque l'air , en qualité de fluide ambiant , lui ôte une partie de son poids ; mais le plomb qui le tient en équilibre , souffre une perte à peu-près semblable ; & l'air est si léger , que la pesanteur respectife & la pesanteur absolue sont sensiblement les mêmes , quand les corps qui y sont plongés , n'ont que des volumes peu considérables.

Mais une attention qu'on ne faudroit porter trop loin dans ces sortes d'expériences , c'est que le solide plongé , & la liqueur où se fait l'immersion , ne varient point de den-

## 388 LEÇONS DE PHYSIQUE

---



---

 VIII.  
LEÇON.

fité pendant l'opération. Car si celle-ci se raréfie ou se condense, ou bien que le volume de celui-là augmente ou diminue, il en résultera du mécompte; & il n'est que trop possible que cela arrive par le chaud, par le froid, & parce qu'on jugera peut-être de l'état d'une liqueur par son nom, sans faire attention que tout ce qui s'appelle eau commune, esprit-de-vin, &c. n'est pas toujours d'une égale densité.

Pour remédier à une partie de ces inconvénients, je voudrois qu'au lieu de plonger un corps solide de verre, on se servît d'une boule creuse, terminée par un cube capillaire, & remplie de mercure comme un thermomètre; par ce moyen on pourroit s'assurer du degré de densité de la liqueur, au moins de celui qui résulte du froid ou du chaud actuel; & l'on seroit sûr en même temps, que le volume du corps plongé n'est point changé. Car si la température de la liqueur venoit à changer, on en seroit averti par l'ascension ou l'abaissement du mercure dans le tube capillaire,

## II. USAGE.

VIII.  
LEÇON.*Comparer les pesanteurs spécifiques  
de deux Liqueurs.*

Lorsque l'on a connu la pesanteur spécifique de l'une des deux, par l'usage précédent, on répète l'opération sur l'autre, & la différence des poids qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre après l'immersion, est aussi celle de leurs pesanteurs spécifiques.

Dans ces sortes de comparaisons il faut bien prendre garde que le degré de fluidité n'entre pour quelque chose. Il est des liqueurs plus visqueuses, plus difficiles à diviser, dans lesquelles l'immersion du corps solide se fait plus difficilement indépendamment de la densité; quand cela est ainsi, il faut avoir recours à quelqu'autre procédé, pour connoître avec exactitude la pesanteur spécifique.



*Comparer les gravités spécifiques de deux corps solides.*

Par la cinquieme experience nous avons prouvé que des solides dont les pesanteurs absolues sont égales , en perdent , par l'immersion dans un même fluide des quantités qui sont proportionnelles à leurs volumes.

Mettez donc en équilibre dans l'air deux morceaux de matieres proposées ; faites-les plonger ensuite entièrement dans deux vases remplis de la même liqueur. Si leurs volumes sont égaux , l'équilibre subsistera , parce que les pertes seront égales de part & d'autre ; s'ils sont inégaux , le plus petit emportera l'autre ; & ce qu'il faudra ajouter à celui-ci pour le remettre en équilibre , fera la différence qu'il y aura entre les gravités spécifiques des deux.

Si les corps en question ne sont point assez pesants pour se plonger tout-à-fait par leur propre gravité , on pourra y joindre des poids qui ne changeront rien à l'effet , s'il sont

parfaitement semblables de part & d'autre. Mais il faut bien prendre garde de qu'il ne s'attache à la surface des corps plongés, des bulles d'air, ou quelque chose de gras, qui empêche la liqueur de s'y appliquer exactement de toutes parts ; car leurs volumes alors seroient augmentés, & leur pesanteur en paroîtroit d'autant diminuée.

IV. USAGE.

*Comparer la gravité spécifique d'un corps solide, avec celle d'une liqueur.*

Quand on a pesé un corps solide dans l'air, ce qui lui reste ensuite de son poids lorsqu'il est plongé dans la liqueur, est la différence qu'il y a entre les pesanteurs spécifiques de ce corps, & du volume correspondant de la liqueur. Si, par exemple, un morceau d'or pese 19 gros dans l'air, & qu'il n'en pese plus que 18, étant plongé dans l'eau commune, c'est une marque qu'une telle immersion lui ôte  $\frac{1}{9}$  de son poids, & que la pe-

K k iiiij

Le rapport spécifique de l'eau est à celle de l'or comme 1 à 19.

*Remarques sur l'Aréometre, ou Peseli-  
queurs.*

L'aréometre que nous avons représenté par la *Fig. 10.* est encore un instrument avec lequel on peut connoître de deux liqueurs laquelle est la plus pesante ; mais si l'on veut s'en servir pour connoître au juste le rapport des pesanteurs, il faut le construire & l'employer avec des précautions dont on se dispense pour l'ordinaire , & sans lesquelles cependant on n'en peut rien attendre d'exact.

1°. Il faut que les liqueurs dans lesquelles on plonge l'aréometre, soient exactement au même degré de chaleur ou de froid, afin qu'on puisse être sûr que leur différence de densité ne vient point de l'une de ces deux causes, & que le volume de l'aréometre même n'en a reçu aucun changement.

2°. Que le col de l'instrument sur lequel sont marquées les graduations,

soit par-tout d'une grosseur égale; car s'il est d'une forme irrégulière, les degrés marqués à égales distances, ne mesureront pas des volumes de liqueur semblables en se plongeant; il sera plus sûr & plus facile de graduer cette échelle relativement à la forme du col, en chargeant successivement l'instrument de plusieurs petits poids bien égaux, dont chacun produira l'enfoncement d'un degré.

3°. On doit avoir soin que l'immersion se fasse bien perpendiculairement à la surface de la liqueur, sans quoi l'obliquité empêcheroit de compter avec justesse le degré d'enfoncement.

4°. Comme l'usage de cet instrument est borné à des liqueurs qui diffèrent peu de pesanteur entr'elles, on doit bien prendre garde que la partie qui surnage ne se charge de quelque vapeur ou saleté qui occasionneroit un mécompte, dans une estimation où il s'agit de différences peu considérables. Et lorsque l'aréomètre passe d'une liqueur à l'autre, on doit bien prendre garde que sa surface ne porte aucun enduit

qui empêche que celle où il entre ne s'applique exactement contre sa surface.

5°. Enfin malgré toutes ces précautions, il reste encore la difficulté de bien juger le degré d'enfoncement, parce que certaines liqueurs s'appliquent mieux que d'autres au verre, & qu'il y en a beaucoup qui lorsqu'elles le touchent, s'élevent plus ou moins au-dessus de leur niveau.

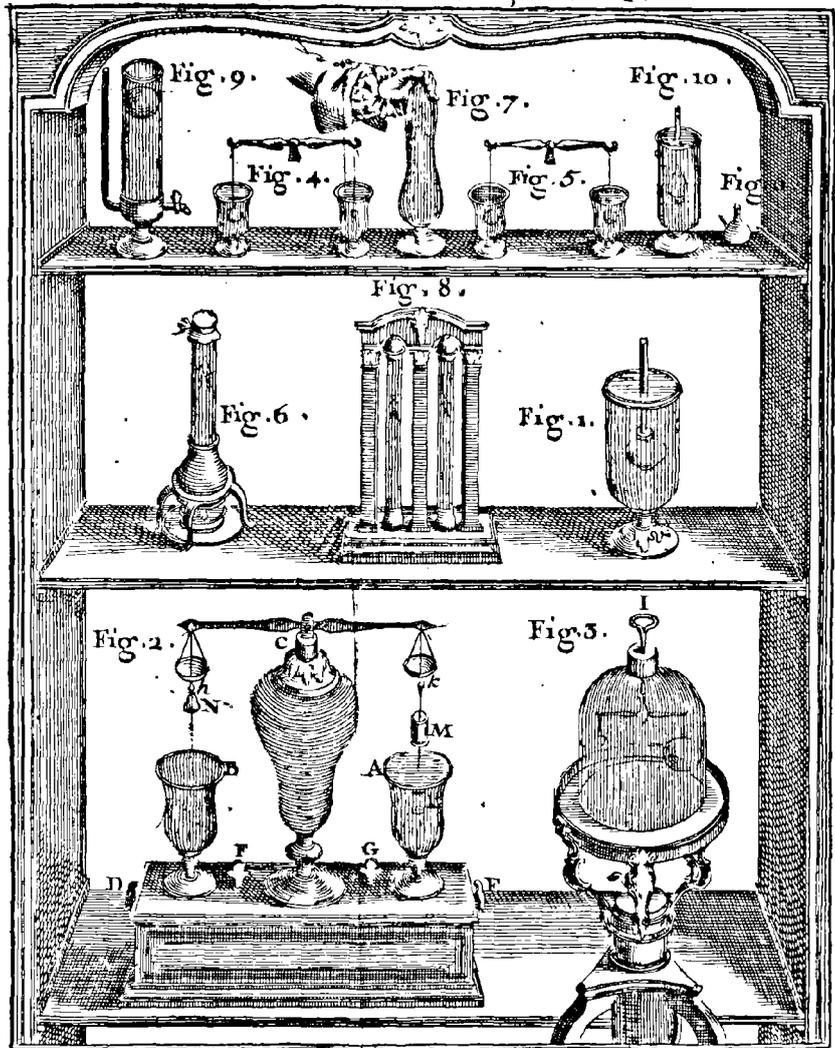
Quand on se sert de l'aréometre dont il est ici question, il faut le plonger d'abord dans la liqueur la moins pesante, & remarquer à quelle graduation se rencontre sa surface: ensuite il faut le rapporter dans la plus dense, & charger le haut de la tige ou du col, de poids connus, jusqu'à ce que le degré d'enfoncement soit égal au premier. La somme des poids qu'on aura ajoutés, pour rendre cette seconde immersion égale à la première, sera la différence des pesanteurs spécifiques entre les deux liqueur.

M. Homberg, & plusieurs Physiciens après lui, se sont servis pour

peser les liqueurs, d'un petit vaisseau de verre mince que l'on voit représenté dans la *Fig. 11.* on a pratiqué à côté du col un petit tuyau montant, par le moyen duquel on a prétendu remplir la bouteille toujours également, parce qu'il est plus facile d'estimer la hauteur juste de la liqueur dans un petit tuyau, que dans le col de l'instrument où la surface est plus étendue. De cette manière, on a compté mesurer toujours des volumes égaux, dont il seroit aisé de connoître la pesanteur en les appliquant à une balance. Mais nous ne pouvons dissimuler que cette méthode est sujette, comme les autres, à plusieurs inconvénients; le plus grand de tous, c'est que le petit tuyau montant est fort étroit, & que les liqueurs ne s'y mettent point de niveau; la plupart s'y tiennent plus élevées, comme nous le dirons bientôt, & cet excès n'est pas le même pour toutes.

Plusieurs Savants se sont donné la peine d'examiner les pesanteurs spécifiques d'un grand nombre de matières, tant solides que fluides, &

de les rédiger en tables. On doit assurément leur savoir gré de ce travail , & l'on en sent toute la difficulté quand on pense aux attentions scrupuleuses , & au temps qu'on est obligé de donner à ces sortes de recherches , lorsqu'elles deviennent nécessaires ; mais leurs expériences , quelque exactes qu'elles aient été , ne peuvent nous servir de regles que comme des à peu-près. Car les individus de chaque espece , varient entr'eux , quant à la densité ; & l'on ne peut pas dire que deux diamants , deux morceaux de cuivre , deux gouttes de pluie , &c. soient parfaitement semblables. Ainsi quand il est question de savoir au juste la pesanteur spécifique de quelque corps , il faut le mettre lui-même à l'épreuve ; c'est le seul moyen d'en bien juger. Il y a à la vérité mille occasions où cette grande exactitude est superflue , & alors on peut s'en rapporter aux recherches d'un Physicien habile & exact ; c'est dans cette vûe que nous avons placé ici une table dressée sur les expériences de M. Muschenbroek , dont on connoît suffisamment la sagacité & l'exactitude.





Les pesanteurs spécifiques de toutes les matières énoncées dans cette table, sont comparées à celle de l'eau commune; & l'on prend pour eau commune celle de la pluie dans une température moyenne. Ainsi lorsqu'on verra dans la table, eau de pluie... 1,000, or de coupelle 19,640, air 0,001,  $\frac{1}{4}$ , c'est-à-dire, que la pesanteur spécifique de l'or le plus fin, est à celle de l'eau comme 19  $\frac{1}{2}$  à peu-près, à 1; & que la gravité de l'air n'est presque que la millièame partie de celle de l'eau.

*Table alphabétique des matières les plus connues, tant solides que fluides, dont on a éprouvé la pesanteur spécifique.*

Acier flexible ou non trempé.	7,738.
Acier trempé.	7,704.
Agathe d'Angleterre.	2,512.
Air.	0,001 $\frac{1}{4}$ .
Albâtre.	1,872.
Alun.	1,714.
Ambre.	1,040.
Amiante.	2,913.
Antimoine d'Allemagne.	4,000.

## 398 LEÇONS DE PHYSIQUE

	Antimoine de Hongrie.....	4, 700.
VIII.	Ardoise bleue.....	3, 500.
LEÇON.	Argent de coupelle.....	11, 091.
	Bismuth.....	9, 700.
	Bois de Brésil.....	1, 030.
	— Cedre.....	0, 613.
	— Orme.....	0, 600.
	— Gayac.....	1, 337.
	— Ebene.....	1, 177.
	— Erable.....	0, 755.
	— Frêne.....	0, 845.
	— Euis.....	1, 030.
	Borax.....	1, 720.
	Caillou.....	2, 542.
	Camphre.....	0, 995.
	Charbon de terre.....	1, 240.
	Cinabre naturel.....	7, 300.
	— artificiel.....	8, 200.
	Cire jaune.....	0, 995.
	Corail rouge.....	2, 689.
	— blanc.....	2, 500.
	Corne de bœuf.....	1, 840.
	— cerf.....	1, 875.
	Crystal de roche.....	2, 650.
	— d'Islande.....	2, 720.
	Cuivre de Suede.....	8, 784.
	— jetté en moule.....	8, 000.
	Diamant.....	3, 400.
	Ecailles d'huîtres.....	2, 022.

