BRISSON, Mathurin Jacques

Traité élémentaire ou Principes de physique : fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, et confirmés par l'expérience / par M. Brisson... ; tome premier. -- A Paris : De l'Imprimerie de Moutard..., 1789

LXXXIV, 418 p., 12 h. de lám. pleg., a-e8, f2, A-Z8, 2A-2C8, 2D1 ; 8º marquilla

Antep . -- Las h. de lám. son calc.: "Bernard Direxit"

1. Física-Tratados, manuales, etc. 2. Fisika-Tratatuak, eskuliburuak, etab. I. Título

R-5158 Enc. piel con hierros dorados en el lomo

R.S.I.S.R
R.A.H.Q

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
OU
PRINCIPES DE PHYSIQUE.

TOME PREMIER.

Atom n° 8
Osservato
Feb 3 –

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE OU PRINCIPES DE PHYSIQUE,

Fondés ſur les connoiſſances les plus certaines, tant anciennes que modernes, & confirmés par l'expérience.

Par M. BRISSON, de l'Académie Royale des Sciences, Maître de Phyſique & d'Hiſtoire Naturelle des Enfans de France, & Profeſſeur Royal de Phyſique expérimentale au Collége Royal de Navarre.

TOME PREMIER.

A PARIS,
De l'Imprimerie de MOUTARD, Imprimeur-Libraire, Hôtel de Cluni, rue des Mathurins.

1789.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

DEPUIS environ une vingtaine d'années, on a fait, ſur la compoſition des corps & ſur la nature de leurs parties intégrantes, un grand nombre d'expériences, & telles enfin qu'on devoit les faire pour obtenir des réſultats ſatisfaiſans. La maniere dont on les faiſoit ci-devant, n'étoit rien moins qu'exacte. En analyſant un corps, on trouvoit quelquefois des ſubſtances qu'on croyoit entrer dans la compoſition de ce corps : on étoit ſouvent dans l'erreur ; ces ſubſtances s'étoient formées pendant l'opération : on en auroit eu la preuve, ſi l'on s'étoit aſſuré du poids, qu'on auroit trouvé plus grand que n'étoit celui du corps mis à l'épreuve. Aujourd'hui on tient une note exacte de ce poids, & l'on prend toutes les précautions néceſſaires pour

recueillir tout ce qui s'échappe pendant l'analyſe ; & ſi l'on trouve une augmentation de poids, on eſt ſûr qu'il y a eu un nouvel être de formé : il ne s'agit plus que de découvrir quelle eſt la ſubſtance qui a fourni les parties qui ſont entrées dans la compoſition de ce nouvel être ; & l'on y parvient en obſervant quelles ſont celles avec leſquelles le corps analyſé a été en contact pendant l'opération.

Ces expériences ont appris qu'il y a un grand nombre de corps qui peuvent prendre l'état de fluide élaſtique : c'eſt ſous ce point de vue que l'on a conſidéré ces corps. Les nouveaux procédés qu'on a employés pour reconnoître leur compoſition & leurs propriétés, & le grand nombre de Savans qui, dans toute l'Europe, ſe ſont occupés de ce genre de recherche, ont enrichi les différentes branches de la Phyſique d'un nombre conſidérable de découvertes. Des phénomenes, qui juſque-là avoient paru iſolés, & n'avoir aucune relation entre eux, ont été liés par des faits nouveaux ;

& la Science préſente aujourd'hui une ſuite de faits & plus nombreuſe & mieux ordonnée.

Mais depuis cette époque, que l'on peut regarder comme celle d'un véritable renouvellement dans les Sciences d'obſervation, les découvertes ont été publiées chacune en particulier à meſure qu'elles ſe ſont offertes : elles ſe trouvent éparſes dans les Mémoires des différentes Sociétés ſavantes, & dans quelques Traités particuliers ; & perſonne n'avoit encore entrepris de les réunir en corps de doctrine. Il nous manquoit donc un Traité de Phyſique, dans lequel les faits fuſſent, d'après leur dépendance mutuelle, réduits à un petit nombre de phénomenes généraux, qu'on pût regarder comme *Principes*, & où ceux-ci fuſſent eux-mêmes préſentés dans un ordre ſyſtématique, & liés entre eux par une chaîne facile à ſaiſir. C'eſt ce que j'ai tâché de faire dans l'Ouvrage que j'ai l'honneur de préſenter au Public.

Tout ce que j'ai avancé & regardé

comme *Principe*, eſt fondé ſur les expériences les plus concluantes. Je n'ai adopté aucuns ſyſtêmes ; je les crois ſouvent propres à arrêter les progrès de la Phyſique : ils ſont en général très-nuiſibles aux Sciences. Pour les former, on fait des hypotheſes & des ſuppoſitions gratuites & ſouvent inconcevables : après les avoir répétées dix ou douze fois, on croit les avoir prouvées ; & on part de là pour dire : *Nous avons démontré.*

Les faits nombreux & nouvellement connus, que préſentent les fluides élaſtiques, ainſi que les ſubſtances dont on les extrait, ou du moins celles dont on fait uſage pour ſe les procurer, nous ayant donné lieu d'obſerver un grand nombre d'êtres nouveaux & juſqu'alors inconnus, il a été néceſſaire de leur donner des noms, pour pouvoir les déſigner ; & ces noms ſont tels, qu'ils indiquent quelles ſont les parties conſtituantes de ces ſubſtances. Pour mettre de l'uniformité dans le diſcours & dans les idées, on a de même

donné des noms analogues & auſſi ſignificatifs aux ſubſtances anciennement connues. De là, il eſt réſulté une Langue nouvelle, dont j'ai fait uſage, & qui eſt beaucoup plus ſignificative que l'ancienne; car, par exemple, ces noms, *ſel de ſeignette*, *ſel de duobus*, n'apprendront à qui que ce ſoit de quoi ces ſels ſont compoſés; au lieu que *tartrite de ſoude*, qui eſt le nom nouveau du premier, & *ſulfate de potaſſe*, qui eſt celui du ſecond, m'apprennent que l'un eſt formé par la combinaiſon de l'acide tartareux avec la ſoude, & l'autre par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec la potaſſe; & ainſi des autres. Qu'on n'imagine pas que cette nouvelle Langue exige une longue étude; je ſuis perſuadé que quiconque voudra s'en donner la peine, la ſaura en trois quarts d'heure. Il y a environ cinquante mots dont il faut ſe reſſouvenir; encore y en a-t-il pluſieurs qui ont des terminaiſons ſemblables, quand ils ont des ſignifications analogues.

Mais afin qu'on ſoit diſpenſé de chercher

& d'avoir recours à un autre Ouvrage, j'ai placé ci-après deux Synonymies des noms anciens & nouveaux, rangés par ordre alphabétique, & dans leſquelles on trouvera tous les noms employés dans cet Ouvrage. Dans la premiere, on trouvera d'abord les noms anciens, à côté deſquels ſont les noms nouveaux ou adoptés qui leur correſpondent : dans la ſeconde, qui eſt l'oppoſé de la premiere, chaque nom nouveau y eſt accompagné de tous ſes ſynonymes anciens ; & l'on verra qu'il y a telle ſubſtance à laquelle les Anciens ont donné juſqu'à douze ou quatorze noms différens. Quelle confuſion cela n'eſt-il pas capable de mettre dans l'eſprit des Etudians ?

Cet Ouvrage, qui eſt deſtiné à la Jeuneſſe de l'un & l'autre ſexe, comprend toutes les queſtions relatives à la Phyſique ; & afin de pouvoir être entendu des uns & des autres, je me ſuis attaché à y mettre le plus de clarté qu'il m'a été poſſible. Pour cela j'ai cherché à être bref & con-

cis ; car, depuis le grand nombre d'années que j'enſeigne le Public, j'ai toujours remarqué que plus mes explications étoient courtes & ſerrées, mieux j'étois entendu. C'eſt pourquoi cet Ouvrage, malgré la grande quantité de matériaux qu'il contient, ne forme que trois volumes *in*-8°. ; & cependant je crois n'avoir rien oublié.

Cet Ouvrage eſt diviſé en dix-neuf Chapitres. Le premier traite des Propriétés générales des corps, qui ſont au nombre de douze ; le ſecond, du Mouvement & de ſes loix ; le troiſieme, des Cauſes qui changent la direction du mouvement ; le quatrieme, des Loix du mouvement compoſé ; le cinquieme, des Forces centrales ; le ſixieme, de la Gravité ou Gravitation des corps. ; le ſeptieme, de la Peſanteur des corps ; le huitieme, de l'Hydrodynamique, qui comprend l'Hydroſtatique & l'Hydraulique ; le neuvieme traite de la Mécanique ſtatique ; le dixieme, des Fluides élaſtiques ; l'onzieme, des Propriétés de l'Air ; le douzieme, des Pro-

priétés de l'Eau ; le treizieme, de la Nature & des Propriétés du Feu ; le quatorzieme, de la Nature & des Propriétés de la Lumiere ; là ſont compriſes l'Optique, la Catoptrique, la Dioptrique, & les Couleurs ; le quinzieme, de la Viſion des objets, ſoit naturelle, ſoit artificielle : dans cette derniere, on trouve la deſcription & l'uſage de tous les inſtrumens d'Optique ; le ſeizieme traite de l'Aſtronomie phyſique ; le dix-ſeptieme, du Flux & Reflux, de ſes phénomenes & de ſes cauſes ; le dix-huitieme, du Magnétiſme ; le dix-neuvieme enfin traite de l'Electricité : j'y ai joint l'Analogie entre les effets du Tonnerre & ceux de l'Electricité, ainſi que les cauſes des Aurores boréales & des Trombes.

L'Ouvrage eſt terminé par une Table des Matieres, rangées par ordre alphabétique, qui en fait l'équivalent d'un Dictionnaire, au moyen duquel on pourra trouver, ſur le champ, la queſtion dont on aura beſoin, & tout ce qui y a rapport.

AVIS AU RELIEUR.

LES planches doivent être placées de maniere qu'en s'ouvrant, elles puiſſent ſortir entiérement du Livre, & ſe voir à droite dans l'ordre qui ſuit.

TOME PREMIER.

Planche	1.	*après la page* 110.
	2.	154.
	3.	194
	4.	230.
	5.	270.
	6.	324.
	7.	346.
	8.	362.
	9.	370.
	10.	382.
	11.	396.
	12.	418.

EXTRAIT des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences, du 20 Décembre 1788.

MM. COUSIN & MONGE, Commiſſaires nommés par l'Académie pour examiner un Ouvrage de M. BRISSON, ayant pour titre : *Principes de Phyſique fondés ſur l'expérience*, en ayant rendu compte, l'Académie a jugé cet Ouvrage très-utile, digne d'être imprimé ſous ſon privilege.

Je certifie le préſent Extrait conforme au Jugement de l'Académie. A Paris, le 22 Décembre 1788.

LE MARQUIS DE CONDORCET.

ERRATA.

Page	65, ligne	25, de temps *liſez* des remps
	162,	20, ces *liſez* de ces
	163,	1, *multipliées* liſez *multipliés*
	Ibid.	9, de le *liſez* de ſe
	Ibid.	10, de ſa *liſez* de la
	198,	3, elles *liſez* elle
	223,	27, & compoſée *liſez* eſt compoſée
	323,	17, ce procédé bien *liſez* ce procédé comme bien
	352,	25, eſt en C *liſez* eſt en c

SYNONYMIE
ANCIENNE ET NOUVELLE,
PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acete ammoniacal.	Acétite ammoniacal. / Acétite d'ammoniaque.
Acete calcaire.	Acétite de chaux.
Acete d'argile.	Acétite alumineux.
Acete de cuivre.	Acétite de cuivre.
Acete de magnéſie.	Acétite de magnéſie.
Acete de plomb.	Acétite de plomb.
Acete de potaſſe.	Acétite de potaſſe.
Acete de ſoude.	Acétite de ſoude.
Acete de zinc.	Acétite de zinc.
Acete martial.	Acétite de fer.
Acete mercuriel.	Acétite mercuriel.
Acide acéteux.	Acide acéteux.
Acide aérien.	Acide carbonique.
Acide arſenical.	Acide arſénique.
Acide athmoſphérique.	Acide carbonique.
Acide benzonique.	Acide benzoïque.
Acide bézoardique.	Acide lithique.
Acide boracin.	Acide boracique.
Acide charbonneux.	Acide carbonique.
Acide citronien.	Acide citrique.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide crayeux.	Acide carbonique.
Acide de l'oseille.	Acide oxalique.
Acide de l'urine.	Acide phosphorique.
Acide des fourmis.	Acide formique.
Acide des pommes.	Acide malique.
Acide du benjoin.	Acide benzoïque.
Acide du borax.	Acide boracique.
Acide du calcul.	Acide lithique.
Acide du camphre.	Acide camphorique.
Acide du sel marin.	Acide muriatique.
Acide du soufre.	Acide sulfurique.
Acide du succin.	Acide succinique.
Acide du sucre.	Acide oxalique.
Acide du sucre de lait.	Acide saccho-lactique.
Acide du suif.	Acide sébacique.
Acide du tartre.	Acide tartareux.
Acide du ver à soie.	Acide bombique.
Acide fluorique.	Acide fluorique.
Acide formicin.	Acide formique.
Acide galactique.	Acide lactique.
Acide gallique.	Acide gallique.
Acide lithiasique.	Acide lithique.
Acide malusien.	Acide malique.
Acide marin.	Acide muriatique.
Acide marin aéré.	Acide muriatique oxigéné.
Acide marin déphlogistiqué.	
Acide méphitique.	Acide carbonique.
Acide nitreux blanc.	Acide nitrique.
Acide nitreux dégasé.	
Acide nitreux déphlogistiqué.	

Acide

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide nitreux fumant.	Acide nitreux.
Acide nitreux phlogiſtiqué.	
Acide nitreux rutilant.	
Acide oxalin.	Acide oxalique.
Acide phoſphorique.	Acide phoſphorique.
Acide phoſphorique déphlogiſtiqué.	
Acide phoſphorique phlogiſtiqué.	Acide phoſphoreux.
Acide phoſphorique volatil.	
Acide régalin.	Acide nitro-muriatique.
Acide ſaccarin.	Acide oxalique.
Acide ſacchlactique.	Acide ſaccho-lactique.
Acide ſébacé.	Acide ſébacique.
Acide ſédatif.	Acide boracique.
Acide ſpathique.	Acide fluorique.
Acide ſulfureux.	Acide ſulfureux.
Acide ſulfureux volatil.	
Acide ſyrupeux.	Acide pyro-mucique.
Acide tartareux.	Acide tartareux.
Acide vitriolique.	Acide ſulfurique.
Acide vitriolique phlogiſtiqué.	Acide ſulfureux.
Acier.	Acier.
Air acide vitriolique.	Gas acide ſulfureux.
Air alkalin.	Gas ammoniacal.
Air athmoſphérique.	Air athmoſphérique.
Air déphlogiſtiqué.	Gas oxigène.
Air du feu de Scheele.	

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Air factice.	Gas acide carbonique.
Air fixe.	
Air fixé.	Acide carbonique.
Air gâté.	Gas azotique.
Air inflammable.	Gas hydrogène.
Air inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.
Air marin.	Gas acide muriatique.
Air phlogiſtiqué.	Gas azotique.
Air puant du ſoufre.	Gas hydrogène ſulfuré.
Air pur.	Gas oxigène.
Air ſolide de Hales.	Gas acide carbonique.
Air vicié.	Gas azotique.
Air vital.	Gas oxigène.
Alkaeſt de Vanhelmont.	Carbonate de potaſſe.
Alkalis cauſtiques.	Alkalis.
Alkalis en général.	
Alkalis efferveſcens.	Carbonates alkalins.
Alkali fixe du tartre cauſtique.	Potaſſe.
Alkali fixe du tartre non cauſtique.	Carbonate de potaſſe.
Alkali fixe minéral aéré.	Carbonate de ſoude.
Alkali fixe minéral efferveſcent.	
Alkali fixe végétal.	Carbonate de potaſſe.
Alkali fixe végétal aéré.	
Alkali fixe végétal cauſtique.	Potaſſe.
Alkali marin.	Soude.
Alkali marin cauſtique.	

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Alkali marin non cauſtique.	Carbonate de ſoude.
Alkali minéral.	Soude.
Alkali minéral aéré.	Carbonate de ſoude.
Alkali minéral cauſtique.	Soude.
Alkali minéral efferveſcent.	Carbonate de ſoude.
Alkali végétal.	Potaſſe.
Alkali végétal aéré.	Carbonate de potaſſe.
Alkali végétal cauſtique.	Potaſſe.
Alkali végétal efferveſcent.	Carbonate de potaſſe.
Alkali volatil.	Ammoniaque.
Alkali volatil cauſtique.	
Alkali volatil concret.	Carbonate ammoniacal.
Alkali volatil efferveſcent.	
Alkali volatil fluor.	Ammoniaque.
Alkali urineux.	
Alliage des métaux.	Alliage.
Alun.	Sulfate d'alumine.
Alun marin.	Muriate d'alumine.
Alun nitreux.	Nitrite d'alumine.
Amalgame.	Amalgame.
Ambre jaune.	Succin.
Antimoine crud.	Sulfure d'antimoine.
Antimoine (mine d').	Sulfure d'antimoine natif.
Aquila alba.	Muriate de mercure doux ſublimé.
Arcanum duplicatum.	Sulfate de potaſſe.
Argent.	Argent.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Argent corné.	Muriate d'argent.
Argile.	Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.
Argile crayeuſe.	Carbonate d'alumine.
Argile pure.	Alumine.
Arſenic blanc.	Oxide d'arſenic.
Arſenic (régule d').	Arſenic.
Arſenic rouge.	Oxide d'arſenic ſulfuré rouge.
Azur.	Oxide de cobalt vitreux.

B.

BAROTE.	Baryte.
Baſe de l'air pur.	Oxigène.
Baſe de l'air vital.	
Baſe de l'alun.	Alumine.
Baſe du ſel marin.	Soude.
Beurre d'antimoine.	Muriate d'antimoine fumant.
Blanc de fard.	Oxide de biſmuth blanc par l'acide nitrique.
Blanc de plomb.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Bleu de Berlin.	Pruſſiate de fer.
Bleu de Pruſſe.	
Borax.	Borate.

C.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
CAUSTICUM.	Principe hypothétique de Meyer.
Céruſe.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Chaleur fixée.	Calorique.
Chaleur latente.	
Charbon pur.	Carbone.
Chaux métalliques.	Oxides métalliques.
Chaux d'arſenic.	Oxide d'arſenic.
Chaux de plomb.	Oxide de plomb.
Chaux vive.	Chaux.
Cinnabre.	Oxide de mercure ſulfuré rouge.
Cobalt.	Cobalt.
Cobolt.	
Colcothar.	Oxide de fer rouge.
Combinaiſons des huiles graſſes ou fixes avec différentes baſes.	Savons.
Combinaiſons des huiles graſſes ou fixes avec différens acides.	Savons acides.
Combinaiſons des huiles graſſes ou fixes avec les ſubſtances métalliques.	Savons métalliques.
Combinaiſons des huiles volatiles ou eſſentielles avec différentes baſes.	Savonules.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Combinaiſons des huiles volatiles ou eſſentielles avec différens acides.	Savonules acides.
Combinaiſons des huiles volatiles ou eſſentielles avec les ſubſtances métalliques.	Savonules métalliques.
Combinaiſons du phoſphore non oxigéné avec différentes baſes.	Phoſphures.
Combinaiſons du ſoufre avec les métaux.	Sulfures métalliques.
Couperoſe blanche.	Sulfate de zinc.
Couperoſe bleue.	Sulfate de cuivre.
Couperoſe verte.	Sulfate de fer.
Craie.	Carbonate calcaire.
Craie ammoniacale.	Carbonate ammoniacal.
Craie de plomb.	Carbonate de plomb.
Craie de ſoude.	Carbonate de ſoude.
Craie de zinc.	Carbonate de zinc.
Craie martiale.	Carbonate de fer.
Crême de chaux.	Carbonate calcaire.
Crême de tartre.	Tartrite acidule de potaſſe.
Criſtaux de lune.	Nitrate d'argent.
Criſtaux de ſoude.	Carbonate de ſoude.
Criſtaux de tartre.	Tartrite acidule de potaſſe.
Criſtaux de Vénus.	Acétite de cuivre criſtallifé.
Cuivre.	Cuivre.

D.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
DIANE.	Argent.

E.

EAU aérée.	Acide carbonique.
Eau de chaux.	Chaux diſſoute dans l'eau. / Eau de chaux.
Eau-forte.	Acide nitreux du commerce.
Eau mere du nitre.	Nitrate de chaux.
Eau mere du ſel marin.	Muriate de chaux.
Eau régale.	Acide nitro-muriatique.
Eaux acidulées. / Eaux gaſeuſes.	Eaux imprégnées d'acide carbonique.
Eaux hépatiques.	Eaux ſulfurées. / Eaux ſulfureuſes.
Emétique.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Empyrée.	Oxigène.
Encre de ſympathie par la litharge.	Acérite de plomb.
Encre de ſympathie par le cobalt.	Muriate de cobalt.
Encre de ſympathie par l'orpiment & la chaux.	Oxide d'arſenic ſulfuré jaune & chaux, diſſous dans l'eau.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Eſprit acide empyreumatique du bois.	Acide pyro-lignique.
Eſprit alkalin volatil.	Gas ammoniacal.
Eſprit ardent.	Alcohol.
Eſprit de Mendererus.	Acétite ammoniacal.
Eſprit de miel, de ſucre, &c.	Acide pyro-mucique.
Eſprit de nitre.	Acide nitrique étendu d'eau.
Eſprit de nitre dulcifié.	Alcohol nitrique.
Eſprit de nitre fumant.	Acide nitreux.
Eſprit de ſel.	Acide muriatique.
Eſprit de ſel ammoniac.	Ammoniaque.
Eſprit de ſel fumant.	Acide muriatique.
Eſprit de ſoufre.	Acide ſulfureux.
Eſprit de tartre.	Acide pyro-tartareux.
Eſprit de Vénus.	Acide acétique.
Eſprit de vin.	Alcohol.
Eſprit de vitriol.	Acide ſulfurique étendu d'eau.
Eſprit recteur.	Arome.
Eſprit volatil de ſel ammoniac.	Ammoniaque étendu d'eau.
Eſprits acides.	Acides étendus d'eau.
Eſſences.	Huiles volatiles.
Etain.	Etain.
Ether acéteux.	Ether acétique.
Ether marin.	Ether muriatique.
Ether nitreux.	Ether nitrique.
Ether vitriolique.	Ether ſulfurique.
Ethiops martial.	Oxide de fer noir.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Ethiops minéral.	Oxide de mercure sulfuré noir.
Ethiops per se.	Oxide de mercure noirâtre.
Extrait.	Extractif (l').

F.

FÉCULES des plantes.	Fécules.
Fer.	Fer.
Fer aéré.	Carbonate de fer.
Fleurs d'arsenic.	Oxide d'arsenic blanc sublimé.
Fleurs de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Fleurs de bismuth.	Oxide de bismuth sublimé.
Fleurs d'étain.	Oxide d'étain sublimé.
Fleurs de soufre.	Soufre sublimé.
Fleurs métalliques.	Oxides métalliques sublimés.
Fluides aériformes.	Gas.
Fluides élastiques.	
Fluor spathique.	Fluate de chaux.
Foies de soufre.	Sulfures.
Foies de soufre alkalins.	Sulfures alkalins.
Foies de soufre calcaires.	Sulfures calcaires.

G.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
GAS.	Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide crayeux.	Gas acide carbonique.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique.
Gas acide marin.	Gas acide muriatique.
Gas acide marin déphlogiſtiqué.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide muriatique.	Gas acide muriatique.
Gas acide muriatique aéré.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide ſpathique.	Gas acide fluorique.
Gas acide ſulfureux.	Gas acide ſulfureux.
Gas acide vitriolique.	
Gas alkali volatil.	Gas ammoniacal.
Gas alkalin.	
Gas athmoſphérique.	Gas azotique.
Gas hépatique.	Gas hydrogène ſulfuré.
Gas inflammable.	Gas hydrogène.
Gas inflammable carboné.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable carbonique.	Gas hydrogène carbonique.
Gas inflammable charbonneux.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Gas inflammable mofétiſé.	Gas hydrogène des marais.
Gas inflammable phoſphoré.	Gas hydrogène phoſphoré.
Gas inflammable ſulfuré.	Gas hydrogène ſulfuré.
Gas méphitique.	Gas acide carbonique.
Gas nitreux.	Gas nitreux.
Gas phlogiſtiqué.	Gas azotique.
Gas phoſphorique.	Gas hydrogène phoſphoré.
Gas ſylveſtre.	Gas acide carbonique.
Glaiſe.	Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.
Gypſe.	Sulfate de chaux.

H.

HÉPARS.	Sulfures.
Hépars alkalins.	Sulfures alkalins.
Huiles animales.	Huiles volatiles animales.
Huile de chaux.	Muriate calcaire.
Huile de tartre par défaillance.	Potaſſe mêlangée de carbonate de potaſſe en déliqueſcence.
Huile de vitriol.	Acide ſulfurique.
Huiles douces.	Huiles fixes.
Huiles eſſentielles.	Huiles volatiles.
Huiles éthérées.	

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Huiles graſſes. Huiles par expreſſion.	Huiles fixes.

I.

JUAN blanca.	Platine (le).
Jupiter.	Etain.

K.

KARABÉ.	Succin.
Kermès minéral.	Oxide d'antimoine ſulfuré rouge.

L.

LAIT de chaux.	Chaux délayée dans l'eau.
Litharge.	Litharge. Oxide de plomb demi-vitreux.
Lune.	Argent.
Lune cornée.	Muriate d'argent.

M.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
MAGISTERE de bismuth.	Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.
Mars.	Fer.
Massicot.	Oxide de plomb jaune.
Matiere de la chaleur.	Calorique.
Matiere du feu.	
Matiere colorante du bleu de Prusse.	Acide Prussique.
Méphite ammoniacal.	Carbonate ammoniacal.
Méphite calcaire.	Carbonate calcaire.
Méphite de plomb.	Carbonate de plomb.
Méphite de potasse.	Carbonate de potasse.
Méphite de soude.	Carbonate de soude.
Méphite de zinc.	Carbonate de zinc.
Méphite martial.	Carbonate de fer.
Mercure.	Mercure.
Mercure des métaux.	Principe hypothétique de Beccher.
Minium.	Minium.
	Oxide de plomb rouge.
Mine d'antimoine.	Sulfure d'antimoine natif.
Mofete athmosphérique.	Gas azotique.
Mucilage.	Muqueux (le).

N.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
NATRON.	Carbonate de ſoude.
Natrum.	
Nitre.	Nitrate de potaſſe. Nitre.
Nitre calcaire.	Nitrate de chaux.
Nitre cubique.	Nitrate de ſoude.
Nitre d'argent.	Nitrate d'argent.
Nitre fixé par lui-même.	Carbonate de potaſſe.
Nitre lunaire.	Nitrate d'argent.
Nitre quadrangulaire.	Nitrate de ſoude.
Nitre rhomboïdal.	

O.

OCRE.	Oxide de fer jaune.
Or.	Or.
Or fulminant.	Oxide d'or ammoniacal.
Orpiment.	Oxide d'arſenic ſulfuré jaune.
Oxigine.	Oxigène.

P.

PETIT lait aigri.	Acide lactique.
Phlogiſtique.	Principe hypothétique de Stahl.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Phlogiſtique de M. Kirvan.	Gas hydrogène.
Phoſphore de Homberg.	Muriate calcaire ſec.
Phoſphore de Kunkel.	Phoſphore.
Pierre à cautere.	Potaſſe fondue.
Pierre calcaire.	Carbonate calcaire.
Pierre infernale.	Nitrate d'argent fondu.
Platina del Pinto.	Platine (le).
Platine (la).	
Plâtre.	Sulfate calcaire.
Plomb.	Plomb.
Plomb corné.	Muriate de plomb.
Plomb ſpathique.	Carbonate de plomb.
Plombagine.	Carbure de fer.
Potaſſe du commerce.	Carbonate de potaſſe impur.
Potée d'étain.	Oxide d'étain gris.
Pourpre de Caſſius.	Oxide d'or par l'étain.
Précipité de Caſſius.	
Précipité d'or par l'étain.	
Précipité jaune.	Oxide de mercure jaune par l'acide ſulfurique.
Précipité per ſe.	Oxide de mercure rouge par le feu.
Précipité roſe de mercure.	Phoſphate de mercure.
Précipité rouge.	Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.
Principe acidifiant.	Oxigène.
Principe aſtringent.	Acide gallique.
Principe charbonneux.	Carbone.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.	Calorique.
Principe mercuriel.	Principe hypothétique de Beccher.
Principe odorant.	Arome.
Principe sorbile de M. Ludbock.	Oxigène.
Pyrite de cuivre.	Sulfure de cuivre.
Pyrite martiale.	Sulfure de fer.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg. Sulfure d'alumine carboné.

R.

RÉALGAL. Réalgar.	Oxide d'arsenic sulfuré rouge.
Régule d'antimoine.	Antimoine.
Régule d'arsenic.	Arsenic.
Régule de bismuth.	Bismuth.
Régule de cobalt.	Cobalt.
Régule de manganèse.	Manganèse (le).
Régule de molybdène.	Molybdène (le).
Régule de nickel.	Nickel.
Régule de zinc.	Zinc.
Rouille de cuivre.	Oxide de cuivre vert.
Rouille de fer.	Carbonate de fer.

S.

S.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Safran de Mars.	Oxide de fer.
Safran de Mars apéritif.	Carbonate de fer.
Safran de Mars astringent.	Oxide de fer brun.
Safre.	Oxide de cobalt gris avec silice.
	Safre.
Salmiac.	Muriate d'ammoniaque.
Salpêtre.	Nitrate de potasse.
	Nitre.
Saturne.	Plomb.
Sel acéteux ammoniacal.	Acétite ammoniacal.
Sel acéteux calcaire.	Acétite de chaux.
Sel acéteux d'argile.	Acétite alumineux.
Sel acéteux de zinc.	Acétite de zinc.
Sel acéteux magnésien.	Acétite de magnésie.
Sel acéteux martial.	Acétite de fer.
Sel acéteux minéral.	Acétite de soude.
Sel ammoniac.	Muriate d'ammoniaque.
Sel ammoniac fixe.	Muriate de chaux.
Sel ammoniacal crayeux.	Carbonate ammoniacal.
Sel cathartique amer.	Sulfate de magnésie.
Sel commun.	Muriate de soude.
Sel d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel de benjoin.	Acide benzoïque.
Sel de canal.	Sulfate de magnésie.
Sel de duobus.	Sulfate de potasse.
Sel d'epsom.	Sulfate de magnésie.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sel de glauber.	Sulfate de ſoude.
Sel d'oſeille du commerce.	Oxalate acidule de potaſſe.
Sel de Saturne.	Acétite de plomb.
Sel de ſedlitz.	Sulfate de magnéſie.
Sel de ſeignette.	Tartrite de ſoude.
Sel de ſeydſchutz.	Sulfate de magnéſie.
Sel fixe de tartre.	Carbonate de potaſſe.
Sel fuſible de l'urine.	Phoſphate de ſoude & d'ammoniaque.
Sel gemme.	Muriate de ſoude foſſile.
Sel marin.	Muriate de ſoude.
Sel marin argileux.	Muriate d'alumine.
Sel marin calcaire.	Muriate de chaux.
Sel natif de l'urine.	Phoſphate de ſoude & d'ammoniaque.
Sel polychreſte de Glaſer.	Sulfate de potaſſe.
Sel polychreſte de la Rochelle.	Tartrite de ſoude.
Sel ſédatif.	Acide boracique.
Sel végétal.	Tartrite de potaſſe.
Sel volatil d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel volatil de benjoin.	Acide benzoïque ſublimé.
Sel volatil de ſuccin.	Acide ſuccinique.
Sel volatil narcotique de vitriol.	Acide boracique.
Sels arſenicaux.	Arſeniates.
Sels formés avec l'eau régale.	Nitro-muriates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide acéteux avec différentes baſes.	Acétites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide acétique avec différentes baſes.	Acétates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide benzoïque avec différentes baſes.	Benzoates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide bombique avec différentes baſes.	Bombiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide boracique avec différentes baſes.	Borates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide camphorique avec différentes baſes.	Camphorates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide carbonique avec différentes baſes.	Carbonates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide citrique avec différentes baſes.	Citrates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide fluorique avec différentes baſes.	Fluates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide formique avec différentes baſes.	Formiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide lactique, ou de l'acide du petit lait aigri, avec différentes baſes.	Lactates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la veſſie, avec différentes baſes.	Lithiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes baſes.	Malates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide molybdique avec différentes baſes.	Molibdates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide muriatique avec différentes baſes.	Muriates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide muriatique oxigéné avec la potaſſe & la ſoude, découverts par M. Bertholet.	Muriates oxigénés.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitreux avec différentes baſes.	Nitrites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitrique avec différentes baſes.	Nitrates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide oxalique avec différentes baſes.	Oxalates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphoreux avec différentes baſes.	Phoſphites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphorique avec différentes baſes.	Phoſphates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide pruſſique, ou matiere colorante du bleu de Pruſſe, avec différentes baſes.	Pruſſiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide pyro-lignique avec différentes baſes.	Pyro-lignites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide pyro-mucique avec différentes baſes.	Pyro-mucites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide pyro-tartareux avec différentes baſes.	Pyro-tartrites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſaccho-lactique avec différentes baſes.	Saccho-lates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſébacique, ou de l'acide de la graiſſe, avec différentes baſes.	Sébates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſuccinique avec différentes baſes.	Succinates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfureux avec différentes baſes.	Sulfites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec différentes baſes.	Sulfates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide tartareux avec différentes baſes.	Tartrites.
Sélénite.	Sulfate de chaux.
Smalt.	Oxide de cobalt vitreux.
Soleil.	Or.
Soude aérée.	Carbonate de ſoude.
Soude cauſtique.	Soude.
Soude crayeuſe.	Carbonate de ſoude.
Soude effervescente.	
Soufre.	Soufre.
Spath calcaire.	Carbonate calcaire.
Spath cubique.	Fluate de chaux.
Spath fluor.	
Spath peſant.	Sulfate de Baryte.
Spath phoſphorique.	Fluate de chaux.
Spath vitreux.	
Spiritus Sylveſtris.	Gas acide carbonique.
Sublimé corroſif.	Muriate de mercure corroſif.
Sublimé doux.	Muriate de mercure doux.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Suc de citron.	Acide citrique.
Succin.	Succin.
Sucre de Saturne.	Acétite de plomb.

T.

TARTRE.	Tartrite acidule de potaſſe.
Tartre antimonié.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Tartre crayeux.	Carbonate de potaſſe.
Tartre crud.	Tartre.
Tartre de potaſſe.	Tartrite de potaſſe.
Tartre de ſoude.	Tartrite de ſoude.
Tartre émétique.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Tartre méphitique.	Carbonate de potaſſe.
Tartre ſoluble.	Tartrite de potaſſe.
Tartre ſtibié.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Tartre tartariſé.	Tartrite de potaſſe.
Tartre vitriolé.	Sulfate de potaſſe.
Terre argileuſe.	Argile, mélange d'alumine & de ſilice.
Terre calcaire.	Chaux.
Terre calcaire aérée.	Carbonate calcaire.
Terre calcaire effervescente.	Carbonate calcaire.
Terre de l'alun.	Alumine.
Terre du ſpath peſant.	Baryte.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Terre foliée criſtalliſée.	Acétite de ſoude.
Terre foliée du tartre.	Acétite de potaſſe.
Terre foliée mercurielle.	Acétite de mercure.
Terre foliée minérale.	Acétite de ſoude.
Terre glaiſeuſe.	Argile, mélange d'alumine & de ſilice.
Terre peſante.	Baryte.
Terre peſante aérée.	Carbonate de baryte.
Terre ſiliceuſe.	Silice. Terre ſilicée.
Turbith minéral.	Oxide de mercure jaune par l'acide ſulfurique.
Turbith nitreux.	Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.

V.

VÉNUS.	Cuivre.
Verdet.	Acétite de cuivre.
Verdet diſtillé du commerce.	Acétite de cuivre.
Vert-de-gris.	Oxide de cuivre vert.
Verre d'antimoine.	Oxide d'antimoine ſulfuré vitreux.
Vif-argent.	Mercure.
Vinaigre de Saturne.	Acétite de plomb.
Vinaigre diſtillé.	Acide acéteux.
Vinaigre radical.	Acide acétique.
Vitriol blanc.	Sulfate de zinc.
Vitriol bleu.	Sulfate de cuivre.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Vitriol calcaire.	Sulfate de chaux.
Vitriol d'argile.	Sulfate d'alumine.
Vitriol de chaux.	Sulfate de chaux.
Vitriol de Chypre. / Vitriol de cuivre.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de fer.	Sulfate de fer.
Vitriol de Goſlard.	Sulfate de zinc.
Vitriol de Mars.	Sulfate de fer.
Vitriol de potaſſe.	Sulfate de potaſſe.
Vitriol de ſoude.	Sulfate de ſoude.
Vitriol de Vénus.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de zinc.	Sulfate de zinc.
Vitriol magnéſien.	Sulfate de magnéſie.
Vitriol martial. / Vitriol vert.	Sulfate de fer.

Z.

ZINC.	Zinc.

Fin de la Synonymie ancienne & nouvelle.