EXPÉRIMENTALE. 399

Encens.....	1, 071.
Fau commune ou de pluie..	1, 000,
—— distillée.....	0, 993.
—— de riviere.....	1, 009.
Esprit-de-vin rectifié.....	0, 866.
—— de térébenthine.....	0, 874.
Etain pur.....	7, 320.
—— allié d'Angleterre.....	7, 471,
Fer.....	7, 645.
Gomme Arabique.....	1, 375.
Grenat de Bohême.....	4, 360
—— de Suede.....	3, 978.
Huile de lin.....	0, 932.
—— d'olives.....	0, 913.
—— de vitriol.....	1, 700.
Karabé ou ambre jaune.....	1, 065.
Lait de vache.....	1, 030.
L'targe d'or.....	6, 000,
—— d'argent.....	6, 044.
Maganèse.....	3, 530.
Marbre noir d'Italie.....	2, 704,
—— blanc d'Italie.....	2, 707.
Mercuré.....	13, 593,
Noix de Galles.....	1, 034.
Or d'essai ou de coupelle..	19, 640.
—— d'une guinée... ..	18, 888,
Os de bœuf,.....	1, 656,
Pierre sanguine.....	4, 360,
—— calaminaire.....	5, 000,

VIII.  
LEÇON.

## 400 LEÇONS DE PHYSIQUE

VIII. LEÇON.	Pierre à fusil opaque.....2, 542.
	————transparente.....2, 641.
	Plomb.....11, 325.
	Poix.....1, 150.
	Sang humain.....2, 040.
	Sapin.....0, 550.
	Sel de Glauber.....2, 246.
	————ammoniac.....1, 453.
	————gemme.....2, 143.
	————polycreste.....2, 148.
	Soufre commun.....1, 800.
	Talc de Venise.....2, 780.
	Tartre.....1, 849.
	Turquoise.....2, 508.
	Verd-de-gris.....1, 714.
	Verre blanc.....3, 150.
	Verre commun.....2, 620.
	Vin de Bourgogne.....0, 953.
	Vinaigre de vin.....1, 011.
	————distillé.....1, 030.
	Vitriol d'Angleterre.....1, 880.
	Yvoire.....1, 825.



## APPENDICE,

## APPENDICE,

VIII.  
LEÇONS

*Touchant les tuyaux capillaires, &  
les causes immédiates de la fluidité  
& de la solidité des corps.*

## ARTICLE PREMIER.

*Des tuyaux capillaires.*

JE place ici ce qu'il importe de savoir touchant les tuyaux capillaires, comme des exceptions aux loix de l'hydrostatique, qui ont été établies précédemment. Ce n'est pas que je pense qu'il soit absolument impossible de rappeler à ces loix générales ce qu'il y a de singulier en apparence dans ces sortes de phénomènes: mais quoique cela ait été tenté plusieurs fois, & par des Physiciens du premier ordre, nous ne dissimulerons point que le succès en est encore douteux, & que ce qu'ils ont dit sur cette manière, ne peut être reçu que comme des probabilités, ingénieuses pour la plupart, mais

Tome II.

LI

qui laissent toujours des difficultés à résoudre. D'autres peut-être plus heureux dans leurs recherches, trouveront le moyen de concilier avec des principes généralement avoués, ces effets à qui l'on seroit tenté d'imaginer des causes nouvelles & d'un genre particulier, si l'on ne savoit qu'en Physique l'imagination n'a pas grand poids, si l'expérience ne la soutient.

On appelle *tubes*, ou *tuyaux capillaires*, ceux qui sont menus : ils peuvent être faits de verre, ou de toute autre matière capable de contenir les liqueurs. Ce nom leur vient, sans doute, de la ressemblance qu'ils peuvent avoir avec les cheveux, que l'on regarde communément comme de petits canaux creux dans toute leur longueur, & capables de transmettre certaines humeurs.

Cette comparaison néanmoins ne limite pas la grosseur des tubes capillaires à celle d'un cheveu ; ceux dont on se sert communément pour les expériences, sont beaucoup moins menus, & les effets qui sont propres à ces sortes de tuyaux, se laissent en-

core appercevoir, quand leur diamètre égale deux lignes, & même deux lignes & demie. Leur forme est tout-à-fait indifférente : deux morceaux de glace de miroir, dont les plans s'approchent parallèlement à une distance convenable, produisent les mêmes effets qu'une suite de petits tuyaux ; & tous les corps spongieux, ou assez poreux pour admettre les liqueurs, peuvent être aussi considérés comme des assemblages de canaux capillaires. Nous allons exposer dans les expériences qui suivent, ce qu'il y a de plus intéressant dans cette matière. On verra dans les préparations les différentes dimensions que peuvent avoir les tuyaux capillaires, & leurs propriétés se connoîtront par les effets résultants de chaque procédé.

## PREMIERE EXPÉRIENCE.

### PREPARATION.

Dans un petit gobelet *AB*, *Fig. 12.* que l'on emplit successivement de différentes liqueurs, on plonge le petit tuyau *CD*, dont les deux ex-

Lij

trémities sont ouvertes, & que l'on a attaché sur une petite bande de carton blanc divisée selon sa longueur en parties égales.

## E F F E T S.

*Première propriété des tubes capillaires.*

Dès que le tube est plongé, la liqueur s'éleve vers *D*; & si l'on enfonce le tube plus avant dans le gobelet, la liqueur monte d'autant au-dessus de l'endroit où elle s'étoit fixée d'abord; cet effet est général pour toutes les liqueurs; il en faut seulement excepter une, dont nous ferons mention ci-après.

## II. EXPERIENCE.

## P R E P A R A T I O N.

On procede dans cette expérience comme dans la précédente; les liqueurs dont on emplit successivement le petit gobelet, sont l'urine, l'esprit-de-vin, l'esprit de nitre, l'eau salée, l'huile de vitriol. Il faut avoir soin de faire passer de l'eau nette dans le petit tube, à chaque fois que l'on

change de liqueur; faire en sorte qu'elles aient toutes la même température, & remarquer à quel degré chacune s'éleve.

*E F F E T S :*

*Seconde propriété.*

Ces liqueurs s'élevent dans le même tube à différentes hauteurs, selon l'ordre qui suit, en commençant par celles qui montent le plus haut; l'urine, l'huile de vitriol concentrée, l'eau salée, l'esprit de nitre & l'esprit-de-vin; ce qui fait voir que les liqueurs ne s'élevent point dans les tubes capillaires, en raison renversée de leur densité, puisque l'esprit-de-vin, qui est le plus léger, est celui de tous ces liquides qui s'éleve le moins.

III. EXPERIENCE.

*P R E P A R A T I O N .*

Dans de l'eau colorée on plonge deux tubes de même longueur, mais dont les diametres intérieurement différent de moitié. *Fig. 13.*

*Troisième propriété.*

L'eau s'éleve une fois plus haut ; dans celui des deux tubes qui a le diamètre une fois plus petit ; & comme cet effet suit toujours de même le rapport que les diamètres ont entr'eux , on peut conclure en général que les liqueurs s'élevent dans les tubes capillaires en raison inverse de leur largeur , c'est-à-dire , qu'elle y monte d'autant plus haut , qu'ils sont plus étroits.

## IV. EXPERIENCE.

## PREPARATION.

Il faut répéter les expériences précédentes , en employant du mercure au lieu des liqueurs dont on s'est servi , ou bien verser du mercure dans un siphon renversé , dont une des branches soit capillaire , comme le représente la *Fig. 14.*



On remarquera que le mercure se tient toujours plus bas que son niveau, & que son abaissement est d'autant plus grand, que le tube est plus étroit. Dans le siphon renversé, par exemple, au lieu de s'élever en G dans la branche capillaire, pour être de niveau à celui de l'autre branche, il se tient en H, & se tiendrait encore plus bas, si ce tuyau qui le contient étoit d'un diametre plus petit.

Jusqu'à présent on ne connoît que le mercure qui se comporte ainsi dans les tubes capillaires: il est probable que toutes les matieres métalliques, qu'on tiendrait en fusion, feroient la même chose; j'en juge par l'étain & le plomb fondus que j'ai mis à l'épreuve.

## E X P L I C A T I O N S.

Tous ces faits, comme l'on voit, paroissent contraires aux regles ordinaires de l'hydrostatique, par lesquelles nous avons vu qu'une liqueur se met toujours en équilibre avec elle-même, soit dans un seul & même vaisseau, soit dans plusieurs qui com-

muniquent ensemble ; que si elle obéit à une force qui l'éleve au-dessus de son niveau , elle lui cede proportionnellement à sa densité , &c. Ce que l'on voit de différent dans les tubes capillaires , n'est connu que depuis un siecle tout au plus ; cette découverte s'est faite dans un temps où l'on pensoit déjà que tout ce qui se présente à expliquer en Physique , ne peut l'être que par des causes mécaniques , & qui se présentent à l'esprit d'une maniere intelligible ; les Physiciens les plus habiles ont travaillé en conséquence ; mais le succès a-t-il répondu à leur zele ?

On peut ranger en trois classes les différentes opinions qui ont été proposées sur cette matiere.

La premiere comprend celles qui attribuent ces phénomènes à la pression inégale du fluide environnant , en supposant qu'il exerce son poids plus librement , & d'une maniere plus complete , sur la surface du vaisseau *AB* , que par l'orifice supérieur du tuyau plongé. *Fig. 12.*

Ce fluide environnant , selon quelques-uns , est l'air dont les parties  
rameuses

rameuses s'embarraffent, & se meuvent difficilement dans un canal étroit, tandis qu'il agit sans obstacle sur la surface du gobelet. Cette pensée est tout-à-fait naturelle & simple; mais une seule expérience la rend presque insoutenable: toute ce que les tuyaux capillaires font en plein air, ils le font de même sous le récipient d'une machine pneumatique où l'on a fait le vuide.

Que reste-t-il à répondre? Dira-t-on que le vuide n'est jamais parfait? & que ce qui reste d'air, après les derniers efforts de la pompe la plus exacte, est encore capable de soutenir quelques pouces d'eau au-dessus de son niveau?

On sent aisément que la réponse ne satisfait pas à l'objection. Cependant elle n'est point absolument sans force: tout l'air du récipient se raréfie également, si la pression sur la surface du gobelet diminue, la résistance dans le tuyau décroît aussi par proportion; & les causes de l'inégalité d'action subsistent. Mais une seconde expérience fait voir qu'on ne peut guere soutenir cette inégalité de

VIII.  
LEÇON. pression, qui suppose que l'air n'agit pas librement dans le tuyau. Si cela étoit, il faudroit que la liqueur s'élevât proportionnellement à la longueur du tube ; car il est certain que si l'air y trouvoit de l'embarras , il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court : cependant cela n'arrive point ; c'est le diamètre du tube qui règle le degré d'élévation ; & quand l'eau est arrivée au point où elle doit monter , elle ne baisse point , quoiqu'on retranche de la partie du tuyau qui est au-dessus d'elle.

Ces raisons ayant fait abandonner l'air grossier , on s'en est pris à un autre fluide plus subtil , & tel qu'il subsiste dans les vaisseaux où l'on fait le vuide de Boyle. On lui suppose des parties globuleuses , & l'on démontre qu'une colonne d'un tel fluide ne remplit jamais bien exactement un tube , & qu'une pression dépendante de cette plénitude , doit diminuer à proportion que le tube est plus étroit ; de-là vient , dit-on , le défaut d'équilibre entre la pression qui se fait sur la liqueur dans le tuyau , & celle qui

s'exerce sur la surface du vase où l'on plonge le tuyau.

Cette hypothèse est ingénieuse ; elle fait agir un fluide dont on ne peut guere contester l'existence ; mais elle lui accorde des fonctions qu'on ne peut admettre sans peine. Un milieu dont les parties sont plus subtiles que celles de l'air commun, & qui le sont assez pour pénétrer les pores du verre, laisse-t-il tant de vuide dans le tube, & s'applique-t-il si mal aux parois du verre, que sa pression differe sensiblement de celle qu'il exerce en-dehors sur la superficie du réservoir ? D'ailleurs, pourquoi la pression plus libre & plus entiere sur la surface du vase, n'éleve-t-elle pas les liqueurs à des hauteurs qui soient proportionnelles à leurs densités ? Et enfin, pour citer encore l'expérience ; il paroît que l'effet dont il s'agit, ne dépend point d'une pression qui soit plus ou moins libre, selon la largeur de la base ; car au lieu de plonger le tube dans un vase, si l'on fait couler une goutte de liqueur en-dehors, & selon sa longueur, dès qu'elle est parvenue à l'orifice inférieur, elle re-

monte dans le tube comme en tout autre cas.

VIII.  
LEÇON.

Voilà pourtant ce que l'on a dit de plus vraisemblable pour expliquer l'ascension des liqueurs dans les tubes capillaires, par la pression inégale d'un fluide environnant. Voyons si les opinions de la seconde classe sont plus heureuses.

Celles-ci, quoique partagées par différentes vûes, se réunissent en un point : elles prétendent, que, lorsqu'on a plongé le bout d'un tube capillaire, la petite colonne de liqueur qu'il renferme, perd son poids par une adhérence au verre, & que cessant de peser sur le fond du vase où se fait l'immersion, les colonnes extérieures au tube, & qui exercent librement leur pesanteur, en poussent une semblable sous la première, une autre sous la seconde, & que toutes ces parties s'accumulent en une colonne totale, dont la hauteur est proportionnelle au frottement qui augmente comme le diamètre du tuyau diminue.

On conçoit bien comment une petite colonne d'eau, une fois placée

dans un tube capillaire , y est soutenue par le frottement ou par l'adhérence aux parois du verre ; mais je ne comprends pas de même comment l'eau du vase par son poids , la déplace & la souleve , pour lui substituer une colonne semblable : car cette eau environnante n'a de force qu'autant qu'il lui en faut , pour pousser dans le tube une colonne qui remplisse sa partie plongée , ou , ( ce qui est la même chose , ) elle ne peut porter cette colonne que jusqu'à son niveau ; mais comment l'y portera-t-elle , s'il faut qu'elle souleve en même temps une colonne semblable qui occupe la place ? Dira-t-on que celle-ci ne pèse point sur le fond , parce qu'elle est retenue par le frottement du verre ? Cela est vrai , tant qu'elle est en repos ; mais s'il faut la faire monter , il faut vaincre son poids , ou , ce qui est équivalent , l'adhérence ou le frottement qui a vaincu son poids.

Mais pour faire connoître combien ce système s'accorde peu avec l'expérience , il suffira de dire que les tubes capillaires ont leurs effets aussi

Mm iij

VIII.  
LEÇON.

promptement, & d'une maniere aussi complete, quand on ne fait que toucher, le plus légèrement qu'il est possible, les liqueurs, comme lorsqu'on les y plonge fort avant; ce qui dénote incontestablement, que la pression des colonnes qui entourent la partie plongée du tuyau, n'entre pour rien dans cet effet.

Aussi voyons-nous que quelques-uns de ceux qui ont assigné cette cause, en ont senti eux-mêmes l'insuffisance. « L'eau, disent ils, demeure » suspendue dans des tubes capillaires, par son adhérence naturelle au » verre; mais elle y est élevée par une » autre cause. » Quelle est donc cette cause qu'on associe à l'adhérence, & qui doit nous expliquer les effets des tubes capillaires? « C'est, dit-on, la » même force qui fait que deux gouttes d'eau se joignent ensemble, lorsqu'on les approche de fort près. » Passons à la troisième classe.

Ici l'on suppose que le verre attire la liqueur: mais sur quoi cette supposition est-elle fondée? Comment faut-il entendre cette attraction? & quelle règle suit-elle dans ses effets?

Car si l'on n'en avoit d'autres preuves que le fait en question, & si l'on faisoit de cette cause une qualité abstraite qui ne fût asservie à aucune mesure, cela ressembleroit beaucoup aux sympathies & aux qualités occultes des Péripatéticiens, si justement & si généralement bannies de la Physique moderne, c'est-à-dire, de la Physique raisonnable.

Les Physiciens qui admettent l'attraction, (car il y en a un assez grand nombre qui tiennent cette opinion; & nous ne dissimulerons pas que parmi ceux qui l'ont suivie, il s'en trouve quelques-uns, dont le nom seul pourroit prévenir en faveur de ce sentiment, si l'autorité devoit être la règle de nos connoissances physiques;) ces Physiciens, dis-je, se partagent en deux classes. Les uns, conformément à l'esprit de M. Newton, regardent l'attraction comme un fait qui a lieu dans toute la nature, & qui pourroit avoir, comme tous les autres, une cause mécanique qu'il est louable de chercher, mais qu'ils désespèrent, en quelque façon, de pouvoir trouver. Les autres tranchent le

mot; plus hardis en cela que leur Chef, ils prétendent que la vertu attractive est un principe qui vient immédiatement de la volonté du Créateur. Selon les premiers, quand deux corps s'approchent, ou se tiennent unis l'un à l'autre, sans qu'on apperçoive ce qui cause leur réunion ou leur adhérence, c'est un effet dont il y a beaucoup d'exemples, & à qui l'on donne le nom particulier d'*attraction*, seulement pour le distinguer d'un grand nombre d'autres faits semblables en apparence, mais dont la cause est connue. Selon les derniers, tout cela se fait en vertu d'une force innée, d'un penchant naturel, par lequel, de lui-même, & sans aucune impulsion étrangère, un corps se porte vers un autre, & agit sur lui avant que de le toucher, ni par lui-même, ni par d'autres corps intermédiaires.

Ceux qui n'admettent les attractions que comme des faits, me paroissent être dans la route ordinaire. Les Cartésiens les plus fidèlement attachés aux causes mécaniques, s'appuient tous les jours sur des phénomènes, dont la cause est encore

obscure, & leur donnent tels noms qu'il leur plaît : l'*adhérence*, la *viscosité*, la *flexibilité*, le *ressort* de certaines matieres, servent souvent à expliquer leurs propriétés, & l'on n'en est pas choqué. On ne doit point l'être non plus du mot d'*attraction*, s'il n'exprime qu'un fait qu'on se dispense d'expliquer.

Mais doit-on penser de même de la vertu attractive, considérée comme principe de la nature ? Je passe qu'elle ne soit point métaphysiquement impossible, (c'est une grace que tout le monde ne lui fait pas ; ) je suppose avec ceux qui ont le mieux défendu cette cause, que le Créateur en établissant l'impulsion, comme la cause la plus ordinaire des mouvements des corps, ait été libre d'établir aussi l'attraction, & que ces deux principes ne soient point incompatibles ; qu'en peut on conclure, sinon que Dieu a été le maître d'employer deux moyens au lieu d'un ? Mais de ce qu'une chose pourroit être, s'en suit-il qu'elle est en effet ? Si certains mouvements n'ont point encore été bien expliqués par les loix de l'im-

## 418 LEÇONS DE PHYSIQUE

VIII.  
LEÇON.

pulsion, font-ils démontrés inexplicables ? & faudroit-il moins qu'une telle démonstration, pour autoriser l'introduction d'un nouveau principe ? sur-tout quand on fait que la nature affecte autant de simplicité dans les causes, que de fécondité dans les effets ; que l'esprit humain borné dans ses connoissances, ne peut jamais se flatter d'avoir apperçu tout ce qu'il y a à voir, & qu'il n'a jamais été moins éclairé sur les effets naturels, que quand il s'est permis des explications arbitraires. Je trouve fort sage & fort judicieuse cette pensée d'un Savant \*, qui avoit eu pendant sa vie bien des occasions de savoir tout ce qu'on peut dire de favorable pour le systéme des attractions, & en même temps tout ce qu'on peut reprocher à l'emploi qu'on a fait des impulsions : « Il ne faut pas nous flatter, » dit-il, que dans nos recherches de » Physique nous puissions jamais nous » mettre au-dessus de toutes les diffi- » cultés ; mais ne laissons pas de phi- » losopher toujours sur des principes » clairs de mécanique : si nous les » abandonnons, toute la lumiere que

\* M. Saurin,  
Mém. de  
l'Acad. 1709,  
P. 131.

» nous pouvons avoir est éreinte ; &  
 » nous voilà replongés de nouveau  
 » dans les anciennes ténébres du Pé-  
 » ripatétisme , dont le Ciel nous  
 » veuille préserver. »

M. Newton voyant dans les corps qui nous environnent , quantité d'attractions , c'est-à-dire, des effets qu'on peut nommer ainsi , soupçonna qu'il y en avoit par-tout ; & s'arrêtant moins à expliquer ces effets qu'à les mesurer , il supposa que toutes les parties de la matiere se portoient réciproquement les unes vers les autres , & que deux corps par conséquent s'attiroient en raison directe de leurs masses ; que si l'un des deux , par exemple , contient une fois plus de parties , son attraction est double de celle de l'autre. Il lui parut encore que cette tendance réciproque des corps ne devoit pas être également forte de loin comme de près ; & quelques raisons le déterminèrent à croire , que cette action, semblable à toutes celles qui s'étendent en forme de sphere , pourroit bien être en raison inverse du quarré de la distance, c'est-à-dire, qu'à deux degrés d'éloigne-

VIII.  
LEÇON.

ment les corps s'attireroient 4 fois moins, à trois degrés neuf fois moins, à quatre degrés seize fois moins, &c.

Jusqu'ici ce n'est que soupçon ; & que pouvoit-ce être autre chose, selon l'idée même que M. Newton s'étoit faite de l'attraction ? Cette force, selon lui, est proportionnelle à la masse des corps ; tout ce qui est en notre disposition est si petit en comparaison du globe sur lequel nous sommes, que l'attraction de celui-ci rend insensibles toutes les autres petites attractions particulières ; comme la lumière du soleil empêche qu'on apperçoive celle d'une bougie. Il falloit donc transporter cette hypothèse à des corps isolés, & assez éloignés les uns des autres, pour voir, si l'on pouvoit supposer qu'ils s'attirassent, & si leur attraction se faisoit suivant les loix qu'on avoit imaginées ; car, encore une fois, ces loix ne pouvoient se vérifier dans les petites attractions, & si l'on pouvoit en douter, l'attraction en général étoit une hypothèse mal étayée. Le Philosophe Anglois sentant mieux qu'un autre combien l'expérience a d'autorité dans les ques-

tions de Physique, & ne pouvant pas la faire parler, au moins d'une manière assez décisive, sur la surface de la terre, chercha des preuves dans un champ plus vaste, & qui lui étoit assez connu. Il compara le mouvement des astres aux conséquences de son principe, & il y trouva tant de conformité, qu'on est tenté de croire que ce grand homme a deviné le secret de la nature,

---

VIII.  
LEÇON,

Quelque avantage que puisse avoir l'hypothèse Newtonienne sur toutes celles qui l'ont précédé; quoiqu'elle explique d'une manière plus complète les mouvements des astres, & qu'elle s'étende jusqu'à rendre raison de leurs irrégularités apparentes, le fond de la chose reste toujours à juger. Les raisonnements de M. Newton, (je l'avoue, (mènent à croire que les planetes ont une tendance réciproque les unes vers les autres; que cette force agit selon les loix qu'il lui attribue: mais tout cela peut être primitivement l'effet de quelque impulsion physique, & M. Newton n'a osé prétendre le contraire. De quel droit ses Disciples voudroient-ils donc con-

vertir l'attraction de fait, en vertu inhérente, en attribut primitif, en nouveau principe? Est-ce qu'en revenant sur les faits qui ont porté le Maître à soupçonner l'attraction générale, ils y auroient vû autre chose que lui? Auroient-ils apperçu dans la chose même, l'impossibilité d'une explication mécanique? ou bien prendroient-ils pour des preuves de l'attraction, toutes les applications infructueuses que l'on a faites jusqu'ici de l'impulsion, à certains phénomènes difficiles à expliquer? Les deux premières raisons n'ont encore été alléguées par personne; & ceux qui ont hazardé la troisième, ont manqué de Logique; car ce n'est pas raisonner en règle, que de dire: *Ceci n'est point expliqué par les loix de l'impulsion, donc c'est un effet de la vertu attractive*: il faudroit préalablement faire deux choses, 1°. prouver que ces deux principes subsistent; 2°. que le premier ne peut point avoir lieu dans le fait en question.

Ces sortes de phénomènes après tout, qui, suivant les nouveaux Newtoniens, indiquent l'attraction, sont;

ils donc, comme ils le prétendent, aussi fréquents que ceux qui prouvent l'impulsion? & tiennent-ils à la nature par autant d'endroits spécialement différens, qu'on pourroit se l'imaginer?

Quand on y regarde de près, on voit que tout ce qu'on a tant de peine à expliquer par la pression des fluides environnans, ou par toute autre cause mécanique, à quelques exceptions près, se peut aisément rapporter aux tubes capillaires; telle est l'ascension des liqueurs dans les corps spongieux, telles sont même les dissolutions, effervescences, & autres opérations chimiques, où il se fait une pénétration réciproque d'une matière dans les pores d'une autre; que fais-je même, si l'on ne pourroit point encore rappeler ici cette union spontanée de deux gouttes d'eau qui se confondent en une, avant qu'une cause externe & connue occasionne le contact? car tous les corps, & sur-tout les fluides, s'exhalent en vapeurs; ils sont environnés d'une petite atmosphère plus rare, plus poreuse que la masse, & deux gouttes d'eau, par conséquent, se touchent

avant que nous nous en appercevions, L'École d'Aristote croyoit à l'horreur du vuide, parce qu'il lui sembloit en voir des marques dans toute la nature; l'adhérence des corps polis, la difficulté d'écarter les panneaux d'un soufflet bouché de toutes parts, l'ascension de l'eau dans les pompes aspirantes, la résistance du piston d'une seringue dont le bout est fermé, &c. dès que le poids de l'air fut connu, tous ces phénomènes que l'on avoit regardés jusques-là séparément comme des preuves du principe obscur, se ramenerent tous facilement à la vraie cause. Cet événement est une leçon pour ceux qui croient voir partout des marques de la vertu attractive. Si toutes ces preuves prétendues, qui semblent dire la même chose en tant de manières différentes, sont cependant réducibles au même genre; si tout ce que les partisans des attractions ont de plus fort à citer, n'est que le phénomène des tuyaux capillaires présenté sous différentes formes, il y a sans doute un cercle vicieux dans leur raisonnement; car si l'on se sert de la vertu  
attractive

attractive pour expliquer les tubes capillaires, & que l'on appelle ces mêmes tubes en preuves de l'attraction; de deux choses l'une, ou l'on manque à prouver, ou l'explication porte à faux: c'est, comme l'on dit, supposer ce qui est en question. Quel est l'homme sensé qui n'ayant nulle connoissance du vent & de sa force, voudroit croire de prime abord, que c'est l'impulsion de l'air qui fait tourner tous les moulins à vent, qui transporte les vaisseaux d'un côté à l'autre de l'Océan, & qui opere tous les mouvements de cette espece? sur-tout s'il avoit vu toute sa vie des moulins à bras, & des bateaux traînés avec des cordes.

Mais supposons pour un moment que la vertu attractive est prouvée d'ailleurs, & voyons ce qu'elle vaudra entre les mains des plus habiles Newtoniens, pour expliquer l'effet des tubes capillaires.

» Le verre, dit-on, attire l'eau, plus  
 » que l'eau ne s'attire elle même: dès  
 » que l'orifice du tube vient à la tou-  
 » cher, elle s'éleve jusqu'à ce que son  
 » poids fasse équilibre à la vertu at-

» tractive qui réside dans la surface  
 » intérieure du tuyau.

» L'eau s'éleve plus haut dans les  
 » petits tubes que dans les gros ; parce  
 » que leur surface est plus grande re-  
 » lativement à la solidité de la co-  
 » lonne d'eau , & les parties du mi-  
 » lieu sont moins éloignées du verre  
 » qui les attire.