SYNONYMIE
NOUVELLE ET ANCIENNE,
PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ACÉTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide acétique, ou vinaigre radical, avec différentes bases.
Acétites.	Sels formés par la combinaison de l'acide acéteux, ou vinaigre distillé, avec différentes bases.
Acétite alumineux.	Acete d'argile. Sel acéteux d'argile.
Acétite ammoniacal.	Acete ammoniacal. Esprit de Mendererus. Sel acéteux ammoniacal.
Acétite d'ammoniaque.	Acete ammoniacal.
Acétite de chaux.	Acete calcaire. Sel acéteux calcaire.
Acétite de cuivre.	Acete de cuivre. Verdet. Verdet distillé du commerce.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acétite de cuivre criſtallisé.	Criſtaux de Vénus.
Acétite de fer.	Acete martial. Sel acéteux martial.
Acétite de magnéſie.	Acete de magnéſie. Sel acéteux magnéſien.
Acétite de mercure.	Acete mercuriel. Terre foliée mercurielle.
Acétite de plomb.	Acete de plomb. Encre de ſympathie par la litharge. Sel de Saturne. Sucre de Saturne. Vinaigre de Saturne.
Acétite de potaſſe.	Acete de potaſſe. Terre foliée du tartre.
Acétite de ſoude.	Acete de ſoude. Sel acéteux minéral. Terre foliée criſtallisée. Terre foliée minérale.
Acétite de zinc.	Acete de zinc. Sel acéteux de zinc.
Acide acéteux.	Acide acéteux. Vinaigre diſtillé.
Acide acétique.	Eſprit de Vénus. Vinaigre radical.
Acide arſenique.	Acide arſenical.
Acide benzoïque.	Acide benzonique. Acide du benjoin. Sel de benjoin.
Acide benzoïque ſublimé.	Fleurs de benjoin. Sel volatil de benjoin.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide bombique.	Acide du ver à ſoie.
Acide boracique.	Acide boracin. Acide du bórax. Acide ſédatif. Sel ſédatif. Sel volatil narcotique de vitriol.
Acide carbonique.	Acide aérien. Acide athmoſphétique. Acide charbonneux. Acide crayeux. Acide méphitique. Air fixé. Eau aérée.
Acide camphorique.	Acide du camphre.
Acide citrique.	Acide citronien. Suc de citron.
Acide fluorique.	Acide fluorique. Acide ſpathique.
Acide formique.	Acide des fourmis. Acide formicin.
Acide gallique.	Acide gallique. Principe aſtringent.
Acide lactique.	Acide galactique. Petit lait aigri.
Acide lithique.	Acide bezoardique. Acide du calcul. Acide lithiaſique.
Acide malique.	Acide des pommes. Acide maluſien.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide muriatique.	Acide du sel marin. Acide marin. Esprit de sel. Esprit de sel fumant.
Acide muriatique oxigéné.	Acide marin aéré. Acide marin déphlogistiqué.
Acide nitreux.	Acide nitreux fumant. Acide nitreux phlogistiqué. Acide nitreux rutilant. Esprit de nitre fumant.
Acide nitreux du commerce.	Eau-forte.
Acide nitrique.	Acide nitreux blanc. Acide nitreux dégasé. Acide nitreux déphlogistiqué.
Acide nitrique étendu d'eau.	Esprit de nitre.
Acide nitro-muriatique.	Acide régalin. Eau régale.
Acide oxalique.	Acide de l'oseille. Acide du sucre. Acide oxalin. Acide saccarin.
Acide phosphoreux.	Acide phosphorique phlogistiqué. Acide phosphorique volatil.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide phoſphorique.	Acide de l'urine. Acide phoſphorique. Acide phoſphorique déphlogiſtiqué.
Acide pruſſique.	Matiere colorante du bleu de Pruſſe.
Acide pyro-lignique.	Eſprit acide empyreumatique du bois.
Acide pyro-mucique.	Acide ſyrupeux. Eſprit de miel, de ſucre, &c.
Acide pyro-tartareux.	Eſprit de tartre.
Acide ſaccho-lactique.	Acide du ſucre de lait. Acide ſacchlactique.
Acide ſébacique.	Acide du ſuif. Acide ſébacé.
Acide ſuccinique.	Acide du ſuccin. Sel volatil de ſuccin.
Acide ſulfureux.	Acide ſulfureux. Acide ſulfureux volatil. Acide vitriolique phlogiſtiqué. Eſprit de ſoufre.
Acide ſulfurique.	Acide du ſoufre. Acide vitriolique. Huile de vitriol.
Acide ſulfurique étendu d'eau.	Eſprit de vitriol.
Acide tartareux.	Acide du tartre. Acide tartareux.
Acides étendus d'eau.	Eſprits acides.
Acier.	Acier.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Air athmoſphérique.	Air athmoſphérique.
Alcohol.	Eſprit ardent. Eſprit-de-vin.
Alcohol nitrique.	Eſprit de nitre dulcifié.
Alkalis.	Alkalis cauſtiques. Alkalis en général.
Alliage.	Alliage des métaux.
Alumine.	Argile pure. Baſe de l'alun. Terre de l'alun.
Amalgame.	Amalgame.
Ammoniaque.	Alkali volatil. Alkali volatil cauſtique. Alkali volatil fluor. Alkali urineux.
Ammoniaque étendu d'eau.	Alkali volatil de ſel ammoniac.
Antimoine.	Régule d'antimoine.
Argent.	Argent. Diane. Lune.
Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.	Argile. Glaiſe. Terre argileuſe. Terre glaiſe.
Arome.	Eſprit recteur. Principe odorant.
Arſeniates.	Sels arſenicaux.
Arſenic.	Régule d'arſenic.

B.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
BARYTE.	Barote. Terre du ſpath peſant. Terre peſante.
Benzoates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide benzoïque avec différentes baſes.
Biſmuth.	Régule de biſmuth.
Bombiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide bombique avec différentes baſes.
Borate.	Borax.
Borates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide boracique avec différentes baſes.

C.

CALORIQUE.	Chaleur fixée. Chaleur latente. Matiere de la chaleur. Matiere du feu. Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Camphorates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide camphorique avec différentes baſes.
Carbonates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide carbonique avec différentes baſes.
Carbonates alkalins.	Alkalis efferveſcens.
Carbonate ammoniacal.	Alkali volatil concret. Alkali volatil efferveſcent. Craie ammoniacale. Méphite ammoniacal. Sel ammoniac crayeux. Sel d'Angleterre. Sel volatil d'Angleterre.
Carbonate calcaire.	Craie. Crême de chaux. Méphite calcaire. Pierre calcaire. Spath calcaire. Terre calcaire aérée. Terre calcaire efferveſcente.
Carbonate d'alumine.	Argile crayeuſe.
Carbonate de baryte.	Terre peſante aérée.
Carbonate de fer.	Craie martiale. Fer aéré. Méphite martial. Rouille de fer. Safran de Mars apéritif.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de plomb.	Craie de plomb. Méphite de plomb. Plomb ſpathique.
Carbonate de potaſſe.	Alkaeſt de Vanhelmont. Alkali fixe du tartre non cauſtique. Alkali fixe végétal. Alkali fixe végétal aéré. Alkali fixe végétal effervescent. Alkali végétal aéré. Méphite de potaſſe. Nitre fixé par lui-même. Sel fixe de tartre. Tartre crayeux. Tartre méphitique.
Carbonate de potaſſe impur.	Potaſſe du commerce.
Carbonate de ſoude.	Alkali fixe minéral aéré. Alkali fixe minéral effervescent. Alkali marin non cauſtique. Alkali minéral aéré. Alkali minéral effervescent. Baſe du ſel marin. Craie de ſoude. Criſtaux de ſoude. Méphite de ſoude. Natron. Natrum.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de soude.	Soude aérée. Soude crayeuse. Soude effervescente.
Carbonate de zinc.	Craie de zinc. Méphite de zinc.
Carbone.	Charbon pur. Principe charbonneux.
Carbure de fer.	Plombagine.
Chaux.	Chaux vive. Terre calcaire.
Chaux délayée dans l'eau.	Lait de chaux.
Chaux dissoute dans l'eau.	Eau de chaux.
Citrates.	Sels formés par la combinaison de l'acide citrique avec différentes bases.
Cobalt.	Cobalt. Cobolt. Régule de cobalt.
Cuivre.	Cuivre. Vénus.

E.

Eau de chaux.	Eau de chaux.
Eaux imprégnées d'acide carbonique.	Eaux acidules. Eaux gaseuses.
Eaux sulfurées. Eaux sulfureuses.	Eaux hépatiques.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Etain.	Etain. / Jupiter.
Ether.	Ether.
Ether acétique.	Ether acéteux.
Ether muriatique.	Ether marin.
Ether nitrique.	Ether nitreux.
Ether ſulfurique.	Ether vitriolique.
Extractif (l').	Extrait.

F.

FÉCULE.	Fécule des plantes.
Fer.	Fer. / Mars.
Fluates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide fluorique avec différentes baſes.
Fluate de chaux.	Fluor ſpathique. / Spath cubique. / Spath fluor. / Spath phoſphorique. / Spath vitreux.
Formiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide formique avec différentes baſes.

G.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
GAS.	Fluides aériformes. Fluides élaſtiques. Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide carbonique.	Air factice. Air fixe. Air ſolide de Hales. Gas acide crayeux. Gas méphitique. Gas ſylveſtre. Spiritus Sylveſtris.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique. Gas acide ſpathique.
Gas acide muriatique.	Air marin. Gas acide marin. Gas acide muriatique.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide ſulfureux.	Air acide vitriolique. Gas acide ſulfureux. Gas acide vitriolique.
Gas ammoniacal.	Air alkalin. Eſprit alkalin volatil. Gas alkali volatil. Gas alkalin.
Gas azotique.	Air gâté. Air phlogiſtiqué. Air vicié.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas azotique.	Gas athmoſphérique. Gas phlogiſtiqué. Moſete athmoſphérique.
Gas hydrogène.	Air inflammable. Gas inflammable. Phlogiſtique de M. Kirvan.
Gas hydrogène carboné.	Gas inflammable carboné. Gas inflammable charbonneux.
Gas hydrogène carbonique.	Gas inflammable carbonique.
Gas hydrogène des marais.	Air inflammable des marais. Gas inflammable des marais. Gas inflammable moſétiſé.
Gas hydrogène phoſphoré.	Gas inflammable phoſphoré. Gas phoſphorique.
Gas hydrogène ſulfuré.	Air puant du ſoufre. Gas hépatique. Gas inflammable ſulfuré.
Gas muriatique oxigéné.	Gas acide marin déphlogiſtiqué. Gas acide muriatique aéré.
Gas nitreux.	Gas nitreux.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas oxigène.	Air déphlogiſtiqué. Air du feu de Scheele. Air pur. Air vital.

H.

HUILES empyreumatiques.	Huiles empyreumatiques.
Huiles fixes.	Huiles douces. Huiles graſſes. Huiles par expreſſion.
Huiles volatiles.	Eſſences. Huiles eſſentielles. Huiles éthérées.
Huiles volatiles animales.	Huiles animales.

L.

LACTATES.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide lactique, ou de l'acide du petit lait aigri, avec différentes baſes.
Litharge.	Litharge.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Lithiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la veſſie, avec différentes baſes.

M.

MALATES.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes baſes.
Manganèſe (le).	Régule de manganèſe.
Mercure.	Mercure. Vif-argent.
Minium.	Minium.
Molibdates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide molybdique avec différentes baſes.
Molybdène (le).	Régule de molybdène.
Muqueux (le).	Mucilage.
Muriates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide muriatique avec différentes baſes.
Muriate calcaire.	Huile de chaux.
Muriate calcaire ſec.	Phoſphore de Homberg.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Muriate d'alumine.	Alun marin. Sel marin argileux.
Muriate d'ammoniaque.	Salmiac. Sel ammoniac.
Muriate d'antimoine fumant.	Beurre d'antimoine.
Muriate d'argent.	Argent corné. Lune cornée.
Muriate de chaux.	Eau mere du sel marin. Sel ammoniac fixe. Sel marin calcaire.
Muriate de cobalt.	Encre de sympathie par le cobalt.
Muriate de mercure corrosif.	Sublimé corrosif.
Muriate de mercure doux.	Sublimé doux.
Muriate de mercure doux sublimé.	Aquila alba.
Muriate de plomb.	Plomb corné.
Muriate de soude.	Sel commun. Sel marin.
Muriate de soude fossile.	Sel gemme.
Muriates oxigénés.	Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique oxigéné avec la potasse & la soude, découverts par M. Bertholet.

N.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
NICKEL.	Régule de nickel.
Nitrates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitrique avec différentes baſes.
Nitrate d'argent.	Criſtaux de lune. Nitre d'argent. Nitre lunaire.
Nitrate d'argent fondu.	Pierre infernale.
Nitrate de chaux.	Eau mere du nitre. Nitre calcaire.
Nitrate de potaſſe.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrate de ſoude.	Nitre cubique. Nitre quadrangulaire. Nitre rhomboïdal.
Nitre.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrites.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitreux avec différentes baſes.
Nitrite d'alumine.	Alun nitreux.
Nitro-muriates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitro-muriatique avec différentes baſes.

O.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
OR.	Or. Soleil.
Oxalates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide oxalique avec différentes baſes.
Oxalate acidule de poraſſe.	Sel d'oſeille du commerce.
Oxides métalliques.	Chaux métalliques.
Oxides métalliques ſublimés.	Fleurs métalliques.
Oxide d'antimoine ſulfuré rouge.	Kermès minéral.
Oxide d'antimoine ſulfuré vitreux.	Verre d'antimoine.
Oxide d'arſenic.	Arſenic blanc. Chaux d'arſenic.
Oxide d'arſenic blanc ſublimé.	Fleurs d'arſenic.
Oxide d'arſenic ſulfuré jaune.	Orpiment.
Oxide d'arſenic ſulfuré jaune & chaux, diſſous dans l'eau.	Encre de ſympathie par l'orpiment & la chaux.
Oxide d'arſenic ſulfuré rouge.	Arſenic rouge. Réalgal. Réalgar.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.	Blanc de fard. Magistere de bismuth.
Oxide de bismuth sublimé.	Fleurs de bismuth.
Oxide de cobalt gris avec silice.	Safre.
Oxide de cobalt vitreux.	Azur. Smalt.
Oxide de cuivre vert.	Rouille de cuivre. Vert-de-gris.
Oxide d'étain gris.	Potée d'étain.
Oxide d'étain sublimé.	Fleurs d'étain.
Oxide de fer.	Safran de Mars.
Oxide de fer brun.	Safran de Mars astringent.
Oxide de fer jaune.	Ocre.
Oxide de fer noir.	Ethiops martial.
Oxide de fer rouge.	Colcothar.
Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.	Turbith nitreux.
Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.	Précipité jaune. Turbith minéral.
Oxide de mercure noirâtre.	Ethiops per se.
Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.	Précipité rouge.
Oxide de mercure rouge par le feu.	Précipité per se.
Oxide de mercure sulfuré noir.	Ethiops minéral.
Oxide de mercure sulfuré rouge.	Cinnabre.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide d'or ammoniacal.	Or fulminant.
Oxide d'or par l'étain.	Pourpre de Caſſius. Précipité de Caſſius. Précipité d'or par l'étain.
Oxide de plomb.	Chaux de plomb.
Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.	Blanc de plomb. Céruſe.
Oxide de plomb demi-vitreux.	Litharge.
Oxide de plomb jaune.	Maſſicot.
Oxide de plomb rouge.	Minium.
Oxigène.	Baſe de l'air pur. Baſe de l'air vital. Empyrée. Oxigine. Principe acidifiant. Principe ſorbile de M. Ludbock.

P.

PHOSPHATES.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphorique avec différentes baſes.
Phoſphate de mercure.	Précipité roſe de mercure.
Phoſphate de ſoude & d'ammoniaque.	Sel fuſible de l'urine. Sel naïf de l'urine.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Phoſphites.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphoreux avec différentes baſes.
Phoſphore.	Phoſphore de Kunckel.
Phoſphures.	Combinaiſons du phoſphore non oxigéné avec différentes baſes.
Platine (le).	Juan blanca. Platina del Pinto. Platine (la).
Plomb.	Plomb. Saturne.
Potaſſe.	Alkali fixe du tartre cauſtique. Alkali fixe végétal cauſtique. Alkali végétal. Alkali végétal cauſtique.
Potaſſe fondue.	Pierre à cautere.
Potaſſe mêlangée de carbonate de potaſſe en déliqueſcence.	Huile de tartre par défaillance.
Principe hypothétique de Beccher.	Mercure des métaux. Principe mercuriel.
Principe hypothétique de Meyer.	Cauſticum.
Principe hypothétique de Stahl.	Phlogiſtique.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Prussiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matiere colorante du bleu de Prusse, avec différentes bases.
Prussiate de fer.	Bleu de Berlin. Bleu de Prusse.
Pyro-lignites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-ligneux avec différentes bases.
Pyro-mucites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-muqueux avec différentes bases.
Pyro-tartrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-tartareux avec différentes bases.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg.

S.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
SACCHO-LATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide saccho-lactique avec différentes bases.
Safre.	Safre.
Savons.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différentes bases.
Savons acides.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différens acides.
Savons métalliques.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec les substances métalliques.
Savonules.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différentes bases.
Savonules acides.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.
Savonules métalliques.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sébates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſébacique, ou de l'acide de la graiſſe, avec différentes baſes.
Silice.	Terre ſiliceuſe.
Soude.	Alkali marin. Alkali marin cauſtique. Alkali minéral. Alkali minéral cauſtique. Baſe du ſel marin. Soude cauſtique.
Soufre.	Soufre.
Soufre ſublimé.	Fleurs de ſoufre.
Succin.	Ambre jaune. Karabé. Succin.
Succinates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſuccinique avec différentes baſes.
Sulfates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec différentes baſes.
Sulfate d'alumine.	Alun. Vitriol d'argile.
Sulfate calcaire.	Plâtre.
Sulfate de Baryte.	Spath peſant.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfate de chaux.	Gypſe. Sélénite. Vitriol calcaire. Vitriol de chaux.
Sulfate de cuivre.	Couperoſe bleue. Vitriol bleu. Vitriol de Chypre. Vitriol de cuivre. Vitriol de Vénus.
Sulfate de fer.	Couperoſe verte. Vitriol de fer. Vitriol de Mars. Vitriol martial. Vitriol vert.
Sulfate de magnéſie.	Sel cathartique amer. Sel de canal. Sel d'epſom. Sel de ſedlitz. Sel de ſeydſchutz. Vitriol magnéſien.
Sulfate de potaſſe.	Arcanum duplicatum. Sel de duobus. Sel polychreſte de Glaſer. Tartre vitriolé. Vitriol de potaſſe.
Sulfate de ſoude.	Sel de glauber. Vitriol de ſoude.
Sulfate de zinc.	Couperoſe blanche. Vitriol blanc. Vitriol de Goſlard. Vitriol de zinc.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfites.	Sels formés par la combinaison de l'acide sulfureux avec différentes bases.
Sulfures.	Foies de soufre. Hépars.
Sulfures alkalins.	Foies de soufre alkalins. Hépars alkalins.
Sulfures calcaires.	Foies de soufre calcaires.
Sulfure d'alumine carboné.	Pyrophore de Homberg.
Sulfure d'antimoine.	Antimoine crud.
Sulfure d'antimoine natif.	Mine d'antimoine.
Sulfure de cuivre.	Pyrite de cuivre.
Sulfure de fer.	Pyrite martiale.
Sulfures métalliques.	Combinaisons du soufre avec les métaux.

T.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
TARTRE.	Tartre crud.
Tartrites.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide tartareux avec différentes baſes.
Tartrite acidule de potaſſe.	Crême de tartre. Criſtaux de tartre. Tartre.
Tartrite de chaux.	Tartre calcaire.
Tartrite de potaſſe.	Sel végétal. Tartre de potaſſe. Tartre ſoluble. Tartre tartariſé.
Tartrite de potaſſe antimonié.	Emétique. Tartre antimonié. Tartre émétique. Tartre ſtibié.
Tartrite de ſoude.	Sel de ſeignette. Sel polychreſte de la Rochelle. Tartre de ſoude.
Terre ſilicée.	Terre ſiliceuſe.

Z.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ZINC.	{ Régule de zinc. Zinc.

Fin de la Synonymie nouvelle & ancienne.

TABLE
DES CHAPITRES.

Les chiffres indiquent les Articles, & non les pages.

PRINCIPES de Phyſique. Article 1
CHAPITRE I. *Des Propriétés générales des corps.* 4
Etendue. 6
Diviſibilité. 7
Figurabilité. 10
Impénétrabilité. 11
Poroſité. 15
Raréfactibilité. 22
Condenſabilité. 23
Compreſſibilité. 24
Elaſticité. 31
Dilatabilité. 39

Mobilité. 40
Inertie. 41
CHAPITRE II. *Du Mouvement & de ſes Loix.* 46
1. *Force motrice.* 49
Force morte. 50
Force vive. 51
2. *Maſſe des corps.* 52
3. *Direction des Mouvemens.* 53
4. *Eſpace parcouru.* 54
5. *Temps employé.* 55
6. *Vîteſſe.* 56
Vîteſſe uniforme. 57
Vîteſſe accélérée. 58
Vîteſſe retardée. 59
Vîteſſe abſolue. 60
Vîteſſe relative. 61
Vîteſſe reſpective. 62
7. *Quantité du Mouvement.* 63
Mouvement abſolu. 65
Mouvement relatif. 66
Mouvement ſimple. 67
Mouvement compoſé. 68

Mouvement rectiligne. 69
Mouvement curviligne. 70
Mouvement réfléchi. 71
Mouvement réfracté. 72
Loix du Mouvement. 73
I. *Loix du Mouvement ſimple.* 74
Réſiſtance des Milieux, ou des Fluides. 76
Réſiſtance des Frottemens. 96
II *Loix du Mouvement ſimple.* 111
III *Loix du Mouvement ſimple.* 112
CHAPITRE III. *Des cauſes qui changent la direction du Mouvement.* 113
Changement de direction occaſionné par une matiere fluide; ou Réfraction. 114
Changement de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable & fixe; ou Réflexion. 128
Changement de vîteſſe & de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable, & qui peut être déplacé; ou Choc des corps. 136
Choc des corps non élaſtiques. 141
Choc des corps élaſtiques. 148

CHAPITRE IV. *Des Loix du Mouvement composé.* 159
Loi du Mouvement composé. 160
Mouvement composé en ligne droite. 161
Mouvement composé en ligne courbe. 168
CHAPITRE V. *Des Forces centrales.* 172
CHAPITRE VI. *De la Gravité ou Gravitation des corps.* 194
CHAPITRE VII. *De la Pesanteur des corps.* 198
Phénomenes où la Pesanteur agit seule sur les corps. 200
Phénomenes où le mouvement est composé de la pesanteur & de quelque autre puissance. 228
Chûte des corps par les plans inclinés. 231
Mouvement d'Oscillation. 258
Mouvement de Projection. 270
CHAPITRE VIII. *De l'Hydrodynamique.* 277
De l'Hydrostatique, ou de la Pesanteur & de l'Equilibre des Fluides. 278
Pesanteur & Equilibre d'un fluide seul & homogene. 283

Pesanteur & Equilibre de plusieurs Fluides dont les densités sont différentes. 297

Pesanteur & Equilibre des Solides plongés dans les Fluides. 315

Phénomenes des Tuyaux capillaires. 343

De l'Hydraulique; ou du Mouvement des Fluides. 358

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par de petits orifices. 359

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par des tuyaux additionnels. 381

Des Jets d'eau. 398

Des Pompes. 410

Mouvemens des Eaux dans les tuyaux de conduite. 434

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans un Siphon. 444

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans les Ondes. 447

Mouvement des Roues mues par le choc de l'eau. 451

Mouvement des Roues mues par le poids de l'Eau. 458

CHAPITRE IX. *De la Mécanique ſtatique.* 46
Du Levier. 47
De la Poulie. 48
Des Roues. 51
Du Treuil. 52
Du Cabeſtan. 52
Du Cric. 53
Du Plan incliné. 53
Du Coin. 54
De la Vis. 55
De la Vis ſans fin. 55
De la Vis d'Archimedes. 56
Des réſiſtances qu'éprouvent les Machines lorſqu'elles ſont prêtes à ſe mouvoir. 57
De la Roideur des cordes. 57
CHAPITRE X. *Des Fluides élaſtiques.* 58
Baſes des Fluides élaſtiques. 61
Compoſition des Acides, &c. 62
Fluides élaſtiques vivifians. 64
Air athmoſphérique. 64
Air pur ou vital, ou Gas oxigène. 64
Fluides élaſtiques ſuffoquans. 67

Gas non-salins. 672
Gas azotique. 673
Gas nitreux. 691
Gas muriatique oxigéné. 717
Gas salins. 734
Gas acide carbonique. 735
Gas acide muriatique. 767
Gas acide sulfurique. 786
Gas acide fluorique. 795
Gas ammoniacal. 804
Gas hydrogènes ou inflammables. 815
Gas hydrogène pur. 832
Gas hydrogène sulfuré. 854
Gas hydrogène phosphoré. 862
Gas hydrogène carboné. 868
Gas hydrogène carbonique. 874
Gas hydrogène des marais. 879
Pesanteurs spécifiques des Fluides élastiques. 884
CHAPITRE XI. *Des Propriétés de l'Air.* 886
L'Air considéré en lui-même. 888
L'Air considéré comme atmosphere terrestre. 953

L'athmosphere considérée comme un Fluide en repos. 9[illegible]

L'athmosphere considérée comme un Fluide agité. 99[illegible]

Du Son. 99[illegible]

Des Vents. 10[illegible]

CHAPITRE XII. *Des Propriétés de l'Eau.* 104[illegible]

L'Eau considérée dans l'état de liqueur. 104[illegible]

L'eau considérée dans l'état de vapeurs. 106[illegible]

L'eau considérée dans l'état de glace. 106[illegible]

CHAPITRE XIII. *De la Nature & des Propriétés du Feu.* 109[illegible]

De la Nature du Feu. 110[illegible]

Des moyens par lesquels on peut exciter l'action du Feu. 111[illegible]

De la maniere dont l'action du Feu se propage. 112[illegible]

Des effets du Feu sur les corps. 113[illegible]

Des moyens d'augmenter ou de diminuer l'action du Feu. 115[illegible]

Du refroidissement. 116[illegible]

CHAPITRE XIV. *De la Nature & des Propriétés de la Lumiere.* 117[illegible]

De la Propagation de la Lumiere. 1178
Des Directions que ſuit la Lumiere dans ſes différens mouvemens. 1183
Des Principes de l'Optique. 1187
Des Principes de la Catoptrique. 1216
Du Miroir plan. 1238
Du Miroir priſmatique. 1246
Du Miroir pyramidal. 1247
Du Miroir convexe. 1248
Du Miroir concave. 1252
Du Miroir elliptique. 1265
Du Miroir parabolique. 1266
Du Miroir cylindrique. 1267
Du Miroir conique. 1273
Des Principes de la Dioptrique. 1278
Des Lentilles. 1355
Des Verres concaves. 1365
Des Couleurs. 1369
Théorie des Couleurs. 1373
Expériences ſur leſquelles eſt fondée la Théorie des Couleurs. 1397
Des Couleurs conſidérées dans les objets qui nous les font ſentir. 1476

CHAPITRE XV. *De la Vision des objets.* 1494
De la Vision naturelle. 1498
De la Vision artificielle & des Instrumens d'Optique. 1556
Des Lunettes. 1558
Des Polemoscopes. 1561
Des Optiques. 1564
Des Chambres noires. 1566
Des Téleſcopes dioptriques. 1574
Téleſcope de Galilée. 1579
Téleſcope aſtronomique. 1590
Téleſcope aérien. 1603
Téleſcope terreſtre, ou Lunette d'approche. 1612
Lunette d'approche de nuit. 1620
Des Téleſcopes catadioptriques. 1623
Téleſcope Newtonien. 1627
Téleſcope Grégorien. 1633
Téleſcope de Caſſegrain. 1638
Téleſcope de Jacques Le Maire. 1643
Des Lunettes achromatiques. 1647
Des Microſcopes. 1658

Microſcope

Microſcope ſimple. 1660
Microſcope compoſé. 1666
Microſcope ſolaire. 1672
CHAPITRE XVI. *De l'Aſtronomie phyſique.* 1678
Des Phénomenes céleſtes, ſelon le ſyſtême de Copernic. 1711
Des Etoiles. 1712
Du Soleil. 1740
Des Planetes. 1758
Des Planetes primitives. 1780
Des Planetes ſecondaires. 1857
Des Cometes. 1895
Des Mouvemens, particuliérement de la Terre, du Soleil, & de la Lune; & des Phénomenes qui en réſultent. 1901
De la Terre. 1902
Des Saiſons. 1936
Du Soleil. 1941
De la Lumiere zodiacale. 1954
De la Diviſion du temps. 1961
De la Lune. 1993

Des Eclipſes. 2009
CHAPITRE XVII, *Du Flux & Reflux.* 2034
Théorie du Flux & Reflux. 2055
CHAPITRE XVIII. *Du Magnétiſme.* 2085
Attraction magnétique. 2093
Répulſion magnétique. 2106
Direction magnétique. 2112
Déclinaiſon magnétique. 2114
Inclinaiſon magnétique. 2119
Communication de la vertu magnétique. 2125
Méthode de M. Knight. 2129
Méthode de M. Canton. 2130
Méthode de M. Mitchell. 2135
Méthode de M. Pierre Le Maire. 2141
Méthode de M. Duhamel. 2142
Méthode de M. Antheaume. 2153
Manieres d'aimanter ſans aimant. 2157
Méthode de M. Canton. 2158
Méthode de M. Mitchell. 2160
Méthode de M. Antheaume. 2164
Avantages des Aimans artificiels. 2167

Quelles ſont les eſpeces d'acier qu'il faut préférablement employer pour faire des Aimans artificiels. 2172
De la Bouſſole. 2182
Des cauſes des Propriétés magnétiques. 2189
Théorie du Magnétiſme d'Æpinus. 2199
CHAPITRE XIX. *De l'Electricité.* 2219
De la nature de la vertu électrique. 2224
Des moyens de faire naître la vertu électrique. 2239
Des ſignes par leſquels la vertu électrique ſe manifeſte. 2249
Des principaux Inſtrumens qui ſervent à produire les Phénomenes électriques. 2251
Des Phénomenes électriques. 2275
Théorie de l'Electricité de M. Dufay. 2307
Théorie de l'Electricité de M. l'Abbé Nollet. 2331
Théorie de l'Electricité de M. Jallabert. 2372
Théorie de l'Electricité de M. Franklin. 2400
Théorie de l'Electricité de M. Æpinus. 2461

Propositions fondamentales. 2510
Explication des Phénomenes. 2546
Analogie entre les effets du Tonnerre & ceux de l'Electricité, 2599
Aurores boréales. 2608
Des Trombes. 2612

Fin de la Table des Chapitres.

TRAITÉ

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE,

Ou Principes de Physique, fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, & confirmés par l'expérience.

1. LA Physique est, de toutes les Sciences, la plus étendue; elle a pour objet tous les corps de la Nature. On ne pourroit tout au plus lui comparer, à cet égard, que l'Histoire Naturelle: encore l'objet de cette derniere n'est-il pas aussi général; car elle ne traite que des substances terrestres: & le domaine de la Physique n'est pas restreint à la terre; il s'étend jusque dans les cieux.

2. L'objet de la Physique, & principalement de la Physique expérimentale, qui est celle dont nous traitons, est de connoître les phénomenes de

la Nature, & d'en montrer les cauſes par des preuves de fait. C'eſt par les faits que nous acquérons la connoiſſance des phénomenes; & d'autres faits nous en démontrent les cauſes.

3. Il y a cependant un certain nombre de faits dont nous ignorons complettement la cauſe; car nous ne ſavons pas tout, à beaucoup près. Ceux de ces faits qui ſont toujours uniformes, toujours conſtans, ſont ce que les Phyſiciens appellent *Propriétés*; & ils en font uſage pour rendre raiſon d'un grand nombre de phénomenes. Nous ne connoiſſons pas toutes les propriétés des corps: une preuve de cela, c'eſt que nous en découvrons de temps en temps de nouvelles. Et qui eſt-ce qui peut aſſurer avoir découvert la derniere? Parmi celles qui ſont connues, les unes appartiennent à tous les corps indiſtinctement; les autres n'appartiennent qu'à certains corps, excluſivement à d'autres. Les premieres s'appellent *Propriétés générales*: telles ſont l'*Etendue*, la *Diviſibilité*, la *Figurabilité*, l'*Impénétrabilité*, la *Poroſité*, la *Raréfactibilité*, la *Condenſabilité*, la *Compreſſibilité*, l'*Elaſticité*, la *Dilatabilité*, la *Mobilité*, & l'*Inertie*. On nomme les ſecondes, *Propriétés particulieres*: telles ſont la *Malléabilité*, la *Fluidité*, la *Liquidité*, &c.

Nous allons traiter d'abord des propriétés générales: nous traiterons enſuite des particulieres.

CHAPITRE I.

Des Propriétés générales des corps.

4. ON appelle *Corps*, toutes les ſubſtances matérielles dont l'aſſemblage compoſe l'Univers, & qui ſe font ſentir à nous par le moyen de quelques-uns de nos ſens.

5. On ne peut connoître les propriétés des corps que par l'expérience : nous devons donc regarder comme des propriétés générales, celles qui ſe trouvent dans tous les corps, & que nos ſens nous y font appercevoir.

Étendue.

6. Ce qui ſe préſente le premier à nos ſens ou même à nos idées, lorſque nous examinons ou que nous concevons un corps, c'eſt ſon *Étendue*; c'eſt-à-dire, une grandeur déterminée, dans laquelle nous concevons toujours une agrégation de parties. Cette étendue a toujours trois dimenſions, *longueur*, *largeur*, & *profondeur* ou *épaiſſeur*, que les Géometres conſiderent ſouvent & meſurent ſéparément l'une de l'autre, mais que les Phyſiciens ne ſéparent jamais, car ils regardent toujours les choſes telles qu'elles ſont. Or chaque corps,

quelque petit qu'il ſoit, a toujours un deſſus & un deſſous, une partie antérieure & une partie poſtérieure, un côté droit & un côté gauche : toutes ces choſes, priſes enſemble, forment néceſſairement une longueur, une largeur, & une épaiſſeur. Chaque corps ayant ces trois dimenſions, eſt donc néceſſairement *étendu*. Il eſt vrai que nous ne voyons pas ces trois dimenſions dans tous les corps; il y en a de ſi petits, que nos yeux ne peuvent les appercevoir, ni nos doigts les diſtinguer : mais comme dans tous les corps qui tombent ſous nos ſens, nous appercevons cette étendue, nous pouvons affirmer qu'elle appartient à tous les corps en général.

Diviſibilité.

7. Nous ne pouvons pas avoir l'idée d'un corps, ſans concevoir une agrégation de parties (6) : nous regardons donc tous les corps comme compoſés de parties. Il eſt aiſé de concevoir que ces parties, ainſi réunies pour former un corps, peuvent être ſéparées les unes des autres : cela étant ainſi, tous les corps ſont diviſibles. La *Diviſibilité* eſt donc une propriété génétale des corps; & il n'y a de réellement indiviſible que les atomes, en cas qu'ils exiſtent. Cette diviſibilité eſt prouvée relativement aux corps d'une grandeur ſenſible : perſonne n'ignore qu'un tel corps peut être partagé en 2, en 4, en

6, en 10, en 1000, &c. Mais jusqu'où va cette divisibilité? Lorsqu'on a poussé la division jusqu'à un certain point, les corps cessent-ils d'être divisibles, ou le sont-ils à l'infini? C'est une question qui a occupé les Physiciens beaucoup plus qu'elle ne le mérite. Il est sûr que la division des corps peut être portée fort loin, & plus loin même que l'imagination n'eût pu le faire croire, si elle n'avoit été aidée par les faits. Aussi n'y a-t-il que cette divisibilité en parties extrêmement ténues, qui puisse être prouvée par l'expérience.

Expérience. Que l'on divise un morceau de bois au point de le réduire en poussière impalpable; chacune de ces molécules de bois, toute petite qu'elle est, est encore très-divisible; car elle est encore bois, & par conséquent un être composé de principes très-différens les uns des autres, tels que d'eau, de terre, de parties huileuses, salines, &c. qu'on peut séparer par la combustion, & dont les uns se dissipent sous la forme de flamme, & d'autres sous celle de fumée, tandis que d'autres demeurent fixes & forment de la cendre, du sel, &c. Quelle division ne faut-il pas pour cela?

Expérience. Si vous faites dissoudre quelques grains de cuivre dans un peu d'acide nitreux, & que vous étendiez cette dissolution d'une assez grande quantité d'eau, toute la liqueur en sera sensiblement teinte. Quelle extrême division ne

faut-il pas encore pour cela ? Car pour que la couleur ſoit ſenſible, il doit y en avoir pluſieurs particules en chaque goutte d'eau. Cependant chacune de ces particules eſt encore diviſible ; car elle eſt encore du cuivre, que l'on peut recueillir en faiſant évaporer le diſſolvant : elle eſt donc un être encore compoſé de principes très-différens les uns des autres.

EXPÉRIENCE. Si vous vous promenez dans un jardin garni de fleurs & d'arbres odorans, tels que des orangers, des roſiers, des tubéreuſes, &c. l'air eſt tellement parfumé de l'odeur de ces fleurs, qu'on la ſent par-tout. Juſqu'à quel degré de ténuité ne doivent pas être réduites ces petites particules odorantes, & juſqu'à quel point ne doit pas être portée leur diviſion, pour être diſtribuées dans un auſſi grand eſpace, elles qui en occupoient un ſi petit dans la fleur qui les a fournies ? Cependant elles ſont encore diviſibles ; car il eſt probable que la maniere dont chacune affecte notre organe, & qui la fait ſi bien diſtinguer des autres, dépend de la différente combinaiſon des principes qui la conſtituent telle.

8. On pourroit citer encore beaucoup d'exemples, qui prouvent tous que la matiere eſt diviſible en parties encore plus ténues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié : tels ſont les Arts du Batteur d'or, du Fileur d'or, du

Teinturier, &c. Le Batteur d'or eſt celui qui réduit l'or en feuilles minces, telles que celles dont nous faiſons uſage pour nos dorures. Le degré d'aminciſſement de ces feuilles eſt tel, que, ſuivant les obſervations de *Réaumur*, il en faudroit environ trente mille les unes ſur les autres, pour faire l'épaiſſeur d'une ligne. Et ſelon *Boyle* (*de Mirâ Subtilitate Effluviorum*, *cap.* 2.), 50 pouces quarrés de ces feuilles ne peſent qu'un grain. Mais un pouce peut être diviſé en 200 : chaque pouce quarré fournira donc 200 petites bandes ; & chaque bande 200 petits quarrés, dont chacun s'apperçoit aiſément à l'œil, & eſt par conſéquent encore très-diviſible. Chaque pouce quarré donnera donc 40000 parties viſibles, qui, multipliées par 50, nombre de pouces quarrés que peut fournir un grain d'or, donnent 2000000. L'Art du Fileur d'or offre encore un réſultat plus ſurprenant : il a été bien obſervé par *Réaumur*. (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1713, *page* 204 *& ſuiv.*) Le Fileur d'or eſt celui qui prépare le fil d'argent doré dont on ſe ſert pour fabriquer les étoffes, les galons, la broderie, &c. Avec une quantité de feuilles d'or, qui n'excede jamais le poids de ſix onces, & qu'on diminue quelquefois preſque juſqu'à une, on couvre un cylindre d'argent d'environ 22 pouces de longueur, 15 lignes de diametre, & du poids de 45 marcs. On fait paſſer ce rouleau doré ſucceſſivement

par les trous d'une lame d'acier, qui vont en décroiſſant, de façon qu'en s'alongant aux dépens de ſon diametre, il devient auſſi délié qu'un cheveu, & d'une longueur qui égale celle de 193920 toiſes ou de près de 85 lieues de 2283 toiſes chacune. Pendant cette opération, l'or s'étend ſur le fil d'argent, de façon que l'argent ne demeure découvert nulle part. On paſſe enſuite ce fil doré entre deux rouleaux d'acier poli, pour en former une lame, ce qui l'alonge encore d'un ſeptieme; & cette lame ſe trouve dorée deſſus & deſſous. Cela fournit donc deux lames d'or de chacune 97 lieues de long. En combien de parties ne pourroit-on pas diviſer une pareille longueur? Mais la couche d'or, en s'étendant, s'amincit au point que, ſelon *Réaumur*, elle n'a plus que la 525000^{e} partie d'une ligne d'épaiſſeur. Doit-on être étonné, d'après cela, que le frottement faſſe ſi promptement, de nos galons d'or, des galons d'argent? L'Art du Teinturier ne prouve pas moins la prodigieuſe diviſibilité de la matiere. Il ne faut qu'une petite quantité de matiere colorante, pour teindre une piece de drap. Suppoſons qu'on mette bout à bout tous les brins de laine qui compoſent cette piece. Quelle prodigieuſe longueur cela ne donneroit-il pas? Combien de fois y pourroit-on paſſer le ciſeau? Chaque partie détachée ſeroit un petit cercle, coloré dans toute ſa circonférence, & qui

pourroit se diviser au moins en 360 parties, comme le font les Géometres. L'imagination se refuse presque à de pareils nombres.