» Le mercure se tient plus bas que  
 » le niveau dans ces sortes de tubes,  
 » parce qu'étant plus dense que le  
 » verre , il s'attire plus lui-même que  
 » le tuyau ne peut l'attirer. »

A la première vue l'attraction figure assez bien ici ; mais examinons la chose de plus près , & suivons les conséquences du principe qui sert de fondement à ces explications. Tous les corps pénétrables à l'eau , & qu'on doit regarder à cet égard comme des tubes capillaires , n'admettent - ils dans leurs pores , & n'élevent-ils au-dessus du niveau que les fluides moins denses qu'eux-mêmes ? La hauteur de la colonne élevée dans le tube , est-elle toujours réglée par l'excès d'attraction du verre , & par la pesanteur spécifique de la liqueur ? Ne

voit-on pas des liqueurs plus pesantes s'élever dans le même tube, plus haut que d'autres qui sont cependant plus légères ? On fait que l'expérience répond à ces questions, d'une manière peu favorable à l'explication qu'on vient de voir. Mais laissons parler un des plus ingénieux \* partisans de l'attraction ; voici son objection, à laquelle il est difficile de répondre.

\* M. Jurin  
*Trans Ph. v.*  
255. art. 2.  
*Et n. 363.*  
art. 2.

» C'est un fait constant que les li-  
» queurs s'élevent dans les tubes ca-  
» pillaires en raison inverse de leur  
» diamètre : ainsi la colonne élevée  
» au dessus du niveau, étant d'un pou-  
» ce de hauteur dans un tube d'une de-  
» mi-ligne de largeur, dans un tube  
» une fois plus gros elle aura 6 lignes.  
» Mais cette dernière colonne, quoi-  
» que plus courte, comprend plus  
» d'eau, comme l'on fait, que la pre-  
» mière ; cependant la surface du ver-  
» re qui touche la plus menue, est plus  
» grande que celle qui contient l'au-  
» tre colonne, eu égard à la quantité

\* Les Dissertations de M. Jurin se trouvent à la fin des Leçons de Physique expérimentale de M. Côtés, traduites en François par M. le Monnier. A Paris, 1740.

» d'eau. La force attractive n'est donc  
 » pas proportionnelle à la surface inté-  
 » rieure du tuyau ; ou bien, ( ce qu'on  
 » ne peut admettre , ) la même cause  
 » n'auroit point un effet constant. »

M. Jurin après avoir fait connoître par cette difficulté, & par des expériences décisives, l'insuffisance de l'explication précédente, lui en substitue une autre. Il prétend que l'attraction du tuyau n'agit que par la partie annulaire de la surface intérieure, où se termine la colonne de liqueur. Il établit son opinion sur des expériences fort ingénieuses, & dont les apparences sont séduisantes.

Il plonge le tube *AB*, *Fig. 15*. formé de deux parties *AC*, *CB*, dont les diamètres sont fort différents. Quoiqu'un tuyau de la grosseur de *CB*, ne pût élever la liqueur qu'au point *E*, si cependant on l'emplit jusqu'en *D*, l'eau y demeure suspendue, pourvu que cette portion du tuyau soit d'un tel diamètre, qu'un tube de sa grosseur dût élever l'eau de la hauteur *BD*.

Et si l'on renverse ce tuyau comme *FG*, l'eau ne s'éleve & ne demeure suspendue qu'au point *F*, hauteur à

laquelle elle s'éleveroit par un tube qui seroit, dans toute sa longueur, d'un diametre égal à la partie *F*.

Il paroît donc par ces expériences, comme l'a remarqué M. Jurin, que si la hauteur des colonnes d'eau soutenues dépendoit de l'attraction de toute la surface intérieure, la liqueur ne devoit pas se soutenir plus haut que le point *E* dans la première; & dans la seconde elle excéderoit la hauteur *F*, puisque la plus longue partie du tuyau qui la contient, est, par supposition, d'un diametre propre à la faire monter d'une quantité égale à *BD*. Cette élévation, ou suspension de liqueur, dépend donc plutôt de la partie annulaire du verre où se termine la colonne; puisque la hauteur de l'eau change avec le diametre de cet anneau.

Le savant & judicieux Auteur de ces expériences, agissant moins par prévention pour le système des attractions qu'il n'abandonne point, que par amour pour la vérité qu'il préfère à tout, ne dissimule rien de ce qui peut infirmer son opinion; sa première expérience peut être faite

de façon qu'elle prouve trop, & qu'elle devient elle-même un nouveau phénomène qui mérite d'être expliqué.

Au lieu du tube *AB*, *Fig. 15.* il emploie un entonnoir qui peut avoir un pouce & plus de largeur, & qui finit en tube capillaire, comme on le peut voir par la *Fig. 16.* Si cet entonnoir ainsi renversé, n'excede point la hauteur à laquelle pourroit s'élever l'eau dans un tube gros comme la partie *H*, il pourra rester tout plein, comme *DB* de la précédente expérience. Si l'attraction annulaire soutient la colonne *HI*, comment la grande quantité d'eau, qui l'environne, se soutient-elle ?

On n'a pas manqué de répondre que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction de la partie voûtée, c'est-à-dire, que chaque point du verre, *K, L*, &c. attiroit la colonne qui lui étoit soumise ; mais une nouvelle expérience détruit encore cette réponse.

Quand on donne à l'entonnoir la forme qu'il a dans la *Fig. 17.* qu'on ne le remplit qu'en partie, mais

plus cependant qu'il ne pourroit l'être, si l'eau ne s'y élevoit qu'en vertu de la propriété du tube capillaire; si l'on touche l'orifice supérieur avec le doigt mouillé, de sorte qu'il y entre une goutte d'eau, la colonne reste suspendue, comme s'il étoit entièrement plein: ce n'est plus alors la partie convexe du verre qui l'attire.

C'est ainsi que M. Jurin combat les explications où la vertu attractive est infructueusement employée; mais ce principe qu'il ne croit pas devoir encore abandonner, lui fournira-t-il le véritable dénouement? C'est toujours travailler utilement que de détruire les mauvaises raisons; ce sont des obstacles de moins sur les routes de la vérité. Ne perdons point de vue cette matière, entre les mains d'un Savant, qui paroît l'avoir traitée avec plus d'intelligence & de sagacité qu'aucun autre avant lui.

M. Jurin convenant avec raison, qu'on ne peut pas attribuer vraisemblablement la suspension de toute la masse d'eau dans l'entonnoir, à l'adhérence qu'elle a avec la petite

colonne du milieu, qui est immédiatement attirée par la partie capillaire

VIII.  
LEÇON. H; & voyant par des expériences répétées dans le vuide, que le poids de l'air grossier n'a point de part à ces effets; M. Jurin, dis-je, avec les meilleures intentions du monde pour la vertu attractive, & toute l'habileté d'un Physicien accoutumé depuis long temps aux expériences, est obligé d'avoir recours à la pression d'un milieu assez subtil, pour pénétrer le récipient, & qui agissant plus librement sur la surface du vase, que sur la liqueur du tuyau qui y est plongé, peut être la cause de cette suspension au-dessus du niveau. C'est bien avouer l'insuffisance de l'attraction, pour expliquer les propriétés des tubes capillaires; mais il seroit à souhaiter qu'on s'étendît davantage pour faire connoître comment ce milieu subtil que l'on admet, comprime plus librement l'eau du vase, que celle qui est contenue dans le tuyau.

M. Clairaut dans un savant Ouvrage\* qu'il a depuis quelque tems donné

\* Théorie de la figure de la Terre, tirée des principes de l'Hydrostatique.

au

au public, il y a environ 12 ans, fait une application fort heureuse des principes qu'il a établis précédemment, aux phénomènes des tuyaux capillaires. Il trouve que M. Jurin n'emploie pas, dans l'examen de cette question, assez de principes, pour en tirer une explication complète, & au lieu de s'arrêter comme lui à la seule attraction du petit anneau de verre qui termine la colonne de liqueur, il examine le fait selon les loix générales de l'Hydrostatique, & il calcule ensuite combien l'attraction peut altérer le niveau, lorsque le tube est capillaire. Son résultat se trouve parfaitement d'accord avec l'expérience; mais ce qu'il y a de singulier, c'est que, selon la théorie de M. Clairaut, bien loin que l'effet vienne de l'attraction de la partie supérieure du tube, à laquelle il semble qu'on doive l'attribuer selon les expériences de M. Jurin, c'est au contraire la partie inférieure qui agit; celle d'en-haut n'y a nulle part; son attraction étant contrebalancée par une pareille attraction, dans la partie moyenne du tuyau.

De tout ceci il résulte que ces phé-

Tome II.

O o

nomenes , ou ne sont point encore bien expliqués , ou que les explications qu'on donne , tiennent à des hypothèses qui ne sont pas généralement reçues. Peut-être cela vient-il de ce qu'on s'est obstiné à ne leur donner qu'une seule & unique cause : combien y a-t-il d'effets naturels qui en ont plusieurs , & qu'on ne peut connoître par toutes les faces , qu'en les examinant sous différents points de vue ? La pression inégale de quelque fluide est probablement le point fondamental de l'explication ; mais l'adhérence ou la viscosité naturelle des liqueurs , la grandeur & la figure de leurs parties , & peut être un certain mouvement qui leur est propre , &c. sont autant de moyens que la nature peut employer pour ces sortes d'effets , & autant d'objets que nous devons considérer dans nos recherches. Voyez sur cette matière un ouvrage imprimé en 1754. chez Cavelier , & intitulé *Expériences Physico - Mécaniques sur différents sujets* , &c.

#### APPLICATIONS.

Quoique nous ne voyions pas bien

clairement quelle est la cause immédiate de l'élévation & de la suspension des liqueurs dans les tuyaux capillaires, ces phénomènes bien constatés ne laissent pas d'être intéressants, parce qu'ils paroissent avoir beaucoup de part aux opérations de la nature, & que ce que nous en savons, peut nous conduire à beaucoup d'autres découvertes. Souvent un fait qu'on ne peut expliquer qu'imparfaitement, devient lui-même une explication claire & distincte de plusieurs autres. Nous ne savons pas bien quelle est la vraie cause de la pesanteur des corps; cependant par la connoissance que nous avons de ses loix, nous sommes en état de rendre raison d'une infinité de choses, qui sans cela seroient ensevelies dans une profonde obscurité. De même quand je fais que les liqueurs s'élèvent, malgré leur gravité, dans des canaux étroits, de quelque matière & de quelque figure qu'ils puissent être, je ne suis plus surpris de trouver humides jusqu'en haut, un morceau de sable, une pierre tendre, une buche placée debout, &c. quoique

O o ij

## 436 LEÇONS DE PHYSIQUE

VIII.  
LEÇON

ces corps ne soient qu'en partie plongés dans l'eau. Car, comme ils sont poreux, l'eau y trouve des petits canaux, par lesquels elle monte, comme elle feroit dans de petits tuyaux de verre; & encore mieux, parce que dans un canal fort uni & fort droit, la liqueur oppose toute sa pesanteur à la cause qui l'éleve; au lieu que dans les passages tortueux, que lui offre l'intérieur d'un corps solide, elle trouve des repos d'où il peut se faire qu'elle parte à plusieurs reprises, & peut-être avec de nouvelles forces.

Mais ce que nous voyons arriver en petit, ne pourroit-il pas se faire en grand? Le monceau de fable mouillé jusqu'au sommet, n'expliqueroit-il pas l'origine de certaines sources qui ne tarissent jamais, qui fournissent toujours une égale quantité d'eau, & qui ne paroissent redevables ni aux saisons, ni aux vapeurs, ni aux autres influences de l'athmosphère, & qui se trouvent dans la proximité de la mer? C'est une pensée assez plausible, & qui a été adoptée par plusieurs Auteurs \* ; cependant elle

\* Plot. *Tentamen philosophicum de origine fontium*. Derham, *Théologie physique*, p. 70.

perd une partie de sa vraisemblance, si l'on fait attention qu'un tube capillaire ne produit jamais d'écoulement par sa partie supérieure, & que le sable, quoique mouillé beaucoup au-dessus du niveau de l'eau, ne l'est presque qu'intérieurement, ou s'il l'est en-dehors, cela ne fait point source.

La buche qui se mouille jusques dans la partie qui n'est point plongée, peut faire naître quelques idées sur le mystere de la végétation; on fait que ce qui fait croître les plantes, c'est la seve qui passe des racines à la tige, & de la tige aux branches; mais quelle est la puissance qui élève ainsi cette liqueur nourriciere, c'est ce qu'on ignore encore: en attendant qu'on le sache, ne pourroit-on pas regarder les routes qu'elle tient, comme autant de petits canaux capillaires, ou comme une continuité de corps spongieux, par lesquels elle se porte de bas en-haut, & plus ou moins abondamment, selon l'état actuel des sujets qui la reçoivent?

Mais ce qu'il y a en cela de plus merveilleux, c'est que chaque sorte

de plantes paroît avoir sa seve particuliere; car on fait que la terre s'épuise à force de nourrir la même espece; & qu'on la soulage, pour ainsi dire, en variant la semence sur le même fond. Comment donc dans un jardin, chaque arbre reçoit-il la nourriture qui lui est propre? Comment le pommier ne prend-il pas ce qui convient à la vigne, le myrte ce qui doit appartenir au jasmin ou au chevreuille?

On ne peut répondre maintenant à ces questions que très-imparfaitement, parce que nous sommes encore bien peu instruits de ce qui se passe à cet égard. Mais s'il est vrai que les canaux qui portent la seve, fassent l'office de tuyaux capillaires, il s'offre un exemple de ce genre qui pourroit être regardé comme une imitation grossiere de la nature, quant à l'objet présent. Si l'on met dans un même vase deux liqueurs fort différentes l'une de l'autre, comme de l'huile & du vin, & qu'on y plonge deux bouts de lisiere de drap, dont l'une ait été imbibée de vin & l'autre d'huile, l'une & l'autre agira comme

une éponge, mais la première n'élévera que du vin, & la dernière de l'huile seulement. Tous les corps de ce genre sont propres à élever les liqueurs; mais ils se chargent de l'une plutôt que de l'autre, suivant l'analogie qu'elle a avec eux. Cette analogie consiste sans doute dans la figure, la grandeur, la disposition des parties, &c. chaque espèce de plante fait peut-être quelque chose de semblable, & par les mêmes raisons.

Il est vrai, je l'avoue, que l'ascension des liqueurs dans un petit tuyau de verre, à quelques pouces de hauteur, comparée à l'élévation de la sève dans un chêne, ou dans un sapin, laisse appercevoir une différence qui effraie, & qui porte à croire que ces deux effets n'ont point une seule & unique cause. Aussi n'indiquai-je point cette comparaison comme une explication complète; les canaux de la sève ne sont pas de simples tuyaux; ils sont organisés; & par cette raison leur fonction de tubes capillaires peut avoir des effets, auxquels elle seroit incapable de s'étendre sans cela. Une

O oiiij

végete plus ; ce n'est pas que les canaux de la seve y manquent, mais l'organisation est détruite.

En examinant, dans la sixieme Leçon, comment les vapeurs & les exhalaisons s'élevent, & se soutiennent dans l'athmosphere, j'ai supposé que cette masse d'air qui couvre la surface de notre globe, est une grande éponge qui reçoit dans ses pores toutes les parties exhalées des matieres appartenantes à la terre ; voici ce qui peut rendre cette opinion probable.

1°. L'air est compressible ; c'est un fait qui n'est point douteux. Quelque figure qu'on accorde à ses parties, il faut toujours convenir qu'elles ne sont pas aussi ferrées les unes auprès des autres qu'elles pourroient l'être, & qu'il y a de petits intervalles qui se suivent, qui se touchent, & qui doivent former de petits canaux tortueux, plus ou moins capillaires dans un temps que dans un autre, selon la densité actuelle de l'air, & qui peuvent se remplir de toute autre matiere.

2°. Les vapeurs & les exhalaisons, quand elles sont détachées des mas-

ses dont elles faisoient partie, sont dans l'état de fluidité; & par cette raison elles sont susceptibles, comme les liqueurs, de tous les effets qui sont propres aux tuyaux capillaires.

3°. Comme les liqueurs s'élevent plus ou moins haut, selon l'état actuel des tubes capillaires, c'est à-dire, selon la grandeur de leur diamètre, & l'analogie de leur propre matière avec celles qu'ils élevent: on peut aussi regarder comme une chose indubitable, que les vapeurs montent plus ou moins, selon la disposition de l'atmosphère.

Il se présente ici une difficulté considérable. On fait, par la troisième expérience, *Fig. 14.* que la liqueur s'éleve d'autant plus dans le tube capillaire, que ce tube est plus étroit. Les pores de l'air sont plus ferrés en hyver qu'en été; il s'en suivroit donc, selon mon hypothèse, que les vapeurs doivent s'élever plus haut en hyver qu'en été, ce qui n'est pas vraisemblable.

Pour plus haut, je ne le crois pas non plus: mais je passerois volontiers qu'elles s'élevent à-peu-près à

la même hauteur en toutes saisons ; car quelles preuves avons-nous du contraire ? & le barometre étant ordinairement un peu plus haut l'hyver que l'été, il faut bien que quelque chose entretienne, & même augmente le poids de l'atmosphère ; la densité de l'air augmentée dans les saisons froides, compenseroit-elle seule la diminution des vapeurs ? Quand on voudroit le conclure, on ne le pourroit pas, en faisant attention que les évaporations sont fort abondantes, même pendant la gelée ; si ce qui s'évapore alors est logé à l'étroit dans l'air, il doit donc chercher place plus haut. D'ailleurs c'est une supposition assez généralement reçue, que la température de l'atmosphère ne varie pas, à beaucoup près, autant dans la moyenne région où s'élevent les vapeurs, qu'ici bas à la surface de la terre ; la porosité de l'air y est donc à peu-près la même en tout temps. Or l'expérience de M. Jurin, *Fig. 15.* nous apprend que l'élévation des liqueurs dans les tubes ne dépend pas de la largeur qu'ils ont dans leur longueur, mais de celle où

se termine la colonne ; ainsi quelques changements qui arrivent ici-bas à la densité de l'air, si la moyenne région ne change pas beaucoup, comme on peut le supposer avec tous les Physiciens, la conséquence qui suit de mon hypothese, n'est point une objection qui doive la faire rejeter.

4°. Comme un tube capillaire qui soutient une colonne de liqueur, ou comme une éponge pleine d'eau n'en puise point davantage, de même aussi l'air trop chargé n'enleve plus de vapeurs ; les caux, & en général tous les corps s'évaporent beaucoup moins par un temps humide & calme, que lorsqu'il fait un vent sec. Dans le premier cas, l'air est une éponge chargée ; dans le second, c'est une éponge vuide, & qui se renouvelle continuellement sur les mêmes surfaces.

5°. Tous les Physiciens conviennent que ce qui fait tomber les vapeurs en forme de pluie, c'est quelque degré de froid qui condense la partie de l'athmosphere où elles regnent, & qui rapprochant les parti-

## 444 LEÇONS DE PHYSIQUE

---

 VIII  
 LEÇON.

cules d'eau, les unit en gouttes trop pesantes, pour être soutenues par un pareil volume d'air, cette explication qui est très-naturelle, ne détruit point du tout l'idée que je me fais de l'atmosphère: l'air qui se condense est une éponge que l'on presse. & j'attribue cette compression, non-seulement au refroidissement, qui peut être la cause la plus ordinaire, mais aussi aux vents qui resserrent les nuages, c'est-à-dire, la partie de l'air la plus chargée d'eau; & en effet la pluie, (sur-tout celle d'orage) tombe souvent par secousses tout-à fait semblables à l'expression d'un corps spongieux rempli d'eau.

60. Il y a certaines pluies qui viennent tout-à-coup, par un temps calme & chaud, de manière qu'on a peine à les concilier avec les causes dont nous venons de parler; il me paroît qu'elles s'expliquent assez bien dans mon hypothèse. Quand un tube capillaire a élevé l'eau à deux pouces, en vertu d'un diamètre qui n'a qu'un quart de ligne, s'il devenoit plus large de moitié, par exemple, on conçoit bien que l'eau n'y demeureroit

pas à la même hauteur ; une éponge qui contient des particules d'eau les laisseroit échapper , si par quelque moyen que ce pût être , on la dilatoit au-delà de son état naturel. Qu'un rayon de soleil direct , ou réfléchi , vienne à échauffer , & par conséquent à raréfier une partie de l'atmosphère chargée de vapeurs en suffisante quantité , ces petites masses abandonnées à leur propre poids , commenceront à tomber , & s'uniront en forme de pluie pendant leur chute. Cette explication paroît même confirmée par l'expérience ; car lorsqu'on commence à raréfier , avec une machine pneumatique , l'air qui est contenu dans le récipient , on ne manque pas d'y appercevoir une vapeur , qui tombe comme une pluie fine sur la platine. \*

En attribuant à l'atmosphère les propriétés des tubes capillaires , il semble qu'on s'interdise , touchant ces phénomènes , toute explication fondée sur la pression d'un fluide environnant , ce qui paroît être pourtant la principale source des lumières que nous avons à attendre sur cette

\* *Mém. de l'Acad. des Scienc 1740, P. 243.*

matiere encore obscure : car si la masse de l'air agit comme les tuyaux capillaires , on ne peut plus songer à faire valoir sa pression , pour rendre raison de cet effet.

Cette considération doit rendre circonspéct, mais elle ne doit jamais empêcher de recevoir une vérité qui seroit bien prouvée : en second lieu , les expériences faites & répétées dans le vuide par un grand nombre de Physiciens , leur ont fait avouer d'un commun accord , que l'air grossier , dont il s'agit ici , ne contribue en rien aux phénomènes en question : & en abandonnant le poids de ce fluide dans la question présente , nous ne rejettons nullement un autre milieu plus subtil assez généralement avoué , & qui peut avoir ses fonctions à part.

## ARTICLE II.

*Sur les causes de la fluidité & de la dureté des corps.*

En définissant les fluides dans la Leçon précédente , je les ai représentés , comme des amas de petits corps solides , assez mobiles les uns à l'é-

gard des autres, pour se séparer au moindre choc. Beaucoup de Physiciens prétendent que ce n'est point assez d'attribuer une grande mobilité aux parties des fluides & des liqueurs; on veut, par des raisons assez plausibles, qu'elles soient non-seulement très-disposées à se mouvoir, mais qu'elles se meuvent en effet. Les uns cependant plus retenus que les autres sur ce prétendu mouvement, n'en admettent qu'autant qu'il en faut pour expliquer certains phénomènes, dont ils croient qu'on auroit peine à rendre compte sans cette supposition: ils donnent à ce mouvement intestin des liqueurs toutes sortes de directions imaginables, & en même temps si peu d'étendue, qu'il ne va point jusqu'à déplacer sensiblement les parties. Ce sont les bornes où se contiennent la plûpart de ceux à qui les observations & les expériences sont plus familières que les systèmes. Alors cette espèce d'agitation actuelle des fluides ne diffère guere de celle que la chaleur naturelle entretient dans les solides; & si ce mouvement est la cause immédiate de certains effets qui

font propres aux liqueurs, je suis bien tenté de croire que ce n'est qu'en conséquence de la grande mobilité des parties qu'il anime. Je m'explique par un exemple. Une masse de terre se dissout plus aisément dans de l'eau, ( fût-elle prête à geler, ) que dans la neige, qui n'auroit de froid qu'autant qu'il lui en faut pour ne pas fondre. Est ce un excès de mouvement dans les parties de l'eau comme liquide, qui fait cette différence ? n'est-ce pas plutôt trop peu de mobilité dans celles de la neige ? Tant que l'eau est liqueur, le degré de chaleur qu'elle a, appartient à des parties libres, & qui par cette espece d'indépendance réciproque, suivent leurs déterminations particulieres, & pénètrent les pores du corps dissoluble : ce n'est point la même chose dans la neige, dont les molécules sont liées sous la forme de petits glaçons; elles sont déterminées, comme celles de l'eau, vers les pores qui leur sont ouverts; mais pour y entrer il faudroit qu'elles se partageassent en volumes proportionnés aux ouvertures, & si le mouvement qu'on leur suppose, ne

va pas jusqu'à causer & entretenir leur division, il ne doit pas avoir le même effet que dans l'eau; mais toute la différence, comme l'on voit, ne vient que d'un défaut de mobilité suffisante dans les parties.

Je croirois donc volontiers, que les liqueurs n'ont point en elles-mêmes un mouvement particulier qui les rende telles; mais qu'elles sont dans cet état seulement, parce que leurs parties sont extrêmement mobiles entr'elles. L'objet de cet article est donc de faire connoître, autant que nous le pourrons, ce qui peut entretenir cette mobilité respective; & comme être dur est l'état opposé à celui de liqueur, les causes de l'un doivent nous indiquer celles de l'autre. Voyons d'abord pourquoi certains corps sont durs, par quelles raisons d'autres le sont moins, & enfin comment il se peut faire qu'ils ne le soient pas sensiblement. Par cette division, nous embrassons tous les différents degrés de consistance qui conviennent à la matière, *dureté, mollesse, fluidité, liquidité*

Il ne s'agit point ici d'une dureté

parfaite, telle qu'elle conviendrait, par exemple, aux parties insécables & élémentaires, aux atômes. Ce qui fait présentement l'objet de nos recherches, c'est cette cohérence qui constitue une masse solide, qui s'oppose à sa division, mais qui peut toujours céder à une force finie; telle est celle du bois, des pierres, des métaux, &c.

Si les corps n'étoient durs qu'à l'extérieur; si les pièces qui composent leur solidité, étoient assez grandes pour nous laisser appercevoir leurs figures, & le rapport qu'elles ont entr'elles; si rien de tout ce qui est matériel ne pouvoit échapper à nos sens, nous pourrions peut-être nous flatter de donner une explication directe des phénomènes en question. Mais les corps sont solides intérieurement comme à l'extérieur, & leurs molécules les plus subtiles ne le sont pas moins que la masse totale; ainsi la cause de cette cohérence agit sur des sujets qui échappent à nos yeux, & dans des endroits où nous ne pouvons la suivre. Ce n'est donc que par analogie & par con-

jecture, que nous en pouvons juger : cette voie n'est pas la plus sûre pour arriver au vrai ; mais on peut se la permettre lorsqu'on n'en a pas de meilleure ; & quand on en use avec retenue, elle peut conduire à des découvertes.

III. PROPOSITION.

*Plusieurs corps peuvent s'attacher ensemble par la pression d'un fluide qui les couvre, ou qui les environne de toutes parts.*

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La piece *A*, fig. 18. est un morceau de liege cylindrique, dont la base est garnie d'une virole, & d'une platine de cuivre mince & bien droite, de maniere que le tout ensemble pese moins que de l'eau. *B* est une piece semblable pour la forme, mais qui est entièrement de métal. On enduit les deux plans d'une légère couche d'huile d'olives ; & après les avoir appliqués exactement l'un sur l'autre, on les place comme *a*, *b*, au fond d'un grand vase que l'on remplit d'eau.

---

 VIII.  
LEÇON.

Quoique la piece *a* soit plus légère qu'un pareil volume d'eau, & que cette légèreté respective la sollicite à se séparer de la piece *b*, qui est retenue par l'excès de son poids au fond du vaisseau, cependant elle y demeure constamment attachée.

## EXPLICATIONS.

Cet effet vient de ce que la colonne d'eau qui repose perpendiculairement dessus n'est point contrebalancée par aucune autre qui agisse dessous, à cause de l'union étroite des deux surfaces. Ce qui prouve que cette raison est la véritable, c'est que si l'on enduit d'eau ces deux pieces; au lieu d'huile, pour les joindre, lorsqu'on les remet en expérience, la masse d'eau dont on les couvre, ne manque pas de les défunir, parce qu'elle s'introduit entre les deux, n'y trouvant plus qu'une matière semblable qui ne lui fait point obstacle, comme une liqueur grasse.

EXPÉRIMENTALE. 453  
II. EXPERIENCE.

VIII.  
LEÇON.

PREPARATION.

*C, D, Fig. 19.* sont deux boîtes de cuivre dans lesquelles on a mastiqué deux plaques de marbre bien dressées, ou deux glaces de miroir bien épaisses. Sur la virole de la boîte *C*, on a pratiqué quatre petits canons à égales distances l'un de l'autre, pour recevoir autant de petites broches de bois, que l'on fait excéder le plan de marbre, quand il en est besoin.

EFFETS.

1°. Lorsqu'on a mouillé les deux marbres, & qu'on les a appliqués l'un contre l'autre, en les frottant un peu, pour rendre l'application plus exacte, & pour en chasser toutes les particules d'air qui pourroient y être, ces deux plaques se séparent facilement si l'effort se fait parallèlement à leurs plans.