9. Mais quand nous avons poussé aussi loin que nous le pouvons la division des corps, & que les moyens de la pousser plus loin nous manquent, que devons-nous penser du reste? La matiere est-elle enfin divisible à l'infini, ou non? C'est une question à laquelle il est difficile de répondre, mais qui heureusement nous importe peu. Quant à nous, nous croyons devoir regarder la matiere en elle-même comme divisible à l'infini, ou du moins à l'indéfini; c'est-à-dire que nous ne connoissons point de terme de division, après lequel on puisse regarder chaque molécule de la matiere, ainsi divisée, comme indivisible en elle-même, quoique nous manquions d'agens pour entamer ces petites masses : car chacune de ces molécules est une agrégation de parties (6); chacune contient deux moitiés réunies, que l'on conçoit pouvoir être séparées; après laquelle séparation on en pourroit dire autant de chacune de ces moitiés, & ainsi de suite à l'infini. Voici donc à quoi peut se réduire la question. La divisibilité idéale, celle que l'on peut concevoir, n'a point de bornes. La divisibilité physique, possible à l'infini ou non, est une affaire de système, est une question qui ne pourra jamais être décidée, parce qu'il y aura toujours un terme

après lequel nous manquerons de moyens. Enfin la diviſibilité portée juſqu'à un point extrême, & en parties encore plus ténues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié, eſt la ſeule certaine, la ſeule que l'expérience peut prouver.

Figurabilité.

10. On entend par ce mot *Figurabilité*, la propriété qu'ont tous les corps d'avoir toujours une figure quelconque. En effet, il eſt aiſé de concevoir qu'aucun corps ne peut exiſter ſans être figuré. Car chaque corps, grand ou petit, eſt compoſé d'une certaine quantité de matiere, que l'on appelle ſa *maſſe*: cette maſſe occupe plus ou moins d'eſpace; c'eſt ce qu'on appelle ſon *volume*: ce volume ne peut pas n'être pas terminé par des ſurfaces: ces ſurfaces ont néceſſairement entre elles un certain arrangement, un certain ordre. C'eſt cet ordre ou cet arrangement que prennent entre elles les ſurfaces qui terminent le volume des corps, qu'on appelle *figure*. Comme il n'y a point de corps qui ne ſoit terminé par des ſurfaces, que ces ſurfaces ne ſe confondent point, & qu'elles ſe diſtinguent toujours les unes des autres, au moins par des ſituations relatives, il eſt évident qu'il n'y a point de corps qui n'ait une figure quelconque. Il n'en faut pas même excepter ceux dont la petiteſſe eſt cauſe que leur figure échappe à nos

yeux : si nos sens étoient plus délicats, ou que nous les aidassions d'un microscope, nous distinguerions les surfaces de ces petits corps, & par conséquent leur figure. Être figuré est donc une qualité qui accompagne les corps dans tous les états : la *Figurabilité* est donc une propriété commune à tous les corps, grands ou petits.

Les surfaces qui terminent les corps, peuvent varier, & varient effectivement à l'infini, soit par leur grandeur, soit par leur nombre, soit par leur arrangement respectif. D'où il suit que les figures des corps sont aussi variables, & peut-être aussi variées entre elles, qu'il est possible de combiner ensemble la grandeur, le nombre & l'ordre des superficies. Je suis assez porté à croire qu'on ne pourroit pas trouver, dans une forêt entiere, deux feuilles qui se ressemblassent en tout.

Impénétrabilité.

11. On entend par *Impénétrabilité*, la propriété qu'ont tous les corps de ne point laisser prendre toute la place qu'ils occupent, par d'autres corps, que préalablement ces autres corps ne les aient chassés de là. Cette propriété s'appelle aussi *solidité*. C'est par elle que les corps résistent à ceux qui tendent à occuper leur place. Cette résistance est non seulement commune, mais même essentielle à tous les corps : cela est vrai, soit qu'on considere

les corps dans leur tout, soit qu'on n'ait égard qu'à leurs parties les plus simples. C'est aussi le signe le moins équivoque de leur existence. Des illusions d'optique en imposent quelquefois à nos yeux; nous sommes tentés de prendre des fantômes pour des réalités : mais, en touchant, nous nous assurons du vrai, par la résistance que nous éprouvons, & par la persuasion intime où nous sommes que tout ce qui résiste est corps, est *solide*, est *impénétrable*; & qu'on ne peut placer le doigt ou autre chose dans un lieu qui est occupé par une matiere quelconque, sans employer une force capable de la pousser ailleurs. Cette résistance, qui est l'effet de l'impénétrabilité des corps, se trouve dans tous, comme nous le prouve l'expérience journaliere. Il est vrai qu'il y a tel cas où elle échappe à nos sens ou à notre attention. Certains corps nous touchent sans cesse, nous touchent par-tout également : l'habitude nous a rendu leur contact si familier, que nous avons besoin d'y réfléchir pour reconnoître l'impression qu'ils font sur nous. Quand on agit dans un air calme, on ne fait pas attention qu'on a continuellement à vaincre la résistance d'un corps dont la solidité s'oppose à nos mouvemens. Lorsque nous agissons si peu, nous croyons ne point agir. Si donc l'on prouve que l'air, ce fluide si peu résistant, a une résistance & une solidité réelles, à plus forte raison l'accordera-t-on

aux autres corps, qui ſont plus réſiſtans que lui.

EXPÉRIENCE. Prenez un cylindre de métal très-fort, fermé par un bout & ouvert par l'autre, & intérieurement bien cylindrique : ce cylindre étant plein d'air, mettez-y un piſton qui y ſoit ſi bien ajuſté, qu'il ne laiſſe pas paſſer l'air entre ſes parois & celles du cylindre. Avec une certaine force, vous pourrez enfoncer le piſton juſqu'à une certaine profondeur, parce que l'air eſt un fluide compreſſible (899), & qui cede une partie de ſa place à la force qui le comprime : mais il n'y a point de force connue qui puiſſe faire enfoncer le piſton au point de le faire toucher le fond du cylindre : il reſtera toujours entre lui & ce fond, une lame d'air qui ſera d'autant plus mince, & aura d'autant plus de denſité, que la force employée aura été plus grande ; & cette lame d'air ne ſera jamais réduite à zéro. L'air oppoſe donc une réſiſtance réelle aux corps qui tendent à le déplacer ; à plus forte raiſon, les autres corps, plus réſiſtans que lui, jouiſſent-ils de cette propriété.

12. C'eſt cette réſiſtance de l'air qui eſt cauſe qu'on ne peut pas remplir de liqueur une bouteille pleine d'air, ſi le canal de l'entonnoir remplit trop exactement le goulot de la bouteille : ſi l'air ne peut pas ſortir, ſa réſiſtance empêche la liqueur d'entrer. C'eſt par la même raiſon qu'un tonneau,

percé d'un trou de vrille, ne laisse point écouler la liqueur qu'il contient : l'air qui se présente au trou, résiste à cet écoulement, à moins que le trou ne soit assez grand pour donner en même temps un passage libre aux deux fluides, qui coulent en sens contraire.

13. Il y a cependant certains corps qui paroissent se laisser pénétrer par d'autres ; mais ce n'est qu'une pénétration apparente, & point du tout réelle. Une éponge, par exemple, reçoit & retient intérieurement une grande quantité d'eau ; mais cette eau va se loger seulement dans les vides qui se trouvent entre les parties de l'éponge, & n'occupe nullement la place des parties propres de l'éponge. On en peut dire autant d'un morceau de sucre, d'une pierre tendre, &c. La pierre des carrieres de *Bouré*, près Montrichard, à neuf lieues de Tours, retient plus de 25 livres d'eau par pied cube. Mais cette eau ne va occuper que des espaces que les parties de la pierre ou du sucre laissent entre elles vides de leur propre substance, & jamais la place qu'occupent ces parties elles-mêmes. Deux chopines, l'une d'eau & l'autre d'esprit-de-vin, mêlées ensemble, ne suffisent pas pour remplir une pinte. Un vase plein d'eau admet encore beaucoup de sable ou de cendre.

EXPÉRIENCE. A un volume d'eau de cinq pouces cubes ajoutez un pareil volume de cendre, le volume

du mélange ne ſera que de ſix pouces cubes. Voilà donc 4 dixiemes du volume total abſorbés par la pénétration apparente.

14. Il faut donc diſtinguer la grandeur apparente des corps, de leur *ſolidité* réelle; car il reſte des vides entre les parties de ces corps; & l'*Impénétrabilité*, dont il eſt ici queſtion, n'appartient qu'aux parties ſolides des corps, qui ſe trouvent liées enſemble dans le même tout, & non pas au compoſé qui en réſulte.

Poroſité.

15. Nous venons de dire qu'entre les parties ſolides des corps, il y a des interſtices vides de leur propre ſubſtance (13): c'eſt-là ce que l'on appelle *Pores*. Tels ſont les trous que l'on voit dans une éponge; ce ſont autant de pores de l'éponge: tels ſont encore les petits trous que l'on voit dans une lame mince de bois, qu'on obſerve avec un microſcope.

Il n'y a point de corps dont les parties ſoient tellement rapprochées les unes des autres, qu'il ne reſte entre elles aucun interſtice vide de leur propre ſubſtance. La *Poroſité* eſt donc une propriété générale, & qui appartient à tous les corps; mais elle n'appartient pas à tous au même degré: les uns ont une plus grande poroſité que les autres; & cette plus grande poroſité ſe meſure par la moindre

peſanteur ſpécifique ; car la poroſité eſt en raiſon inverſe de cette peſanteur. Les pores les plus ouverts ne ſont pas toujours une preuve de la plus grande poroſité : le nombre compenſe, & même ſurpaſſe quelquefois, ce que fait la grandeur. Par exemple, les pores du bois de chêne ſont beaucoup plus ouverts que ceux du liége : cependant le bois de chêne a une poroſité moindre que celle du liége ; car, à volume égal, il peſe plus que lui.

16. Quoique nous ſachions que la poroſité appartient à tous les corps, & que nous connoiſſions, par le poids, le rapport de la poroſité d'un corps à celle d'un autre corps, nous ignorons cependant la quotité de cette poroſité. Pour connoître ſa valeur, il nous faudroit une matiere toute ſolide, une matiere qui n'eût point de pores, ou du moins une matiere dont la poroſité abſolue nous fût connue : alors le rapport de ſon poids au poids d'un autre corps, à volume égal, nous donneroit le rapport des poroſités de ces deux corps, & par conſéquent leurs poroſités abſolues. Mais nous ne connoiſſons point de matiere de ces eſpeces. Le platine & l'or, qui ſont de tous les corps les plus peſans, ont cependant des pores ; car le mercure & l'acide nitro-muriatique, dit *eau régale*, s'inſinuent entre leurs parties & les diſſolvent ; & leur poroſité eſt même aſſez conſidérable.

Suivant

Suivant *Newton* (*Trait. d'Opt. liv. 2, part. 3, prop. 8, page 313*), l'or a plus de pores que de parties ſolides. Quelle doit donc être la poroſité des autres corps? Cette poroſité eſt en raiſon inverſe de la denſité, ou peſanteur ſpécifique : or la denſité de l'or eſt à celle de l'eau à peu près comme $19\frac{1}{4}$ eſt à 1 ; & elle eſt à celle de l'air, comme environ 15627 eſt à 1. Mais comment concevoir une auſſi grande poroſité? *Newton*, dans l'endroit cité ci-deſſus, *page 315*, nous en donne le moyen de la maniere ſuivante. » Si nous concevons, dit-il, » que ces particules (des corps) puiſſent être telle-» ment diſpoſées, que les intervalles ou eſpaces » vides qu'il y a entre elles ſoient égaux en quan-» tité à toutes ces particules priſes enſemble ; & » que ces particules ſoient compoſées d'autres plus » petites, qui aient entre elles des eſpaces vides » d'une quantité égale à celle de toutes ces plus » petites particules ; & que ces plus petites parti-» cules ſoient pareillement compoſées d'autres » beaucoup plus petites, qui toutes enſemble ſoient » égales à tous les pores ou eſpaces vides qu'il y » a entre elles ; & ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'on » vienne à des particules ſolides, qui n'aient nuls » pores ou eſpaces vides ; & que dans un certain » corps il y ait, par exemple, trois pareils degrés » de particules, les moindres deſquelles ſoient » ſolides, ce corps aura ſept fois autant de pores

» que de parties ſolides. Mais s'il y a quatre pareils » degrés de particules, dont les moindres ſoient » ſolides, le corps aura quinze fois autant de pores » que de parties ſolides. S'il y en a cinq degrés, » le corps aura trente-une fois autant de pores » que de parties ſolides. S'il y en a ſix degrés, le » corps aura ſoixante-trois fois autant de pores » que de parties ſolides; & ainſi de ſuite conti- » nuellement «.

On voit que de cette maniere on pourroit arriver à une poroſité exceſſive.

17. Il n'y a point de corps viſible, ſoit à la vue ſimple, ſoit par le moyen des microſcopes, dans leſquels on n'apperçoive pas de pores. Certains fluides s'inſinuent entre les parties de certains corps (13): il faut bien, pour cela, qu'il y ait des pores; car la matiere eſt impénétrable (11). Les bois, ſur-tout les *tendres*, perdent ou acquierent de l'humidité, s'ils ſe trouvent dans des endroits plus ou moins ſecs qu'ils ne le ſont eux-mêmes. C'eſt pourquoi il arrive ſouvent que les ouvrages de menuiſerie ſe déjettent: une fenêtre qui ſe ferme aiſément dans un temps, ſe trouve trop large dans un autre, & peut à peine rentrer en place: un tonneau entr'ouvert ſe raccommode en reſtant dans l'eau, &c. Tous ces effets ne ſont autre choſe que des dimenſions diminuées par la ſéchereſſe, ou augmentées par l'humidité qui

s'insinue entre les parties des bois. On peut prévenir une grande partie de ces inconvéniens, en enduisant, de part & d'autre, les bois de menuiserie de peinture à l'huile ou de vernis : en bouchant ainsi les pores du bois avec une matiere qui n'est point pénétrable à l'eau, on empêche l'humidité d'y entrer, & même d'en sortir ; & par ce moyen, on leur conserve plus long-temps un état constant.

18. Notre transpiration prouve évidemment la porosité de notre peau : celle que l'on appelle *insensible*, & qui en effet ne s'apperçoit que par ses effets, est continuelle : aussi, selon *Santorius* & *Dodart*, perdons-nous, par elle, les cinq huitiemes de ce que nous prenons en nourriture.

19. La coquille des œufs est poreuse : c'est par ses pores que l'œuf, si-tôt après avoir été pondu, commence à se vider, & cesse d'être ce qu'on appelle *frais*. Si l'on veut l'empêcher de rien perdre, il n'y a qu'à boucher ses pores avec une matiere grasse ; de l'huile d'olives suffit pour cela. Il faut, après l'en avoir enduit par-tout avec le bout du doigt, le bien essuyer avec une serviette, afin qu'il n'en reste qu'une couche très-mince, de peur que la pression de l'air n'en fasse entrer dans l'œuf quelques gouttelettes, qui, en devenant rances, lui donneroient un mauvais goût. Pour les conserver bien frais, il faut les graisser ainsi aussi-tôt qu'ils

ſont pondus, ou du moins dans le jour même. J'en ai mangé d'ainſi préparés, qui avoient plus d'un an de date, & qui ſe ſont trouvés auſſi frais & auſſi délicats que ceux qui étoient pondus du jour. Pour les garder auſſi long-temps, il faut qu'ils n'aient pas été fécondés : car, s'ils l'ont été, ils ne peuvent ſe conſerver que ſix ſemaines ou deux mois.

20. La lumiere eſt une matiere (1174); & l'on ſait qu'elle s'inſinue & pénetre avec la plus grande facilité au travers de tous les corps tranſparens : il faut donc que ces corps aient, dans tous les ſens, une grande quantité de pores.

21. Certains corps admettent dans leurs pores certains fluides, tandis que d'autres ne peuvent pas s'y inſinuer : & le même fluide pénetre dans les pores d'un corps, tandis qu'il ne peut pas pénétrer dans ceux d'un autre. Par exemple, le marbre admet dans ſes pores l'eſprit-de-vin & les huiles, & non pas l'eau : les gommes ſe laiſſent pénétrer par l'eau, & non pas par l'eſprit-de-vin: les réſines, par l'eſprit-de-vin ou les huiles, & non pas par l'eau. L'acide nitreux s'inſinue dans les pores de l'argent & le diſſout, & n'altere pas l'or : l'acide nitro-muriatique ou *eau régale* s'inſinue dans les pores de l'or & le diſſout, & n'altere pas l'argent. L'acide nitreux diſſout le cuivre, le fer, &c. ; & ne peut pas entamer un morceau de

beurre. D'où cela vient-il? Cela ne peut pas venir seulement de ce que les pores d'une substance sont plus ouverts, & ceux d'une autre le sont moins. Car supposons que les pores des gommes soient plus ouverts que ceux des résines, & que les particules de l'eau soient plus grossieres que celles de l'esprit-de-vin; cela expliqueroit bien pourquoi l'eau ne dissout pas les résines, tandis qu'elle dissout les gommes: ses parties, trop grossieres, ne pourroient pas s'insinuer dans les pores trop peu ouverts des résines. Mais pourquoi les particules de l'esprit-de-vin, plus déliées que celles de l'eau, ne s'insinueroient-elles pas dans les pores des gommes, plus ouverts que ceux des résines, dans lesquels elles pénetrent si aisément? La seule raison de la grandeur des pores du corps à dissoudre, & de la petitesse des particules du dissolvant, ne suffit donc pas pour expliquer ces faits, quoique probablement elle y contribue pour quelque chose: il faut y joindre une autre cause. Cela vient sans doute de ce que la figure des pores du corps à dissoudre, doit être appropriée à la figure des particules du dissolvant. Et il est certain que les pores sont de différentes figures dans différens corps.

Raréfactibilité.

22. La *Raréfactibilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume par

l'action de la chaleur. Cette action, par laquelle ils augmentent de volume, eſt ce qu'on appelle *Raréfaction*. Tous les corps (& l'on n'en doit excepter aucun) augmentent de volume, ou ſe raréfient toutes les fois qu'ils s'échauffent. La *Raréfactibilité* eſt donc une propriété générale & qui appartient à tous les corps.

La vraie cauſe de cette raréfaction eſt l'introduction d'une quantité plus ou moins grande de la matiere de la chaleur dans les pores des corps, qui, par ſon abondance & ſon action, pénetre les corps, en écarte les parties, & augmente ainſi leur volume, en leur faiſant occuper un eſpace plus grand que celui qu'ils occupoient auparavant. Tous les corps, ſoit ſolides, ſoit fluides, ſoit liquides, ſont ſuſceptibles de cette raréfaction : auſſi a-t-elle lieu dans tous, toutes les fois qu'ils s'échauffent, à moins que quelque cauſe plus forte ne s'oppoſe à cet effet. Nous verrons les preuves de ceci, en parlant de l'action du feu ſur les corps (1134 *& ſuiv.*).

Condenſabilité.

23. La *Condenſabilité* eſt la propriété qu'ont les corps de diminuer de volume par le refroidiſſement ; ce qui ne manque jamais de leur arriver toutes les fois qu'ils perdent une portion de la matiere de la chaleur qui s'étoit introduite dans

leurs pores. Il eſt aiſé de voir que cette propriété eſt préciſément le contraire de la propriété précédente, de la raréfactibilité (22).

Toutes les fois qu'un corps paſſe d'un lieu plus chaud dans un lieu moins chaud, ou qu'il eſt entouré d'un air moins chaud que celui qui l'environnoit auparavant, ou qu'enfin il ſe trouve voiſin de corps moins chauds que lui, il communique à ces corps voiſins une portion de la matiere de la chaleur qui le pénétroit & qui tenoit ſes parties écartées; car la matiere de la chaleur eſt un fluide (588, 1101); & le propre des fluides eſt de ſe répandre uniformément par-tout, tant qu'il n'y a pas de cauſes qui s'y oppoſent. Les parties de ce corps, alors moins ſoutenues, retombent, ſe rapprochent les unes des autres, & ſe renferment dans des limites plus étroites: en un mot, ce corps devient plus petit qu'il ne l'étoit. C'eſt-là ce qu'on appelle *Condenſation*. Mais, comme il n'y a point de corps qui, en diminuant de chaleur, ne ſoit ſuſceptible de cette eſpece de rétréciſſement, on doit conclure que la *Condenſabilité* eſt une propriété générale des corps, qu'elle appartient à tous indiſtinctement & ſans aucune exception. Qu'on n'objecte pas à cela que l'eau, qui ſe gele, en ſe refroidiſſant, augmente cependant de volume (1076): car cette augmentation eſt due à une cauſe étrangere, dont nous parlerons

en traitant de la glace ; & l'on verra alors que l'eau gelée eſt réellement de l'eau condenſée.

Nous parlerons plus amplement de la condenſation des corps, en traitant du feu & de la chaleur qui les raréfie.

Compreſſibilité.

24. De tout ce que nous avons dit de la poroſité, il ſuit que la grandeur apparente d'un corps excede toujours la quantité réelle de ſa matiere propre ; car les parties de ce corps ne ſont pas auſſi rapprochées les unes des autres qu'elles pourroient l'être, puiſqu'il reſte entre elles des vides de leur propre ſubſtance (15). La quantité de matiere qui compoſe le corps eſt ce qu'on appelle ſa *maſſe* ; & l'eſpace qu'il occupe ſe nomme ſon *volume* (10). Cet excès du volume ſur la maſſe varie, non ſeulement dans les différens corps, mais auſſi dans le même corps (22 & 23). C'eſt ce rapport du volume à la maſſe qu'on nomme *denſité* : un corps eſt plus *denſe* qu'un autre, quand la quantité réelle de ſa matiere differe moins de ſa grandeur apparente ; ou, ce qui eſt la même choſe, quand, ſous un volume donné, il contient plus de parties ſolides. Le plomb eſt plus denſe que le cuivre ; l'or l'eſt plus que l'argent, &c.

Comme nous ne connoiſſons point de corps parfaitement durs, & que tous ont des pores, il

eſt évident qu'une force extérieure, ſuffiſante pour vaincre la roideur des parties, pourra rapprocher ces parties les unes des autres, diminuer le volume de ce corps ſans diminuer ſa maſſe, & par conſéquent augmenter ſa denſité. C'eſt ce rapprochement de parties par une force extérieure, que l'on appelle *compreſſion*.

25. Nous mettons la *Compreſſibilité* au nombre des propriétés générales, & qui appartiennent à tous les corps; mais elle n'appartient pas à tous au même degré: les uns ſont très-compreſſibles, d'autres le ſont fort peu. Tous les corps que nous appelons *ſolides*, c'eſt-à-dire, ceux dont les parties adherent aſſez fortement les unes aux autres, pour n'avoir point entre elles cette mobilité reſpective qui ſe trouve entre les parties des fluides & des liquides; tous ces corps, dis-je, donnent des marques très-ſenſibles de compreſſion. Si l'on donne un fort coup de marteau ſur une maſſe d'or, ou d'argent, ou d'étain, ou de plomb, le choc du marteau y laiſſe une impreſſion très-apparente, & qui prouve évidemment que les parties ont été comprimées dans l'endroit du choc. Si l'on laiſſe tomber d'une certaine hauteur une boule de marbre, ou d'ivoire, ou d'acier, ou même un diamant (qui eſt le plus dur de tous les corps), ſur un autre corps dur, tous ces corps rejailliſſent à l'inſtant, ſe réfléchiſſent: or nous ferons voir

ci-après (31), que le mouvement de réflexion eſt une preuve certaine de la compreſſibilité des corps; car ces corps ne peuvent pas ſe réfléchir, ſi aucun d'eux n'eſt élaſtique ; & l'élaſticité ne pourroit pas exiſter dans un corps non compreſſible (32).

26. Il y a d'autres corps qui ſont beaucoup plus compreſſibles que ceux dont nous venons de parler, qui diminuent conſidérablement de volume par une preſſion qui n'eſt même pas très-forte : tels ſont les fluides élaſtiques, comme l'air & les gas ; & c'eſt par cette propriété qu'ils ſont capables de produire des effets très-ſinguliers, dont nous parlerons en traitant de l'*air* (886 *& ſuiv.*).

27. Il exiſte auſſi une autre ſorte de ſubſtances qui ne paroiſſent donner aucun ſigne de compreſſibilité ; c'eſt-à-dire que, quelque force qu'on ait employée contre elles, elles n'ont jamais paru céder à la preſſion qu'on leur a fait éprouver ; on n'a jamais pu appercevoir la moindre diminution dans leur volume. Telles ſont toutes les liqueurs. Meſſieurs de l'*Académie del Cimento* ont fait, pour s'en aſſurer, une expérience très-ingénieuſe, mais qui malheureuſement n'eſt pas aſſez concluante. Voici en quoi elle conſiſte.

Il eſt mathématiquement démontré qu'une capacité ſphérique eſt plus grande que toute autre capacité qui auroit une ſurface égale à la ſienne. Il ſuit de là qu'un vaiſſeau qui a une figure

ſphérique, & qui eſt plein d'une liqueur quelconque, ne peut pas perdre cette figure, qu'il n'arrive l'une de ces deux choſes : ou que ce vaiſſeau augmente de ſurface, pour conſerver la même capacité, ou que la liqueur qu'il contient diminue de volume.

Expérience. Meſſieurs de l'Académie del Cimento ont donc pris une boule d'or très-mince & bien ſphérique ; ils l'ont remplie d'eau entiérement, & l'ont exactement bouchée : après quoi, au moyen d'une preſſe, ils l'ont un peu applatie ; ils en ont fait diſparoître deux petits ſegmens. Après ce changement de figure, la boule s'eſt trouvée avoir la même capacité qu'auparavant : preuve certaine que la boule eſt augmentée de ſurface. Cette expérience ſembleroit prouver que l'eau eſt abſolument incompreſſible : cependant on peut dire à cela qu'il eſt poſſible que l'eau ait été comprimée dans le premier inſtant, & qu'en ſe rétabliſſant par la force de ſon reſſort, elle ait occaſionné l'extenſion du métal : voilà pourquoi j'ai dit que cette expérience n'étoit pas concluante. Si l'on continue de preſſer la boule, l'eau, au lieu de céder à cette preſſion, ſe fait jour à travers des pores du métal, & paroît ſur la ſurface en petites gouttes ſemblables à celles de la roſée : ce qui prouve que les liqueurs ſont capables de réſiſter à une très-forte preſſion.

EXPÉRIENCE. Voilà une autre expérience qui eſt pour le moins auſſi concluante que la précédente ; car il n'y a aucun inſtant où l'on puiſſe appercevoir la moindre diminution du volume. On prend un *Fig.* 1. tuyau de verre ABCD (*fig.* 1.) aſſez épais, long d'environ 7 pieds, recourbé en forme de ſiphon en BC, ſcellé hermétiquement en D, & ouvert en A. On met du mercure dans la courbure BC ; on fait enſuite paſſer de l'eau dans la partie CD, & l'on marque exactement, avec une ſoie fine, l'endroit C, où ſe joignent le mercure & l'eau : cela fait, on remplit le tuyau de mercure de B en A. Alors l'eau qui eſt en CD ſe trouve preſſée par le poids de la colonne AB de mercure, lequel eſt égal à environ trois fois le poids de l'atmoſphere, comme nous le prouverons (301) en traitant de l'hydroſtatique. Malgré cette grande preſſion, la colonne d'eau CD ne diminue point de longueur : pour peu qu'elle en diminuât, le mercure monteroit au deſſus de la ſoie qui eſt en C ; & jamais on ne l'y voit monter, même de l'épaiſſeur d'un cheveu.

28. Quoique ces expériences paroiſſent prouver l'incompreſſibilité des liqueurs, il ne faut cependant pas les regarder comme abſolument incompreſſibles : 1°. parce que, comme nous l'avons prouvé ci-deſſus (24), tous les corps ſolides ſont compreſſibles par la raiſon qu'ils ont des pores,

ce qui permet à leurs parties de se rapprocher; de même les liqueurs, n'étant autre chose que des assemblages de petits corps solides & poreux, doivent aussi être compressibles, avec cette différence qu'elles le sont beaucoup moins, parce que la compressibilité doit diminuer comme la grandeur des corps, & que les particules des liqueurs sont prodigieusement petites : 2°. parce que les liqueurs donnent d'ailleurs des preuves de compressibilité, puisqu'elles sont capables de transmettre les sons, comme nous le prouverons (1005) en traitant des sons : or cela ne pourroit pas être, si elles n'avoient pas d'élasticité, laquelle suppose toujours la compressibilité (31, 32).

29. De tout ceci nous devons conclure que les liqueurs, quoique compressibles en elles-mêmes, sont cependant capables de résister aux efforts qu'on a employés jusqu'ici contre elles; qu'il est probable qu'elles céderoient enfin d'une maniere sensible, s'il étoit possible de les soumettre à de plus fortes pressions, & qu'elles cedent même peut-être déjà à celles qu'on emploie, mais d'une quantité trop petite pour être apperçue.

30. Il est très-avantageux pour nous que les liqueurs puissent résister à des pressions qui compriment fortement les autres corps : toutes celles que nous tirons par expression des végétaux, tels que le vin, le cidre, les huiles, &c. ne se sépareroient

point des parties solides qui les contiennent, si ces liqueurs étoient aussi compressibles qu'elles. La facilité que nous avons à extraire les sucs que la Nature y a préparés pour nos usages, est presque toute fondée sur la résistance que les liqueurs opposent aux forces qui tendent à les comprimer.

Élasticité.

31. L'*Élasticité* est l'effort par lequel les corps qui ont été comprimés, tendent à reprendre l'état qu'ils avoient avant la compression; tendent, en un mot, à se rétablir dans leur premier état. Un corps qui a de l'élasticité, est donc celui qui, après avoir été comprimé par une force quelconque, reprend, lorsque cette force cesse d'agir, les mêmes dimensions & la même figure qu'il avoit avant d'être comprimé. Tel est un arc que l'on bande en raccourcissant sa corde, & qui, si l'on vient à couper la corde ou à la lâcher, reprend sa premiere situation. Telle est encore une bille d'ivoire ou d'acier, que l'on laisse tomber sur un plan de marbre; par sa chute & son choc contre le marbre, elle éprouve une compression qui porte une portion plus ou moins grande de cette petite sphere vers son centre, & lui fait perdre sa forme ronde : l'instant après, il ne reste sur la bille aucune marque de cette compression; elle a repris sa

forme ronde par ſon élaſticité ; & c'eſt ce qui cauſe le mouvement réfléchi qu'elle éprouve en pareil cas (128).

32. Ce que nous venons de dire, prouve que l'élaſticité ſuppoſe néceſſairement dans les corps qui en jouiſſent, de la compreſſibilité. Un corps qui ne ſeroit point compreſſible, ne pourroit être élaſtique ; car ne pouvant pas changer de figure, il ne ſeroit pas dans le cas de la reprendre. De même que nous avons fait voir ci-deſſus (25, 26, 27, 28), que tous les corps ſont compreſſibles, les uns plus, les autres moins ; de même auſſi il eſt aiſé de concevoir que tous ſont élaſtiques, mais à des degrés différens.

33. L'élaſticité conſiſte donc en ce qu'un corps ſe rétabliſſe après avoir été comprimé, lorſque la force comprimante ceſſe d'agir. Pour que cette élaſticité ſoit parfaite, il faut que le corps ſe rétabliſſe, 1°. complétement ; 2°. avec autant de preſteſſe que celle avec laquelle il a été comprimé ; c'eſt-à-dire qu'il faut que le corps revienne préciſément au même état qu'il avoit auparavant, & qu'il reprenne cet état en un temps auſſi court que celui qu'il a fallu pour le lui faire perdre. Si nous en exceptons la matiere de la lumiere & les fluides aëriformes, nous ne connoiſſons point de corps qui jouiſſent de cette perfection d'élaſticité. Aucun ne ſe rétablit complétement ; & tous employent,

à reprendre leur état, plus de temps qu'ils n'en ont mis à le perdre; & parmi ceux-ci, tous ne ſont pas élaſtiques au même degré; dans les uns, cette force élaſtique eſt aiſée à appercevoir; les effets en ſont ſenſibles, & chacun réagit plus ou moins, ſelon la dureté, la roideur ou la diſpoſition de ſes parties internes. Non ſeulement cette qualité n'eſt pas parfaite, comme nous venons de le dire, mais on remarque preſque toujours qu'elle ſe perd, ou du moins s'affoiblit par un long uſage, ou par une compreſſion d'une trop longue durée. Un arc qui a été trop long-temps ou trop ſouvent tendu, garde enfin une portion de la courbure qu'on lui a fait prendre. Le crin, la laine ou la plume, ces ſubſtances élaſtiques dont nous garniſſons nos meubles, perdent par ſucceſſion de temps preſque tout leur reſſort; & ce n'eſt qu'en les remuant beaucoup ou les cardant de nouveau, que nous faiſons revivre en elles cette élaſticité qui nous eſt ſi précieuſe, & qui nous fournit tant de commodités. Il y a d'autres corps qui ne ſe rétabliſſent preſque point, dans leſquels les effets de l'élaſticité ſont preſque inſenſibles. Dans ces corps, quoiqu'ils aient réellement un peu d'élaſticité, on eſt dans l'uſage de la regarder comme nulle; & on appelle ces ſortes de corps, *corps mous*, *corps non-élaſtiques*, *corps ſans reſſort*, ce qui veut dire ſeulement, corps privés d'un reſſort aſſez actif pour

pour être compté pour quelque choſe. Telle eſt, par exemple, la terre molle.

L'élaſticité doit donc être regardée comme une propriété générale des corps, comme une propriété qui appartient à tous indiſtinctement, quoiqu'à un degré plus ou moins élevé ; car il n'y en a aucun, quelque mou qu'il ſoit, dans lequel, ſi l'on obſerve attentivement, on ne remarque au moins une petite portion de cette force. Nous n'en exceptons pas même les liqueurs ; car elles ſont capables de tranſmettre les ſons (1005) : or il n'y a que des corps élaſtiques qui puiſſent le faire.

34. Nous avons dit que les corps, en vertu de leur élaſticité, reprennent l'état qu'ils avoient avant la compreſſion ; mais ce n'eſt qu'après un plus ou moins grand nombre de balancemens, appelés *vibrations*, que cet état eſt entiérement repris ; & ces vibrations ſont de telle nature, qu'elles ſont toujours iſochrones ou de même durée, ſoit qu'elles ſoient grandes, ſoit qu'elles ſoient petites, ſoit qu'elles aient une grande ou une petite amplitude. De plus, dans chacune de ces vibrations, la vîteſſe du reſſort s'accélere depuis le point de tenſion juſqu'au lieu de ſon repos, & retarde enſuite dans la même proportion en s'en éloignant : de ſorte que le point où le reſſort frappe le plus fort, eſt le lieu de ſon repos ; car c'eſt à ce point-là où il a la plus grande vîteſſe acquiſe.

35. S'il y a des corps qui perdent quelquefois leur élaſticité, il y en a auſſi dans leſquels on peut l'augmenter par différens moyens employés dans les Arts. Les corps ſonores devant avoir un reſſort très-actif, on augmente l'élaſticité des métaux dont on fait les cloches, les timbres, &c. en les mélant & les faiſant fondre avec d'autres métaux ou demi-métaux; ce que l'on appelle *alliage*; parce qu'on a remarqué qu'un pareil mélange eſt plus dur, plus roide & plus élaſtique que les métaux ſimples dont il eſt compoſé.

36. La plupart des métaux, même ſans être alliés, acquierent une plus grande élaſticité, prennent un reſſort plus actif, lorſqu'on les bat à froid; ce que les Ouvriers appellent *écrouir*. On augmente donc l'élaſticité des métaux par l'*écrouï*.

EXPÉRIENCE. Si vous voulez en avoir la preuve, prenez, dans la même planche de cuivre, deux lames de ce métal, de mêmes dimenſions; battez l'une des deux à froid ſur un enclumeau. Enſuite eſſayez de les courber: ſi-tôt que vous les lâcherez, celle des deux qui aura été écrouie, reprendra ſon premier état, à très-peu de choſe près; & l'autre gardera preſque en entier la courbure que vous lui aurez donnée.

37. Mais de tous les corps dont on augmente artificiellement l'élaſticité, il n'en eſt point ſur lequel on produiſe un plus grand effet que ſur

l'acier : & parmi les différens procédés qu'on emploie pour cela sur ce métal, il n'en est point de plus efficace que la *trempe*, qui consiste à chauffer fortement l'acier, & à le refroidir subitement, en le plongeant dans une liqueur froide. L'acier prend par-là une dureté & une élasticité d'autant plus grandes, qu'on le chauffe davantage, & que la liqueur dans laquelle on le plonge, est plus froide. Mais si la trempe a produit un plus grand effet que celui dont on a besoin, on peut le modérer, & diminuer cette élasticité par le *recuit*, qui consiste à chauffer modérément l'acier, & à le laisser ensuite refroidir lentement à l'air.

Il faut savoir que l'acier n'est point un métal particulier; c'est un fer préparé par la cémentation. Chaque Ouvrier a son cément particulier, dont il fait souvent un secret; mais dans tous il entre des matieres charbonneuses. Ci-devant la plupart des Chimistes regardoient l'acier comme un fer plus pur que celui dont il avoit été formé; ils étoient dans l'erreur. Il est bien prouvé aujourd'hui que l'acier est un fer combiné avec le carbone ou principe charbonneux, qui s'est uni au fer pendant la cémentation, & qui y est intimement mêlé. Aussi à la cassure du fer pur, on voit qu'il est composé de lames; & la cassure de l'acier montre de petits grains, qui sont le produit du

mélange du fer extrêmement diviſé & du carbone. Lorſqu'on chauffe l'acier, l'action du feu (dont la propriété bien connue eſt de procurer l'union des matieres homogenes) fait ſortir de l'intérieur de ſes molécules une grande partie du principe charbonneux qui s'y trouve diſſéminé, ſans pour cela le faire ſortir de la maſſe totale. La trempe ſaiſit donc l'acier dans un moment où ſes principes, quoique les mêmes, ſont moins mêlés; ce qui fait que les molécules ſont compoſées de parties plus homogenes; & qu'en même temps ces molécules ſont moins liées enſemble. Ceci rend aſſez bien raiſon des différens phénomenes de la trempe.

1°. Le grain de l'acier paroît plus gros après la trempe qu'auparavant; parce que chaque molécule s'eſt formée d'un plus grand nombre de particules métalliques réunies.

2°. L'acier a un plus grand volume après la trempe; car alors ſa peſanteur ſpécifique eſt moindre. Cela vient de ce que la trempe fixe l'acier dans un état où le mélange de ſes principes eſt moins complet.

3°. L'acier eſt plus dur après la trempe; parce que chacune de ſes molécules étant plus groſſe, touche ſes voiſines par de plus grandes ſurfaces; il eſt donc plus difficile de l'en détacher; & de plus, les parties qui compoſent chaque molécule

étant plus homogenes, s'uniſſent plus aiſément & adherent plus fortement entre elles ; il eſt donc plus difficile d'entamer cette molécule.