2°. Mais si lorsqu'ils sont joints l'on enfonce les petites broches de bois pour empêcher qu'ils ne glissent, ou qu'on les tire perpendiculairement à

**VIII.**  
**LEÇON.** leurs faces, il faut employer une force très-considérable pour les séparer.

*EXPLICATIONS.*

Cette expérience qui est fort ancienne, étoit autrefois une des preuves sur lesquelles on appuyoit l'horreur du vuide; mais depuis qu'on a reconnu l'abus de ces mots qui ne signifioient rien, on l'a expliquée mécaniquement, par la pression de l'air qui environne les deux plans appliqués. On fait que les fluides pesent en tout sens; cette pesanteur est une force qui doit avoir son effet, si quelque action ou puissance contraire ne la tient en équilibre; ces deux plans unis ensemble, & soumis au poids de l'athmosphère, ne doivent se porter ni d'un côté ni d'un autre, parce qu'ils sont également pressés de toutes parts. Mais chacun d'eux est poussé contre son pareil, & doit y rester attaché, parce qu'il n'y a point entre les deux plans de réaction qui s'oppose au poids de l'air extérieur. C'est par une semblable raison, que les enfants enlèvent des

pierres avec une rondelle de cuir mouillé qu'ils appliquent & qu'ils tirent avec une corde. Un parapluie étendu & renversé contre un terrain uni, fait encore une résistance très-sensible quand on le tire brusquement; & l'on court risque de rompre une glace qu'on enleve perpendiculairement au plan sur lequel elle repose, s'il est fort uni.

Il n'y auroit rien à objecter à cette explication, si nos deux marbres, après avoir été joints dans l'air, se séparoient d'eux-mêmes dans le vuide, comme on le dit communément; mais il faut avouer que quand on procede avec exactitude, & qu'on évite tous les mouvements étrangers qui peuvent aider la séparation, il arrive très-souvent que l'union subsiste encore, après qu'on a raréfié l'air, autant qu'il est possible de le faire, avec la machine pneumatique la plus exacte. L'adhérence des deux marbres ne fait que diminuer pour l'ordinaire, elle ne cesse pas entièrement, & le degré de force qui lui reste, & que j'ai tâché de mesurer par des poids, m'a paru dépen-

dre beaucoup de la nature des plans ; de leurs dimensions , & des matieres interposées pour les unir. Voyez la *Figure 20.*

Cet effet mérite d'autant plus d'attention , qu'il a lieu non-seulement pour les corps solides , mais aussi pour les liqueurs. M. *Hughens* \* remarqua le premier , que l'eau demeurait dans le vuide beaucoup plus haut que son niveau , & que ce qu'il s'en falloit ne pouvoit être attribué à la petite quantité d'air qu'une bonne pompe laisse nécessairement dans le récipient. *Boyle* après lui reconnut la même chose , & poussa l'expérience jusqu'à soutenir 75 pouces de mercure dans le tube de *Toricelli* , c'est-à-dire , 47 pouces de plus que le poids de l'athmosphère ne peut soutenir. Une circonstance qu'il est essentiel de remarquer , c'est que les liqueurs ne demeurent ainsi suspendues , que quand elles touchent immédiatement le haut du vaisseau dans lequel elles sont ; car le moindre petit vuide , ou la plus petite bulle d'air qui s'y rencontre , ne manque jamais d'empêcher ou de faire cesser

ect

\* *Recueil de l'Acad. des Scienc. 10m. X. P. 529.*

cet effet; de sorte qu'il ne faut point s'attendre de voir une colonne de mercure de 75 pouces, élevée au-dessus de son niveau dans un tube plus long que cette mesure.

M. Hughens cherchant une explication à ces sortes de phénomènes, je veux dire à l'adhérence des deux marbres, & à la suspension des liqueurs dans le vuide, suppose, qu'outre l'air grossier qui environne tous les corps, & qui agit par son poids sur leurs surfaces, il y en a encore un autre plus subtil qui passe où le premier ne peut pénétrer, & à qui les pores mêmes du verre fournissent des passages assez libres, & que c'est à la pression de ce milieu qu'il faut attribuer une infinité d'effets que nous avons continuellement sous les yeux, & qu'il est impossible d'expliquer par l'action de cet air plus connu, dont l'absence ou l'extrême raréfaction se nomme improprement le *vuide*.

Quant à l'existence d'un tel fluide, il y a bien peu de Physiciens qui ne l'admettent; & dans le petit nombre de ceux qui s'obstinent à la nier, on doit être surpris, quand il s'en ren-

## 458 LEÇONS DE PHYSIQUE

VIII.  
LEÇON.

contre quelques-uns, à qui l'on ne peut contester le génie d'observation & l'habitude des expériences; car alors on ne peut pas supposer qu'ils ignorent les faits qu'on peut citer en faveur de cette prétention. Celui de tous les Philosophes modernes aux opinions duquel il semble que le vuide convînt le mieux, M. Newton, \* n'a point refusé de reconnoître un milieu beaucoup plus subtil que l'air, lequel milieu, dit-il, reste dans le vuide, après qu'on en a pompé l'air. On voit par l'usage qu'il en fait, par l'étendue qu'il lui donne, par les fonctions qu'il lui attribue, combien il croyoit que cette matiere pouvoit avoir de part dans les opérations les plus secretes de la nature. M. Jurin, plus exactement Newtonien que la plupart des partisans de la vertu attractive, ne fait nulle difficulté, comme nous l'avons vu ci-dessus, d'adopter cet air subtil, lorsqu'il trouve l'attraction en défaut; & pour s'épargner la peine d'en prouver l'existence, il s'appuie sur les citations que je viens de rapporter.

Si ce milieu résistant est reconnu

\* *Traité de l'Opt. liv. 3. quest. 18. & suiv.*

par ceux-mêmes à qui il convenoit le mieux de combattre le systême du plein , il seroit superflu de s'arrêter à prouver combien il est digne d'être reçu par tout Physicien qui n'admet que des causes mécaniques ; il suffira de dire que depuis Descartes , la regle la plus généralement observée , a été de chercher à expliquer par le choc ou l'impulsion des fluides invisibles , tout ce qui ne peut l'être par l'action de l'air sensible , ou des autres corps dont nous pouvons voir les opérations.

Ce qui révolte ordinairement ceux qui prennent un autre parti , c'est la fécondité des effets , le grand nombre de propriétés qu'on suppose dans le détail des phénomènes , à une matière dont l'existence sent encore l'hypothèse.

Il est vrai que quelques Philosophes ont donné carrière à leur imagination , pour expliquer les diverses fonctions de ces fluides subtils : mais quand Descartes se seroit trompé sur le nombre , & qu'il y en auroit plus ou moins que de trois sortes ; quand les mouvements particu-

Q q ij

---

 VIII.  
LEÇON.

\* Leçons de  
Phys. expliq.  
au Collège.  
Royal.

liers de leurs parties seroient toute autre chose que les petits tourbillons imaginés par le P. Malbranche, & soutenus par M. l'Abbé de Molières\*; en un mot, quand on pourroit regarder comme des systêmes hazardés, tout ce qu'on a dit touchant la maniere d'être & d'agir de cette matiere qui peut être par-tout où les autres fluides plus grossiers n'ont plus d'accès; s'ensuivroit-il que son existence fût aussi douteuse? On est parfaitement d'accord à présent qu'il y a une matiere qui nous éclaire, & qui nous fait voir les objets. Seroit-on en droit de la contester, parce qu'il y a différentes opinions sur la nature de ses parties, & sur la propagation de ses mouvemens?

Au reste retenons notre imagination, comme il convient, dans un Ouvrage où nous nous sommes proposés de n'instruire que par des faits; en admettant l'air subtil avec presque tous les Physiciens, ne lui attribuons que ce que les phénomènes paroîtront indiquer d'une maniere distincte; & ne supposons que ce que l'analogie la plus simple & la plus conséquente pourra nous permettre.

L'air subtil se fait sentir dans le vuide de Boyle ; il passe donc à travers les pores du verre ; on peut présumer qu'il pénètre de même dans tous les corps solides.

Mais cette première propriété ne le rend-elle pas incapable des effets qu'on lui attribue ? Peut-il contenir un marbre contre un autre, s'il passe librement à travers les deux corps ? Peut-il soutenir de l'eau ou du mercure, s'il pénètre par le haut du vase ou du tuyau qui contient l'un ou l'autre de ces deux liquides ?

Cette objection est grande, sans doute ; mais on y répond, & d'une manière satisfaisante, en disant que l'air subtil appliqué à la surface d'un corps, n'est admis qu'en partie dans les vuides qu'il y trouve, & qu'il agit du reste sur les parties solides qui s'opposent à son passage, & qui deviennent autant de points d'appui. Tout ce qui peut en arriver, c'est que les corps les plus poreux échappent davantage à son action, & qu'il en résulte une moindre adhésion, ce qui est assez conforme à l'expérience. Car de deux plaques de métal que

Qq iij

---

 VIII.  
 LEÇON:

j'avois préparées pour être jointes ensemble, comme les deux marbres de l'expérience précédente, j'en ai percé une de plusieurs trous & à plusieurs fois, & j'ai remarqué que l'adhésion diminueoit, à mesure que j'interrompois davantage la continuité de la surface.

Si l'on demande maintenant comment l'air subtil soutient dans le vuide une liqueur au-dessus de son niveau, nonobstant la porosité du verre qui lui permet de passer par le haut du tube : je répondrai que l'action de ce fluide est parfaitement libre sur la surface du vase *AB*, mais qu'elle est interrompue en haut, par les parties solides du verre, ce qui donne de l'avantage à la pression d'en-bas.

Il est vrai que les colonnes intermédiaires *e*, *f*, qui répondent à chacun des pores du verre, sont soumises à l'action du fluide, & qu'étant ainsi entre deux pressions à peu près égales, leur propre poids les sollicite à tomber. Mais elles sont retenues par le frottement & l'adhérence des colonnes qui les entourent & qui les pressent, comme elles le sont elles-

mêmes par l'air subtil ; car cet air, en vertu de sa fluidité, pese en toutes sortes de directions, & le tuyau est poreux dans toute sa longueur, comme il l'est en la partie convexe de son extrémité.

*A P P L I C A T I O N S.*

Les explications que nous venons de donner de l'adhérence des deux marbres, & de la suspension des liqueurs au-dessus de leur niveau dans le vuide de Boyle, nous indiquent d'une maniere assez vraisemblable les causes immédiates de la dureté & de la fluidité des corps. S'il y a un air subtil qui les pénètre, & qui porte son action au-dedans comme au-dehors ; si cette action a prise sur des parties solides aussi minces, aussi peu étendues que le sont celles des liqueurs, n'a-t-on pas tout lieu de croire que ce même fluide retient l'une contre l'autre les pieces assemblées sous le même volume, & que l'adhérence qui résulte de sa pression, devient plus ou moins forte, selon la figure des parties qui se touchent, la grandeur des surfaces, le plus ou le

Q q iiij

## 464 LEÇONS DE PHYSIQUE

~~————~~ moins d'exactitude du contact, &c.

VIII.  
LEÇON.

On doit concevoir que s'il y avoit une matiere dont les parties les plus simples fussent taillées de maniere à se joindre immédiatement, sans laisser entr'elles aucun intervalle, toute la pression de l'air subtil agiroit en dehors de cet assemblage ; il faudroit, pour le défunir, employer une force supérieure au poids de ce fluide environnant ; & qui fait quelle devoit être cette force ?

Mais un tel assemblage est un être de raison : tous les corps sont poreux, il n'y a que du plus ou du moins : les pieces qui les composent, ne sont jointes qu'en partie, & les vuides qui restent entr'elles sont remplis, sans doute, de ces fluides dans lesquels les corps ont été formés : car pourquoi seroient-ils absolument vuides ? Les concrétions qui se font dans l'eau, ne sont-elles pas toujours humides intérieurement ? Et ne voyons-nous pas sortir de toutes sortes de matieres une très grande quantité d'air, lorsqu'on fait cesser les causes qui l'y retiennent ? Il y a donc de l'air subtil dans tous les corps, &

il y en a d'autant plus, que leur porosité est mieux proportionnée à la subtilité de ce fluide; car il pourroit se faire qu'un corps plus compacte contînt autant ou plus d'air subtil qu'un autre corps plus poreux, si celui-ci admettoit avec ce fluide, quelque chose de plus grossier, comme l'air ou l'humidité de l'atmosphère.

- Plus il y a d'air subtil dans l'intérieur d'un corps, moins ce corps est dur; parce qu'alors les parties solides qui le composent, se touchent par moins de surface, & que la pression du dehors est plus soutenue par celle que le fluide transmet au dedans. Quand la cire, par exemple, s'amollit sensiblement, c'est que l'air subtil dont elle est pénétrée, dilaté par la chaleur, dilate de même les espaces qu'il occupe; & comme ces espaces ne peuvent s'augmenter que par l'écartement des parties solides qui les entourent; le contact de celles-ci devient plus rare, leur jonction moins exacte, leur cohérence moins forte.

La dilatation des pores non-seule-

ment fait augmenter la pression que l'air subtil transmet au-dedans des corps, en lui fournissant une base plus large, mais elle fait naître des communications d'interstices à interstices : tel pore isolé entre des parties solides, s'ouvre & laisse un accès libre au fluide qui les sépare; de-là il arrive des divisions & des subdivisions, qui font paroître la masse totale, sous différents degrés de mollesse, jusqu'à ce qu'enfin les parties divisées, autant qu'elles peuvent l'être par l'état actuel du fluide, & ne se touchant presque plus, soient disposées à se mouvoir indépendamment les unes des autres, ce que l'on appelle *être liquide*.

Mais comme tous les corps ne sont point également poreux, que leurs parties n'ont point la même figure, & qu'elles se touchent & s'arrangent d'une infinité de manières différentes, aussi le degré de dureté n'est pas le même dans tous, & ne se perd pas avec la même facilité. La chaleur qui regne ordinairement dans nos climats, suffit pour faire couler l'eau; il en faut davantage pour rendre la

cire liquide, & beaucoup plus encore pour mettre les métaux en fusion.