4°. L'acier, quoique plus dur après la trempe, eſt cependant plus caſſant ; parce que la liaiſon des molécules entre elles & la ſomme des attouchemens ſont moindres.

5°. Le recuit rend l'acier moins caſſant ; parce qu'un refroidiſſement lent donne aux parties le temps de ſe mêler de nouveau, & augmente par-là la ſomme des attouchemens. Ce ſont ſans doute ces attouchemens immédiats qui ſont la cauſe de l'adhérence des particules entre elles, & en conſéquence de la dureté des corps.

38. Quoique nous ayons des procédés certains pour augmenter ou diminuer la force du reſſort de pluſieurs corps (35, 36, 37), nous n'en connoiſſons pas mieux en général la cauſe de l'élaſticité. Tout ce qu'on a imaginé juſqu'à préſent pour en rendre raiſon, n'eſt que conjectures mal fondées, & ſouvent démenties par l'expérience.

On a d'abord prétendu que c'étoit de l'air que dépendoit l'élaſticité des corps. On croyoit que l'air, s'inſinuant par les pores entre les parties des reſſorts tendus, les pouſſoit de maniere à leur faire reprendre leur premiere ſituation, & qu'ainſi il rendoit ces corps élaſtiques. Mais cela eſt démenti

par l'expérience ; puiſque l'élaſticité a lieu dans le vide de Boyle, comme en plein air.

On a donc eu recours à un autre fluide, beaucoup plus ſubtil que l'air groſſier, & on l'a ſuppoſé lui-même élaſtique. En conſéquence, voici comment on a raiſonné. Quand on courbe un reſſort, les pores de la partie qui devient convexe, s'élargiſſent, & ceux du côté qui devient concave, ſe rétréciſſent : les petites particules de ce fluide élaſtique, qui ſe trouvent dans ces derniers pores, ſont comme autant de petits ballons comprimés, qui, par leur élaſticité, tendent à ſe rétablir, & redreſſent ainſi le reſſort. Mais on ſuppoſe ici ce qui eſt en queſtion ; car il s'agit de l'élaſticité des corps en général ; & il reſtera toujours à ſavoir quelle eſt la cauſe de l'élaſticité de ce fluide. Seroit-ce encore un fluide plus ſubtil, qui ſeroit auſſi élaſtique ? Nous demanderons quelle eſt la cauſe de l'élaſticité de ce dernier ; & ainſi à l'infini.

Dire que les corps élaſtiques ſont tels, parce qu'ils ſont compoſés de petites parties, dont chacune eſt douée d'une force élaſtique ; c'eſt un cercle vicieux bien ridicule.

Enfin d'autres Phyſiciens attribuent l'élaſticité à la force répulſive qu'ont entre elles les particules des corps. Quand on comprime, diſent-ils, un corps élaſtique, ſes pores ſe rétréciſſent ; de ſorte qu'alors pluſieurs particules, qui étoient auparavant

à quelque distance l'une de l'autre, se rapprochent de la sphere de leur répulsion réciproque ; & cette répulsion devient d'autant plus forte que la compression augmente, c'est-à-dire que les parties se rapprochent davantage les unes des autres. C'est pourquoi, disent-ils, l'élasticité des métaux augmente quand on les écrouit : plus on les bat à froid, plus ils deviennent élastiques. De là vient encore, ajoutent-ils, que quand les pores d'un corps sont fort grands, ce corps peut souffrir compression sans recevoir beaucoup d'élasticité. N'est-ce pas encore là une supposition sans fondement ? Cette force répulsive n'est-elle pas diamétralement opposée à la force attractive ? On prétend que les particules des corps s'attirent d'autant plus puissamment, qu'elles se touchent de plus près ; & ici l'on dit qu'elles se repoussent d'autant plus vivement, qu'elles sont plus rapprochées les unes des autres. N'est-ce pas supposer des attractions & des répulsions selon le besoin qu'on en a, & tout-à-fait gratuitement ? Plutôt que de faire d'aussi mauvais raisonnemens, il vaut bien mieux avouer ingénument que nous ignorons quelle est la cause de l'élasticité des corps.

Dilatabilité.

39. La *Dilatabilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume,

d'occuper un plus grand eſpace, par la force de leur reſſort, ſi-tôt qu'il ceſſe d'être retenu par des obſtacles. La plupart des Phyſiciens confondent la dilatation avec la raréfaction ; mais je penſe qu'il eſt à propos de les diſtinguer. Il eſt bien vrai que dans l'un & l'autre cas, les corps augmentent de volume ; mais la raréfaction eſt occaſionnée par la chaleur (22), & la dilatation l'eſt par la force élaſtique. Or il ne faut pas regarder comme le même, deux effets qui, quoique ſemblables en apparence, ſont cependant produits par deux cauſes ſi différentes.

Tout corps élaſtique (& nous venons de faire voir (33) qu'il n'y en a aucun qui ne le ſoit, peu ou beaucoup) qui eſt dans un état de contraction, ſi-tôt que la puiſſance qui le retient, ceſſe d'agir, ou qu'elle agit moins fortement, s'étend, augmente de volume, en un mot, ſe *dilate*. L'air ſur-tout, ainſi que tous les fluides aériformes, a cette propriété dans un degré éminent ; de ſorte que la plus petite portion d'air renfermée dans un vaſe, le remplit toujours, quelque grand qu'il ſoit ; & ſi on le tient comprimé, il fait toujours, pour ſe dilater, un effort égal à la force qui le comprime (911). C'eſt pourquoi les corps, en ſe dilatant par l'effet de leur reſſort, ont beaucoup plus de force au commencement qu'à la fin de leur dilatation ; parce que dans ce premier inſtant ils

ſont beaucoup plus comprimés : & plus la compreſſion eſt grande, plus la force élaſtique & l'effort pour ſe dilater ſont conſidérables ; en ſorte que ces deux choſes, ſavoir, la force comprimante & la force élaſtique, ſont toujours égales.

Mobilité.

40. La *Mobilité* eſt la faculté qu'ont tous les corps de pouvoir être mis en mouvement. Il n'y a point de corps qui ne puiſſe être mis en mouvement par une force ſuffiſante : la mobilité eſt donc une propriété générale des corps, & qui appartient à tous indiſtinctement; mais elle n'appartient pas à tous au même degré. Elle eſt fondée ſur certaines diſpoſitions, qui ne ſe trouvent pas également dans tous les corps ; c'eſt ce qui fait que les uns ſont plus mobiles que les autres ; c'eſt-à-dire qu'il faut employer moins de force pour les faire paſſer de l'état de repos à celui de mouvement. Les principales de ces diſpoſitions ſont la figure du corps, le poli de ſa ſurface, & ſa maſſe ou la quantité de matiere contenue ſous ſon volume.

Suppoſons deux corps de même ſubſtance, dont les maſſes ou les poids ſoient égaux, les ſurfaces également bien polies, & poſés tous deux ſur le même plan ; mais que l'un des deux ait une forme ronde, & l'autre une figure cubique. L'expérience

fait voir que la même impulſion porte le premier plus loin que le ſecond, & que ce premier conſerve ce mouvement plus long-temps que ne le fait l'autre. Puiſque ces deux corps ne different qu'en figure, donc la figure contribue à la mobilité.

Suppoſons encore deux corps de même ſubſtance, de maſſes égales & de même figure, poſés encore tous deux ſur le même plan; mais imaginons que la ſurface de l'un eſt raboteuſe, & que celle de l'autre eſt bien polie. Cette différence, qui eſt la ſeule qui ſoit entre ces deux corps, ſuffit pour que la même impulſion porte le dernier plus loin que le premier. Le poli de la ſurface contribue donc à la mobilité.

Suppoſons en troiſieme lieu deux corps parfaitement ſemblables par leur volume, par leur figure & par le poli de leur ſurface, mais différens par leur maſſe; par exemple, deux boules de même diametre, l'une de bois, & l'autre de plomb. Il eſt évident que la même impulſion n'enverra pas ſi loin la derniere que la premiere. Le moins de maſſe dans l'une des deux la rend donc plus propre à être miſe en mouvement; le plus ou le moins de maſſe contribue donc à la mobilité: un corps qui a moins de maſſe qu'un autre, oppoſe donc une moindre réſiſtance à l'effort qui tend à le faire changer d'état.

Inertie.

41. L'*Inertie* des corps eſt la réſiſtance dont nous venons de parler ; c'eſt la force par laquelle tout corps réſiſte à toute variation d'état ; c'eſt-à-dire, par laquelle, lorſqu'il eſt en repos, il réſiſte au mouvement ; lorſqu'il eſt en mouvement, il réſiſte au repos, ou à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'inertie eſt donc une force qui réſide dans tous les corps, qui y eſt inhérente, en quelque état qu'ils ſe trouvent. Mais elle n'eſt pas dans tous au même degré ; car, ainſi que la peſanteur, elle eſt toujours proportionnelle à la maſſe ou à la quantité de matiere propre de chaque corps ; c'eſt-à-dire qu'un corps qui a une maſſe double ou triple de celle d'un autre corps, a une force d'inertie double ou triple de celle de l'autre corps ; & par cette force, réſiſte doublement ou triplement à l'effort qui tend à la vaincre.

42. Il y a des Auteurs qui ont confondu la force d'inertie avec la peſanteur ; cependant, quoique ces deux forces aient de commun d'être proportionnelles à la maſſe ou à la quantité de matiere propre de chaque corps, elles ſont pourtant eſſentiellement diſtinctes l'une de l'autre. La peſanteur n'exerce ſon action que dans un ſens, de haut en bas : toutes les fois qu'un corps tombe librement, il tombe perpendiculairement à l'horizon. Mais la

force d'inertie réſiſte dans quelque ſens qu'on faſſe effort pour changer l'état d'un corps.

43. Tout corps, conſidéré préciſément comme corps, eſt eſſentiellement indifférent au repos ou au mouvement, à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'effet néceſſaire de cette indifférence eſt de faire perſévérer le corps dans l'état où il ſe trouve. En effet, ſi un corps eſt en repos, il ne ſe met point en mouvement, s'il n'y a une force poſitive qui l'y oblige. S'il eſt en mouvement, il n'eſt point réduit au repos ſans un obſtacle qui l'arrête; il ne ſe meut point plus promptement ou plus lentement, ſans une cauſe qui ajoute ou qui retranche au mouvement qu'il a déjà. Il y a donc une force réſidente dans les corps, par laquelle ils tendent à perſévérer dans l'état où ils ſont: c'eſt cette force qu'on appelle *force d'inertie*; & c'eſt par elle qu'ils réſiſtent à tout changement d'état.

Fig. 2. Suppoſons un corps A (*fig.* 2) d'une grandeur & d'un poids déterminés; par exemple, une boule de plomb peſant une livre, ſuſpendue librement dans un air tranquille, par un fil fort long CA; & une autre boule de plomb B, de même poids, pareillement ſuſpendue par un fil CB. L'expérience prouve, comme nous le ferons voir en parlant du mouvement d'oſcillation (258), que ſi l'un de ces corps, A, par exemple, eſt

élevé à 4 degrés de la ligne verticale CB, & qu'on l'abandonne à lui-même, s'il ne rencontre en chemin aucun obſtacle, lorſqu'il ſera parvenu au point le plus bas B, il aura acquis, par ſa chûte, une vîteſſe qui le portera à 4 degrés du côté oppoſé. Mais ſi le corps A rencontre au point le plus bas le corps B, qui l'égale en maſſe, & qu'il le heurte, l'expérience prouve encore que ces deux corps ne remontent enſemble qu'à 2 degrés. Le corps B reçoit une portion du mouvement du corps A; & ce dernier perd par le choc ce que l'autre paroît avoir acquis. Le corps B oppoſe donc une réſiſtance au corps A; car ſans elle ce dernier ſeroit remonté à 4 degrés. Un corps en repos fait donc une réſiſtance réelle à l'effort qui tend à le mouvoir. De plus, ſi le corps B, au lieu de ne peſer qu'une livre, en peſoit 8 ou 10, il ſeroit moins déplacé par le choc du corps A, & cela proportionnellement à l'augmentation de ſa maſſe; donc un corps en repos oppoſe à l'effort qui tend à le mouvoir, une réſiſtance proportionnelle à ſa maſſe. C'eſt cette réſiſtance qu'on appelle *force d'inertie.*

44. On fait à ce raiſonnement des objections auxquelles il faut répondre. On prétend que c'eſt la réſiſtance de l'air qui eſt la cauſe de celle du corps B. Le corps B, dit-on, en repos, ne réſiſte à l'effort du corps A, que parce qu'il eſt appuyé

par l'air qui l'environne, & qu'il faut déplacer. On peut répondre à cela, 1°. que les corps qui ſont ainſi choqués dans le vide d'air, réſiſtent de même que dans l'air, ou, s'il y a des différences, elles ne ſont pas ſenſibles : ce n'eſt donc pas de l'air que vient cette réſiſtance; 2°. que la réſiſtance de l'air fait elle-même partie de la queſtion préſente; car il s'agit ici de la force d'inertie des corps en général. Si donc l'on convient que l'air, en qualité de matiere, fait réſiſtance au mouvement des corps qui tendent à le déplacer (& l'on ne peut pas en diſconvenir), il eſt prouvé que l'air a une force d'inertie. Si l'air, en qualité de matiere, a une pareille force, pourquoi les autres matieres n'en auroient-elles pas? 3°. Si la réſiſtance que fait le corps B, en repos, à l'effort du corps A, venoit uniquement de celle de l'air ſur lequel il s'appuie, il faudroit, pour rendre cette réſiſtance double, faire répondre le corps B à un volume d'air une fois plus grand, & par conſéquent doubler ſa ſurface antérieure. Or l'expérience prouve que, pour rendre double la réſiſtance du corps B, il ſuffit de doubler ſon poids; ce qui, ſur-tout dans les corps ſphériques, ne double pas la ſurface, à beaucoup près. Il eſt donc évident que la réſiſtance de la boule B ne vient point de celle de l'air.

45. On objecte encore que la force d'inertie

eſt la même choſe que la peſanteur, en diſant que c'eſt la peſanteur de la boule B qui s'oppoſe à ſon déplacement; car, dit-on, ſi elle n'eſt retenue par aucun obſtacle, elle tiendra le fil auquel elle eſt ſuſpendue, auſſi tendu qu'il peut l'être, & dans la ſituation verticale CB, & ſe placera au point le plus bas. On ne peut donc l'en faire ſortir ſans qu'elle ſoit plus élevée; ſi on la porte en 2, elle eſt plus élevée de la quantité BF; en 4, de la quantité BE, &c. Pour cela, il faut vaincre ſa peſanteur, qui fait effort pour la retenir au point B : on conclut de là que ce que l'on appelle *force d'inertie*, eſt la même choſe que la peſanteur. Il faut avouer que cette objection eſt ſpécieuſe; cependant elle tombera d'elle-même, ſi l'on fait attention que, lorſque la boule eſt au point le plus bas B, ſa peſanteur eſt réduite à zéro, parce qu'elle eſt totalement vaincue par le fil CB qui la tient ſuſpendue : l'effort de ſa peſanteur ne peut donc commencer à ſe faire ſentir, que lorſqu'elle eſt paſſée du point le plus bas à un point plus élevé; ſon déplacement doit donc précéder l'effort de ſa peſanteur. Mais pour opérer ce déplacement, il faut employer une force réelle, qui, ſi elle eſt trop petite pour déplacer la boule, n'en eſt pas moins une force réelle, & cependant n'a point d'effet. Dansce cas-là, la boule B réſiſte donc à une force réelle, & la détruit avant de

pouvoir agir comme pesante; elle résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur; & c'est cette force qu'on appelle *force d'inertie.*

Voici de plus un raisonnement qui ne permet pas de confondre les effets de l'inertie avec ceux de la pesanteur. Supposons deux corps en tout semblables, de même matiere, de même figure, de même volume & de même poids, qui commencent à tomber librement dans le vide, de la même hauteur, & tous deux dans le même instant. Il est indubitable que ces deux corps obéiront complétement à leur pesanteur; qu'ils descendront tous deux avec la même vîtesse, & avec toute la vîtesse qu'exige leur pesanteur; & qu'ils arriveront tous deux ensemble sur le plan qui termine leur chûte. Si l'on veut que l'un des deux précede l'autre dans sa chûte, il faut, à l'effort de sa pesanteur, ajouter une autre force; il faut lui donner une nouvelle impulsion, qu'il ne peut pas recevoir de sa pesanteur, puisque nous supposons qu'il lui obéit complétement. Or tout ce qui exige une force pour être produit, est une véritable résistance. Ce corps qui, en tombant librement, obéit complétement à sa pesanteur, résiste donc à un mouvement plus prompt que celui qui lui vient de sa pesanteur: il y résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur. C'est cette force qu'on appelle *force d'inertie.*

CHAPITRE

CHAPITRE II.

Du Mouvement & de ſes Loix.

46. LE *Mouvement* eſt l'état d'un corps qui eſt actuellement tranſporté d'un lieu dans un autre, ſoit en totalité, ſoit eu égard ſeulement à ſes parties. Un corps peut être en mouvement de deux façons; ou en totalité, comme un carroſſe tiré par des chevaux, ou un bateau que le courant de la riviere emmene; l'un & l'autre changent continuellement de place & de rapports avec les objets qui les avoiſinent; ou ſeulement eu égard à ſes parties, comme les ailes d'un moulin qui tournent dans le même lieu; car chacune de leurs parties paſſe ſucceſſivement par tous les points de la circonférence du cercle qu'elle décrit. Un corps ſe meut donc toutes les fois qu'il change de rapport ou de ſituation reſpectivement aux objets qui l'environnent, ſoit de près, ſoit de loin. Par exemple, un homme aſſis dans un carroſſe qui chemine, change continuellement de rapports, ſinon avec la caiſſe du carroſſe ou les perſonnes qui l'accompagnent, du moins à l'égard des différens lieux qu'il parcourt. Ainſi, quoiqu'il ſoit fort tranquille, on ne peut pas dire qu'il ſoit en repos.

47. Il y a plusieurs sortes de mouvemens; savoir, le *Mouvement absolu* & le *Mouvement relatif*; le *Mouvement simple* & le *Mouvement composé*; le *Mouvement rectiligne* & le *Mouvement curviligne*; le *Mouvement réfléchi* & le *Mouvement réfracté*. Avant de parler de ces différentes especes de mouvemens, il faut prendre quelques notions préliminaires & générales pour toutes.

48. Il y a plusieurs choses à considérer dans un corps qui se meut; savoir, 1°. la force motrice qui imprime le mouvement à ce corps. 2°. La masse de ce corps par laquelle il résiste à la force qui tend à le faire sortir de son état. 3°. La direction que prend ce corps dans son mouvement, soit qu'il soit simple, soit qu'il soit composé. 4°. L'espace que ce corps parcourt. 5°. Le temps que ce corps emploie à parcourir cet espace. 6°. La vîtesse du mouvement de ce corps, c'est-à-dire, le rapport de l'espace que ce corps parcourt, & du temps qu'il emploie à le parcourir. 7°. La quantité du mouvement de ce corps.

1. *Force motrice.*

49. 1°. Tous les corps, par leur inertie, résistent à toute variation d'état (41). Un corps qui est en repos, ne se mettra donc jamais en mouvement, s'il n'y a une cause suffisante qui lui imprime ce mouvement. Cette cause active qui imprime, ou

qui du moins tend à imprimer le mouvement au corps, eſt ce qu'on appelle la *force motrice*. Il n'y a donc point de mouvement ſans force motrice ſuffiſante pour l'imprimer. On appelle *force motrice*, celle d'un ou de pluſieurs corps employée pour en mouvoir d'autres. Telle eſt une impulſion donnée à un corps pour le faire avancer dans une direction quelconque.

Juſqu'à *Leibnitz*, on avoit toujours penſé que cette force, en toutes ſortes de cas indiſtinctement, devoit être évaluée par le produit de la maſſe du moteur, multipliée par ſa vîteſſe. Mais *Leibnitz* a le premier établi une diſtinction entre la force motrice qui agit contre un obſtacle invincible, & celle qui agit contre un obſtacle qui cede. Il appelle la premiere *force morte*, & convient, avec tous les Phyſiciens, qu'elle doit être évaluée en multipliant la maſſe par la ſimple vîteſſe. Il appelle la derniere *force vive*, & il prétend que, pour l'eſtimer ſelon ſa juſte valeur, il faut multiplier la maſſe, non pas par la vîteſſe ſimple, mais par le quarré de la vîteſſe; c'eſt-à-dire que ſi la vîteſſe eſt 3, par exemple, il ne faut pas multiplier la maſſe ſeulement par 3, mais par 9, qui eſt le quarré de 3. *Leibnitz* a rapporté, en faveur de ſon opinion, des raiſonnemens & des expériences ſpécieuſes; & il a trouvé des défenſeurs parmi des Phyſiciens très-éclairés : malgré cela,

le grand nombre a regardé ſon opinion comme un paradoxe. Nous allons examiner cette queſtion, en parlant de ces deux forces.

Force morte.

50. La *force morte* eſt donc celle qui agit contre un obſtacle invincible, qui conſiſte par conſéquent dans une ſimple tendance au mouvement, & qui ne produit aucun effet ſur l'obſtacle ſur lequel elle agit. Telle eſt, par exemple, la force d'un corps peſant qui tend à deſcendre, mais qui eſt poſé ſur une table ou ſuſpendu à une corde. Ce corps ne ſçauroit deſcendre, parce que la réſiſtance de la table ou de la corde l'en empêche. Cependant il preſſe la table où tend la corde, & il montre par-là ſa tendance au mouvement, qui ne peut avoir d'effet tant que ces obſtacles invincibles s'y oppoſent. Cette preſſion du corps peſant eſt donc ſans effet dans ces deux cas; ou plutôt les effets qu'elle produit, c'eſt-à-dire, la tenſion de la corde & la preſſion de la table ſont des effets qui n'épuiſent point la cauſe preſſante. Ainſi cette cauſe preſſante ne perd rien de ſa force, parce qu'elle ne la déploie point; mais elle tend ſeulement à la déployer. Lors donc que les obſtacles ſont invincibles, l'action de la force qui tend à les déplacer, eſt à tout moment détruite par ces obſtacles, & à tout moment reproduite par

l'effort continuel que fait la force preſſante pour vaincre cette réſiſtance. Ainſi les petits degrés que la force preſſante imprime à l'obſtacle qui retient ſon action, périſſent en naiſſant, & naiſſent en périſſant : & c'eſt dans ce retour de production & de deſtruction que conſiſte l'effet de la peſanteur d'un corps, lorſqu'il eſt retenu par un obſtacle invincible. C'eſt cette preſſion, auſſi-tôt détruite que produite, c'eſt cette force que la cauſe preſſante tend à déployer ſans ſuccès, qu'on appelle *force morte*. La force morte d'un corps s'eſtime ou s'évalue, comme nous l'avons dit ci-deſſus (49), par le produit de ſa maſſe multipliée par ſa vîteſſe initiale, c'eſt-à-dire, par la vîteſſe qu'il auroit dans le premier inſtant, ſi l'obſtacle qui le retient, venoit à céder.

Force vive.

51. La *force vive* eſt celle d'un corps actuellement en mouvement, qui agit contre un obſtacle qui cede, & qui produit un effet ſur lui. Telle eſt la force d'un corps qui en va heurter un autre avec une vîteſſe déterminée, & qui, en conſéquence de ſon choc, le lance à une certaine diſtance. Cette force, comme nous l'avons dit ci-deſſus (49), s'étoit toujours évaluée, ainſi que la force morte, par le produit de la maſſe multipliée par la vîteſſe ſimple ; mais *Leibnitz* a cru

qu'il falloit l'eſtimer par le produit de la maſſe multipliée par le quarré de la vîteſſe. Quelque oppoſée que fût cette opinion aux principes connus & adoptés de tout temps, elle a cependant trouvé des défenſeurs. Cela a formé un procès littéraire, dont les pieces pour & contre ſe trouvent conſignées en pluſieurs Ouvrages, & ſur-tout dans le XXI^e^. & dernier Chapitre d'un Ouvrage *in*-8°. intitulé : *Inſtitutions de Phyſique*, qui eſt de Madame la *Marquiſe du Châtelet*, où elle a raſſemblé tout ce qu'on peut dire en faveur des forces vives ; & dans un autre Ouvrage *in*-12. intitulé : *Diſſertation ſur l'Eſtimation & la Meſure des Forces motrices des corps*, par M. *de Mairan*, dans lequel il a fortement combattu l'opinion de *Leibnitz*. Les expériences apportées en preuve par l'un & l'autre parti, ſont avouées de tout le monde ; ainſi il n'y a de différent que relativement aux conſéquences que chacun en tire.

En faveur des forces vives, on ſuppoſe, par exemple, deux boules A & B de même matiere, de même maſſe & de même volume, qu'on laiſſe tomber librement de hauteurs convenables ; l'une A pendant une ſeconde, & l'autre B pendant 2 ſecondes, 1°. ſur de la terre molle. Il eſt certain que la boule B fait dans cette terre molle un enfoncement quadruple de celui de la boule A ;

& que B déplace quatre fois autant de matiere qu'en déplace A. 2°. On ſuppoſe que ces boules tombent des mêmes hauteurs & pendant les mêmes temps que ci-deſſus ſur un plan parfaitement élaſtique. Dans ce cas, en faiſant abſtraction de la réſiſtance du milieu, ces deux boules remontent, en vertu de la réaction, laquelle eſt égale à la compreſſion (112), chacune pendant un temps égal à celui pendant lequel elle eſt deſcendue: ſavoir, A pendant une ſeconde, & B pendant 2 ſecondes; mais B remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A. On dit que, dans ce cas-là, B ne reçoit que 2 degrés de vîteſſe, pendant que A en reçoit 1; & cependant les effets que produit B, ſont quadruples de ceux que produit A: B déplace quatre fois autant de terre qu'en déplace A; donc ſon impulſion ſur la terre molle eſt quadruple de celle de A: B, en vertu de la réaction, remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A; donc ſa compreſſion ſur le plan eſt quadruple de celle de A. D'où l'on conclut que les forces vives ſont comme les quarrés des vîteſſes, & non pas comme les ſimples vîteſſes: & que, pour avoir leur juſte valeur, il faut les eſtimer par le produit de la maſſe multipliée par le quarré de la vîteſſe, & non pas par la vîteſſe ſimple.

On a répondu à cela, que, pour comparer avec

exactitude les forces de deux corps, il faut que les circonſtances ſoient égales de part & d'autre, & avoir une meſure commune, qui eſt le temps pendant lequel chaque mobile agit. Or la boule B, qui, avec une vîteſſe double, produit un effet quadruple, ne le produit que dans un temps double ; d'où l'on doit conclure que ſa force n'eſt que double en temps égal, c'eſt-à-dire, en raiſon de la vîteſſe ſimple, & non pas du quarré de la vîteſſe. En effet, ſuppoſons que deux hommes, *Jacques* & *Jean*, ſont en marche ; que *Jacques* fait 1 lieu dans 1 heure, & que *Jean* fait 4 lieues dans 2 heures. Il eſt évident que l'effet produit par la force de *Jean* eſt quadruple de l'effet produit par la force de *Jacques*. Cependant on ne conclura pas de là que la force de *Jean* eſt quadruple de celle de *Jacques* : pour que cela fût, il faudroit que *Jean* parcourût 4 lieues dans le même temps que *Jacques* emploie à en parcourir 1 : ce qui n'eſt pas ; il y emploie un temps double. *Jean*, dans un temps égal, ne produit donc qu'un effet double de celui de *Jacques*, c'eſt-à-dire, en raiſon de ſa vîteſſe ſimple : & ſon effet total n'eſt quadruple, que parce qu'avec une vîteſſe double, il marche pendant un temps double. Ainſi l'effet que produit *Jean* eſt quadruple de celui que produit *Jacques*, non pas parce que 4 eſt le quarré de 2, mais parce que 2 fois 2 font 4. Auſſi,

quoique les ſentimens ſoient partagés ſur la maniere d'évaluer les forces des corps en mouvement, ou ce qu'on a appelé les *forces vives*, on eſt parfaitement d'accord ſur le produit de ces forces & ſur les effets qui en doivent réſulter. Tout le monde convient, avec les défenſeurs des forces vives, que les effets ſont quadruples de la part d'un corps qui ſe meut avec 2 degrés de vîteſſe par comparaiſon à celui qui n'en a que 1 ; mais, comme nous venons de le dire, ce n'eſt pas parce que 4 eſt le quarré de 2, c'eſt ſeulement parce que le mobile, qui a 2 degrés de vîteſſe, fait un effort qui eſt répété 2 fois autant que celui d'un mobile qui ſe meut avec un ſeul degré de vîteſſe. Si donc on fait entrer en ligne de compte la conſidération des temps, on peut, ſans erreur, eſtimer indiſtinctement, dans la pratique, la force des corps par le produit de la maſſe multipliée par la ſimple vîteſſe actuelle, s'ils ſe meuvent réellement ; & s'ils ſont retenus par des obſtacles invincibles, par leur tendance au mouvement, qui eſt comme leur maſſe & leur vîteſſe initiale, c'eſt-à-dire, celle avec laquelle ils commenceroient à ſe mouvoir, ſi l'obſtacle venoit à céder. On peut auſſi communément évaluer la force des corps en mouvement par le produit de la maſſe multipliée par le quarré de la vîteſſe ; l'opération eſt plus courte. Je dis *communément*, parce que cette

maniere d'évaluer les forces n'eſt pas applicable dans tous les cas, comme, par exemple, dans ceux où les corps vont ſe heurter par des mouvemens en ſens contraires, ainſi que le prouve M. *de Mairan*, par une expérience qu'il rapporte contre les forces vives, & dont le réſultat eſt reconnu & avoué des deux partis : ce qui prouve bien le défaut de l'opinion de *Leibnitz*.

Cette expérience eſt celle de deux corps mous, ou à reſſort, qui viennent ſe choquer par des mouvemens en ſens contraires, & avec des vîteſſes qui ſont entre elles en raiſon inverſe de leurs maſſes; car on ſait qu'il en réſulte le repos, ſi les corps ſont mous & ſans reſſort (145); & un retour en arriere après le choc, avec les mêmes vîteſſes qu'avant le choc, ſi les corps ont un reſſort parfait (153); ce qui prouve qu'ils ſe choquent avec des forces égales. Cela n'arriveroit pas ainſi, ſi les forces étoient comme les quarrés des vîteſſes : le corps, par exemple, qui auroit 6 de vîteſſe avec 2 de maſſe, & par conſéquent 72 de force, devroit néceſſairement emporter celui qui, avec 6 de maſſe, n'auroit que 2 de vîteſſe, & par-là ſeulement 24 de force.

On a répondu à cela, que ce triple de force qu'a le corps qui ſe meut avec 6 de vîteſſe, eſt conſumé par les enfoncemens & les déplacemens de matiere qu'il fait ſur celui qui n'a que 2 de vîteſſe.

Mais, dit M. *de Mairan*, quel eſt le point d'appui des efforts néceſſaires pour produire ces enfoncemens & cette introceſſion de matiere? Qu'eſt-ce qui les ſoutient par une réaction égale à l'action? N'eſt-ce pas le centre de gravité de la maſſe triple, qui n'a que 2 de vîteſſe? Cette maſſe elle-même ne conſume-t-elle pas autant de ſa force à ſoutenir les efforts de ces déplacemens, que le corps choquant perd de la ſienne à les produire; & ce qu'elle en conſume, ne la diſpoſe-t-il pas d'autant à céder? Il n'y a donc point d'efforts perdus à cet égard, ou plutôt ceux qui ſont perdus d'une part, ſont communiqués de l'autre par un échange réciproque. Ainſi la maſſe inférieure en force devroit être entraînée.

Ceci devient encore plus évident dans le cas des corps à reſſort; car les enfoncemens & les applatiſſemens qu'ils ſouffrent mutuellement dans le choc, ſont, en vertu du rétabliſſement qui leur ſuccede, la ſource même de la force néceſſaire pour retourner en arriere avec les mêmes vîteſſes après le choc qu'ils avoient avant le choc. Donc, ſi les forces étoient comme les quarrés des vîteſſes, celui qui n'avoit que 2 de vîteſſe & 6 de maſſe, ſeroit repouſſé en arriere par le choc de celui qui avoit 2 de maſſe & 6 de vîteſſe, avec plus de force ou de vîteſſe qu'il n'en avoit avant le choc; ce qui eſt contraire à l'expérience.

On pourra donc évaluer les forces motrices en multipliant les maſſes, ou par la vîteſſe ſimple, en y ajoutant la conſidération des temps, ou par le quarré de la vîteſſe; hors les cas où les corps vont ſe choquer par des mouvemens en ſens contraires.

2. *Maſſe des corps.*

52. 2°. Les corps réſiſtent également au mouvement & au repos par leur force d'inertie (41): cette force eſt proportionnelle à leur *maſſe*, ou à la quantité de matiere qu'ils contiennent, puiſqu'elle appartient à chaque partie de la matiere. Un corps réſiſte donc d'autant plus au mouvement qu'on tend à lui imprimer, qu'il a plus de maſſe, toutes choſes d'ailleurs égales. Ainſi, plus un corps a de maſſe, moins il acquiert de vîteſſe par la même impulſion : les vîteſſes des corps qui éprouvent des impulſions égales, ſont donc en raiſon inverſe de leurs maſſes.

3. *Direction des Mouvemens.*

53. 3°. Il n'y a point de mouvement ſans une détermination particuliere : ainſi tout corps qui ſe meut, tend vers quelque point; & c'eſt cette tendance qu'on appelle *direction*. Si ce corps n'obéit qu'à une ſeule force, ou à pluſieurs ſemblablement dirigées, il ſe meut d'un mouvement ſimple, &

il ne tend qu'à un ſeul point. Si pluſieurs puiſſances, différemment dirigées, le commandent en même temps, il tend à pluſieurs points; mais comme il ne peut pas aller vers pluſieurs points tout-à-la-fois, ſon mouvement ſe compoſe : il prend une direction moyenne entre celles des puiſſances auxquelles il obéit (160) : alors il ſe comporte comme un corps qui ſe meut d'un mouvement ſimple; il ne tend plus qu'à un ſeul point. La ligne tirée de ce corps au point vers lequel il tend, ſoit qu'il ſe meuve d'un mouvement ſimple, ſoit qu'il ſe meuve d'un mouvement compoſé, repréſente la direction du mouvement de ce corps; & s'il ſe meut, il parcourra certainement cette ligne, à moins que ſon mouvement ne ſoit compoſé de puiſſances dont les rapports changent (168); auquel cas, il parcourra une ligne courbe, laquelle eſt cependant elle-même compoſée de lignes droites, infiniment courtes & inſenſiblement inclinées entre elles, & formant enſemble des angles fort obtus.

4. *Eſpace parcouru.*

54. 4°. L'*eſpace* que parcourt un corps, eſt la ligne décrite par ce corps pendant ſon mouvement. Si le corps qui ſe meut étoit un point, l'eſpace parcouru ne ſeroit qu'une ligne mathématique; mais comme il n'y a point de corps qui ne ſoit

étendu (6), l'eſpace parcouru a toujours quelque largeur ; malgré cela, quand on meſure cet eſpace parcouru par un corps, on ne fait attention qu'à ſa longueur, qui peut être plus ou moins grande.

5. *Temps employé.*

55. 5°. Un corps emploie néceſſairement un *temps* quelconque à parcourir un eſpace. Si le corps
Fig. 3. A (*fig.* 3) parcourt l'eſpace AB, il s'écoulera une portion de temps pendant qu'il ira de A en B, quelque petit que l'eſpace AB puiſſe être ; car le moment où ce corps ſera en A, ne ſera pas celui où il ſera en B, un corps ne pouvant être en deux lieux à la fois. Ainſi tout eſpace parcouru l'eſt en un temps quelconque, qui peut être plus ou moins long.

6. *Viteſſe.*

56. 6°. La *viteſſe* d'un corps qui ſe meut, eſt la faculté qu'il a de parcourir un certain eſpace en un certain temps. Plus cet eſpace eſt grand, & ce temps court, plus la viteſſe eſt conſidérable. La viteſſe d'un corps eſt donc le rapport qu'il y a entre l'eſpace qu'il parcourt, & le temps qu'il emploie à le parcourir. Il n'y a donc point de mouvement ſans une viteſſe quelconque. Pour connoître cette viteſſe, il ne s'agit que de diviſer l'eſpace par le temps ; de même qu'on connoîtra

l'eſpace, en multipliant la vîteſſe par le temps. Par exemple, un corps parcourt 1000 toiſes en 10 minutes; ſa vîteſſe eſt de 100 toiſes par minute, parce que 100 eſt le quotient de 1000, diviſé par 10. Si l'on compare les vîteſſes de deux corps, on en aura le rapport en ſuivant la même regle. Suppoſons, par exemple, qu'un corps A parcoure 54 toiſes en 9 minutes, & qu'un corps B en parcoure 96 en 6 minutes; la vîteſſe du corps A eſt à celle du corps B comme 6, quotient de 54 diviſés par 9, eſt à 16, quotient de 96 diviſés par 6.

Il ſuit de là, que deux corps qui parcourent des eſpaces inégaux en temps inégaux, ont leurs vîteſſes comme les eſpaces parcourus, diviſés par les temps employés à les parcourir, comme dans l'exemple ci-deſſus. Si ces deux corps parcourent des eſpaces inégaux en temps égaux, leurs vîteſſes ſont entre elles en raiſon directe des eſpaces parcourus: ſi le corps A, par exemple, parcourt 200 toiſes en 2 minutes, & que le corps B ne parcoure que 100 toiſes dans le même temps, leurs vîteſſes ſont entre elles comme 200 eſt à 100, ou comme 2 eſt à 1. Mais ſi ces deux corps parcourent des eſpaces égaux en temps inégaux, leurs vîteſſes ſont entre elles en raiſon inverſe des temps employés à les parcourir: ſi les deux corps A & B parcourent 200 toiſes, ſavoir, A en 1 minute, &

B en 2 minutes, la vîteſſe de A eſt à celle de B, comme 2 eſt à 1, en raiſon inverſe des temps.

La vîteſſe d'un corps qui ſe meut, peut être ou uniforme, ou accélérée, ou retardée.

57. La vîteſſe de ce corps eſt *uniforme*, s'il parcourt des eſpaces égaux en temps égaux. Suppoſons, par exemple, un corps qui parcourt une toiſe dans une ſeconde; une autre toiſe dans la ſeconde ſuivante; encore une toiſe dans la troiſieme ſeconde, & ainſi de ſuite; de façon que les temps & les eſpaces parcourus en chaque temps, ſoient toujours égaux entre eux : ce corps a une vîteſſe uniforme. On conçoit aiſément que cette uniformité de vîteſſe eſt poſſible; mais elle eſt très-rare dans l'état naturel, à cauſe des obſtacles inévitables, qui apportent à chaque inſtant quelque changement aux mouvemens des corps (76 & 96).

58. La vîteſſe d'un corps eſt *accélérée*, ſi, pendant des temps égaux & ſucceſſifs, il parcourt des eſpaces qui vont toujours en augmentant de plus en plus; ou s'il parcourt des eſpaces tous égaux entre eux, mais dans des temps qui décroiſſent de plus en plus. Telle eſt la vîteſſe d'un corps qui tombe librement, & qui va plus vîte vers la fin de ſa chûte qu'au commencement (214).

59. La vîteſſe d'un corps eſt *retardée*, ſi, dans des temps égaux & ſucceſſifs, il parcourt des

eſpaces

espaces qui vont toujours en décroissant de plus en plus ; ou s'il parcourt des espaces tous égaux entre eux, mais dans des temps qui augmentent de plus en plus. Telle est, par exemple, la vîtesse d'une boule qui roule sur le terrein, & qui se ralentit peu à peu, jusqu'à ce que la boule soit réduite au repos.

On distingue encore la vîtesse des corps en vîtesse absolue, vîtesse relative, & vîtesse respective.

60. La vîtesse *absolue* est celle d'un corps considérée en elle-même, & sans aucun rapport avec la vîtesse d'un autre corps : comme lorsqu'on considere la vîtesse d'un cheval qui fait 4 lieues en 2 heures de temps. Sa vîtesse est de deux lieues par heure. La vîtesse propre ou absolue d'un corps est donc le rapport de l'espace qu'il parcourt, & du temps qu'il emploie à le parcourir.

61. La vîtesse *relative* est celle d'un corps comparée avec celle d'un autre corps : comme lorsqu'on compare les vîtesses de deux chevaux, qui parcourent le même nombre de lieues, mais dont l'un met plus de temps que n'en met l'autre à parcourir cet espace. Leurs vîtesses sont entre elles en raison inverse de temps employés (56). Ainsi, si l'un y employoit 1 heure & l'autre 2 heures, la vîtesse du premier seroit à celle du second, comme 2 est à 1. Si ces deux chevaux

marchoient pendant le même temps, mais que l'un des deux fît plus de chemin que l'autre, leurs vîteſſes ſeroient alors en raiſon directe des eſpaces parcourus (56). Ainſi, ſi l'un parcouroit un eſpace double de celui que l'autre parcourt, ſa vîteſſe ſeroit double de celle de l'autre.

62. La vîteſſe *reſpective* eſt celle avec laquelle l'eſpace qui ſépare deux corps eſt parcouru, ou par l'un des deux entiérement, ou en partie par l'un & en partie par l'autre; c'eſt-à-dire, ſoit que l'un des deux corps reſte en repos, tandis que l'autre parcourt l'eſpace entier; ſoit qu'ils ſe meuvent tous deux, dans le même ſens ou en ſens contraires, avec des vîteſſes égales ou inégales. De
Fig. 4. ſorte que, ſi deux corps A & B (*fig.* 4), diſtans de 4 pieds, ſe joignent en 1 ſeconde, la vîteſſe reſpective de ces deux corps eſt toujours la même, ſoit que A ſeul parcoure l'eſpace entier, ſoit que, B venant à lui, il le rencontre, par exemple, en 3; ſoit que, B allant dans le même ſens que A, B parcoure, par exemple, 3 pieds pendant que A en parcourt 7, &c. pourvu que, dans tous les cas, les deux corps ſe joignent en 1 ſeconde exactement. Ce qui fait voir clairement qu'il ne faut pas confondre la vîteſſe reſpective avec la vîteſſe abſolue ou propre de chaque corps (60); car, dans le premier cas ſeulement, la vîteſſe abſolue de A eſt la même que la vîteſſe reſpective, c'eſt-à-dire, de

4 pieds par seconde ; & la vîtesse absolue de B est zéro. Mais dans le second cas, la vîtesse absolue de A est de 3 pieds ; celle de B, de 1 pied ; & la vîtesse respective, de 4 pieds par seconde. Dans le troisieme cas, la vîtesse absolue de A est de 7 pieds ; celle de B, de 3 pieds, & la vîtesse respective toujours de 4 pieds par seconde.

On appelle aussi, & dans le même sens, *vîtesse respective*, celle avec laquelle deux corps s'éloignent l'un de l'autre d'un certain espace dans un temps déterminé, quelles que soient leurs vîtesses absolues.

7. *Quantité du Mouvement.*

63. 7°. La *quantité du mouvement* d'un corps s'estime ou s'évalue en multipliant la masse de ce corps par sa vîtesse, car elle y est proportionnelle ; en sorte que le même corps a plus de mouvement, quand il a ou plus de masse ou plus de vîtesse ; ou, ce qui est la même chose, de deux corps dont les masses sont égales, celui qui a le plus de vîtesse, a le plus de mouvement ; & de deux corps dont les vîtesses sont égales, celui qui a le plus de masse, a le plus de mouvement ; car la vîtesse, imprimée à un corps quelconque, appartient à chaque partie de ce corps ; & si elles se désunissoient, chacune continueroit de se mouvoir avec le même degré de vîtesse qui a été imprimé au corps entier, abstraction faite des obstacles qui augmentent

en conſéquence de la diviſion. Suppoſons, par exemple, qu'un corps A, qui a 4 de maſſe, & un corps B qui a 2 de maſſe, ſe meuvent chacun avec 6 degrés de vîteſſe : on peut concevoir le corps A, diviſé en 2 parties égales, ſe mouvant avec ces 6 degrés de vîteſſe : chacune de ces parties a donc une quantité de mouvement égale à celle du corps B, puiſqu'elle a la même maſſe & la même vîteſſe. Ces deux parties, réunies pour former le corps A, ont donc une quantité de mouvement double de celle du corps B, par la raiſon que la maſſe eſt double. On concluroit la même choſe, ſi les deux maſſes étant égales, le corps A avoit une vîteſſe double de celle du corps B. On a donc le rapport des quantités du mouvement de deux corps, en multipliant la maſſe de chacun par ſa vîteſſe, ſoit que leurs maſſes & leurs vîteſſes ſoient égales ou non. Suppoſons, par exemple, un corps A qui a 4 de maſſe & 6 de vîteſſe, & un corps B qui a 7 de maſſe & 5 de vîteſſe ; la quantité du mouvement du corps A eſt à celle du corps B, comme 24, produit de 4 de maſſe, multipliés par 6 de vîteſſe, eſt à 35, produit de 7 de maſſe, multipliés par 5 de vîteſſe. En général, *la quantité du mouvement d'un corps eſt en raiſon compoſée de ſa maſſe & de ſa vîteſſe.*

64. Un corps qui ſe meut, peut en mouvoir

d'autres, & cela d'autant mieux, qu'il a une plus grande quantité de mouvement; & comme cette quantité de mouvement eſt relative à ſa maſſe & à ſa vîteſſe (63), & qu'elle croît autant par l'une que par l'autre, on peut auſſi compenſer l'une par l'autre, ſuivant les circonſtances; car un corps qui a peu de maſſe, fait autant d'effort avec beaucoup de vîteſſe, qu'un autre en feroit avec moins de vîteſſe, s'il avoit plus de maſſe. Tout le monde ſait qu'avec un petit marteau, qu'on fait agir promptement, on enfonce autant le même clou, qu'on le feroit avec un gros marteau qui agiroit lentement.

Mouvement abſolu.

65. Le mouvement abſolu eſt le changement de rapport de ſituation d'un corps reſpectivement à tous les autres corps qui l'avoiſinent ou qui l'entourent. Tel eſt le mouvement d'un homme qui va d'un lieu à un autre; il change continuellement de rapport de ſituation reſpectivement aux différentes parties du terrein qu'il parcourt.

Mouvement relatif.

66. Le mouvement relatif eſt le changement de rapport de ſituation d'un corps relativement à certains corps qui l'environnent, ſoit de près, ſoit de loin; & non pas relativement à d'autres. Un

corps peut être en repos relativement à quelques-uns des corps qui l'entourent, & en mouvement relativement à d'autres corps. Par exemple, un homme immobile dans un vaiſſeau qui fait route, eſt en repos relativement au vaiſſeau & à ce qu'il contient; mais il eſt en un *mouvement relatif*, eu égard au rivage. Si cet homme, au lieu de ſe tenir en repos dans le vaiſſeau, s'y promenoit, il ſeroit en un mouvement relatif reſpectivement au vaiſſeau, & reſpectivement au rivage; car cet homme, par ſon mouvement propre, changeroit de ſituation avec les différentes parties du vaiſſeau; & par ſon mouvement commun avec le vaiſſeau qui le tranſporte, il changeroit de ſituation avec les corps qui ſont ſur le rivage. Cependant, ſi cet homme, tandis que le vaiſſeau cingle, marche de la proue à la poupe avec une vîteſſe égale à celle avec laquelle le vaiſſeau avance; c'eſt-à-dire, s'il parcourt la longueur du vaiſſeau dans le même temps que le vaiſſeau emploie à avancer d'une pareille quantité & en ſens contraire, cet homme eſt bien en mouvement relativement au vaiſſeau; mais il n'y eſt pas relativement au rivage: car il répond toujours au même point; & quelqu'un qui du rivage regarderoit cet homme, le verroit toujours correſpondre au même point du rivage oppoſé.

Mouvement ſimple.

67. Le mouvement ſimple eſt celui d'un corps qui n'eſt dirigé que vers un ſeul point ; ſoit que ce corps ſoit pouſſé ou tiré par une ſeule puiſſance, ſoit qu'il y en ait pluſieurs qui le pouſſent ou le tirent dans la même direction. Un *mouvement ſimple* eſt donc l'effet d'une ſeule impulſion, ou de pluſieurs qui agiſſent enſemble ou ſucceſſivement dans la même direction. Tel eſt celui d'un corps grave, qui n'eſt commandé que par ſa peſanteur, laquelle le fait deſcendre par une ligne perpendiculaire à l'horizon. Tel eſt encore celui d'une voiture tirée par ſix chevaux.

Mouvement compoſé.

68. Le mouvement compoſé eſt celui d'un corps qui eſt déterminé à ſe mouvoir par pluſieurs puiſſances qui agiſſent en même temps & ſelon des directions différentes, & qui font angle enſemble ou qui ſe croiſent au mobile. Un *mouvement compoſé* eſt donc l'effet de pluſieurs impulſions qui agiſſent en même temps, & dont les directions ſe croiſent. Tel eſt celui d'un bateau AE (*fig.* 5) qui ſuit la direction d'un canal AB, en obéiſſant en même temps à l'effort de deux hommes C, D, qui, placés chacun ſur un des rivages, tirent le bateau, l'un par le moyen de la corde EC, & *Fig.* 5.

l'autre par le moyen de la corde E D. Ce bateau ſuit, en vertu de ces deux puiſſances, la direction E B.

Nous reviendrons en détail ſur ce mouvement (159), qui ſe rencontre très-ſouvent dans la Nature.

Mouvement rectiligne.

69. Le mouvement rectiligne eſt celui qui ſe fait en ligne droite. Il a toujours lieu dans les mouvemens ſimples (67). Il a lieu auſſi dans les mouvemens compoſés, lorſque les puiſſances qui les produiſent, perſéverent dans les mêmes rapports entre elles pendant toute la durée du mouvement, ſoit que ces puiſſances ne ſouffrent aucun changement, ſoit que les changemens ſoient égaux ou proportionnels de part & d'autre (161).

Mouvement curviligne.

70. Le mouvement curviligne eſt celui qui ſe fait en ligne courbe. Tels ſont tous les mouvemens compoſés (68), produits par des puiſſances, qui, agiſſant enſemble, changent à chaque inſtant de rapports, ſoit quant à la direction, ſoit quant à l'intenſité ou à la force.

Mouvement réfléchi.

71. Le mouvement réfléchi eſt celui d'un corps

qui rencontre un obſtacle impénétrable pour lui, tel qu'un mur, un rocher, &c. lequel l'oblige à rebrouſſer chemin, & le fait rejaillir après le choc. Tel eſt le mouvement d'une balle de paume, qui, après avoir touché le mur vers lequel on la lance, rejaillit vers celui qui l'a lancée.

Mouvement réfracté.

72. Le mouvement réfracté eſt celui d'un corps qui paſſe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins réſiſtant que le milieu d'où il ſort, & dont le plus ou moins de réſiſtance oblige le corps de quitter ſa premiere direction. Tel eſt le mouvement d'un corps qui paſſe de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, en ſe préſentant obliquement un plan qui ſépare les deux milieux. On voit par-là, que, pour que le *mouvement réfracté* ait lieu, deux choſes ſont abſolument néceſſaires; ſavoir, le changement de milieu, & l'obliquité d'incidence ſur le plan qui ſépare ces deux milieux.

Loix du Mouvement.

73. On appelle *Loix du mouvement*, certaines regles ſuivant leſquelles les corps ſe meuvent, quand ils agiſſent les uns ſur les autres.

Il y a deux ſortes de mouvemens; ſavoir, le *ſimple* (67), & le *compoſé* (68), dont tous les

autres mouvemens, dont nous venons de parler, ne ſont que des eſpeces particulieres. En établiſſant les loix de ces deux mouvemens, nous aurons donc établi celles des autres : il ne reſtera plus qu'à ajouter quelques particularités, dont nous parlerons dans la ſuite.

I. *Loix du Mouvement ſimple.*

74. *Tout corps qui eſt une fois mis en mouvement, doit continuer de ſe mouvoir dans la direction & avec le degré de vîteſſe qu'il a reçu, ſi ſon état n'eſt changé par quelque cauſe nouvelle.*

Si donc ce corps quitte la ligne droite qu'il a commencé à décrire, ſi ſa vîteſſe s'accélere ou ſe ralentit, ces changemens viennent certainement d'une cauſe particuliere, qui le détermine autrement, qui ajoute ou qui retranche à ſa vîteſſe; ſans quoi la premiere cauſe ne ceſſeroit pas d'avoir pleinement ſon effet; car tous les corps ont une force d'inertie (41), par laquelle ils réſiſtent à toutes variations d'état; & cette réſiſtance ne peut être détruite que par une puiſſance qui lui ſoit oppoſée. Sans cette puiſſance, la loi auroit donc ſon effet.

75. Mais on peut objecter que cette loi aſſigne aux corps en mouvement une conſtance de direction & de vîteſſe qui ne ſe rencontre jamais; car tout mouvement ſe ralentit, & tout mobile

revient en repos, après un temps plus ou moins long.

Il eſt bien vrai qu'aucune expérience ne prouve directement l'énoncé de cette loi. Mais, 1°. tout corps, en tel état qu'il ſoit, tend à y perſévérer par ſa force d'inertie (41); ce principe ſeul ſuffit pour prouver que la loi dont il s'agit exiſte dans la Nature. 2°. Si les corps perdent toujours leur mouvement après un certain temps, c'eſt qu'il y a toujours des obſtacles qui le leur font perdre: car, 1°. les corps, dans quelque endroit & de quelque maniere qu'on les faſſe mouvoir, ſe trouvent toujours plongés dans quelque fluide qui, à cet égard, ſe nomme *milieu*, & qu'ils ſont obligés de déplacer ſans ceſſe pour ſe faire un paſſage; & comme ce milieu eſt matériel, & par conſéquent impénétrable (11), il fait une continuelle réſiſtance au mobile qui tend à le déplacer. Ce mobile ne peut donc continuer de ſe mouvoir, qu'en employant à chaque inſtant une partie de ſon mouvement pour vaincre cette réſiſtance: ainſi, après un certain temps, il a tout employé, & ſe trouve réduit au repos. 2°. Tous les corps étant peſans (198), aucun d'eux ne peut ſe mouvoir, qu'il ne ſoit ſoutenu ou par une ſuſpenſion, ou par un plan, ou du moins qu'il ne gliſſe dans quelque fluide qui le touche de toutes parts. De quelque maniere qu'on s'y prenne, il faut toujours qu'il paſſe par

les différens points de la surface du plan qu'il parcourt, ou du fluide qu'il divise. Cette application successive de surface à surface se nomme *frottement*, & apporte une résistance au mouvement. Or ces deux résistances, celle des milieux & celle qui vient des frottemens, sont, comme l'on voit, tellement liées à l'état naturel, qu'elles sont absolument inévitables. Si ces résistances cessoient d'exister, notre premiere loi auroit certainement son plein & entier effet. Un corps qui seroit une fois mis en mouvement dans le vide absolu, s'il étoit possible, continueroit donc à se mouvoir pendant l'éternité dans ce vide, & y parcourroit à jamais des espaces égaux en temps égaux; puisque là aucun obstacle ne consumeroit la force de ce corps, ni en tout, ni en partie.

Comme nous sommes souvent intéressés à connoître la quantité de mouvement qui reste à un corps, déduction faite de celle que lui ont fait perdre les résistances qui naissent & des milieux & des frottemens, voyons donc ce qu'on doit considérer, quand on veut évaluer ces résistances.

Résistance des Milieux, ou des Fluides.

76. La résistance des milieux est l'obstacle que les fluides, au travers desquels les corps se meuvent, opposent au mouvement de ces corps (75); car ces fluides ou milieux étant matériels, résistent,

comme tous les autres corps, par leur inertie (11), aux efforts qui tendent à les déplacer. Cette réſiſtance eſt proportionnelle à la maſſe (24) qui doit être déplacée. La valeur de cette maſſe dépend, 1°. de la denſité du milieu; 2°. du volume qu'il en faut déplacer : donc plus cette denſité & ce volume ſont grands, plus la réſiſtance du milieu eſt conſidérable. Mais ce volume, qui doit être déplacé, ſe meſure par la ſurface antérieure du corps qui ſe meut, & par l'eſpace que ce corps parcourt dans un temps donné. Donc, plus la ſurface antérieure & la vîteſſe de ce corps ſont grandes, plus eſt grande la maſſe déplacée du milieu; & par conſéquent plus eſt grande ſa réſiſtance.

77. Pour évaluer cette réſiſtance, *Newton* a donné une regle qui nous fournit du moins quelques notions. Il a démontré qu'un *corps ſphérique*, qui ſe meut dans un milieu tranquille, d'une denſité égale à la ſienne, perd la moitié de ſon mouvement en parcourant un eſpace égal à $\frac{8}{3}$ de ſon diametre. Ce que cette ſphere déplace du fluide, équivaut à un cylindre dont la baſe a pour diametre celui de la ſphere, & pour axe la ligne que ſon centre décrit; c'eſt-à-dire, $\frac{8}{3}$ du diametre de la ſphere. Or le cylindre eſt à la ſphere de même diametre comme 3 eſt à 2. Un cylindre dont la baſe a pour diametre celui d'une ſphere, & pour hauteur les $\frac{2}{3}$ de ce diametre (ſuppoſant égales les

denſités de l'un & de l'autre), a donc une maſſe égale à celle de la ſphere. Donc, dans ce cas-là, la maſſe déplacée du fluide eſt à la maſſe du corps ſphérique, comme 8 eſt à 2, ou comme 4 eſt à 1. Par conſéquent, quelle que ſoit la denſité du milieu, ainſi que celle du corps ſphérique qui s'y meut, toutes les fois que ce corps ſphérique aura déplacé une maſſe de ce milieu qui égale 4 fois la ſienne, il aura perdu la moitié de ſon mouvement.

78. Pour ſavoir donc quel eſpace un corps ſphérique doit parcourir, par exemple, dans l'eau, pour perdre la moitié de ſon mouvement; il faut connoître le rapport de la denſité de ce corps à celle de l'eau. La denſité de l'or pur eſt à celle de l'eau, comme 192581 eſt à 10000; la denſité du cuivre jaune eſt à celle de l'eau, comme 83958 eſt à 10000; la denſité du plomb eſt à celle de l'eau, comme 113523 eſt à 10000. D'où il ſuit qu'une ſphere d'or, pour perdre la moitié de ſon mouvement, doit parcourir dans l'eau un eſpace égal à 51 fois & $\frac{1}{5}$ ſon diametre; la boule de cuivre, un eſpace égal à 22 fois & $\frac{1}{5}$ ſon diametre; & la boule de plomb, un eſpace égal à 30 fois & $\frac{1}{4}$ ſon diametre. Nous avons ſuppoſé que le corps eſt ſphérique; car s'il avoit une autre figure, il éprouveroit une réſiſtance différente; & pour perdre la moitié de ſon mouvement, il lui faudroit parcourir un eſpace ou plus ou moins grand, ſuivant

la figure qu'il auroit, ou ſuivant celle de la ſurface qui, pendant le mouvement, ſeroit antérieure.

M. *Jacques Bernouilli* a démontré les théorêmes ſuivans.

79. Si un triangle iſocelle eſt mu dans un fluide ſuivant la direction d'une ligne perpendiculaire à ſa baſe, d'abord par ſa pointe, enſuite par ſa baſe, la réſiſtance dans le premier cas ſera à la réſiſtance dans le ſecond cas, comme le quarré de la moitié de la baſe eſt au quarré d'un des côtés. D'où l'on voit que plus l'angle du ſommet du triangle ſera aigu, moins grande ſera la réſiſtance.

80. La réſiſtance d'un quarré mu ſuivant la direction de ſon côté, eſt à la réſiſtance de ce même quarré mu ſuivant la direction de ſa diagonale, comme le côté eſt à la moitié de la diagonale.

81. La réſiſtance d'un demi-cercle qui ſe meut par ſa baſe, eſt à ſa réſiſtance, lorſqu'il ſe meut par ſon ſommet, comme 3 eſt à 2. (L'expérience fait voir que c'eſt comme 3 à moins de 2.)

Ces regles peuvent être utiles juſqu'à un certain point dans la conſtruction des vaiſſeaux.

82. Nous avons dit ci-deſſus (76) que la réſiſtance des milieux dépend de la quantité qu'on en déplace dans un temps donné; & que cette quantité eſt meſurée par la ſurface antérieure du

corps qui se meut, & par le chemin qu'il parcourt pendant ce temps. Donc, plus cette surface est grande, plus la résistance est considérable. C'est pourquoi, lorsqu'un vaisseau a toutes ses voiles déployées, il donne plus de prise au vent. Il suit de là que le même corps, parcourant des espaces égaux dans le même temps, peut éprouver dans le même milieu des résistances plus ou moins grandes, suivant la maniere dont il se présente au choc du milieu. On sait qu'on éprouve dans l'eau une plus grande résistance, en y faisant mouvoir sa main par le plat, que par le tranchant. C'est pourquoi le Batelier fait agir sa rame par le plat, quand il cherche un point d'appui dans la résistance de l'eau; mais il la releve par le tranchant pour se moins fatiguer. Par la même raison, une regle plate qu'on fait mouvoir dans l'air, y éprouve une moindre résistance par son tranchant, que par son plat.

83. Cette résistance des milieux croît aussi à mesure que la vîtesse du mobile augmente; & elle ne croît pas simplement comme la vîtesse, mais à peu près comme le quarré de la vîtesse: de sorte que, si l'on suppose deux corps égaux A & B, qui se meuvent tous deux dans le même milieu; & que A se meuve avec une vîtesse triple de celle de B, A éprouvera une résistance neuf fois aussi grande que celle qu'éprouvera B; car quand des

corps

corps ſemblables ſe meuvent à travers le même fluide, avec des vîteſſes différentes, cette réſiſtance croît en proportion du nombre des particules frappées dans un temps égal, & ce nombre eſt comme l'eſpace parcouru dans le même temps, c'eſt-à-dire, comme la vîteſſe: mais de plus, elle croît en proportion de la force avec laquelle le corps heurte contre chaque partie; & cette force eſt comme la vîteſſe du corps. Par conſéquent, ſi la vîteſſe eſt triple, la réſiſtance eſt triple, à cauſe du nombre triple de parties que le corps doit écarter: elle eſt auſſi triple, à cauſe du choc trois fois auſſi fort dont elle frappe chaque particule. C'eſt pourquoi la réſiſtance totale eſt neuf fois auſſi grande, c'eſt-à-dire, comme le quarré de la vîteſſe. Ainſi un corps qui ſe meut dans un fluide, eſt retardé, partie en raiſon ſimple de ſa vîteſſe, & partie en raiſon doublée de cette même vîteſſe; & quand cette vîteſſe eſt crue à un certain point, le corps frappe le fluide plus vîte qu'il ne peut céder; & ce fluide ſert de point d'appui. Pourquoi, par exemple, les coups de rames font-ils avancer un bateau? & pourquoi le font-ils avancer d'autant plus vîte, qu'ils ſont plus prompts & plus fréquens? C'eſt que, lorſqu'on frappe l'eau plus vîte qu'elle ne peut céder, elle devient, par cette lenteur à obéir, le point d'appui de la rame. Les poiſſons font avec leurs nageoires & leur queue, les

Nageurs font avec leurs bras & leurs jambes, ce que le Batelier fait avec ſes rames.

84. L'air, étant matériel, eſt un milieu réſiſtant, comme les autres ; à cela près qu'étant moins denſe, il réſiſte moins. Pour qu'il ſerve de point d'appui, il faut donc le frapper ou plus vîte, ou en plus grand volume. Auſſi les oiſeaux qui volent long-temps & fort loin, comme les hirondelles, les oiſeaux de proie, pluſieurs oiſeaux aquatiques, &c. ont peu de corps, beaucoup de plumes, & les ailes fort grandes, afin de pouvoir frapper un plus grand volume d'air, & n'avoir pas beſoin d'une grande vîteſſe, qui les fatigueroit beaucoup. Ceux au contraire qui ont un vol plus court & moins fréquent, ont plus de chair, & des ailes par proportion plus petites : c'eſt pourquoi ils ont beſoin de frapper l'air avec plus de vîteſſe ; ce qui les fatigue, & les empêche d'aller loin. Que l'on compare maintenant le poids d'un homme avec la force qu'il lui faudroit avoir dans les muſcles des bras, pour mouvoir des ailes d'une grandeur proportionnée à ſa maſſe, & avec une vîteſſe capable de le ſoutenir en l'air ; & l'on jugera de la folie de ceux qui ont cherché les moyens de voler. Que l'on ne diſe pas que les ballons nous ont prouvé ces moyens poſſibles : ce n'eſt pas le même cas, à beaucoup près. Un homme eſt ſoutenu en l'air par ſon ballon, qui eſt un corps plus léger qu'un

pareil volume du fluide dans lequel il eſt plongé ; & il y eſt ſoutenu, ſans avoir beſoin d'employer aucune force.

85. La réſiſtance qui vient de la cohéſion des parties dans les fluides, excepté ceux qui ſont glutineux, n'eſt guere ſenſible en comparaiſon de l'autre réſiſtance, qui eſt en raiſon des quarrés des vîteſſes. Plus la vîteſſe eſt grande, plus les deux réſiſtances ſont différentes ; c'eſt pourquoi, dans les mouvemens rapides, il ne faut conſidérer que la réſiſtance qui eſt comme le quarré de la vîteſſe.

86. Si le milieu eſt agité, ſa réſiſtance ſera augmentée ou diminuée par ſon mouvement propre ; augmentée, ſi le milieu ſe meut en ſens contraire du mobile ; diminuée ou même annullée, ſi le mobile & le milieu ſe meuvent dans le même ſens. Un poiſſon, par exemple, qui remonte le courant d'une riviere, un homme qui va contre le vent, ont chacun deux réſiſtances à vaincre : l'une eſt l'inertie du volume du milieu qu'il leur faut déplacer, comme ils le feroient dans un fluide tranquille ; l'autre eſt le mouvement acquis du fluide, dont la direction eſt contraire à la leur. C'eſt pour cette raiſon que, quand on fait mouvoir un corps contre la direction d'un fluide dont le mouvement eſt rapide, on diminue ſon volume autant qu'il eſt poſſible, pour donner moins de priſe à l'effort du courant. Un vaiſſeau qui a le vent

contraire, plie ſes voiles ; quand le vent eſt trop fort, le Meûnier déshabille en partie les ailes de ſon moulin.

87. Si le mobile & le fluide qui lui ſert de milieu ont la même direction, ou ils ont des vîteſſes égales, ou l'un des deux en a plus que l'autre. Dans le premier cas, la réſiſtance du milieu eſt nulle : tel eſt un poiſſon qui ſuit exactement le courant de l'eau : tel eſt un ballon qui s'en va au gré du vent ; ni l'un ni l'autre n'éprouve aucune réſiſtance de la part du milieu. Dans le ſecond cas, celui des deux qui a le plus de vîteſſe en communique à l'autre aux dépens de celle qu'il a. Un boulet de canon, par exemple, qui part dans la direction du vent, ne trouve pas autant de réſiſtance dans l'air, qu'il en trouveroit dans un temps calme ; ſa vîteſſe eſt moins retardée : mais, comme il va plus vîte que le vent, il faut toujours qu'il s'ouvre un paſſage dans ce milieu qui fuit devant lui avec trop de lenteur. Il éprouve donc une réſiſtance, mais moindre que ſi l'air étoit tranquille.

88. Ce qu'il y auroit pour nous de plus intéreſſant à connoître exactement, relativement à la réſiſtance des fluides, ce ſeroit ſur-tout celle de l'eau pour les corps qui flottent deſſus, tel qu'un bateau, un vaiſſeau, &c. Cette réſiſtance dépend, 1°. de la denſité du fluide ; 2°. du volume de ce

fluide qui doit être déplacé dans un temps donné; 3°. de la vîteſſe du mobile; 4°. de la figure du mobile; 5°. de la largeur & de la profondeur du canal.

89. 1°. Cette réſiſtance dépend de la denſité du fluide; plus cette denſité eſt grande, plus la réſiſtance eſt grande. L'eau de mer, ayant plus de denſité que l'eau de riviere, réſiſte davantage.

90. 2°. Elle dépend du volume du fluide qui doit être déplacé dans un temps donné. Ce volume déplacé dépend de la ſurface antérieure du mobile, & de l'eſpace parcouru (76). Si le choc du fluide ſur la ſurface antérieure du mobile eſt perpendiculaire à ſa direction, la réſiſtance eſt ſenſiblement proportionnelle à l'étendue des ſurfaces. Elle augmente même dans une raiſon un peu plus grande, que n'augmente l'étendue de la ſurface en largeur, pour les corps qui flottent; c'eſt-à-dire que ſi l'on double la largeur du bateau, la réſiſtance eſt un peu plus que doublée; car plus cette ſurface eſt large, plus le fluide a de peine à ſe détourner & à ſe mettre de niveau: ce que prouve le *remou*, qui eſt alors plus conſidérable. Mais cette réſiſtance augmente un peu moins que n'augmente l'étendue de la ſurface en profondeur; c'eſt-à-dire que ſi l'on double la profondeur du bateau, ſans augmenter ſa largeur, la réſiſtance eſt un peu moins que doublée; parce qu'alors le *remou*, qui ſe fait tout à la ſurface du fluide, eſt

moindre. En général, dans la pratique, on peut ſuppoſer, ſans crainte d'erreur ſenſible, que *la réſiſtance perpendiculaire & directe d'une ſurface plane, qui ſe meut parallélement à elle-même dans un fluide indéfini, eſt égale au poids d'une colonne du même fluide, laquelle auroit pour baſe la ſurface choquée; & pour hauteur, celle qui eſt due à la vîteſſe avec laquelle ſe fait la percuſſion.*

Mais ſi deux plans différens ſe meuvent tous deux parallélement à eux-mêmes, dans le même fluide avec des vîteſſes différentes, *les réſiſtances du fluide ſeront entre elles comme les produits de ces plans, par les quarrés de leurs vîteſſes.*

Si les fluides dans leſquels ces deux plans ſe meuvent, n'étoient pas de la même eſpece, la raiſon de leurs denſités devroit entrer dans le calcul. Alors *les réſiſtances ſeroient en raiſon compoſée des plans, des denſités des fluides, & des quarrés des vîteſſes de ces plans.* Il ne faut pas manquer de faire ainſi le calcul, lorſqu'il s'agit de comparer la réſiſtance d'un fluide à celle d'un autre fluide de denſité différente. Par exemple, en ſuppoſant des plans de même étendue, & ſe mouvant avec la même vîteſſe, la réſiſtance de l'eau eſt à celle de l'air, à très-peu de choſe près, comme $811\frac{1}{2}$ eſt à 1; c'eſt-à-dire, dans le rapport des denſités de ces deux fluides.

Si les deux fluides étoient eux-mêmes en mouvement, soit en même sens, soit en sens contraire du mouvement des plans, *les résistances seroient entre elles comme les produits des plans par les quarrés des différences ou des sommes des vîtesses des fluides & des plans.*

91. Dans le choc oblique, la regle établie est que *les résistances sont en raison du quarré du sinus de l'angle d'incidence du fluide sur le plan.* Mais cette théorie s'éloigne beaucoup de la pratique, quand les angles sont fort petits; & l'expérience prouve que la résistance est beaucoup plus grande que ne la donne la théorie. Ainsi cette théorie ne peut pas déterminer exactement les résistances qui proviennent des chocs obliques, même quand on introduiroit, au lieu du quarré, toute autre puissance du sinus de l'angle d'incidence. La fonction générale du temps, de l'espace, de la surface & du sinus de l'angle d'incidence, qui devroit être propre à représenter la résistance dans tous les cas, est un objet de recherche très-difficile, & bien digne de l'attention des Géometres. Cette théorie ne peut pas non plus être employée pour trouver le solide de la moindre résistance; ce qui feroit pourtant un grand avantage pour la construction des vaisseaux, & ce qui seroit très-propre à les rendre les meilleurs voiliers possibles.

Si l'on veut comparer la réſiſtance du choc perpendiculaire à celle du choc oblique dans le même fluide, ſuppoſons que le fluide X frappe perpendiculairement le plan A en repos, & que le fluide Y frappe obliquement le plan B, auſſi en repos ; alors la réſiſtance contre le plan A ſera à la réſiſtance contre le plan B, comme le produit du plan A par le quarré de la vîteſſe du fluide X & par le quarré du ſinus total, eſt au produit du plan B par le quarré de la vîteſſe du fluide Y & par le quarré du ſinus de l'angle d'incidence du fluide Y ſur le plan B.

92. A l'égard de la tenacité de l'eau & de la cohéſion de ſes parties, ainſi que du frottement qu'elle cauſe ; cette force doit être regardée comme infiniment petite par rapport à la réſiſtance qui vient de l'inertie (85). Cette tenacité & ce frottement ne pourroient devenir ſenſibles, que dans le cas extraordinaire, où le vaiſſeau auroit une longueur exceſſive par rapport à ſa largeur.

93. 3°. La réſiſtance des fluides dépend de la vîteſſe du mobile. Cette réſiſtance ſuit à peu près la raiſon du quarré des vîteſſes (83). A la rigueur, elle augmente en plus grande raiſon que le quarré de la vîteſſe, à cauſe que le fluide ne fuit pas aſſez vîte devant le mobile ; ce que prouve le *remou* ; mais la différence n'eſt pas grande.

94. 4°. La figure du vaiſſeau contribue beaucoup

à la réſiſtance du fluide ſur lequel il flotte. La plus forte réſiſtance vient du choc direct & perpendiculaire (90). Le choc oblique la diminue (91); & d'autant plus, que l'angle de la proue eſt plus aigu; car plus cet angle eſt aigu, plus le ſinus de l'angle d'incidence du fluide eſt petit. Mais cet angle très-aigu eſt incommode; il donneroit beaucoup de longueur au vaiſſeau, & peu d'emplacement dans l'intérieur.

95. 5°. La réſiſtance du fluide dépend de la largeur & de la profondeur du canal. Plus les canaux ſont étroits & peu profonds, plus la réſiſtance eſt grande; parce que le fluide, pouſſé par le bateau, a d'autant moins la liberté de paſſer de l'avant à l'arriere. La différence peut aller très-loin; la réſiſtance peut être double ou même triple. Il eſt donc eſſentiel de donner aux canaux de navigation le plus de largeur & de profondeur qu'il eſt poſſible, ſans ſe jeter néanmoins dans une dépenſe ſuperflue.

On doit éviter auſſi, à moins qu'on n'y ſoit forcé par des circonſtances locales, de conſtruire des canaux ſouterreins; car, pour leur donner les dimenſions requiſes, ils couteroient des ſommes énormes, ſoit pour l'extraction des terres, ſoit pour la conſtruction des voûtes, qui ſont preſque toujours néceſſaires.

Réſiſtance des Frottemens.

96. On appelle *frottement*, le paſſage d'une ſurface d'un corps ſur celle d'un autre corps. Toutes les fois que deux ſurfaces gliſſent l'une ſur l'autre, il y a donc frottement, lequel oppoſe une réſiſtance; parce que ces ſurfaces, quelque polies qu'elles nous paroiſſent, ne le ſont jamais parfaitement: ce ſont toujours des aſſemblages de petites éminences & de petites cavités. Je n'en excepte pas même la ſurface polie d'un diamant; car cette ſurface a été polie avec quelques poudres, qui l'ont ſillonnée: ces ſillons ſont, à la vérité, tellement petits, que nos yeux ne les apperçoivent pas; mais ils n'exiſtent pas moins. Lors donc que deux ſurfaces ſe touchent, les éminences de l'une entrent dans les cavités de l'autre; & pour les faire gliſſer l'une ſur l'autre, il faut ou arracher les parties engagées, ou ſoulever le corps pour les dégager, & par conſéquent vaincre le poids de ce corps. Or il faut une force réelle, ou pour vaincre le poids du corps, ou pour en arracher les parties engagées; & ce qui réſiſte à cette force, eſt ce qu'on appelle *frottement*. Les frottemens ſont donc une réſiſtance réelle au mouvement des corps.

97. La ſurface d'un corps peut parcourir la ſurface d'un autre corps de deux manieres, ou ſimplement en gliſſant, ou en roulant. Dans le

premier cas, il y a application ſucceſſive des mêmes parties d'une ſurface à différentes parties de l'autre; comme lorſqu'on fait gliſſer une planche ſur une table. Dans le ſecond cas, il y a application ſucceſſive des différentes parties d'une ſurface à différentes parties de l'autre; comme lorſqu'on fait rouler une boule ou une roue ſur un terrein. De là on diſtingue deux ſortes de frottemens. Lorſque les corps gliſſent l'un ſur l'autre, le frottement ſe nomme celui de la premiere eſpece; lorſque l'un roule ſur l'autre, le frottement ſe nomme celui de la ſeconde eſpece. Ces deux eſpeces de frottemens oppoſent une réſiſtance, & ralentiſſent le mouvement des corps; mais la réſiſtance de celui de la ſeconde eſpece eſt moindre que celle de l'autre, & produit moins d'effet; car pour vaincre la réſiſtance du frottement de la premiere eſpece, il faut, ou ſoulever le corps gliſſant, ou en rompre les parties engagées; au lieu que, dans celui de la ſeconde eſpece, les parties engagées du corps roulant ſe quittent & ſe déſengrenent à peu près comme le font les dents de deux roues qui roulent l'une ſur l'autre. C'eſt pourquoi, lorſqu'on ſe trouve dans une deſcente rapide avec une voiture, pour en ralentir la vîteſſe & l'empêcher de ſe précipiter, on enraye une des roues. Par ce moyen, on change le frottement de la ſeconde eſpece en celui de la premiere, qui réſiſte davantage.

98. Il y a encore plus de difficultés à évaluer la réſiſtance des frottemens, que celle des milieux. Le paſſage d'une ſurface ſur une autre fait une réſiſtance d'autant plus grande, & ce paſſage eſt d'autant plus retardé, que ces ſurfaces ont plus d'inégalités; mais ce plus ou ce moins d'inégalités varie à l'infini, & eſt très-difficile à connoître. Les autres qualités, ſavoir, la grandeur des ſurfaces frottantes, la force qui preſſe ces ſurfaces l'une ſur l'autre, la vîteſſe avec laquelle elles ſe meuvent, ſont plus faciles à eſtimer; mais comme leur valeur eſt relative à l'état actuel des ſurfaces frottantes, & que cet état eſt peu connu, il reſte toujours de l'incertitude. Il faut donc le plus ſouvent ſe contenter d'un à peu près. Il eſt aſſez d'uſage de ſuppoſer, dans les grandes machines, un tiers de la force employée pour vaincre la réſiſtance des frottemens; & quelquefois ce tiers ne ſuffit pas.