Quand les corps sont parvenus à l'état de liquidité, les parties intégrantes conservent leur dureté naturelle, parce qu'elles sont comprimées de toutes parts, & qu'elles n'ont rien au-dedans d'elles-mêmes qui s'oppose à cette pression du fluide environnant.

Je ne prétends point pour cela qu'elles soient indivisibles, ni même inflexibles absolument. Les éléments qui les composent, comme les deux marbres polis, peuvent peut-être glisser parallèlement à leurs plans, changer de figure, & même se séparer.

Mais ce que je dis ici pour les parties, ne devient-il pas une objection contre la dureté totale du volume; si plusieurs lames glissent aisément, & se séparent de même, quand on les tire parallèlement à leurs plans, ne semble-t-il pas que la pression de l'air subtil ne devrait rendre les corps durs que dans un sens, & relativement à une force employée seulement dans une direction perpendiculaire au plan de contact?

Cette objection auroit toute sa for-

ce, s'il s'agissoit d'un corps qui n'eût que deux ou trois parties solides, couchées parallèlement les unes sur les autres; mais cette supposition n'a pas lieu, même dans les plus petits volumes de matière. Combien de pièces au contraire n'attribue-t-on pas à ces petites portions de matière, que l'art, & la nature même ne divise plus? & que de positions différentes ne peut-on pas croire qu'elles affectent? Prenons pour exemple cet assemblage grossier qui est représenté par la *Fig. 22*. Il est vrai que la pièce *a* glisseroit avec facilité dans la direction *ad*, si elle ne tenoit qu'aux deux autres pièces *b*, *c*; mais ce mouvement est perpendiculaire aux surfaces *d'f* & *d'e*, & pour l'en séparer, il faut vaincre la pression qui la retient. La pièce *g* pourroit de même se mouvoir facilement vers *a*, si son adhérence en *h* ne s'y opposoit. On peut juger par-là de ce qui arrive dans la composition naturelle des corps, où le grand nombre des parties, & les différents ordres qu'elles prennent, font naître la dureté en toutes sortes de directions.

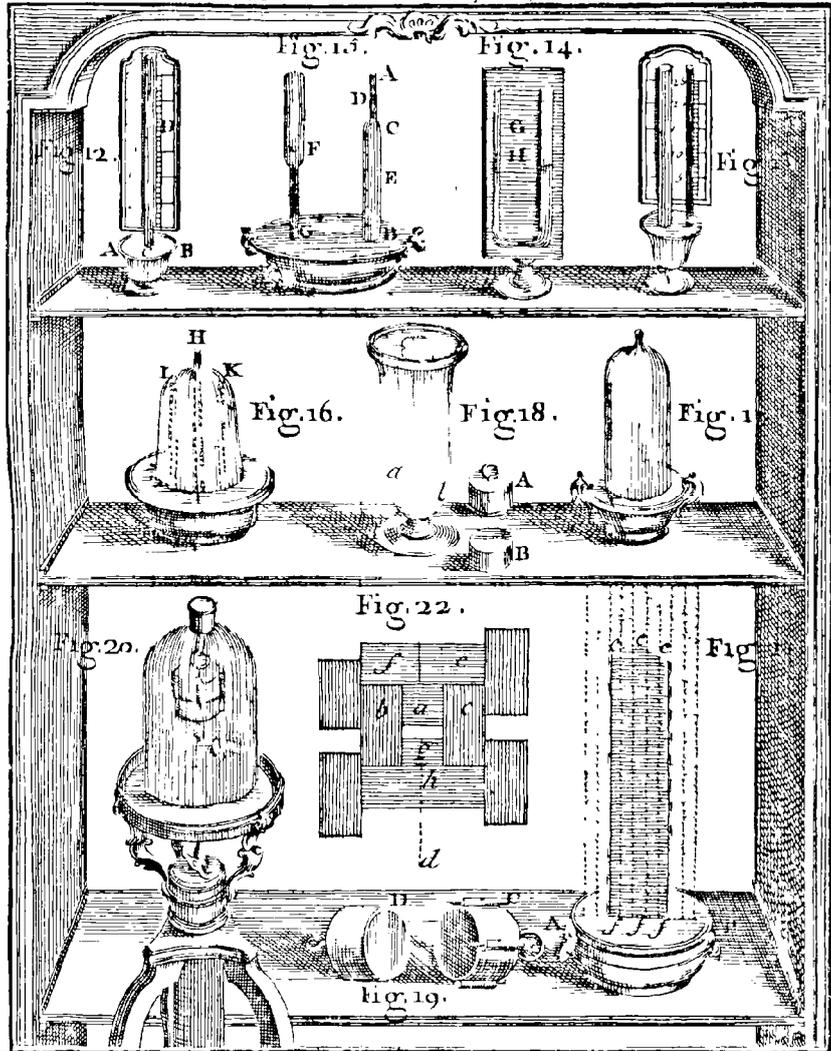
De cette réponse même il naît une

autre difficulté qu'il faut prévenir. Si les corps, dira-t-on, ne sont durs de tous côtés, que parce qu'ils sont composés d'un grand nombre de parties différemment arrangées, il devoit s'ensuivre que la dureté en tous sens diminue, à mesure qu'on divise les corps, & que les plus petites masses sont plus faciles à diviser que les plus grandes; ce qui est bien contraire aux idées que l'on a de la divisibilité des corps, qui paroît être d'autant plus difficile, qu'elle est portée plus loin.

10. Il ne s'agit point ici du plus grand nombre, il ne faut qu'un nombre suffisant de parties, & arrangées de façon qu'il y ait toujours quelqu'une de leurs surfaces appliquées perpendiculairement à la direction d'une force extérieure, employée pour les défunir; & l'on ne peut citer aucune division pratiquée, ou praticable, qui nous interdise cette supposition; l'idée que l'on a, & que l'on doit avoir en Physique, du nombre prodigieux de parties contenues sous le plus petit volume de matière, qui puisse être soumis à nos épreuves, doit nous mettre à couvert de tout reproche à cet égard.

VIII.  
LEÇON.

2°. Quand il seroit vrai que les corps infiniment petits fussent composés de parties plus disposées à la division, soit parce qu'elles présentent moins de surface à la pression extérieure qui les contient, soit parce qu'un arrangement plus simple leur permet de glisser l'une sur l'autre; comment le saurions-nous? Nous jugeons de la dureté des corps par la difficulté que nous éprouvons à les diviser: à mesure que les moyens nous manquent pour opérer cette division, fût-elle plus facile en elle-même, c'est-à-dire, de la part du corps divisible, nous en jugeons autrement, & ce corps nous paroît d'autant plus dur, que nos efforts ont moins de prise sur lui. Lorsque nous séparons deux marbres adhérents, en les faisant glisser l'un sur l'autre, la facilité avec laquelle se fait cette séparation, vient-elle de ce que ces deux corps, proportion gardée, ont moins d'adhérence ensemble, que d'autres corps très-petits & appliqués de même? Ne vient-elle pas plutôt de ce que nous pouvons facilement y appliquer des forces qui les tirent en sens con-



Leçon de physique



traies? Ainsi la dureté des corps, que nous regardons comme actuellement indivisibles, pourroit bien n'être qu'é-gale , & peut-être inférieure à celle d'une plus grande masse de la même matiere , quoiqu'à notre égard elle soit excessive , parce que nous ne connoissons aucun agent qui puisse les entamer.

Les deux états opposés, je veux dire, la solidité & la fluidité, dépendent donc de la même cause; c'est l'air subtil qui fixe les parties d'une matiere, lorsque sa pression extérieure excède la réaction qu'il fait en dedans; & c'est ce même fluide qui rend & entretient les parties mobiles, en s'introduisant entr'elles en suffisante quantité. C'est pour cela sans doute que toutes les matieres, qui passent d'un état à l'autre, changent de grandeur; car puisqu'un corps solide devient fluide, par l'introduction d'une matiere étrangere qui le pénètre en plus grande quantité, & qu'il ne revient à sa premiere consistance, que quand cette matiere cesse de le dilater; il est bien naturel qu'il occupe plus de place étant liquide, que lors-

qu'il est solide. C'est aussi ce qui arrive ordinairement, & j'en ferai connoître des exemples très-curieux en traitant du feu. C'est-là la règle générale ; elle a pourtant quelques exceptions remarquables, dont je parlerai ailleurs.

Des matières qui tiennent leur liquidité de l'air subtil, la communiquent par elles-mêmes à des corps solides. L'eau, par exemple, amollit la terre, & la convertit en boue : elle défunit les parties du sel, du sucre, &c. L'esprit-de-vin & les huiles dissolvent les gommés & les bitumes ; le mercure s'amalgame avec le plomb, l'étain, l'or & l'argent ; mais comme la fluidité n'est qu'une manière d'être, aussi-tôt que la cause cesse, que le dissolvant s'évapore, ce qu'il avoit rendu fluide revient ordinairement à sa première consistance.

Tous ces effets sont autant de moyens que les arts ont su tourner à leur profit ; je n'en veux citer que deux exemples.

La dorure qu'on nomme *d'or moulu*, est certainement la plus belle & la plus durable de toutes celles qui sont

font en usage. C'est de l'or extrêmement divisé, dont les parties sont comme enchassées dans les pores mêmes du métal, sur lequel on l'a appliqué; & voici comment cela s'exécute. On met une certaine quantité d'or fin dans du mercure; ces deux métaux s'unissent de manière que l'un communiquant une partie de sa fluidité à l'autre, ce mélange devient comme une pâte qu'on nomme *amalgame*: on applique & l'on étend cette préparation sur la pièce qu'on veut dorer, & ensuite par l'action du feu on fait évaporer le mercure, l'or qui est fixe demeure; & les pores du métal doré, qui se sont dilatés par la chaleur, & qui se resserrent en se refroidissant, retiennent, comme autant de petits chatons, les parcelles d'or qui s'y sont placées.

La gomme lacque, le sandarac, le mastic en larmes, &c. se dissolvent, & s'étendent dans l'esprit-de-vin; le karabé ou succin, & la gomme copal s'amollissent & se fondent dans l'huile de lin, & s'étendent ensuite dans l'huile grasse & l'esprit de térébenthine.

nomme *verniss* , s'appliquent sur le bois , ou ailleurs ; & lorsque le dissolvant est évaporé , les gommess qu'il avoit rendues liquides , reprennent leur dureté & leur brillant.

On voit donc par ces exemples ; que la liquidité ne change rien par elle-même à la nature des corps. Si leur cohérence est telle , qu'elle ne puisse céder qu'à une action violente de la part du dissolvant , il peut se faire qu'il leur enleve quelque partie de leur substance ; mais c'est un accident , & non pas une suite nécessaire de la liquidité en général.

Il y a des cas où l'on voit cesser ou diminuer la liquidité , sans que la cause qui l'avoit fait naître , paroisse cesser d'agir. Deux liqueurs mêlées ensemble , prennent tout d'un coup une consistance plus ou moins grande , quoiqu'on n'y remarque aucun degré de refroidissement sensible ; cet effet , qu'on appelle communément *coagulum* , peut s'expliquer , en supposant que les parties sont de telles figures , qu'elles s'embarassent réciproquement , & qu'elles font cesser entr'elles cette mobilité en quoi con-

sisse principalement l'état de liqueur. Le plus beau *coagulum* que je connoisse, c'est celui qui se fait avec l'huile de chaux & l'huile de tartre par défaillance ; quand on remue un peu ce mélange avec une petite spatule, il se convertit en une masse blanche, à qui l'on fait prendre la forme que l'on veut, & qui se durcit comme de la cire. On coagule aussi un esprit volatil urineux, fort subtil, avec de l'esprit-de-vin bien rectifié ; le blanc d'œuf, avec l'esprit de sel ; le sang, avec de l'eau de vie. Cette dernière expérience apprend de quelle importance il est d'user sobrement des liqueurs spiritueuses, puisqu'elles sont capables d'altérer la fluidité du sang.

Quelque vraisemblable que puisse paroître l'explication de la dureté & de la fluidité des corps, établie sur l'action d'un fluide presque généralement reconnu, quoique sous différents noms ; je ne dois pas dissimuler cependant que plusieurs Physiciens refusent de l'admettre, & lui en substituent un autre : « L'attraction réciproque des particules de matière, disent-ils, est très-grande »

Rij

---

VIII.  
LEÇON.

## 476 LEÇONS DE PHYSIQUE

**VIII. LEÇON.** » lorsqu'elles se touchent; mais hors  
 » du point de contact, elle décroît  
 » tellement, qu'à la plus petite distan-  
 » ce sensible, elle se convertit en for-  
 » ce répulsive. \* Les corps sont soli-  
 » des, tant que la vertu attractive  
 » de leurs parties est plus forte que  
 » la vertu répulsive que la chaleur  
 » leur donne ordinairement: mais ils  
 » s'amollissent à mesure que la vertu  
 » répulsive devient plus forte, de for-  
 » te que quand cette force l'emporte  
 » sur l'attraction, non-seulement la  
 » masse devient liqueur, mais elle se  
 » convertit souvent en un fluide qui  
 » s'évapore \*, »

\* s'Graves.  
 Phys. Elem.  
 Mathem. p.  
 18. Edic. de  
 1742.

\* Ibid. p. 662.

M. s'Gravesande, & ceux qui, com-  
 me lui, suivent exactement l'esprit de  
 M. Newton, ne donnent ces loix  
 que comme des phénomènes: *Hoc*  
*nomine phenomenon, non causam designa-*  
*mus* \*. Ils ne font nulle difficulté d'a-  
 vouer que ces fortes d'effets peuvent  
 venir de quelque impulsion: *Et si*

\* Ibid. p. 18.

‡ Ibid.

*fortè hoc per impulsum fiat* \*. Et nous  
 ne devons pas douter qu'ils ne re-  
 çoivent la pression de l'air subtil &  
 ses effets, au moins comme une hy-  
 pothèse très-probable. Les préten-

tions des Cartésiens ne vont guere au-delà; ainsi l'on peut dire qu'ils sont à peu-près d'accord avec ces premiers défenseurs des attractions.

Quant à ceux qui regardent les vertus attractives & répulsives comme des principes qui n'ont point de cause physique, ils ne prétendent point, sans doute, que ce soit une chose démontrée; ce n'est qu'une supposition qu'ils établissent sur des vraisemblances & des probabilités. S'il étoit vrai que l'on n'eût pas des raisons plus fortes pour admettre l'air subtil, j'aurois encore à dire, hypothèse pour hypothèse, je crois qu'il est plus sûr de raisonner sur des principes mécaniques & bien intelligibles, que de s'appuyer sur des nouveautés qui ne se présentent pas sous des idées familières à l'esprit.

Au reste, le principe des attractions, dans le détail des phénomènes, a-t-il donc des applications aussi heureuses qu'on pourroit se l'imaginer? Il a beaucoup perdu de sa simplicité, en passant des mains de M. Newton dans celles de ses disciples. Dans les mou-

VIII.  
LEÇON.

vements célestes cette force agissant en raison directe des masses, & en raison inverse du quarré de la distance, suffit presque à tout, & fournit des raisons pour expliquer ces grandes révolutions qui animent l'univers : rien n'est si beau. Mais quand il s'agit des phénomènes sublunaires, de ces effets que nous voyons de plus près, & dont l'examen nous est plus facile, la vertu attractive est un Protée qui change souvent de forme. Les rochers & les montagnes ne donnent aucun signe sensible d'attraction (a).  
 » C'est, dit-on, que ces petites attrac-  
 » tions particulières sont comme ab-  
 » sorbées par celle du globe terrestre  
 » qui est infiniment plus grande. » Ce-  
 » pendant on nous donne, comme un  
 » effet de la vertu attractive, la mousse  
 » qui flotte sur une tasse de café, &  
 » qui se porte avec une précipitation  
 » très-sensible vers les bords du vase,  
 » Plus les parties d'un corps se tou-  
 » chent, plus elles s'attirent. » Pour-

(a) Depuis que ceci est écrit, M. Bouguer a cru reconnoître quelque signe d'attraction dans les montagnes. Voyez son livre de *la Figure de la terre*, p. 364. & suiv.

quoi donc, lorsqu'on les approche davantage, en les comprimant, tendent-elles pour la plûpart à se remettre comme elles étoient avant la compression? (j'entends une compression égale de toute part, qui ne change que la grandeur, & non la figure). « C'est qu'après s'être attirées, autant qu'elles le peuvent, elles se repoussent mutuellement. » Pourquoi les vapeurs dilatées ont-elles tant de force? « C'est que les parties qui s'attiroient, sous l'état de liqueur, se repoussent avec violence sous celui de vapeurs. » Puisque la vertu attractive est une force répartie à tout ce qui est matière, pourquoi certains corps, comme l'eau & l'huile, ne peuvent-ils point s'unir ensemble? « C'est qu'il y a des matières qui se repoussent naturellement, &c.

Ce langage est-il bien celui d'une bonne Physique? & ne devons-nous pas craindre, qu'en nous y accoutumant, & qu'en mettant ainsi les attractions & répulsions à toutes sortes d'usages, on ne se dispense trop légè-

remement des recherches si nécessaires  
VIII. aux progrès de nos connoissances ;  
LEÇON. & qu'on ne s'interdise de cette ma-  
niere plusieurs découvertes qui en  
seroient le fruit ?

*Fin du second Tome.*



**TABLE**



# TABLE

## DES MATIERES

Contenues dans le second Volume.

---

### V. LEÇON.

*Sur le Mouvement composé , & sur les  
Forces centrales.*

**P**REMIERE SECTION. Du mouvement  
composé. Page 1.

Loi du Mouvement composé. 2.

I. EXPERIENCE qui fait voir qu'un Corps qui éprouve en même temps l'action de deux puissances opposées directement, obéit à la plus forte des deux, suivant l'excès de sa force. 10.

II. Exp. qui prouve qu'un Mobile, qui obéit à deux forces qui ne sont pas directement opposées, prend une direction moyenne entre l'une & l'autre. 13.

III. Exp. qui prouve que le même effet a lieu quand les deux forces n'ont point une action continue. 19.

IV. Exp. pour prouver que le Mouvement composé se fait dans une ligne courbe, quand les puissances composantes chan-

Tome II,

Si

- gent continuellement de rapport entre elles. 26.
- V. Exp. pour confirmer la Proposition précédente. 31.
- SECONDE SECT. Des force centrales. 37.
- I. Exp. pour prouver que le Mouvement circulaire fait naître la Force centrifuge, & que cette Force augmente à proportion de la vitesse. 43.
- II. Exp. qui fait voir que la Force centrifuge a lieu dans les Fluides qui se meuvent circulairement. 46.
- III. Exp. par laquelle on voit que la Force centrifuge des Fluides augmente à proportion de leur densité. 57.
- IV. Exp. imaginée par Descartes, pour appuyer son hypothèse sur la cause physique de la pesanteur. 63.
- V. Exp. qui prouve que la Force centrifuge est comme la masse multipliée par la vitesse du mobile qui circule. 80.
- VI. Exp. dans laquelle on voit un Mobile décrire une ligne spirale, par les changements de rapports des Forces centrales. 92.
- VII. Exp. dans laquelle on voit un Mobile décrire une Ellipse par les différents rapports que prennent entr'elles les Forces centripete & centrifuge, pendant sa révolution. 95.

## V I, L E Ç O N

*Sur la gravité ou pesanteur des Corps. 99.*

PREMIERE SECT. Des Phénomènes où la pesanteur agit seule sur le mobile. 103.

- I. Exp. par laquelle on voit qu'il n'y a point

## DES MATIERES. 483

- de Corps absolument léger. 106.
- II. EXP. pour prouver que la pesanteur est égale dans tous les Corps. 128.
- III. EXP. Effet singulier de l'Eau dans le vuide. 137.
- IV. EXP. qui prouve que les Corps tombent par un mouvement accéléré. 158.
- V. EXP. qui prouve que l'accélération des Corps graves, leur donne une vitesse proportionnelle à la hauteur de leur chute. 159.
- VI. EXP. pour prouver que l'accélération de la chute des Corps graves, se fait suivant les nombres impaires, 1, 3, 5, 7, &c. 162.
- SECONDE SECT. Des Phénomènes où le Mouvement est composé de la pesanteur, & de quelque autre puissance. 174.
- ART. I. De la chute des Corps par des plans inclinés. 178.
- I. EXP. par laquelle on prouve que le temps de la chute par le plan incliné, est à celui de la chute libre & verticale, comme la longueur du plan est à sa hauteur. 183.
- II. EXP. par laquelle on voit qu'un Mobile qui tombe par la corde quelconque d'un cercle, met autant de temps que pour descendre par le diamètre vertical du même cercle. 185.
- III. EXP. qui fait voir qu'un Corps grave en tombant, acquiert toute la vitesse qu'il lui faut pour remonter aussi haut que l'endroit d'où il est parti. 194.
- IV. EXP. pour faire connoître qu'il y a un rapport constant entre le temps & la vibration d'un Pendule, & le temps de la chute verticale par la longueur de ce même pendule. 203.
- ART. II. Du mouvement des Corps causé par la pesanteur & par une force active & uniforme. 217.

S f ij

V. EXP. pour faire voir que la Force projectile agissant avec la pesanteur sur un même Mobile, lui fait décrire une courbe parabolique. 222.

## VII. LEÇON.

*Sur l'Hydrostatique.* 227.

PREMIERE SECT. De la pesanteur & de l'équilibre des liqueurs dont les parties sont homogènes. 231.

I. PROPOS. Les Liqueurs pesent non-seulement quant à leur masse totale, mais encore en elles-mêmes, c'est-à-dire, quant aux parties qui les composent. *ibid.*

I. EXP. qui prouve la Proposition précédente. 233.

II. PROPOS. Les parties d'une même liqueur exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres. 237.

II. EXP. qui sert de preuve à cette Proposition. 238.

III. PROPOS. Les Liqueurs exercent leur pesanteur en toutes sortes de sens. 246.

III. EXP. qui le prouve. 248.

IV. EXP. qui confirme la même Proposition: 251.

IV. PROPOS. Les parties d'une même Liqueur sont en équilibre entr'elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble. 256.

V. EXP. du Syphon renversé. 258.

VI. EXP. des vaisseaux communicants. 259.

V. PROPOS. Les Liqueurs exercent leur pesanteur, tant perpendiculaire que latérale,

## DES MATIERES. 485

non en raison de leur quantité, mais en raison de la hauteur au-dessus du plan horizontal, & de la largeur de la base qui s'oppose à leur chute. 266.

VII. EXP. qui prouve cette proposition dans toutes les parties. 267.

SECONDE SECT. De la pesanteur & de l'équilibre de plusieurs Liqueurs, dont les densités sont différentes. 282.

I. PROPOS. La différence du poids ou de la densité, suffit pour séparer les parties de deux Liqueurs qu'on a mêlées ensemble, si d'autres causes plus fortes n'empêchent cet effet. 284.

I. EXP. du passe-vin. *ibid.*

II. EXP. du tube rempli de différentes Liqueurs, qui reprennent leurs places quand on les a mêlées. 286.

II. PROPOS. Plusieurs Liqueurs ou plusieurs Fluides, quoique de natures différentes, pesent les uns sur les autres, en raison de leur densité & de leur hauteur. 291.

III. PROPOS. Deux liqueurs de densités différentes, sont en équilibre, lorsqu'ayant la même base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon, sont en raison réciproque de leurs densités, ou pesanteurs spécifiques. *ibid.*

III. EXP. Du Syphon renversé, dans lequel on compare une colonne de mercure avec une colonne d'eau. 293.

IV. PROPOS. L'air est un fluide pesant qui exerce sa pression dans tous les sens, à la manière des Liqueurs. 298.

IV. EXP. avec le tube de *Toricelli*. 299.

V. EXP. avec le tube de *Pascal*. Histoire du Barometre, & son usage. 305. & *suiv.*

S l i j .

- VI. EXP. qui prouve que le poids de l'Air est la cause de l'ascension des liqueurs dans les tuyaux où l'on fait le vuide. 313.
- VII. EXP. qui fait voir que le poids de l'Air fait monter les Liqueurs d'autant moins haut qu'elles sont plus denses. 316.
- VIII. EXP. qui prouve que les pompes aspirantes n'agissent qu'en vertu du poids de l'atmosphère. 321.
- IX. EXP. qui prouve la pression latérale de l'Air. 324.
- X. EXP. par laquelle on fait voir que l'Air exerce sa pression de bas en haut. 327.
- XI. EXP. dans laquelle on fait voir & l'on explique l'effet des Syphons. 330.
- XII. EXP. qui confirme l'explication des Syphons, & qui fait voir un jet-d'eau au-dessus de sa source. 332.

## VIII. LEÇON.

*Suite de l'Hydrostatique. 339.*

TROISIEME SECT. De la pesanteur & de l'équilibre des Solides plongés dans les Liqueurs. *ibid.*

- I. PROPOS. Un Corps solide entièrement plongé, est comprimé de tous côtés par la Liqueur qui l'entoure, & la pression qu'il éprouve est d'autant plus grande, que la Liqueur a plus de densité, & qu'il est plus profondément plongé. 341.
- I. EXP. qui prouve cette proposition dans toutes ses parties. 342.
- II. PROPOS. Si le Corps plongé est plus pesant que le volume de Liqueur qu'il a déplacé,

## DES MATIERES. 487

sa pesanteur respective le fait tomber au fond du vase, s'il est libre de lui obéir. 350.

II. EXP. qui sert de preuve à cette proposition. 351.

Conséquence de cette proposition. 355.

III. EXP. de la balance dans le vuide. 356.

III. PROPOS. Ce qu'un solide plongé perd de son poids, est égal à celui du volume de Liqueur déplacé. 358.

IV. EXP. qui prouve cette proposition. 359.

Premiere Conséquence de cette proposition. 360.

V. EXP. qui confirme cette premiere conséquence. 361.

Seconde Conséquence. 363.

VI. EXP. qui la confirme. *ibid.*

Troisieme Conséquence. 365.

VII. EXP. qui la confirme. *ibid.*

VIII. EXP. qui prouve encore la même chose. 367.

IV. PROPOS. Si le Corps solide est moins pesant qu'un pareil volume de la Liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie ; ce qui reste plongé mesure une quantité de Liqueur qui pese autant que le corps entier. 378.

IX. EXP. qui prouve cette proposition. 379.

Conséquences de cette proposition. 380.

X. EXP. Effets & explications de l'Aréometre. 381.

De la Balance hydrostatique, & de ses usages. 385.

Premier usage. Connoître la pesanteur spécifique d'une liqueur. 386.

Second usage. Comparer les pesanteurs spécifiques de deux liqueurs. 389.

Troisieme usage. Comparer les gravités spéci-

488 TABLE DES MAT.

- figues de deux Corps solides. 390.
- Quatrieme usage. Comparer la gravité spécifique d'un Corps solide avec celle d'une Liqueur. 391.
- Remarques sur l'Aréometre, ou Pese-Liqueurs. 392.
- Table alphabétique des Matieres les plus connues, tant solides que fluides, dont on a éprouvé la pesanteur spécifique. 397.
- Appendice touchant les Tuyaux Capillaires, & les causes immédiates de la fluidité & de la solidité des Corps. 401.
- I. EXP. dans laquelle on voit la premiere propriété des Tubes capillaires. 403.
- II. EXP. qui fait connoître la seconde propriété des Tubes capillaires. 404.
- III. EXP. où l'on voit la troisieme propriété des Tubes capillaires. 405.
- IV. EXP. qui fait connoître la quatrieme propriété des Tuyaux capillaires. 406.
- Différentes explications de ces effets. 407.  
*& suiv.*
- ART. II. Sur les causes de la fluidité & de la dureté des Corps. 446.
- PROPOS. Plusieurs Corps peuvent s'attacher ensemble par la pression d'un fluide qui les couvre, ou qui les environne de toutes parts.
- I. EXP. qui sert de preuve à cette proposition, *ibid.*
- II. EXP. qui prouve encore cette même proposition, & qui donne lieu d'en rapporter plusieurs autres, sur lesquelles on établit l'explication de la fluidité & de la dureté des Corps. 453.

*Fin de la Table des Matieres,*