99. M. *Amontons* (*Mém. de l'Acad. des Scienc. année* 1699, *p.* 206) a penſé que, pour évaluer les frottemens, on ne devoit pas avoir égard à la grandeur des ſurfaces frottantes, mais ſeulement à la force qui preſſe ces ſurfaces les unes contre les autres; laquelle force n'eſt ſouvent que le poids des corps, qu'il faut ſoulever pour les faire gliſſer; & que par conſéquent, lorſqu'une piece de bois, par exemple, a plus d'épaiſſeur dans un ſens que dans l'autre, il eſt indifférent de traîner cette piece de

bois ſur ſa grande ou ſa petite ſurface ; que dans les deux cas la réſiſtance des frottemens eſt égale, parce que le poids de cette piece demeure toujours le même, & que ſa charge eſt diſtribuée à toutes les parties de la ſurface frottante ; de ſorte que, ſi cette ſurface frottante eſt la plus grande, il y a, à la vérité, plus de parties engagées, mais elles le ſont moins que s'il y en avoit un moindre nombre, mais qui ſeroient plus chargées. M. *Amontons* a ſoutenu & appuyé ſon opinion ſur des expériences ingénieuſes & des raiſonnemens ſpécieux. Cependant l'expérience prouve auſſi qu'il y a des cas où il faut compter pour quelque choſe la grandeur des ſurfaces, quoique l'augmentation des ſurfaces frottantes augmente beaucoup moins la réſiſtance des frottemens, que ne le fait l'augmentation des preſſions. Et en effet, la premiere cauſe des frottemens eſt l'inégalité des ſurfaces (96) : en augmentant la grandeur de ces ſurfaces, on fait croître le nombre de ces inégalités ; puiſqu'on augmente la cauſe, l'effet doit être augmenté.

100. Outre la preſſion & la grandeur des ſurfaces, on doit encore faire entrer la vîteſſe dans l'évaluation des frottemens ; car ſi l'on augmente la vîteſſe, il eſt évident que, la ſurface frottante faiſant plus de chemin dans un temps déterminé, ſes éminences ſeront, pendant ce temps, ou pliées, ou rompues, ou dégagées, en plus grand

nombre, & par conſéquent le corps ſoulevé plus fréquemment, ce qui augmente la réſiſtance. Il eſt pourtant vrai que cette augmentation de réſiſtance, qui vient de la vîteſſe avec laquelle on fait frotter les ſurfaces, a ſes bornes, au delà deſquelles on peut accélérer la vîteſſe, ſans que les frottemens en deviennent plus conſidérables : de ſorte qu'on peut dire en quelque façon, qu'en augmentant la cauſe, on n'augmente plus ſon effet ; ce qui a beſoin d'être expliqué. Pour cela, ſuppoſons *Fig. 6.* que DE & FG (*fig. 6.*) repréſentent deux ſurfaces de corps durs, dont les inégalités preſque inſenſibles (quoiqu'ici repréſentées en grand), ſont engrenées les unes dans les autres ; que la preſſion qui les joint agiſſe dans la direction AB, perpendiculaire à celle qu'ont les deux corps, quand ils gliſſent l'un ſur l'autre. Il eſt clair que le corps DE ne peut ſe mouvoir ſuivant la direction BC, à moins que ſes parties ſaillantes *e*, *f*, *g*, *h*, ne ſe dégagent des creux dans leſquels elles ſont enfoncées ; ce qui ne peut ſe faire, qu'autant que le corps entier DE ſera ſoulevé contre l'effort de la preſſion. Si cette preſſion fait retomber ces parties ſaillantes dans les creux ſuivans, de ſorte que *e*, ſortant de 1, retombe en 2, enſuite en 3, &c., il eſt clair que l'effort qu'il faudra faire pour ſoulever le corps DE, ſe répétera autant de fois qu'il y aura d'éminences & de creux ; & plus le corps DE

ſera de chemin dans un temps donné, plus ces ſoulévemens & ces rechûtes ſeront fréquens. Mais ſi la vîteſſe eſt aſſez grande pour que les éminences, une fois dégagées, paſſent pluſieurs cavités ſans y retomber; que la partie *e*, par exemple, ayant été dégagée du creux 1, au lieu de retomber dans le 2, ſoit tranſportée juſqu'au 3 ou juſqu'au 4, on conçoit aiſément que le corps frottant DE pourra parcourir 2 ou 3 fois autant de ſurface ſur FG, ſans que ſes éminences y ſoient plus fréquemment engagées; auquel cas la réſiſtance du frottement ne ſera pas augmentée, quoique la vîteſſe le ſoit.

Nous avons dit (98) qu'il étoit très-difficile d'évaluer au juſte la réſiſtance des frottemens. Voyons du moins ce que l'expérience prouve de certain, relativement à cette réſiſtance.

101. 1°. *Le frottement de la premiere eſpece cauſe une réſiſtance beaucoup plus grande que celle que cauſe le frottement de la ſeconde eſpece* (97). Pour vous en aſſurer, faites l'expérience ſuivante.

Expérience. Mettez ſur une table un bloc de marbre, poli ou non, peſant 50 ou 60 livres; eſſayez de le pouſſer avec la main, vous y trouverez une très-grande réſiſtance. Ici c'eſt un frottement de la premiere eſpece (97). Mettez enſuite, entre la table & le bloc de marbre, deux cylindres

ou rouleaux de bois, ils changeront le frottement de la premiere eſpece en celui de la ſeconde (97) : avec un très-petit effort vous ferez avancer le bloc de marbre. Donc, &c. C'eſt ainſi qu'on fait avancer ſur le terrein de groſſes pierres, qu'on ne remueroit que difficilement ſans cela.

Tous les frottemens tendent donc à détruire le mouvement des corps ; mais celui de la premiere eſpece a des effets beaucoup plus conſidérables que celui de la ſeconde eſpece. Ces effets du frottement ſe rencontrent par-tout ; ils ſont la principale cauſe de l'altération & du dépériſſement de nos habits, de nos meubles, &c. Les fers des chevaux ne s'uſent-ils pas en frottant ſur le pavé, ainſi que les bandes des roues ? C'eſt principalement ce qui fournit cette grande quantité de fer, qui ſe mêle & qui noircit les boues des grandes villes, où il paſſe beaucoup de chevaux & de voitures.

102. Si les frottemens nous ſont ſouvent nuiſibles, ils nous ſont quelquefois utiles ; les Arts ſavent les tourner à leur avantage. Une lime n'agit que par ſon frottement augmenté par la preſſion. C'eſt une ſurface garnie d'aſpérités qui s'inſinuent entre les parties de la piece qu'on travaille, & qui les arrachent. On peut dire la même choſe des meules & autres pierres à aiguiſer.

103. Lorſque la réſiſtance des frottemens eſt trop

trop grande, on la diminue beaucoup en enduiſant les ſurfaces frottantes de quelque matiere graſſe; comme lorſqu'on met du vieux oing entre l'eſſieu & le moyeu d'une roue. Cela produit deux effets qui contribuent à la diminution de la réſiſtance du frottement. 1°. Cette matiere graſſe remplit en partie les creux, & par-là rend moindres les inégalités des ſurfaces. 2°. Ce qui demeure de trop de cette matiere graſſe, & qui ne ſe loge pas dans les creux, fait l'équivalent des rouleaux dont nous avons parlé ci-deſſus (101), & change le frottement de la premiere eſpece en celui de la ſeconde.

104. 2°. *La réſiſtance des frottemens augmente par l'augmentation des ſurfaces frottantes*, comme le prouve l'expérience ſuivante.

Expérience. Mettez ſur une grande table, une piece de bois qui ait plus de largeur que d'épaiſſeur; qui ait, par exemple, 6 pouces de largeur & 3 pouces d'épaiſſeur. Moyennant un anneau fixé à un de ſes bouts, attachez-y une corde que vous ferez paſſer ſur une poulie fixée ſur le bord de la table, & que la corde porte un baſſin de balance. Mettez dans ce baſſin autant de poids qu'il en faudra pour faire avancer la piece de bois, frottant, 1°. ſur ſa grande face; 2°. ſur ſa petite. Vous verrez qu'il faudra un peu plus de poids dans le premier cas, que dans le ſecond. Donc, &c.

En effet, les inégalités des surfaces sont la première cause des frottemens (96) : en augmentant l'étendue des surfaces frottantes, on fait croître le nombre de ces inégalités. On augmente donc la cause. L'effet doit être augmenté. Mais cet effet n'est pas augmenté autant que l'étendue de la surface ; car une surface double ne cause pas une résistance double. Il arrive même quelquefois que l'augmentation de cet effet n'est pas sensible, comme dans certaines petites machines bien travaillées ; mais il n'en est pas de même dans les grandes machines, où souvent les pieces ne sont que dégrossies.

105. L'augmentation de résistance à raison des surfaces frottantes, a lieu aussi pour les fluides : leur vîtesse est d'autant plus retardée, que les surfaces frottantes ont plus d'étendue. L'expérience fait voir que les jets d'eau (qui ne s'élevent qu'en vertu de la vîtesse que l'eau a acquise en descendant) s'élevent d'autant moins, que les tuyaux sont plus petits ; parce qu'alors la surface frottante est proportionnellement plus grande : car la surface d'un gros tuyau, quoique plus grande que celle d'un petit, est cependant moindre relativement à sa capacité. Supposons deux tuyaux cylindriques, dont l'un ait 2 pouces de diametre, & l'autre 1 pouce seulement : il est démontré que la surface du gros n'est que double de celle du petit, tandis

que ſa capacité eſt quadruple : il faudroit donc quatre petits tuyaux pour contenir toute l'eau que tient le gros ; & les ſurfaces de ces quatre tuyaux, priſes enſemble, ſeroient doubles de la ſurface du gros. Donc plus les tuyaux ſont menus, plus les ſurfaces frottantes ſont grandes, relativement au volume d'eau qui y paſſe. C'eſt par la même raiſon que les rivieres coulent plus lentement dans les eaux baſſes : les ſurfaces frottantes ſont alors plus grandes relativement au volume d'eau. Car ſuppoſons AEFB (*fig.* 7.) la coupe du lit d'une riviere, & qu'il n'y ait de l'eau qu'à la hauteur CD, les ſurfaces frottantes ſont le fond EF, & les deux côtés CE & DF : doublons maintenant la quantité d'eau en la ſuppoſant à la hauteur AB, les ſurfaces frottantes ne ſeront augmentées que des deux côtés AC & BD : les ſurfaces latérales frottantes ſeront doublées ; mais le fond ne le ſera pas. *Fig.* 7.

106. 3°. *La réſiſtance des frottemens augmente par l'augmentation de la preſſion.*

Expérience. Servez-vous de l'appareil de l'expérience précédente (104). Après avoir éprouvé quel eſt le poids néceſſaire pour faire avancer la piece de bois, frottant ſur ſa face de 6 pouces, chargez cette piece de bois d'un poids égal au ſien ; vous aurez par-là doublé la preſſion de la piece ſur la table. Pour la faire avancer, dans ce ſecond cas,

il faudra un poids beaucoup plus considérable que dans le premier. Donc, &c. La raison de cela est que les parties s'engagent d'autant plus profondément que la pression est plus grande : elles résistent donc davantage à la force qui tend à les dégager.

107. 4°. *A proportions égales, la résistance des frottemens augmente beaucoup plus par l'augmentation de la pression, que par l'augmentation des surfaces frottantes*; c'est-à-dire que cette résistance est beaucoup plus augmentée en doublant ou triplant la pression, qu'en doublant ou triplant l'étendue des surfaces frottantes.

Ceci est prouvé par ce qui précede. On a vu (104) qu'une surface double n'oppose qu'une résistance fort peu supérieure à celle qu'oppose une surface simple; & l'on a vu (106) qu'une pression double produit une résistance beaucoup plus considérable. Donc, &c.

108. Voilà tout ce que l'expérience nous apprend, relativement à la résistance des frottemens. Il est donc très-difficile, comme nous l'avons déjà dit (98), peut-être même impossible, d'en déterminer au juste la valeur; parce que cette valeur dépend toujours de l'état actuel des surfaces frottantes, lequel n'est jamais assez connu : cependant on approche assez du vrai, si l'on évalue la résistance du frottement de la premiere espece à $\frac{1}{3}$ de la pression.

109. Mais si l'on avoit un intérêt réel à connoître exactement la valeur de la résistance du frottement de deux pieces déterminées, on pourroit la connoître au juste de la maniere suivante. Nous ferons voir dans la suite (543) que la force nécessaire pour soutenir un corps sur un plan incliné, qui seroit parfaitement poli, & qui n'occasionneroit aucun frottement; que cette force, dis-je, est au poids de ce corps, comme la hauteur du plan est à sa longueur. Eh bien, de l'un de ces deux corps dont vous voulez connoître la valeur du frottement, faites un plan incliné; placez l'autre dessus, & donnez à ce plan une inclinaison telle que le frottement du plan & la pesanteur du corps qui est dessus soient précisément en équilibre. Dans ce cas-là, la résistance du frottement de ces deux corps sera au poids du corps placé sur le plan, comme la hauteur du plan est à sa longueur. Si, par exemple, le plan a 10 pieds de longueur & 4 de hauteur, la résistance du frottement sera égale à quatre dixiemes du poids du corps.

110. De tout ce que nous venons de dire, de la résistance des milieux & de celle des frottemens, on doit conclure que, dans l'état naturel des choses, il ne peut y avoir aucun mouvement mécanique inaltérable; puisque ces deux résistances, qui sont inévitables, sont des causes qui exigent à chaque

inſtant que les corps emploient, pour les vaincre, une partie de leur mouvement. Quelque grande que ſoit la quantité qu'on leur en aura donnée, comme, par cette raiſon, elle ira toujours en diminuant, il arrivera l'inſtant où il n'en reſtera plus. Le mouvement perpétuel mécanique eſt donc démontré impoſſible; & ceux qui s'obſtinent à le chercher, & qui multiplient les frais dans cette vûe, perdent leur temps, leurs peines & leurs dépenſes, & prouvent complétement leur inepție.

II *Loix du Mouvement ſimple.*

111. *Les changemens qui arrivent au mouvement d'un corps, ſont toujours proportionnels à la cauſe qui les produit.*

Une force, quand elle agit, ne peut produire que ce dont elle eſt capable; & elle produit toujours tout ce dont elle eſt capable, à moins que quelque autre force ne s'y oppoſe. L'effet ſera donc toujours proportionnel à la cauſe. Cela eſt trop ſimple & trop clair, pour mériter une plus ample explication.

III *Loix du Mouvement ſimple.*

112. *La réaction eſt toujours égale à l'action ou à la compreſſion.*

Quand un corps en mouvement, ou qui tend à ſe mouvoir, agit ſur un autre corps, il le

comprime; & ce dernier exerce réciproquement ſur le premier une compreſſion égale. Par exemple, ſi j'appuie ma main ſur un baſſin vide de balance, & que je tienne ſoulevées 10 livres de plomb que je ſuppoſe dans l'autre baſſin, ma main eſt autant comprimée que ſi je recevois ſur elle les 10 livres de plomb pour les ſoutenir. La réaction de ces 10 livres de plomb contre ma main eſt donc égale à l'action de ma main.

Mais, dira-t-on, ſi la réaction étoit toujours égale à l'action, jamais un corps n'en pourroit mouvoir un autre : ces deux actions égales & oppoſées ſe détruiroient mutuellement; de là naîtroit l'équilibre. Car comment un corps peut-il en faire avancer un autre, ſi ce ſecond pouſſe le premier en ſens contraire avec une force égale à celle que le premier emploie à le pouſſer lui-même? On doit répondre à cela, que, lorſqu'un corps en pouſſe un autre, & qu'il le fait avancer, le premier n'emploie qu'une partie de ſa force à vaincre la réſiſtance que lui oppoſe le ſecond, & qu'après avoir ſurmonté cette réſiſtance, il lui reſte encore une autre partie de ſa force qu'il peut employer à faire avancer le corps. Comme lorſque, dans l'exemple ci-deſſus, je ſoutiens les 10 livres avec ma main; ma main n'emploie qu'un effort de 10 livres pour les ſoutenir : & ſi je veux les ſoulever, j'emploie la force qui me reſte. Ainſi, quoique les forces ſoient

inégales, l'action & la réaction ſont toujours égales. La raiſon de cette égalité de l'action & de la réaction dans tous les cas, eſt qu'un corps ne ſçauroit employer un degré de force à ſurmonter la réſiſtance d'un autre corps, ſans en perdre lui-même une quantité égale à celle qu'il y a employée.

CHAPITRE III.

Des causes qui changent la direction du Mouvement.

113. APRÈS avoir traité des causes, absolument inévitables dans la Nature, qui retardent à chaque instant la vîtesse des corps en mouvement, nous allons parler maintenant de celles qui en changent la direction.

Si un corps en mouvement change de direction, c'est qu'il y est forcé par un obstacle : car, suivant la premiere loi (74), il tend à persévérer dans son état. Il y a trois sortes d'obstacles qui peuvent occasionner un changement dans la direction du mouvement des corps. 1°. Un obstacle dans lequel le mobile puisse pénétrer, comme une matiere fluide dans laquelle il puisse s'ouvrir un passage. 2°. Un obstacle impénétrable & fixe, comme une matiere solide, qui oppose au mobile toute sa masse, à cause de la liaison de ses parties, & de son adhérence au terrein sur lequel il est fixé. 3°. Un obstacle, à la vérité, impénétrable au mobile, mais qui en même temps peut être déplacé par le choc.

Changement de direction occasionné par une matiere fluide; ou Réfraction.

114. Ce changement de direction, appelé *Réfraction*, est la déviation que souffre un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins résistant que le milieu d'où il sort; de sorte que sa nouvelle direction fait angle avec la premiere au point de contact des deux milieux, & paroît là comme brisée : d'où vient le mot *Réfraction*. Voyons quelles sont les conditions essentielles pour qu'un corps en mouvement souffre cette espece de déviation, & quelle est la cause de la réfraction des corps.

115. Si un mobile passe d'un milieu dans un autre, par exemple, de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, ces milieux n'étant pas également pénétrables pour lui, soit par la différence de leurs densités, soit par quelque autre cause, l'un lui opposera plus ou moins de résistance que l'autre. Ce plus ou moins de résistance qu'il éprouvera de la part du nouveau milieu (que nous appellerons *milieu réfringent*), ne manquera pas de lui faire quitter sa premiere direction, pourvu qu'il y entre obliquement; & c'est-là ce qu'on appelle *Réfraction*. Supposons un grand bassin plein d'eau, dont la coupe soit représentée par ABDC (*fig.* 8). *Fig. 8.*

On ne peut diriger vers la surface AC de l'eau

un corps que de deux manieres : ou par une perpendiculaire au plan qui ſépare les deux milieux, comme PF, ou par une ligne plus ou moins oblique à ce même plan, telle qu'une ligne priſe entre PF & CF, pour aboutir au point F : car ſi le corps ſuivoit la ligne CF, ou toute autre ligne qui lui fût parallele, il eſt évident qu'il n'entreroit jamais dans l'eau, & que par conſéquent il ne changeroit point de milieu. Si un corps ſphérique E vient à la ſurface de l'eau par la perpendiculaire PF, l'expérience prouve qu'il continue de ſe mouvoir par F*p*, & par conſéquent qu'il ne ſouffre aucune réfraction. Mais s'il ſuit une ligne oblique, comme *e*F, ſi-tôt qu'il eſt parvenu en F, l'eau, qu'il commence à toucher, devient pour lui un milieu réfringent ; & l'expérience prouve encore qu'au lieu de continuer ſa route en ligne droite, & d'aller de F en G, il reçoit une nouvelle direction, qui fait angle avec la premiere au point F, & qui le porte plus haut que le point G, comme, par exemple, de F en H, en l'éloignant de la perpendiculaire F*p*. Ce mobile ſouffre donc, dans ce cas-là, une réfraction, laquelle l'éloigne de la perpendiculaire au plan qui ſépare les deux milieux.

116. La réfraction ſe feroit en ſens contraire, ſi le mobile paſſoit de l'eau dans l'air, ou en général d'un milieu denſe dans un plus rare, d'un milieu plus réſiſtant dans un moins réſiſtant. Si,

par exemple, il avoit décrit dans l'eau la ligne HF, il ne continueroit point dans l'air son mouvement en ligne droite par la ligne FK; la réfraction qu'il souffriroit au point F, lui feroit prendre une nouvelle direction, & le porteroit à un point plus élevé que le point K, comme, par exemple, en e, ce qui l'approcheroit de la perpendiculaire PF.

117. La réfraction dépend donc de deux conditions absolument essentielles, & sans lesquelles elle n'a pas lieu. La premiere est le passage du mobile d'un milieu dans un autre plus ou moins résistant; la seconde est l'obliquité d'incidence de la part du mobile. Si donc le mobile passe obliquement d'un milieu moins résistant dans un plus résistant, il se réfracte en s'éloignant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux, en faisant son angle de réfraction plus grand que son angle d'incidence. Mais si le mobile passe obliquement d'un milieu plus résistant dans un moins résistant, il se réfracte en s'approchant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux; en un mot, en faisant son angle de réfraction plus petit que son angle d'incidence.

Voici les faits tels que l'expérience les donne; voyons-en maintenant les raisons.

118. Nous avons dit (115) que, quoiqu'il y ait changement de milieu, s'il n'y a point d'obliquité d'incidence, si le mobile E arrive par la ligne PF

perpendiculaire à la ſurface AC du milieu réfringent, il n'y a point de réfraction. En voici la raiſon. Suppoſons que le mobile M (*fig.* 9.) arrive du point *m* au vaſe plein d'eau NTt*n* par la ligne P*p* perpendiculaire à la ſurface N*n* de l'eau. Ce mobile ſe trouve ſucceſſivement dans l'air & dans l'eau, & il n'éprouve de réſiſtance de la part de ces milieux, que ſur ſon hémiſphere inférieur NO*n*. Tant qu'il eſt dans l'air (que nous ſuppoſons en repos & d'une denſité uniforme), les réſiſtances qu'il éprouve d'une part ſont compenſées par celles qu'il éprouve de l'autre; ſa vîteſſe eſt également retardée dans tous ſes points: ſon centre ne doit donc point ſe détourner de la ligne M*m*. On peut dire la même choſe quand on conſidere le mobile entiérement plongé dans l'eau; ſeulement la réſiſtance de ce dernier milieu eſt plus grande que celle du premier; elle retarde davantage la vîteſſe du mobile; mais elle ne le détourne point de ſa premiere direction, puiſqu'elle agit également de toutes parts. On peut encore appliquer le même raiſonnement à ſon paſſage de l'air dans l'eau: car quand le mobile commence à ſe plonger, l'eau réſiſte directement en O, dans une direction qui paſſe par le centre M: en ſe plongeant juſqu'en S*s*, les réſiſtances qu'il éprouve de S en O, ſont compenſées par celles qu'il éprouve de O en *s*: de même, en ſe plongeant de plus en *Fig.* 9.

plus, SR, RN, & leurs correſpondantes *sr*, *rn* participent ſucceſſivement & également à la réſiſtance du nouveau milieu. Ces réſiſtances, de part & d'autre, ſe font donc équilibre; & cet équilibre maintient toujours le centre M dans la ligne P*p*. Ce qui prouve bien que l'obliquité d'incidence de la part du mobile eſt une condition abſolument eſſentielle pour la réfraction; puiſque, ſans elle, le mobile continue ſon mouvement dans ſa premiere direction, quoiqu'il paſſe d'un milieu dans un autre d'une réſiſtance différente.

119. Il n'en eſt pas de même quand le mobile ſe préſente obliquement au plan qui ſépare les deux milieux (115). Suppoſons le mobile M (*fig.* 10.) qui arrive du point *m* à la ſurface de l'eau dans la direction ST oblique à cette ſurface. Tant qu'il eſt tout entier dans l'air, comme en *m*, les obſtacles qui ſe préſentent à ſon hémiſphere antérieur *nop*, agiſſent également de tous les côtés, comme nous l'avons dit ci-deſſus (118). Cette égalité entretient le mobile dans la direction *m*O; mais quand il paſſe de l'air dans l'eau, ce même hémiſphere NOP, pendant tout le temps de ſon immerſion, rencontre des obſtacles plus difficiles à vaincre d'un côté que de l'autre: car le point R venant à toucher l'eau, éprouve plus de réſiſtance que n'en éprouve ſon correſpondant Q, qui ne rencontre encore que de l'air. Or un

Fig. 10.

Fig. 1.

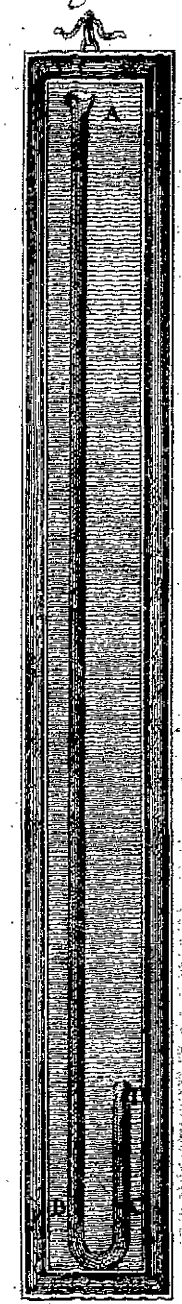


Fig. 2.

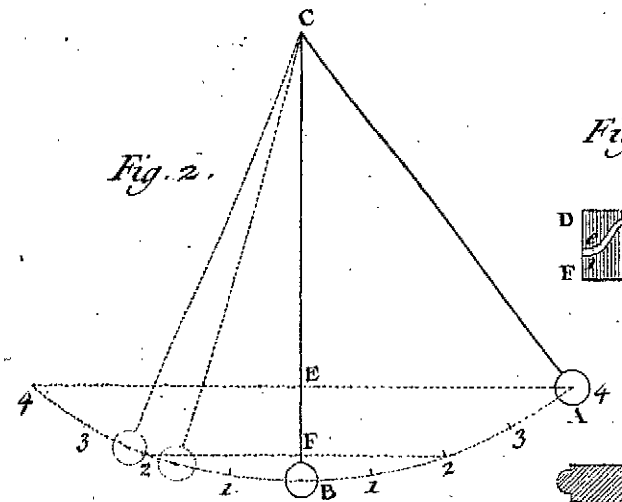
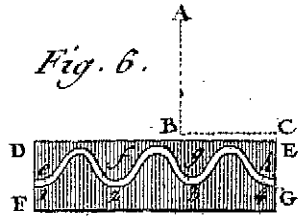


Fig. 3.



Fig. 6.



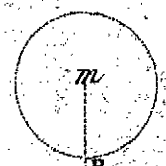


Fig. 8.

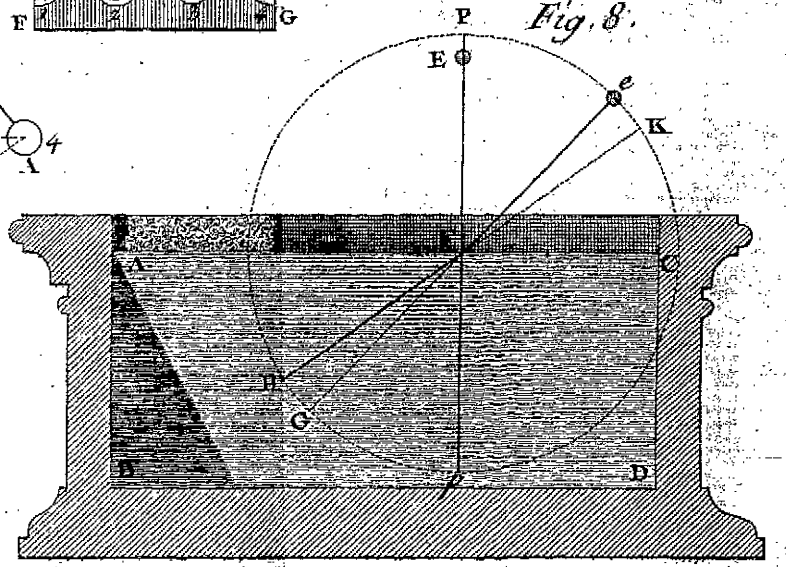


Fig. 7.

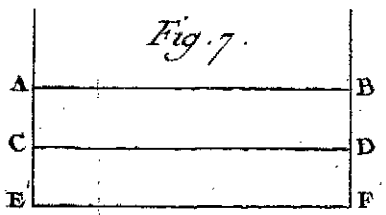


Fig. 4.

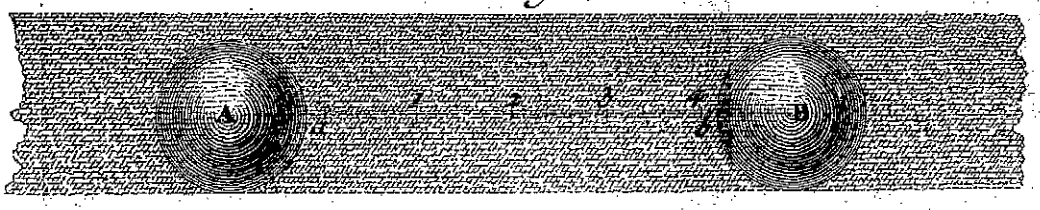
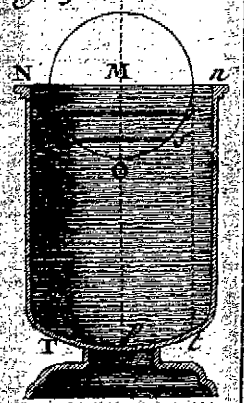


Fig. 5



Fig. 9.



Benard Direxit.

mobile se porte toujours du côté où il trouve moins de résistance. L'équilibre étant rompu entre les obstacles de part & d'autre, le centre M se porte du côté des plus foibles, & commence à s'écarter de sa premiere direction ST. La vîtesse du mobile étant ralentie de plus en plus par son immersion dans l'eau, & le mobile éprouvant toujours plus de résistance dans la partie ORP qu'il n'en éprouve dans la partie correspondante OQN, jusqu'à ce que son hémisphere antérieur NOP soit entiérement plongé, son centre M abandonne de plus en plus sa premiere direction, & descend par une petite courbe MV, dont le dernier élément V commence la nouvelle direction VX; ce qui l'éloigne de la perpendiculaire AB, imaginée à la surface de l'eau, & rend l'angle de réfraction plus grand que l'angle d'incidence.

120. Si le milieu Y dans lequel se meut d'abord le mobile, étoit plus résistant que le milieu Z dans lequel il passe (116), le mobile M éprouveroit alors une moindre résistance dans la partie ORP que dans la partie OQN; la courbe MV seroit tournée en sens contraire; ce qui rapprocheroit la nouvelle direction de la perpendiculaire AB, & rendroit l'angle de réfraction plus petit que l'angle d'incidence.

121. La réfraction est susceptible de plus & de moins; la différence qu'elle produit entre les

angles d'incidence & de réfraction, peut être plus ou moins grande, ſuivant les circonſtances. Ce plus ou moins dépend, 1°. du degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent; 2°. du degré de denſité de ce milieu réfringent; 3°. de la grandeur du mobile; 4°. de la vîteſſe du mobile.

122. 1°. Nous avons vu (118) que la réfraction eſt nulle, lorſque la direction du mobile eſt perpendiculaire à la ſurface du milieu réfringent: elle commence avec l'obliquité d'incidence (119), & elle augmente avec elle, & proportionnellement à elle. Car, 1°. plus l'obliquité eſt grande, plus la réfraction eſt conſidérable. Si le mobile, au lieu de ſuivre la direction ST pour arriver au milieu réfringent, ſuivoit la direction *st*, plus oblique que la premiere, il ſouffriroit une plus grande réfraction; car, dans ce cas-là, la partie ORP de l'hémiſphere antérieur ſeroit toute entiere plongée dans l'eau, tandis que la partie OQN ſeroit encore toute entiere dans l'air. La différence entre les réſiſtances ſur les parties correſpondantes ſeroit donc plus grande; donc la réfraction augmente avec l'obliquité d'incidence. 2°. Elle augmente auſſi proportionnellement à cette obliquité; car ſi, dans différens cas, nous ſuppoſons le même mobile & les mêmes milieux, quels que ſoient les différens degrés d'obliquité avec leſquels le mobile arrive

arrive au milieu réfringent, il y aura, dans tous les cas, le même rapport entre les angles d'incidence & de réfraction. Par exemple, dans les deux incidences différemment obliques AC & BF (*fig.* 11.), si l'on compare les angles d'incidence ACP & BFD avec les angles de réfraction *a*C*p* & *b*F*d*, lesquels se mesurent par les lignes PA, DB, *ap*, *bd*, qui en sont les sinus, on verra que, si PA est à *ap* comme 2 est à 3, les deux lignes semblables DB & *bd*, qui représentent le cas d'une réfraction plus grande, sont aussi dans le même rapport entre elles : donc, toutes choses égales d'ailleurs, la réfraction augmente proportionnellement à l'obliquité d'incidence. *Fig.* 11.

123. Quand l'incidence est très-oblique, il arrive souvent que le mobile, au lieu de se plonger dans le milieu réfringent, se réfléchit, comme s'il tomboit sur un plan solide. C'est ce qui arrive à un boulet de canon tiré très-obliquement à la surface de l'eau : dans ce cas-là, l'eau lui refuse assez long-temps le passage pour lui donner lieu de continuer son mouvement dans l'air, & il se réfléchit de dessus l'eau, comme il le feroit de dessus un plan solide, & par les mêmes raisons (132). Cela fait voir qu'on ne seroit pas en sûreté, si l'on se trouvoit dans la direction du mouvement réfléchi d'une balle ou d'un boulet qui seroit tiré très-obliquement à la surface de l'eau.

124. 2°. La grandeur de la réfraction dépend encore de la denſité plus ou moins grande du milieu réfringent, toutes choſes étant d'ailleurs égales. Suppoſons le même corps lancé avec le même degré d'obliquité, ſucceſſivement vers différens milieux de denſités différentes : celui de ces milieux qui aura le plus de denſité, occaſionnera la plus grande réfraction. Car la réfraction eſt cauſée, comme nous l'avons prouvé ci-deſſus (119), par la différence de la réſiſtance des deux milieux, chacun ſur la portion de la ſurface antérieure du mobile qui y répond : or cette différence eſt d'autant plus grande, que le milieu réfringent a plus de denſité, celle de l'autre demeurant la même : donc, &c.

125. 3°. La grandeur de la réfraction dépend auſſi de la grandeur du mobile ; car, comme nous venons de le dire (124), la réfraction eſt cauſée par la différence de la réſiſtance des deux milieux, chacun ſur la portion de la ſurface antérieure du mobile qui y répond. Or la réſiſtance du milieu réfringent, de l'eau, par exemple, eſt d'autant plus grande, que ſes parties choquées ſont en plus grand nombre ; & elles ſont en nombre d'autant plus grand, que le mobile a plus de volume. Un mobile, par exemple, ſphérique, arrivant à la ſurface de l'eau, ne la touche pas par un ſeul point ; c'eſt toujours par un ſegment ;

& ce ſegment heurte un nombre de parties d'autant plus grand, qu'il fait lui-même partie d'une ſphere plus grande, qu'il a plus d'étendue avec moins de convexité ; il éprouve donc plus de réſiſtance de la part de l'eau ; ce qui occaſionne une plus grande réfraction. En effet, comme c'eſt une plus grande réſiſtance de la part du milieu réfringent qui fait que, dans certains cas, le mobile a un mouvement réfléchi, & non pas réfracté ; auſſi M. l'*Abbé Nollet* a-t-il remarqué qu'une balle de 6 lignes de diametre entroit dans l'eau, quand ſa direction faiſoit un angle de 6 degrés avec la ſurface de l'eau, tandis qu'une plus groſſe, à pareille incidence, étoit réfléchie ; & un boulet de canon l'eſt ſûrement ſous un angle beaucoup plus ouvert : ce qui prouve bien que la réſiſtance devient plus grande, à meſure que la grandeur du mobile augmente.

126. 4°. On doit compter encore que la vîteſſe avec laquelle le mobile arrive à la ſurface du milieu réfringent, influe ſur la grandeur de la réfraction. Car la réſiſtance des milieux n'augmente pas ſeulement comme la vîteſſe avec laquelle on les frappe, mais à peu près comme le quarré de cette vîteſſe (83). La réſiſtance du milieu réfringent eſt donc plus grande, quand il eſt frappé avec plus de vîteſſe ; ce qui augmente la réfraction.

127. Il ſuit de tout ce que nous venons de dire, que, pour meſurer la réfraction d'un corps, il faut avoir égard à quatre choſes : 1°. au degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent ; 2°. au degré de denſité de ce milieu ; 3°. à la grandeur du mobile ; 4°. à la vîteſſe avec laquelle il ſe meut.

Changement de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable & fixe ; ou Réflexion.

128. Ce changement de direction eſt celui que reçoit un corps en mouvement, lorſqu'il rencontre un obſtacle impénétrable pour lui & fixe, lequel l'oblige à rebrouſſer chemin, & le fait rejaillir après le choc. La véritable cauſe de ce changement de direction eſt le reſſort des corps : ainſi, ſi les corps n'avoient point de reſſort, il n'y auroit point de réflexion. Il n'y a donc que les corps élaſtiques qui puiſſent être ſuſceptibles de ce mouvement réfléchi. Mais tous les corps élaſtiques ne le ſont pas également (32, 33) ; & il n'y en a aucun, ſi l'on en excepte la matiere de la lumiere & les fluides aériformes, qui le ſoit parfaitement. Cependant, pour rendre la théorie plus ſimple, nous ſuppoſerons que les corps, où n'ont point du tout de reſſort, ou qu'ils en ont un parfait, & par conſéquent qu'ils ſont capables d'une réaction parfaite.

129. Si les corps n'ont point de reſſort, il n'y a point de mouvement réfléchi. Faites tomber un corps ſur de la terre molle; ce corps y fera un enfoncement, & perdra tout ſon mouvement. Quand il commence à toucher la terre molle, il a une certaine quantité de mouvement acquis par ſa chûte: c'eſt aux dépens de ce mouvement qu'il déplace une portion de la terre. Il ne doit donc ceſſer de ſe mouvoir que quand les parties, qu'il a rencontrées, ont été portées auſſi loin que l'exigeoit la valeur de ſon effort; parce qu'un corps en mouvement ne peut être réduit au repos que par un obſtacle dont la réſiſtance égale le produit de ſa force. Cette terre, que nous avons ſuppoſée ſans reſſort, n'a donc rien qui puiſſe rendre au mobile le mouvement qu'il a perdu en l'enfonçant: il n'y aura donc point de réflexion.

130. Les corps ſans reſſort, ou qui en ont très-peu, ſont les plus propres à rompre les efforts violens; parce qu'ils retardent par degrés la vîteſſe du mobile, & qu'ils le réduiſent au repos en cedant de plus en moins. Tous les obſtacles qui cédent ainſi, partagent l'effort du mobile, & arrêtent comme en pluſieurs fois une puiſſance qui ne manqueroit pas de les forcer, ſi ſon action étoit réunie dans un temps plus court. Une planche de chêne n'arrête pas une balle de mouſquet: un petit ſac rempli de laine ou de terre

ne manque pas de l'amortir. Un boulet de canon fait peu d'effet sur des matelas suspendus librement en l'air, tandis qu'il perceroit une muraille.

131. Si les corps sont élastiques, alors il peut y avoir un mouvement réfléchi. Supposons donc que l'obstacle DE (*fig.* 12) est un corps dont l'élasticité est parfaite ; & que le corps C est parfaitement dur, & par conséquent non élastique. Le corps C étant porté de F en A avec un certain degré de vîtesse, & dans une direction perpendiculaire à l'obstacle DE, le frappe avec une force résultante de sa masse & de sa vîtesse (63), & y produit l'enfoncement *d*B*e* : le point de contact A est, par cet effort, porté jusqu'en B : ce point A est le premier comprimé, parce qu'il est le premier touché par le mobile C ; & après lui, tous les autres points qui le suivent de part & d'autre, jusqu'aux points *d* & *e*, qui sont les derniers comprimés. Cet effet n'a pas lieu dans un instant indivisible ; il exige un temps fini pour être produit ; &, quoique très-court, ce temps peut être divisé en plusieurs instans. Au premier instant le mobile C exerce contre un très-petit espace de l'obstacle qu'il rencontre, un effort qui est comme sa masse & sa vîtesse actuelle ; en conséquence duquel il déplace les parties qu'il touche : ce déplacement occasionne une résistance qui détruit une portion de la vîtesse du mobile.

Fig. 12.

Ce mobile en a donc moins au ſecond inſtant qu'au premier. Mais alors les parties enfoncées donnent lieu au mobile de toucher l'obſtacle par une plus grande ſurface, d'agir ſur un plus grand nombre de parties : en outre ces parties condenſées par la compreſſion qu'elles ont éprouvées au premier inſtant, réſiſtent davantage ; ce qui retarde encore plus la vîteſſe du mobile. Par les mêmes raiſons, elle eſt encore plus retardée au troiſieme inſtant, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que le mobile ait conſommé tout ſon mouvement. On voit par-là que la vîteſſe du mobile diminue par des quantités qui vont toujours en augmentant. Quand le mobile C a conſommé toute ſa force, les parties enfoncées *d*B*e*, & que nous ſuppoſons parfaitement élaſtiques, n'étant plus retenues, ſe rétabliſſent dans leur premier état : elles repouſſent donc le mobile C devant elles, & tendent à le diriger comme elles. La partie B, qui a été enfoncée la premiere, ſe rétablit auſſi avant les autres, & pouſſe le mobile C dans la direction AF ; direction dont il ne doit pas ſortir, parce que ſes parties correſpondantes, de part & d'autre, obéiſſent à des réactions ſemblables. De plus, cette partie B eſt reportée en A avec une vîteſſe égale à celle avec laquelle elle a été déplacée. Sa vîteſſe, ainſi que celle du mobile C, qu'elle pouſſe devant elle, eſt donc accélérée dans la même proportion

ſuivant laquelle elle a été retardée d'abord : de ſorte que, lorſque, par cette réaction, le mobile C eſt redevenu tangent à la ſurface DE, il a une vîteſſe égale à celle qu'il avoit d'abord en arrivant à cette ſurface ; & par conſéquent une force capable de le porter de A en F dans un temps égal à celui qu'il a employé à venir de F en A. Nous venons de dire que le mobile C arrive à la ſurface DE par une ligne FA perpendiculaire à cette ſurface, & faiſant avec elle un angle droit : par ce que nous venons de dire en dernier lieu, on voit que ce mobile rejaillit par la même ligne ; donc, dans ce cas-là, ſon angle de réflexion eſt égal à celui de ſon incidence.

132. Mais il arrive ſouvent que le mobile tombe obliquement ſur l'obſtacle : alors il change de direction ; il rejaillit par une autre route, parce que ſes parties correſpondantes éprouvent des réſiſtances inégales. Suppoſons que le mobile
Fig. 13. I (*fig.* 13) arrive à la ſurface RS par la ligne oblique TM, faiſant avec cette ſurface l'angle TMS. Suppoſons encore que le mobile I eſt parfaitement dur, & que l'obſtacle RS eſt parfaitement élaſtique. Le mobile I touche l'obſtacle d'abord au point *i* ; ce qui commence à retarder ſa vîteſſe : enſuite, en produiſant l'enfoncement *ip*, que nous ſuppoſons être la valeur de ſon

effort, il touche à chaque inſtant une plus grande ſurface, il agit ſur un plus grand nombre de parties, & ſur des parties de plus en plus réſiſtantes, comme ayant été condenſées par la compreſſion qu'elles ont éprouvée dans les premiers inſtans : de ſorte que ſa vîteſſe eſt retardée par des quantités qui vont toujours en augmentant (131); ce qui fait que ſon centre, au lieu de deſcendre par une ligne droite, deſcend par la courbe IM. Quand le mobile a conſommé tout ſon mouvement, les parties enfoncées, n'étant plus retenues, ſe rétabliſſent ſucceſſivement, & ſelon l'ordre ſuivant lequel elles ont été comprimées : par-là, la vîteſſe du mobile eſt accélérée en montant dans la même proportion ſuivant laquelle elle a été retardée en deſcendant (131); ce qui fait que le centre du mobile remonte par la courbe MP parfaitement ſemblable à la courbe MI, par laquelle il eſt deſcendu. Ainſi, comme l'extrémité I de la ligne TI de ſon incidence eſt le commencement de la premiere courbe IM, de même l'extrémité P de la ſeconde courbe MP eſt le commencement de la ligne PQ de ſa réflexion : ce qui rend l'angle de réflexion QMR parfaitement égal à l'angle d'incidence TMS.

L'égalité de ces angles d'incidence & de réflexion ſe démontre d'une maniere géométrique, en faiſant uſage d'un principe que nous emploierons

ci-après (162), ſavoir, que le mobile qui parcourt la ligne TM, ſe comporte comme s'il obéiſſoit à deux puiſſances, dont une le pourroit faire avancer de la quantité TV, pendant que l'autre le pourroit faire deſcendre de la quantité TS. Si, lorſqu'il eſt parvenu en M, une cauſe quelconque lui ôte toute ſa vîteſſe de haut en bas, ſans rien diminuer de ſa vîteſſe horizontale, il doit parcourir la ligne MR dans un temps égal à celui qu'il a employé à aller de T en M, parce qu'il n'eſt plus commandé que par une puiſſance. Mais au lieu de cette ſuppoſition, ſi, lorſque le mobile eſt en M, la puiſſance qui le commande de haut en bas ſe convertit en une autre puiſſance d'égale force, mais qui le ſollicite à ſe mouvoir de bas en haut, il ſera de nouveau commandé par deux puiſſances, dont l'une ſera MV & l'autre MR; & il ſuivra la diagonale MQ, qui fait néceſſairement, avec le plan RS, un angle égal à celui que fait, avec le même plan, la diagonale TM; puiſque ce ſont les diagonales de deux parallélogrammes égaux & ſemblablement placés. Or nous venons de voir ci-deſſus (131) que le mouvement de haut en bas ſe change, à pareil degré, en un autre de bas en haut, & qui lui eſt directement oppoſé: donc, &c.

133. Nous avons ſuppoſé le mobile parfaitement dur, & nous n'avons eu égard qu'au reſſort du plan qui réfléchit. Les mêmes effets auroient

lieu, si le plan étoit parfaitement dur, & que le mobile seul fût élastique : car dans le choc il s'applatiroit ; & les parties comprimées, en se rétablissant, s'appuyeroient sur le plan, & repousseroient le mobile avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elles auroient été comprimées, & dans un sens contraire. Il est vrai qu'aucune de ces deux suppositions ne représente la Nature. Il n'y a point de corps parfaitement dur, & tous ont de l'élasticité, peu ou beaucoup (33). Ainsi, toutes les fois qu'il y a réflexion, le mobile & l'obstacle y ont tous deux part, chacun suivant son degré d'élasticité.

134. On a mis en question, s'il y a quelques momens de repos entre l'incidence & la réflexion. Quelques Physiciens ont été pour l'affirmative ; & d'autres pour la négative. Pour décider cette question, il faut savoir comment chacun l'a entendue. Il est certain qu'un corps à ressort qui vient frapper un plan, se bande & s'applatit peu à peu en changeant de figure, & consomme petit à petit tout le mouvement qu'il avoit, & qu'il emploie à bander son ressort. Quand une fois le ressort est totalement bandé, & que le corps a perdu tout son mouvement, le ressort se débande aussi-tôt, sans qu'il y ait d'intervalle entre le commencement du débandement & la fin du bandement. En effet, quelle seroit la cause

qui feroit que le reſſort reſteroit bandé lorſque le mouvement du corps eſt entiérement ceſſé, & que rien ne s'oppoſe au débandement du reſſort? Il ſe débandera donc auſſi-tôt, & rendra par degrés au corps tout le mouvement qu'il avoit perdu, préciſément comme un pendule qui retombe après avoir, en montant, conſommé tout ſon mouvement (258). Il n'y aura donc point d'intervalle entre la fin du bandement, qu'on peut regarder comme le terme de l'incidence, & le commencement du débandement, qu'on peut regarder comme le premier moment de la réflexion. Mais ſi on veut prendre pour le moment d'incidence celui où le corps vient à toucher le plan, & pour le moment de réflexion celui où le corps quitte entiérement le plan, il eſt évident qu'il y aura un intervalle de temps fini, quoique très-court, entre l'incidence & la réflexion; ſavoir, le temps que le reſſort met à ſe bander & à ſe débander.

135. De tout ce que nous venons de dire, il s'enſuit que le reſſort eſt la cauſe néceſſaire de la réflexion; & que la direction du mouvement réfléchi eſt telle que l'angle de réflexion ſeroit toujours égal à l'angle d'incidence, ſi la réaction étoit parfaite. Mais comme c'eſt-là le cas le plus rare, on ne doit pas s'attendre ordinairement, dans la pratique, à avoir des effets bien conformes à

la théorie. Communément l'angle de réflexion eſt plus petit que l'angle d'incidence ; non ſeulement parce que le reſſort n'eſt pas parfait, mais encore parce que la peſanteur du mobile & la réſiſtance de l'air détruiſent une partie des effets. Il n'y a que dans les mouvemens de la lumiere (1218) & des fluides aériformes (1019), où ces angles ſe trouvent parfaitement égaux. Mais quoique cette égalité d'angles n'ait preſque jamais lieu, on voit pourtant qu'elle eſt une regle établie par la Nature, & fondée ſur des loix connues.

Les jeux de paume & de billard ſont preſque entiérement fondés ſur les regles du mouvement réfléchi, que nous venons d'établir.

Changement de vîteſſe & de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable, & qui peut être déplacé; ou Choc des corps.

136. Ce changement de vîteſſe & de direction eſt ce qui arrive à un corps qui en choque un autre, qui peut être déplacé. C'eſt au moyen de ce choc que le mouvement ſe communique du corps choquant au corps choqué ; & le déplacement de ce dernier va nous faire connoître les regles ſuivant leſquelles le mouvement ſe communique de l'un à l'autre. Quant à la raiſon métaphyſique du paſſage du mouvement d'un corps

à un autre, nous devons avouer de bonne foi notre ignorance sur la cause premiere. Ainsi nous ne nous occuperons point de cette question. Nous allons examiner seulement les changemens dont sont susceptibles le mobile & l'obstacle, quand ce dernier peut être déplacé par le choc.

137. Nous pouvons considérer ici deux sortes de corps : les uns mous & sans ressort, ou réputés tels (33) ; & les autres élastiques. L'élasticité de ces derniers change les résultats des loix établies par la Nature. Pour bien faire connoître ces loix, nous devons supposer ici des choses qui n'existent pas ; savoir, 1°. que les corps qui se choquent, se meuvent ou dans le vide ou dans un milieu non résistant, & qu'ils n'éprouvent aucun frottement. 2°. Que ces corps ou ont un ressort parfait, ou n'en ont point du tout. De sorte que, dans la pratique, l'effet ne répond jamais exactement à ce qu'exige la loi.

138. Il y a deux sortes de chocs des corps ; savoir, le choc direct, & le choc oblique. Le premier a lieu quand la direction des mouvemens des corps passe par leurs centres de gravité : & le second a lieu quand cette direction n'y passe pas : l'un & l'autre ont des regles particulieres ; mais celles du choc direct sont bien plus aisées à déduire que celles du choc oblique ; parce que, dans ce dernier, il y a plusieurs causes qui

influent sur le résultat ; & l'on ne peut bien en connoître l'effet, qu'autant qu'on connoît toutes les causes qui y contribuent. Pour ne pas trop compliquer la question, nous ne traiterons ici que du choc direct.

139. Quand deux corps vont se choquer, ou l'un des deux est en repos, ou tous deux sont en mouvement : s'ils se meuvent tous deux, ou ils se meuvent du même sens ou en sens contraire, avec des vîtesses égales ou inégales. Mais avant que ces deux corps se choquent, il y a entre eux un intervalle, qu'il faut qui soit parcouru, ou par un seul ou par les deux, sans quoi il ne peut y avoir de choc. Cet espace ne peut être parcouru que dans un temps fini ; & la durée de ce temps mesure la vîtesse respective (62) de ces deux corps ; c'est-à-dire, la vîtesse avec laquelle ces deux corps se joignent, soit que l'un des deux soit en repos, soit qu'ils se meuvent tous deux, en même sens ou en sens contraires, avec des vîtesses égales ou inégales.

140. La vîtesse respective étant connue, il faut considérer les masses ; car le corps choqué oppose son inertie au corps choquant ; & nous avons vu ci-devant (41) que cette résistance est toujours proportionnelle à la masse. Ainsi, plus un corps a de masse, moins il reçoit de vîtesse de la part d'un choc déterminé.

Nous allons parler d'abord du choc des corps non élaſtiques, ou réputés tels : & enſuite du choc des corps élaſtiques, auxquels nous ſuppoſons une élaſticité parfaite.

Choc des corps non élaſtiques.

141. I REGLE. *Quand un corps en repos eſt choqué par un autre corps, la vîteſſe du corps choquant ſe partage entre les deux, ſelon le rapport des maſſes.* C'eſt-à-dire qu'après le choc les deux corps ſe meuvent dans la direction du corps choquant ; & la vîteſſe commune de ces deux corps eſt d'autant moindre, que le corps choqué a plus de maſſe. Si les deux corps ſont égaux en maſſe, la vîteſſe commune de ces deux corps, après le choc, eſt la moitié de celle qu'avoit le corps choquant avant le choc. Si le corps choquant a une maſſe double de celle du corps choqué, la vîteſſe commune, après le choc, eſt les deux tiers de celle du corps choquant avant le choc. Si le corps choqué a une maſſe double de celle du corps choquant, la vîteſſe commune, après le choc, n'eſt plus que le tiers de celle du corps choquant avant le choc ; &c. En effet, après le choc, les deux corps réunis ſont comme une ſeule maſſe : ſuppoſons-les de maſſes égales, & peſant chacun une livre ; une force capable de tranſporter, par exemple, à dix pieds, dans un

un temps donné, une masse d'une livre, ne peut porter qu'à cinq pieds une masse double en pareils temps; & ainsi de tous les autres cas qu'on pourra supposer.

142. Il faut bien remarquer ce qui suit. Dans l'instant du choc il se fait un applatissement aux deux corps, lequel, étant causé par la résistance du corps choqué, est d'autant plus considérable, que ce corps choqué a plus de masse; car, dans ce cas-là, il résiste davantage (41). Pour rendre raison de ces applatissemens, il faut faire attention que les effets les plus prompts, & qui nous paroissent instantanés, ne sont jamais produits que dans un temps fini, c'est-à-dire, dans un temps dont la durée n'est pas la plus courte qu'on puisse imaginer. Lorsque les deux corps commencent à se toucher, les parties les plus avancées du corps choquant, celles qui choquent les premieres, ont déjà perdu une partie de leur vîtesse, pendant que le centre & les parties les plus reculées ont encore toute la leur. Ce n'est donc qu'après quelques instans, fort courts à la vérité, que cette masse ralentie prend une vîtesse également retardée dans toutes ses parties. Mais les parties d'un corps ne peuvent pas se mouvoir plus vîte les unes que les autres, sans que leur position relative, & par conséquent la figure du corps, soit changée. L'applatissement de ce corps est donc un

effet & une preuve de ſa vîteſſe retardée ſucceſſivement en pluſieurs temps. On peut dire la même choſe du corps choqué : il ne paſſe pas tout en un même inſtant de ſon état de repos au degré de vîteſſe qu'il acquiert ; les parties immédiatement expoſées au choc ſe meuvent plutôt que le reſte ; ce qui occaſionne encore un applatiſſement & un changement de figure. Et, comme nous venons de le dire, ces applatiſſemens ſont d'autant plus conſidérables, que les corps ont plus de maſſe.

143. Puiſque, ſuivant la premiere regle (141), la vîteſſe diminue à proportion que la maſſe du corps choqué augmente, il s'enſuit que le mouvement doit être inſenſible après le choc, quand le corps choqué eſt infiniment plus grand que le corps choquant. C'eſt en effet ce qui arrive ; car, par exemple, un boulet de canon, qu'on a tiré contre un rempart, paroît avoir perdu tout ſon mouvement : la vîteſſe qu'il conſerve alors, eſt à celle qu'il a communiquée, comme ſa maſſe eſt à celle du rempart. On a tiré de ce principe une conſéquence qui ne paroît pas exacte, qui eſt, que la plus groſſe maſſe eſt toujours déplacée par le choc de la plus petite. Cela pourroit être vrai, ſi la maſſe choquée étoit abſolument inflexible ; mais ne l'étant pas, ſa réſiſtance ſera aſſez durable pour conſumer toute la vîteſſe de la petite maſſe,

par l'introceſſion des parties occaſionnée par le choc, & qui produit l'applatiſſement (142).

144. II^e. REGLE. *Quand deux corps qui ſe meuvent du même ſens avec des vîteſſes inégales viennent à ſe choquer, ſoit que leurs maſſes ſoient égales ou non, ils continuent de ſe mouvoir enſemble & dans leur premiere direction, avec une vîteſſe commune, moins grande que celle du corps choquant, mais plus grande que celle du corps choqué avant la percuſſion.* Quand le corps qui a le plus de vîteſſe rencontre celui qui en a moins, la lenteur de l'un fait obſtacle à l'autre: mais cet obſtacle étant mobile, l'excès de vîteſſe de l'un ſur l'autre doit, ſelon la premiere regle (141), ſe partager entre les deux ſuivant le rapport des maſſes. Car ſuppoſons qu'on ôtât à l'un & à l'autre de ces deux corps une quantité de vîteſſe égale à celle du plus lent avant le choc, ce dernier, avant d'être choqué, ſeroit en repos; & la vîteſſe du plus vîte ne ſeroit que ce dont elle excédoit la vîteſſe du plus lent. Ce ſeroit abſolument le cas de la premiere regle; ce ſeroit un corps en repos choqué par un autre, dont la vîteſſe doit ſe partager entre les deux ſuivant le rapport des maſſes. Que l'on rende maintenant à chacun de ces corps la quantité de vîteſſe que nous avons ſuppoſé qu'on leur a ôtée, ce ſera pour le corps choqué ſa premiere vîteſſe, plus celle qu'il a acquiſe par

le choc ; & pour le corps choquant, ſa premiere vîteſſe, moins celle qu'il a donnée au corps choqué. Suppoſons, par exemple, deux corps A & B égaux en maſſes : qu'on donne à A 8 degrés de vîteſſe, & à B 4 ſeulement : A, en choquant B, lui donnera 2 degrés de vîteſſe, moitié de ſon excès ; & tous deux s'en iront avec une vîteſſe commune de 6 degrés. Qu'on ait donné à chacun 4 degrés de vîteſſe de moins que nous n'avons ſuppoſé, A n'en auroit que ce qui faiſoit ſon excès, ſavoir 4 degrés ; & B ſeroit en repos. Voilà le cas de la premiere regle. Rendez à chacun ces 4 degrés, ce ſera pour B, corps choqué, 4 degrés de vîteſſe premiere, plus 2 degrés acquis par le choc ; & pour A, corps choquant, 8 degrés de vîteſſe premiere, moins 2 degrés donnés au corps choqué. Il eſt donc évident que, dans tous les cas, la vîteſſe propre du corps choqué eſt toujours augmentée, & celle du corps choquant toujours diminuée, & cela toujours ſuivant le rapport des maſſes. Donc, &c.

145. IIIe. REGLE. *Si les deux corps qui doivent ſe choquer, ſe meuvent en ſens directement contraire, le mouvement périt dans l'un & dans l'autre, ou du moins dans l'un des deux ; s'il en reſte après le choc, les deux corps vont du même ſens ; & la quantité de leur commun mouvement eſt égale à l'excès de l'un des deux ſur l'autre, avant le choc.* C'eſt-à-dire, que ſi les

deux corps ont des quantités égales de mouvement, le mouvement périt dans l'un & dans l'autre, & tous deux sont réduits au repos. Si l'un des deux a plus de mouvement que l'autre, il ne reste de mouvement, après le choc, que l'excès du plus grand sur le plus petit; ce qui fait le mouvement commun des deux corps. Et comme la quantité du mouvement d'un corps résulte de sa masse multipliée par sa vîtesse (63), il s'ensuit que, si deux corps viennent se heurter avec des vîtesses qui soient en raison inverse des masses, ils sont tous deux réduits au repos; parce qu'ils se choquent avec des quantités égales de mouvement. L'effort d'un mobile peut donc croître, non seulement par la vîtesse, mais encore par la masse: c'est pourquoi il arrive souvent qu'un joueur de paume, pour augmenter sa force, demande une raquette plus lourde; parce qu'en la faisant mouvoir avec la même vîtesse, elle frappe la balle plus fort, si elle a plus de masse.

On voit, d'après ce que nous venons de dire du choc des corps non élastiques,

146. 1°. Que, lorsqu'après le choc, les directions des mouvemens des corps qui se heurtent, sont dans le même sens, il existe alors dans les deux corps réunis, une quantité de mouvement égale à celle qui subsistoit dans l'un des deux ou dans tous les deux, avant le choc.

147. 2°. Que, quand les directions des mouvemens de ces corps ſont en ſens contraires, il périt du moins une partie du mouvement, s'il ne périt pas tout; & que, s'il en reſte après le choc, la quantité qui en demeure, eſt égale à la différence des deux quantités avant le choc.

Choc des corps élaſtiques.

148. Dans tout ce que nous avons dit touchant le choc des corps non élaſtiques, nous avons toujours obſervé deux effets principaux; ſavoir, 1°. une communication de mouvement du corps choquant au corps choqué; 2°. un changement de figure, ou un applatiſſement à l'un & à l'autre à l'endroit du contact. Ces deux effets ont, pour cauſe commune, le choc ou la percuſſion : c'eſt par cette action que la vîteſſe ſe tranſmet & ſe diſtribue uniformément entre les deux maſſes; & pendant cette répartition, les figures changent, par les applatiſſemens qui ſont produits par l'inertie des maſſes (41).

149. Dans le choc des corps élaſtiques, la Nature ſuit préciſément les mêmes loix : mais comme les parties enfoncées par le choc ſe rétabliſſent, ce dernier effet qui ſe mêle à celui du mouvement communiqué, apporte beaucoup de changement aux réſultats.

150. Nous diſtinguerons donc ici deux ſortes

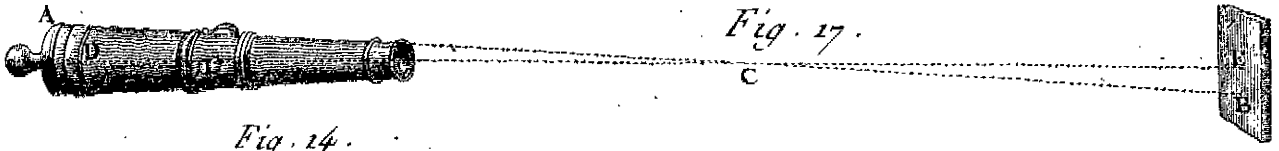


Fig. 17.

Fig. 14.

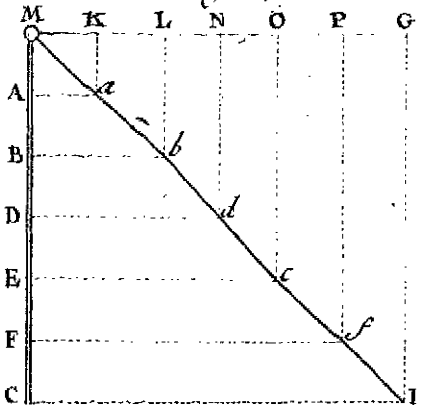
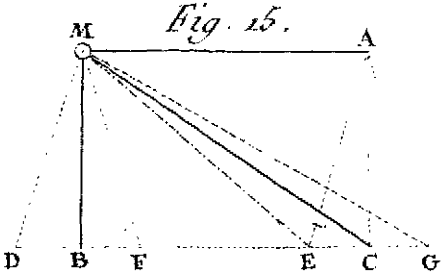


Fig. 15.



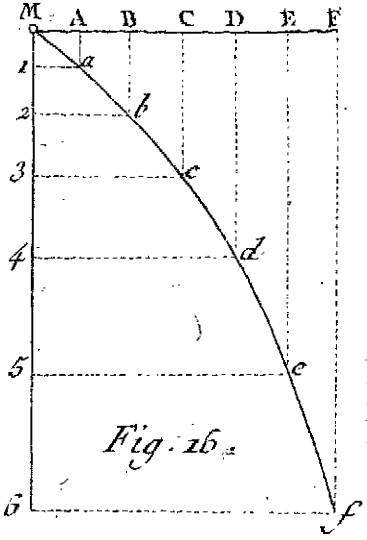
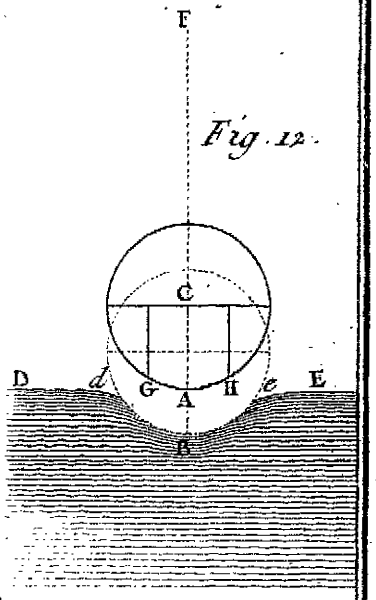


Fig. 16.

Fig. 12.



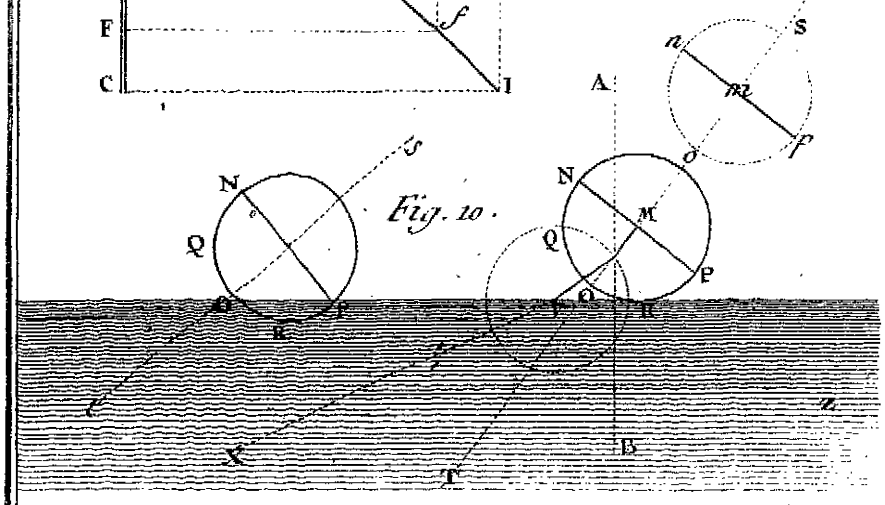


Fig. 10.

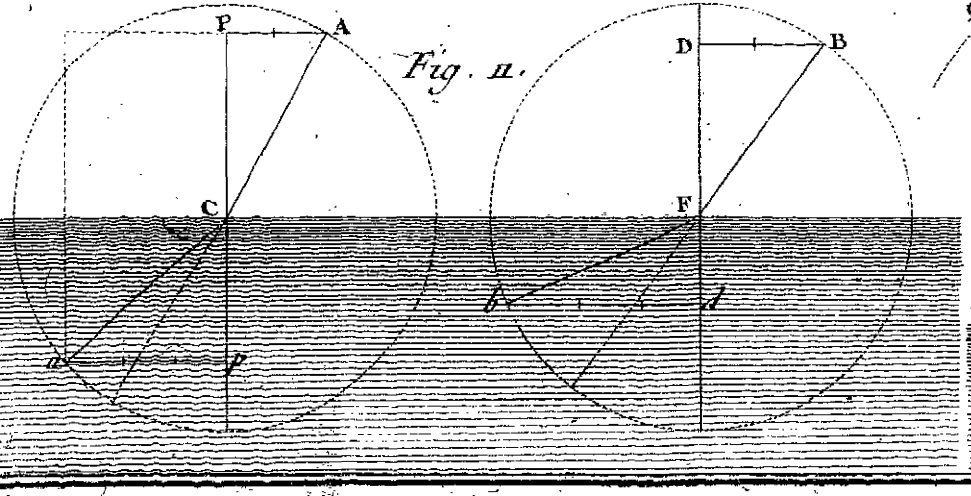


Fig. 11.

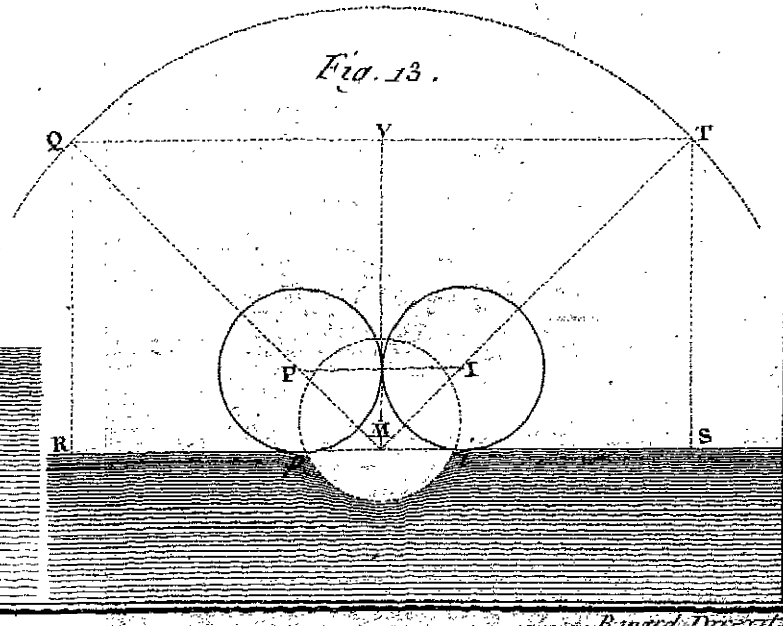


Fig. 13.

Benard Direxit.

de mouvemens ; l'un, qui eſt indépendant du reſſort, & que nous nommerons *Mouvement primitif* ; l'autre, qui naît de la réaction des parties applaties ou comprimées par le choc, & que nous appellerons *Mouvement de reſſort*, ou ſimplement *Réaction*, qui double toujours le mouvement communiqué.

151. Ire. REGLE. *Quand un corps à reſſort va frapper un autre corps à reſſort qui eſt en repos, ou qui ſe meut du même ſens que lui, celui-ci, après le choc, ſe meut dans la direction du corps qui l'a frappé, avec une vîteſſe compoſée de celle qui lui a été donnée immédiatement ou par communication, & de celle qu'il acquiert par ſa réaction après le choc : & le corps choquant, dont le reſſort agit en ſens contraire, perd, en tout ou en partie, ce qu'il avoit gardé de ſa premiere vîteſſe : & ſi ſon mouvement de reſſort excede le reſtant de ſa vîteſſe premiere, il rétrograde ſuivant la valeur de cet excès. Et dans tous les cas, la vîteſſe reſpective eſt, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.* Pour bien faire entendre cette regle, ſuppoſons d'abord un des corps en repos : 1°. Si les deux corps ont des maſſes égales, par le choc, le corps en repos recevra, tant par communication que par réaction, une quantité de mouvement égale à celle qu'avoit l'autre avant le choc : & ce dernier ſera réduit

au repos, par son ressort qui détruira le reste de sa vîtesse primitive. 2°. Si les masses sont inégales, & que le corps choqué en ait le moins, tous deux, après le choc, iront dans la direction du corps choquant, mais ce dernier aura moins de vîtesse que l'autre. 3°. Si les masses étoient encore inégales, le corps choqué en ayant le plus, ce corps choqué iroit seul dans la direction du corps choquant, & ce dernier rétrograderoit. Supposons maintenant que les deux corps se meuvent du même sens : après le choc, tous deux iront encore du même sens, mais le corps choquant moins vîte ; à moins que le corps choqué n'ait beaucoup plus de masse que le choquant, auquel cas ce dernier rétrogradera. Et dans tous les cas, la vîtesse respective (62) sera, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.

152. On verra la raison de tous ces effets, si l'on fait attention que dans le choc des corps à ressort, comme dans celui des corps sans ressort, le mouvement du corps choquant, ou l'excès du mouvement de ce corps sur celui du corps choqué, se communique à ce dernier suivant le rapport des masses. Mais il faut ajouter à cela, 1°. que la réaction double toujours, dans le corps choqué, la quantité de mouvement que celui-ci acquiert par communication : 2°. que cette même réaction tend, avec autant de force, à repousser

le corps choquant en arriere, & lui fait perdre, dans ſa premiere direction, autant de mouvement qu'il en a déjà perdu par le choc. De ſorte que, dans tous les cas, le corps choquant perd une quantité de mouvement égale à celle que reçoit le corps choqué. Ainſi la réaction double toujours ces deux effets : elle double le mouvement communiqué au corps choqué ; & elle double la perte que fait le corps choquant.

153. IIe. REGLE. *Quand deux corps à reſſort, égaux ou inégaux en maſſes, viennent, en ſens contraire l'un de l'autre, ſe heurter avec des vîteſſes propres, qui ſoient égales ou inégales ; après le choc ils ſe ſéparent, & leur vîteſſe reſpective eſt la même qu'avant le choc.* Si ces deux corps étoient ſans reſſort, ou ils s'arrêteroient réciproquement, ou l'un des deux emporteroit l'autre, comme nous l'avons dit ci-devant (145). Ils ſe ſéparent donc en vertu de leur réaction : mais cette réaction eſt égale à la compreſſion cauſée par le choc (112) ; & la compreſſion eſt comme la vîteſſe reſpective avant le choc : la vîteſſe qui en réſulte après le choc, doit donc être ſemblable. L'article ci-deſſus (152) fera encore ſentir la raiſon de tous ces effets.

154. A l'égard des corps élaſtiques, & dont le reſſort ſeroit parfait, l'expérience prouve, 1°. que quand deux corps qui vont dans le même

ſens, ou dont l'un eſt en repos, ſe choquent de façon qu'après le choc ils aillent encore dans le même ſens, ou que l'un des deux reſte en repos, la ſomme des mouvemens eſt la même après comme avant la percuſſion.

155. 2°. Que ſi l'un des deux corps retourne en arriere, la quantité du mouvement ſe trouve plus grande après qu'avant le choc. Il y a plus; c'eſt que la quantité du mouvement du corps choqué excede même celle du mouvement primitif, avant le contact: & cet excès de mouvement dans le corps choqué, égale la quantité de celui qui rétrograde après le choc.

156. 3°. Que quand les deux corps viennent ſe heurter en ſens contraires, après le choc, la ſomme des mouvemens n'eſt jamais plus grande qu'avant le choc: elle peut même être moindre; auquel cas la perte eſt égale à la quantité que l'un des deux corps gagne.

157. Si l'on veut voir par expérience l'énoncé des regles que ſuivent les corps dans leur choc, que je ſuppoſe toujours être le choc direct (138), il faut avoir ſoin de ſe ſervir de corps ſphériques, & que leurs centres de gravité ſe trouvent dans la direction de leur mouvement.

158. Il faut obſerver qu'on ne doit point eſtimer l'impulſion des fluides ſuivant les regles que nous venons d'établir touchant le choc des corps ſoli-

des; parce que ces derniers, étant compoſés de parties qui ont entre elles une forte adhérence, agiſſent ſelon toute leur maſſe & leur vîteſſe actuelle. Il n'en eſt pas de même de l'action des fluides : vu la mobilité reſpective de leurs parties, il n'y a que celles qui choquent l'obſtacle qui faſſent effort ; les autres ne perdent point leur vîteſſe, & par conſéquent ne contribuent point à cet effort. C'eſt pourquoi l'eau & le vent ne communiquent pas tout de ſuite leur vîteſſe à un mobile; ce n'eſt qu'après un certain temps que ce mobile reçoit tout le mouvement qui peut lui être tranſmis. C'eſt ce dont on peut ſe convaincre, en obſervant les ailes d'un moulin à vent, ou la roue d'un moulin à l'eau, quand elles commencent à ſe mouvoir.

CHAPITRE IV.

Des Loix du Mouvement composé.

159. LE mouvement composé (68) a ſes loix, comme le mouvement ſimple : elles peuvent toutes ſe rapporter à une ſeule, & dont elles ne ſont que des conſéquences. Voici cette loi.

Loi du Mouvement composé.

160. *Quand un corps eſt ſollicité au mouvement par pluſieurs puiſſances qui agiſſent en même temps & ſelon différentes directions, ou il demeure en équilibre, ou bien il prend un mouvement qui ſuit le rapport des puiſſances entre elles pour la vîteſſe ; & il reçoit une direction moyenne entre celles des puiſſances auxquelles il obéit.*

Quand les puiſſances qui agiſſent enſemble ont des directions diamétralement oppoſées, ou elles ont des forces égales, ou elles ont des forces inégales : dans le cas d'égalité, le mobile demeure en équilibre. Si leurs forces ſont inégales, le mobile obéit à la plus forte, non pas ſuivant toute ſa valeur, mais ſeulement ſuivant la valeur de ſon excès ſur l'autre ; parce que la plus foible

détruit en l'autre une force égale à la ſienne : il ne reſte donc à la plus forte que ſon excès pour agir ſur le mobile. Ainſi, lorſque les puiſſances ſont directement oppoſées, il en réſulte ou le repos, ou le mouvement ſimple, mais retardé. Mais ſi les puiſſances ne ſont qu'obliquement oppoſées, c'eſt-à-dire, ſi leurs directions ſe croiſent, ou font angle au mobile, alors le mouvement ſe compoſe en vîteſſe & en direction.

Le mouvement compoſé peut ſe faire, ou en ligne droite, ou en ligne courbe. Voyons quelles ſont les conditions néceſſaires pour l'un ou l'autre de ces mouvemens.

Mouvement compoſé en ligne droite.

161. Le mouvement compoſé ſe fait toujours en ligne droite, quand le mobile obéit à des puiſſances qui perſéverent dans le même rapport entre elles, ſoit qu'elles ne reçoivent aucun changement, ſoit que les changemens ſoient égaux ou proportionnels de part & d'autre; parce qu'alors les effets de chaque inſtant ſe rencontrent tous dans la même direction. Suppoſons donc ces rapports conſtans.

162. La vîteſſe & la direction d'un corps qui ſe meut d'un mouvement compoſé, ſe meſurent par la diagonale d'un parallélogramme, dont deux des côtés repréſentent les puiſſances. Suppoſons

Fig. 14. que le mobile M (*fig.* 14) ſoit tiré en même temps par deux forces, repréſentées par les deux lignes MC, MG, qui font angle enſemble au mobile M : la diagonale MI du parallélogramme MGIC, dont ces deux lignes MC, MG, ſont deux côtés, meſure la vîteſſe & détermine la direction que prendra le mobile M en vertu de ces deux forces. Car ſuppoſons MC une regle mobile, ſur laquelle le mobile M deſcend avec une vîteſſe uniforme, de M en C, en ſix inſtans égaux ; tandis que la regle MC avance parallélement à elle-même, avec une vîteſſe uniforme, de M en G, en ſix inſtans égaux aux premiers : il eſt clair qu'à la fin du premier inſtant le mobile M ſera deſcendu en A ; & la regle MC ſera avancée en K : donc alors le point A & le mobile M, qui y eſt parvenu, ſe trouveront au point *a*. A la fin du ſecond inſtant le mobile M ſera deſcendu en B ; & la regle MC ſera avancée en L : le mobile, deſcendu en B, ſe trouvera donc au point *b*. Par la même raiſon, à la fin du troiſieme inſtant le mobile M ſera en *d* : à la fin du quatrieme inſtant il ſera en *e*, &c. Enfin, après les ſix inſtans écoulés, le mobile M ſera en I, après avoir parcouru ſucceſſivement tous les points de la diagonale MI ; & il ſera arrivé, mais par un chemin plus court, aux termes des deux tendances ; car le mobile M, arrivé en I,

ſera deſcendu de la quantité GI égale à MC, & avancé de la quantité CI égale à MG.

163. Cette diagonale, qui marque la vîteſſe du mobile, eſt plus ou moins longue avec des puiſſances de même valeur, ſuivant que les directions de ces puiſſances ſont entre elles des angles plus ou moins aigus. Si l'angle qu'elles forment eſt droit, elles ne ſe nuiſent ni ne s'entr'aident : le mobile eſt porté auſſi loin que l'exige chacune des puiſſances. Ainſi le mobile M (*fig.* 15) étant commandé par les deux puiſſances MA, MB, qui ſont entre elles l'angle droit AMB, ſuivra la diagonale MC. Mais ſi la puiſſance MB étoit placée en MD, & faiſoit avec l'autre puiſſance l'angle obtus AMD, la diagonale, que ſuivroit le mobile M, ſeroit ME plus courte que MC. Si, au contraire, la puiſſance MB ſe plaçoit en MF, & faiſoit avec la puiſſance MA l'angle aigu AMF, la diagonale, que ſuivroit le mobile M, ſeroit MG plus longue que MC : & cette diagonale s'alongeroit de plus en plus, ſi l'angle, que forment enſemble les directions des puiſſances, devenoit de plus en plus aigu. *Fig.* 15.

164. La diagonale, comme nous l'avons dit ci-deſſus (162), détermine encore la direction que prendra le mobile. Si les deux puiſſances ſont égales, comme MG, MC (*fig.* 14), la *Fig.* 14.

diagonale MI eſt également inclinée à l'une & à l'autre, & fait de part & d'autre, avec la direction de chacune de ces puiſſances, des angles égaux. Mais ſi les puiſſances ſont inégales, comme
Fig. 15. MA, MB (*fig.* 15), la diagonale eſt plus inclinée à la plus grande des deux puiſſances, & fait, avec la direction de la plus grande, l'angle AMC plus petit que l'angle CMB, qu'elle forme avec la direction de la plus petite.

165. Il ſuit de ce que nous venons de dire, que, ſi l'on connoît l'angle de direction des puiſſances & leur degré de force, il ſera aiſé de connoître l'effet qu'elles doivent produire ſur le mobile, c'eſt-à-dire, ſon degré de vîteſſe & la direction qu'il doit prendre : car en exprimant la valeur des puiſſances & leurs directions par des lignes, par exemple, MA & MD, qui ſe joignent au point M, & en établiſſant un parallélogramme ſur ces deux lignes, qui en repréſentent deux côtés, la diagonale ME donnera ce que l'on cherche.

166. Il ſuit encore que, ſi l'on connoît l'effet commun de deux puiſſances ſur un mobile, & la direction & le degré de force de l'une des deux, on pourra juger de la valeur & de la poſition de l'autre. Si je ſais, par exemple, qu'un mobile M a été porté de M en G, par l'action de deux forces, dont une eſt exprimée par MA;

je

je tire du point A au point G la ligne AG : & je suis sûr que l'autre puissance sera représentée par une ligne MF, tirée du point M, parallele & égale à AG.

167. Pour que le mouvement se compose, il n'est point nécessaire que les puissances continuent d'agir pendant toute la durée du mouvement. Deux forces une fois imprimées (comme, par exemple, deux coups de marteau) par des causes qui cessent ensuite d'agir, produisent le même effet, & composent le mouvement du mobile, comme si leurs actions étoient continues. C'est pour cette raison que ce que l'on jette par la portiere d'un carrosse qui roule actuellement, n'arrive jamais à l'endroit où la main le lance. Car outre l'impulsion de la main, il y a de plus le mouvement de la voiture, qui est commun au mobile & à la main, & qui fait une seconde puissance, dont la direction se croise avec celle que la main donne au mobile : ce mobile doit donc suivre la diagonale d'un parallélogramme, dont ces deux puissances représentent deux côtés. Il suit de là que, si l'on vouloit sauter par la portiere d'un carrosse, dont les chevaux auroient pris le mors aux dents, & qu'il se trouvât là un petit tas de boue, un moyen sûr de n'y pas tomber, seroit de tendre à se jeter dedans.

Mouvement composé en ligne courbe.

168. Le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, comme nous l'avons dit ci-dessus (161), quand le mobile obéit à des puissances qui persévèrent dans le même rapport entre elles. Il n'en est pas de même si le rapport des puissances change; si, par exemple, de deux puissances, l'une devient ou plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, tandis que l'autre ne change pas; ou si, changeant toutes deux, elles ne changent pas proportionnellement. Dans ces cas-là, le produit de chaque instant est bien une ligne droite; car tous les corps commencent toujours à se mouvoir ainsi (74): mais chacune de ces lignes droites a sa direction particuliere, qui change à chaque instant selon le changement de rapport des puissances. Supposons que le mobile M (*fig.* 16) soit sollicité à se mouvoir en même temps par deux puissances représentées par les deux lignes MF, M6: que la puissance MF soit uniforme, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M des espaces égaux en temps égaux, comme MA, AB, BC, &c., & que la puissance M6 soit accélératrice, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M, en temps égaux, des espaces qui augmentent de plus en plus, comme M 1; 1, 2; 2, 3, &c.

Fig. 16.

Si nous faiſons ici l'application de ce que nous avons dit ci-deſſus (162), nous verrons que le mobile M parcourra dans le premier inſtant la diagonale M *a* ; dans le ſecond, la diagonale *a b* ; dans le troiſieme, la diagonale *b c* ; dans le quatrieme, la diagonale *c d*, &c. Mais chacune de ces diagonales a une direction différente de celles des diagonales qui la précedent : & ſi nous les prenions infiniment courtes, en ſuppoſant les inſtans infiniment petits, leur ſuite formeroit la courbe M *a b c d e f*. Tels ſont à peu près les mouvemens de tous les corps graves projetés hors de la perpendiculaire à l'horizon : tels ſont une pierre qu'on lance avec la main, une bombe, un boulet, &c. l'impulſion qu'on leur donne eſt une force dont l'action eſt, de ſa nature, égale dans tous les inſtans ; & leur peſanteur eſt une puiſſance dont l'action augmente de plus en plus (216). Le corps projeté décrit donc une ligne courbe, qui ſuit la nature du changement de rapports de ces deux puiſſances.

169. Tout le monde eſt convaincu de la courbure de cette ligne relativement à la pierre & à la bombe que nous venons de donner pour exemple (168). Il n'en eſt pas de même du boulet ; on eſt porté à croire qu'il arrive au but par une ligne droite : & ce qui le fait croire eſt que la vîteſſe qui lui vient de l'impulſion de la pou-

dre, eſt infiniment plus grande que celle qui lui vient de ſa peſanteur ; de ſorte qu'il deſcend peu en comparaiſon de la quantité dont il avance. Mais il ſuffit d'obſerver la maniere dont le canon eſt conſtruit, pour ſe convaincre que le boulet arrive au but par un mouvement vraiment compoſé. Ce boulet eſt, comme nous venons de le dire, expoſé à l'action de deux puiſſances ; l'une qui eſt l'impulſion de la poudre enflammée, & l'autre qui eſt ſa peſanteur. La premiere eſt uniforme ; & l'autre accélératrice. Auſſi-tôt que le boulet eſt hors du canon, non ſeulement il avance dans la direction de l'impulſion qu'il a reçue, mais encore il deſcend en obéiſſant à l'action de ſa peſanteur, qui eſt capable de le faire tomber de 15 pieds dans la premiere ſeconde, de 45 pieds dans la ſuivante, &c. (216). Si donc le canon étoit extérieurement cylindrique, comme l'eſt ſa cavité ; la ligne de mire ſeroit parallele à la direction que reçoit le boulet en ſortant. Et, comme le boulet deſcend auſſi-tôt qu'il eſt ſorti, il faudroit diriger le canon vers un point plus élevé que le but que l'on veut atteindre. Or il ſeroit très-difficile d'eſtimer au juſte la quantité dont il faudroit pour cela relever le canon. Mais le canon ayant extérieurement une forme conique, eſt plus épais vers la culaſſe que vers ſon embouchure ; ce qui fait que la ligne de mire AB (*fig.* 17)

Fig. 17.

& la véritable direction DE du boulet se croisent en chemin, & font en C un angle d'autant plus ouvert, que la différence entre l'épaisseur qu'a le canon vers la culasse & celle qu'il a vers son embouchure, est plus considérable. De sorte que, lorsqu'on croit diriger le boulet en B, on le dirige vraiment en E : & si la distance qu'il y a de E à B est égale à la quantité dont le boulet descend, pendant le temps qu'il est en chemin, il arrive au but aussi sûrement que s'il y étoit venu par une ligne parfaitement droite. Pour cela, il faut que l'on tire à une distance convenable, que l'impulsion de la poudre soit proportionnée au poids du boulet ; & que l'angle C, formé par la ligne de mire AB & la vraie direction DE du boulet, que l'on peut regarder comme le prolongement de l'axe du canon, soit dans une bonne proportion ; c'est-à-dire, que l'écartement du point E au point B, soit de 15 pieds à la distance de 200 toises, qui est celle que le boulet parcourt dans la premiere seconde. Alors l'effort de la pesanteur fera descendre le boulet de la quantité EB ; & l'on touchera par un mouvement vraiment composé, le but qu'on s'est proposé d'atteindre.

170. Ceci peut encore rendre raison d'un fait, qui paroît d'abord singulier, & auquel on ne s'attendroit pas si l'on n'y faisoit pas réflexion. Ce

fait eſt qu'un Mouſſe qui ſe laiſſe tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaiſſeau eſt à la voile, tombe au pied du mât & non pas dans la mer, quoique dans le moment qu'il atteint le pont, le vaiſſeau ſoit déjà bien loin de l'endroit où le Mouſſe a commencé à tomber. C'eſt que ce Mouſſe tombe par une ligne courbe, & non pas par une ligne verticale. A la vérité cette ligne paroîtroit verticale à ceux qui ſeroient ſur le vaiſſeau; mais on en appercevroit bien la courbure, ſi l'on étoit ſur le rivage; car il eſt bien vrai que la chûte du Mouſſe ſeroit parallele au mât qui eſt droit; mais les différens points du mât auxquels répondroit le Mouſſe 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 chûte ſe fait avec une vîteſſe accélérée. Pour bien entendre ceci, ſuppoſons M6 (*fig.* 16) le mât du vaiſſeau; le Mouſſe placé en M; 6*f*, le chemin que fait le vaiſſeau, pendant que le Mouſſe tombe de M en 6. Le Mouſſe a un mouvement horizontal commun avec le mât, dont la vîteſſe eſt uniforme (57): ſi-tôt qu'il échappe de la hune, ſa peſanteur le fait tomber avec une vîteſſe accélérée (58). Lorſque le Mouſſe, par ſa chûte, ſera arrivé de M en 1, le point 1 du mât ſera en *a*; lorſqu'il ſera tombé en 2, le point 2 ſera en *b*;

Fig. 16.

lorſqu'il ſera en 3, le point 3 ſera en *c*, &c. de ſorte qu'à la fin de la chûte, le point 6 du mât & le Mouſſe ſeront arrivés en *f*: & le Mouſſe ſera tombé par la ligne courbe M*abcdef*. On peut de la même maniere rendre raiſon de tous les faits analogues à celui-ci.

171. De tout ce que nous venons de dire, il ſuit que le mouvement en ligne courbe ne peut pas être l'effet d'une ſeule puiſſance : il ne ſuffit pas même qu'il y en ait pluſieurs qui agiſſent en même temps ; il faut encore que ces puiſſances changent de rapports entre elles, ſans quoi le mouvement ſe fera en ligne droite.

CHAPITRE V.

Des Forces centrales.

172. TOUT ce que nous avons dit du mouvement & de ſes loix, prouve 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 qui agiſſent enſemble, tend, en vertu de la premiere loi (74), à perſévérer dans cet état; & cet état conſiſte à paſſer d'un terme à un autre par la voie la plus courte, qui eſt la ligne droite. Si donc on voit un mobile décrire une ligne courbe, on doit conſidérer le chemin qu'il fait comme une ſuite non interrompue de mouvemens en lignes droites, toutes très-courtes, & dont les directions particulieres changent à chaque inſtant, & forment entre elles des angles fort obtus, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus (168). On a vu que cette ſuite de mouvemens en lignes droites ne peut pas être l'effet d'une ſeule puiſſance : pluſieurs même ne ſuffiſent pas, ſi elles ne changent pas continuellement de rapports entre elles (171). Mais ces rapports peuvent changer, non ſeulement quant à l'intenſité ou la force,

comme nous venons de le voir ; mais ils peuvent varier auſſi quant à la direction des puiſſances. C'eſt ſous ce dernier point de vue que nous allons conſidérer le mouvement en ligne courbe.

173. Suppoſons que le mobile A (*fig.* 18) ſoit ſollicité à ſe mouvoir par deux puiſſances AB, AC, dont les directions faſſent entre elles un angle droit au point A ; & dont la force de la premiere ſoit à la force de la ſeconde, comme 3 eſt à 1. Le mouvement compoſé de ces deux forces commencera par A*d*, & continueroit vers *l*, *m*, D, ſi rien ne changeoit dans ces forces : mais ſi, une fois cette nouvelle direction imprimée, la puiſſance qui étoit en AC, ſe trouve placée en *d*H, faiſant encore angle droit avec la nouvelle direction *d*D, comme elle le faiſoit d'abord avec la direction AB, le mouvement ſe compoſera de nouveau, & le mobile ira de *d* en *e* : ſi alors cette puiſſance ſe trouve placée en *e*I, faiſant encore angle droit avec *e*E, le mobile ſe portera de *e* en *f* ; s'il continue d'arriver pareille choſe, le mobile ſe portera de *f* en *g*, puis en *h*, &c. de ſorte que ces directions continuant de changer ainſi, finiroient par aboutir au point A, après avoir fait le tour entier. Ce que nous venons de ſuppoſer, n'eſt point un cas métaphyſique ; cela ſe trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout autre corps

Fig. 18.

qu'on fait tourner au bout d'une corde : car la main qui tient la corde, passant successivement par les points C, H, I, K, &c., fait passer la corde par les positions AC, *d*H, *e*I, *f*K, &c. ; & comme cette corde reste toujours de même longueur, elle représente une puissance qui ne varie que par sa position. Si nous considérions ces élémens A*d*, *de*, *ef*, *fg*, &c., comme infiniment courts, leur suite formeroit une courbe réguliere, qui seroit un cercle.

174. Tout corps qui circule, le fait donc en vertu de deux forces : si l'une des deux cessoit d'agir, le corps cesseroit de circuler ; parce qu'il ne seroit plus commandé que par une puissance, comme, par exemple, si la corde d'une fronde venoit à casser, lorsqu'elle se trouve en *d*H ou en *e*I, la pierre s'en iroit ou par *d*D ou par *e*E, lignes que l'on nomme *Tangentes*. Tous les corps qui circulent, font donc un continuel effort pour ne plus circuler ; puisque, s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par une tangente. Mais tendre à s'échapper par la tangente, ou faire effort pour s'éloigner du centre autour duquel le corps circule, sont deux expressions qu'on peut regarder comme synonymes ; car si le mobile A, arrivé en *d*, au lieu d'aller de *d* en *e*, continuoit de *d* en *l*, en *m*, en D, il s'écarteroit de plus en plus des points I, K, &c., & par conséquent du centre de sa

circulation. Tout corps qui circule, ſi-tôt qu'il commence à circuler, reçoit donc, par cela même, une tendance à s'éloigner du centre de ſa circulation ; & ſi cette tendance n'a pas ſon effet, c'eſt que ce corps eſt retenu ou pouſſé vers ce centre par une puiſſance contraire.

175. Ce ſont ces deux forces, qui produiſent le mouvement en ligne courbe, & qui ſollicitent continuellement le mobile, l'une à s'éloigner, & l'autre à s'approcher du centre, que l'on nomme *forces centrales* : & pour les diſtinguer l'une de l'autre, on appelle la premiere *force centrifuge*, & l'autre *force centripete*.

176. Ces deux forces ſont directement oppoſées l'une à l'autre : car, quoique la force centrifuge ait ſa direction par la tangente BD (*fig.* 19), & que la direction de la force centripete ſoit ſuivant celle du rayon BC, leſquelles font enſemble un angle droit, il eſt cependant certain que le rayon prolongé CA ſeroit, en tournant, coupé par la tangente BD dans une ſuite de points E, F, D, qui vont tous en s'écartant de plus en plus du centre C. Le corps qui s'en va par la tangente, fait donc la même choſe que s'il gliſſoit réellement ſuivant le prolongement du rayon. Si l'on veut s'en aſſurer, qu'on faſſe l'expérience ſuivante. A l'extrémité d'une verge de bois C*g* (*fig.* 20), qui puiſſe tourner ſur le point C, adaptez une petite *Fig.* 19. *Fig.* 20.

lanterne quarrée *g a d*, vitrée des quatre côtés : placez librement au milieu de la lanterne, une bille d'acier *b*; & faites tourner la regle : le verre *d* ſera caſſé. Si la bille *b* ne ſuivoit que la tangente *b f*, ce ſeroit le verre *a* qui ſeroit caſſé : puiſque c'eſt le verre *d* qui l'eſt ; donc la bille *b* ſuit le prolongement *b e* du rayon C*g* : mais ce rayon, en tournant, a ſon prolongement *b e* coupé ſucceſſivement dans tous ſes points par la tangente *b f*. Donc la bille *b*, en s'en allant par la tangente *b f*, ſuit réellement le prolongement *b e* du rayon. C'eſt par cette raiſon que la corde d'une fronde demeure tendue, pendant qu'on la fait tourner; puiſque la pierre qui tend alors à s'en aller, par le prolongement de la corde, preſſe contre le fond de la fronde. La force centrifuge tend donc à éloigner le mobile directement du centre ; tandis que la force centripete tend directement à l'en rapprocher.

177. Les planetes ſont en proie à ces deux forces : leur force centrifuge, réſultante de leur mouvement de rotation (174), tend à tous les inſtans à les écarter du centre de leur mouvement ; & leur force centripete, réſultante de la gravitation générale (194), tend à les en rapprocher. De ces deux forces oppoſées naît un mouvement compoſé en ligne courbe, par lequel chaque planete décrit ſon orbite, qui eſt une courbe relative à la nature des forces qui l'animent.

178. Les forces centrales ont lieu dans toutes les ſubſtances, ſoit ſolides, ſoit fluides, toutes les fois que leur mouvement ſe fait en ligne courbe : c'eſt-à-dire, que toutes ont une force centripete, réſultante de leur gravité : & toutes acquierent une force centrifuge, ſi-tôt qu'elles commencent à ſe mouvoir en ligne courbe (174). Il n'y a là-deſſus aucune exception. Faites tourner un corps ſolide quelconque ; ſi la force qui le retient ou le pouſſe vers le centre de ſon mouvement, s'affoiblit ou ceſſe d'agir, vous le verrez s'écarter de ce centre. Faites de même tourner de l'eau, vous lui verrez faire la même choſe, même dans une direction oppoſée à celle de ſa peſanteur, pourvu que la force centrifuge qu'elle acquiert par ſon mouvement de rotation, ſoit ſupérieure à l'effort de ſa peſanteur.

179. Sur ce principe, on a conſtruit des machines, dans leſquelles on a employé différens moyens pour faire tourner l'eau, & lui faire, par-là, acquérir une force centrifuge capable de l'élever malgré ſon poids. On en peut voir un grand nombre dans le *Recueil des Machines de Ramelli*, & dans celui des *Machines approuvées par l'Académie Royale des Sciences. Tom. VI. pag. 9 & ſuivantes.* Sur ce même principe on a fait des ſoufflets de forge. *Ibid. Tom. V. pag.* 41 ; des cribles, des vans, &c., pour nettoyer le blé. M.

Deſaguilliers (*Tranſ. phil. N°.* 437) a fait conſtruire des machines à peu près ſemblables, & toujours ſur le même principe, pour renouveler l'air de la chambre d'un malade, des lieux qui deviennent mal-ſains par le grand nombre ou par le mauvais état des perſonnes qui les rempliſſent : comme les ſalles de ſpectacle, les infirmeries, les hôpitaux, &c.

Voyons maintenant comment on eſtime la valeur des forces centrales.

180. La valeur de la force centripete d'un corps qui circule, ou la quantité dont ce corps ſe rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de ſa révolution, ſi ſa force centrifuge ceſſoit d'agir ſur lui, eſt égale au quarré de la portion de la courbe qu'il décrit dans le même temps, diviſé par le diametre de cette courbe : car *Huyghens* & *Newton* ont démontré (*de vi centrifugâ*, *Huygh. Opera. tom. II*, & *Princip. Mathém. de la Philoſophie natur. Liv. I. Prop.* 4, *pag.* 54) qu'un corps qui fait ſa révolution dans un cercle, ſe rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de ce cercle, par ſa ſeule force centripete, d'une quantité égale au quarré de l'arc qu'il décrit dans le même temps, diviſé par le diametre du cercle. D'où il ſuit que ce corps, en vertu de ſa ſeule force centripete, arriveroit au centre de ſon mouvement en moins de temps qu'il ne lui en faudroit pour parcourir les $\frac{9}{40}$ de ſa révolution.

181. Pour connoître la valeur de la force centrifuge, il faut avoir égard à trois choſes : 1°. à la maſſe du corps qui circule ; 2°. à ſa diſtance au centre de ſa révolution ; 3°. à ſa vîteſſe. Pour meſurer cette vîteſſe, on a égard à deux choſes : 1°. à la grandeur de la révolution ; 2°. au temps employé à la faire. Ce temps eſt ce qu'on appelle *temps périodique* : & la révolution eſt 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, après un tour entier. La valeur de la force centrifuge d'un corps qui circule, eſt déterminée par le produit de ſa maſſe multipliée par le quarré de ſa vîteſſe, diviſé par ſa diſtance au centre de ſa circulation. Ce qui peut s'exprimer par la formule ſuivante, en appelant F, la force centrifuge de ce corps ; M, ſa maſſe ; D, ſa diſtance au centre de ſa circulation ; & V, ſa vîteſſe. $F = \frac{M V^2}{D}$.

Maintenant, ſi nous voulons comparer entre elles les forces centrifuges de deux corps, appelons f, la force centrifuge de l'autre corps ; m, ſa maſſe ; d, ſa diſtance au centre de ſa circulation ; & u, ſa vîteſſe. De la regle que nous venons d'établir (181), on peut inférer les phénomenes ſuivans.

182. 1°. *Les forces centrifuges de deux corps,*

qui ſe meuvent avec la même vîteſſe à égales diſtances du centre, ſont entre elles comme les maſſes de ces corps. Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* : : M : *m*. C'eſt-à-dire, que ſi une de ces maſſes eſt double de l'autre, la force centrifuge de cette maſſe eſt double de celle de l'autre.

183. 2°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui ſe meuvent dans des temps périodiques égaux à différentes diſtances du centre, ſont entre elles comme ces diſtances au centre.* Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* : : D : *d*. C'eſt-à-dire, que ſi une de ces diſtances eſt double de l'autre, celui des corps qui ſe meut à cette diſtance double, a une vîteſſe double de celle de l'autre : le produit de ſa maſſe multipliée par le quarré de ſa vîteſſe ſera donc quadruple de celle de l'autre, & n'aura qu'un diviſeur double : le quotient, qui donne la valeur de la force centrifuge, ſera donc double.

184. 3°. *Les forces centrifuges de deux corps, dont les temps périodiques ſont égaux, & dont les maſſes ſont en raiſon inverſe de leurs diſtances au centre, ſont égales entre elles.* Ce qu'on peut exprimer par cette formule. F : *f* : : MD : *md*. Ici la maſſe ſimple a une vîteſſe double, puiſqu'elle eſt à une diſtance double : ſon produit par le quarré de ſa vîteſſe eſt donc double de celui de l'autre maſſe ; mais elle a un diviſeur

diviſeur double : ce qui produit l'égalité des réſultats.

185. 4°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui ſe meuvent à égales diſtances du centre avec des vîteſſes différentes, ſont entre elles comme les quarrés de ces vîteſſes.* Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: V^2 : u^2$. Ici tout eſt égal de part & d'autre, excepté les vîteſſes, dont les quarrés ſont les multiplicateurs : les forces centrifuges doivent être entre elles comme les quarrés de ces vîteſſes.

186. 5°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui ſe meuvent à égales diſtances du centre avec des vîteſſes différentes, ſont entre elles comme les produits de leurs maſſes multipliées par le quarré de leurs vîteſſes.* Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: MV^2 : mu^2$. Puiſqu'ici les diviſeurs ſont égaux, les forces doivent être entre elles comme ſont entre eux les produits de leurs maſſes multipliées par le quarré de leurs vîteſſes, avant d'être diviſés par la diſtance au centre.

187. 6°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui ſe meuvent avec des vîteſſes égales à différentes diſtances du centre, ſont entre elles en raiſon inverſe de ces diſtances au centre*; c'eſt-à-dire, que cette force eſt plus grande dans le corps qui circule à la plus petite diſtance du

centre. Ce qui s'exprime par cette formule. F : f :: d : D. Puiſqu'ici tout eſt égal de part & d'autre, excepté les diviſeurs, il eſt clair que plus le diviſeur eſt grand, plus le quotient eſt petit : les forces centrifuges, qui ſont exprimées par les quotiens, doivent donc être en raiſon inverſe de ces diviſeurs, leſquels ſont les diſtances au centre.

188. 7°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui ſe meuvent avec des vîteſſes égales à différentes diſtances du centre, ſont entre elles comme les maſſes de ces corps multipliées par les diſtances au centre l'un de l'autre* ; c'eſt-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on multiplie la maſſe d'un de ces corps par la diſtance au centre de l'autre : & *vice verſâ*. Ce qui s'exprime par cette formule. F : f :: Md : mD. Puiſque les vîteſſes ſont égales de part & d'autre, il eſt clair que les maſſes ſont entre elles comme les produits ces maſſes multipliées par le quarré de leur vîteſſe : il eſt donc égal de diviſer ces produits, ou ſimplement les maſſes, par leur diſtance au centre ; ou de multiplier les maſſes par les diſtances au centre l'une de l'autre.

189. 8°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui ſe meuvent avec des vîteſſes inégales à différentes diſtances du centre, ſont entre elles comme les produits des maſſes de ces corps par*

le quarré de leurs vîteſſes propres, multipliées par les diſtances au centre l'un de l'autre; c'eſt-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on cherche le produit de la maſſe d'un de ces corps par le quarré de ſa vîteſſe propre, & on le multiplie par la diſtance au centre de l'autre corps, au lieu de le diviſer par ſa propre diſtance au centre; & *vice verſâ*. Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: MV^2 d : mu^2 D$. Il eſt aiſé de le convaincre, en cherchant la valeur de ſa force centrifuge de chacun de ces corps, par le moyen de la regle établie ci-deſſus (181), qu'il eſt encore égal ici de diviſer ces produits chacun par la propre diſtance au centre de circulation de chacun de ces corps, ou de les multiplier par les diſtances au centre l'un de l'autre.

190. Si les forces centrales d'un corps ſe font équilibre, c'eſt-à-dire, ſi la force centripete d'un corps fait équilibre à la force centrifuge de ce même corps, ce corps continuera de tourner ſans s'approcher ni s'éloigner du centre de ſa circulation; & il décrira un cercle.

191. Mais ſi les rapports de ces forces changent; ſi, par exemple, l'une des deux devient plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, l'autre demeurant la même, le corps décrira une courbe qui ſuivra la nature de ces changemens de rapports.

192. Si ces rapports, une fois changés, ſe

rétabliſſent avant la fin de la révolution, la courbe que décrira le mobile, ſera une courbe rentrante ſur elle-même : telle eſt, par exemple, une ellipſe.

193. Mais ſi ces rapports ne ſe rétabliſſent point ; ſi, par exemple, la force centripete va toujours en diminuant, la courbe ne ſera point rentrante ſur elle-même : le mobile, en s'éloignant du centre de ſon mouvement, décrira des ſpires plus ou moins régulieres, ſuivant le progrès de la diminution de cette force centripete.



CHAPITRE VI.

De la Gravité ou Gravitation des corps.

194. ON a donné le nom de *Gravité* ou de *Gravitation* à la force par laquelle tous les corps tendent les uns vers les autres. On a auſſi appelé cette force *Attraction*. Tous les corps de la Nature ſe comportent entre eux comme s'ils s'attiroient mutuellement, ou comme s'ils étoient pouſſés les uns vers les autres par une puiſſance extérieure : & cette force, quelle qu'elle ſoit, paroît agir en raiſon directe des maſſes, & en raiſon inverſe du quarré de la diſtance. Mais les corps s'attirent-ils réellement les uns les autres ? ou ſont-ils pouſſés les uns vers les autres par une puiſſance extérieure ? Voilà ce que l'on ignore complétement. Cette impulſion n'a été que ſuppoſée, & n'a jamais été prouvée. L'attraction inhérente dans les corps, comme s'ils agiſſoient hors d'eux-mêmes, & ſans intermede, eſt inconcevable. En effet, *Newton* lui-même n'a jamais donné l'attraction comme la cauſe phyſique de la gravité des corps : il s'eſt ſeulement ſervi de ce mot pour énoncer le fait, & non pas pour en rendre raiſon, comme il le dit lui-même dans ſes *Princ.*

Mathém. de la Philoſ. Nat. pag. 7, édition de Paris, 1759. Voici ſes termes. » Au reſte, je » prends ici dans le même ſens les attractions » & les impulſions accélératrices & motrices ; & » je me ſers indifféremment des mots d'*impulſion*, » d'*attraction*, & de *propenſion* quelconque vers » un centre : car je conſidere ces forces mathé- » matiquement & non phyſiquement ; ainſi le » Lecteur doit bien ſe garder de croire que j'aie » voulu déſigner par ces mots une eſpece d'ac- » tion, de cauſe ou de raiſon phyſique ; & lorſ- » que je dis que les centres attirent, lorſque je » parle de leurs forces, il ne doit pas penſer » que j'aie voulu attribuer aucune force réelle à » ces centres, que je conſidere comme des points » mathématiques «. Il ſuit de là que nous igno- rons encore quelle eſt la cauſe phyſique de la gravité, quoiqu'on ait imaginé pluſieurs ſyſtêmes pour en rendre raiſon. Il n'y a aucun de ces ſyſtêmes qui ſoit ſoutenable, & contre lequel on ne puiſſe faire des objections auxquelles il eſt impoſſible de répondre. C'eſt pourquoi je ne crois pas devoir les rapporter ici : cela ne feroit qu'a- longer cet article, ſans y répandre plus de clarté. Si le Lecteur étoit curieux de les connoître, il les trouveroit dans les Ouvrages ſuivans : ſavoir, celui de *Gaſſendi*, dans l'*Eſſai de Phyſique de Muſſchen- broek*, *Tom. I* ; celui de *Deſcartes*, dans ſes

Principes; celui de *De Molieres*, *dans ſes Leçons de Phyſique*, & *dans les Principes du Syſtême des petits Tourbillons*, par M. *de Launay*, *Chap. X*; celui de *Bulfinger*, dans une Diſſertation intitulée, *de Cauſâ Gravitatis*; celui d'*Huyghens*, à la tête du premier volume de ſes Œuvres, ſous le titre, *de Cauſâ Gravitatis*; celui de *Varignon*, dans ſes *Conjectures ſur la Peſanteur*, 1691, celui de *Perrault*, dans le premier volume de ſes *Œuvres de Phyſique*; celui de *Villemot*, dans ſa *nouvelle Explication du Mouvement des Planetes*; celui de *Bernoulli*, dans *ſa nouvelle Phyſique céleſte*, *Tom. III* de ſes Œuvres; & celui de *Newton*, dans ſes *Principes Mathématiques de la Philoſophie Naturelle*; & dans ſon *Traité d'Optique*.

195. On pourroit dire que la gravité eſt la même choſe que la peſanteur : cependant il y a cette différence, que *peſanteur* ne ſe dit jamais que de la force particuliere qui fait que les corps ſublunaires tendent vers la terre; & que *gravité* ſe dit de la force par laquelle un corps quelconque tend vers un autre. Car le principe général du ſyſtême *Newtonien* eſt que la gravité eſt une propriété univerſelle de la matiere : de ſorte que, par cette propriété, non ſeulement un corps tend vers un autre, mais les parties d'un même corps tendent toutes les unes vers les autres; ce qui peut ſe prouver par un grand nombre de phéno-

menes. Nous ne rappellerons ici que les plus ſimples & les plus communs : par exemple, la figure ſphérique que prennent les gouttes d'eau, provient en grande partie d'une pareille force : c'eſt par la même raiſon que deux globules de mercure s'uniſſent & s'incorporent en un ſeul, dès qu'ils viennent à ſe toucher, ou qu'ils ſont fort près l'un de l'autre. A l'égard de la loi préciſe de cette attraction, on ne l'a point encore déterminée : tout ce que l'on ſait certainement, c'eſt qu'en s'éloignant du point de contact, elle décroît plus que dans la raiſon du quarré de la diſtance ; & que, par conſéquent, elle ſuit une autre loi que la gravité. En effet, ſi, de même que la gravité, cette force ſuivoit la loi de la raiſon inverſe du quarré de la diſtance, elle ne ſeroit guere plus grande au point de contact que fort proche de ce point : car *Newton* a démontré dans ſes *Principes Mathématiques*, que, ſi l'attraction d'un corps eſt en raiſon inverſe du quarré de la diſtance, cette attraction eſt finie au point de contact, & qu'ainſi elle n'eſt guere plus grande au point de contact qu'à une petite diſtance de ce point. Au contraire, lorſque l'attraction décroît plus qu'en raiſon du quarré de la diſtance, par exemple, en raiſon du cube, ou d'une autre puiſſance plus grande que le quarré ; alors, ſelon les démonſtrations de *Newton*, l'attraction eſt

infinie au point de contact, & finie à une très-petite distance de ce point. Or il est certain, par toutes les expériences, que l'attraction, qui est très-grande au point de contact, devient presque insensible à une très-petite distance de ce point. D'où il suit que l'attraction, dont il s'agit, décroît en raison d'une puissance plus grande que le quarré de la distance. Mais l'expérience ne nous a point encore appris si la diminution de cette force suit la raison du cube, ou d'une autre puissance plus élevée.

196. Tout le monde convient que tout mouvement est naturellement rectiligne; de sorte que les corps qui, dans leur mouvement, décrivent des lignes courbes, y doivent être forcés par quelque puissance qui agit sur eux continuellement. D'où il suit que les planètes faisant leurs révolutions dans des orbites curvilignes, il y a quelque puissance, dont l'action continuelle & constante les empêche de se déplacer de leur orbite & de décrire des lignes droites, en tendant à les rapprocher du centre de leur révolution (177) : c'est cette puissance, quelle qu'en soit la cause, à laquelle on a donné le nom de *gravité*. En effet, les planetes ne pourroient pas continuer de décrire leur orbite, s'il n'y avoit pas quelque force qui les retînt ou qui les poussât vers le centre de leur révolution (174) : cette force, appelée *gravité*,

exiſte donc réellement ; & quoique nous en ignorions la cauſe, nous ne devons pas manquer de l'admettre.

197. Concluons de tout ceci, que les planetes ſont retenues dans leurs orbites par une puiſſance qui agit continuellement ſur elles ; que cette puiſſance a ſa direction vers le centre de ces orbites ; que l'efficacité de cette puiſſance augmente à meſure que la planete approche du centre, & qu'elle diminue à meſure qu'elle s'en éloigne ; qu'elle augmente en même proportion que diminue le quarré de la diſtance, & qu'elle diminue comme le quarré de la diſtance augmente.



CHAPITRE VII.

De la Pesanteur des Corps.

198. ON appelle *Pesanteur*, la force par laquelle tous les corps sublunaires se portent constamment d'un lieu plus élevé à un plus bas, tant que rien ne s'oppose à leur chûte, ou que les obstacles ne sont pas suffisans pour les arrêter : en un mot, on appelle *pesanteur*, la force par laquelle les corps tendent à descendre par une ligne perpendiculaire au point de la surface de la terre auquel ils répondent : & s'ils ne descendent pas par cette ligne, c'est qu'il y a quelque obstacle qui s'y oppose.

199. Il paroît que cette force, qui fait descendre les corps, est une suite de la gravitation générale qu'on observe dans la Nature (194). Mais comme on ne sait pas certainement quelle est la cause physique de cette gravitation, on ignore de même quelle est la cause physique de la pesanteur. Tous les systêmes qu'ont imaginés les Physiciens pour en rendre raison, peuvent se ranger en trois classes. Les uns regardent la pesanteur comme une qualité inhérente & primordiale des corps, comme une loi générale de

la Nature, qui peut n'avoir d'autre cauſe que la ſeule volonté du Créateur. Il faut avouer qu'ainſi on écarte toutes les difficultés, mais il ne faut pas prétendre qu'on rende par-là phyſiquement raiſon de la peſanteur. D'autres prétendent que la peſanteur eſt l'effet de l'impulſion de quelque matiere très-ſubtile & inviſible. Mais quelle eſt cette matiere ? comment agit-elle ? & pourquoi ne pouſſe-t-elle les corps que dans une direction perpendiculaire à l'horizon ? voilà ce qu'on ne peut dire qu'imparfaitement, & ce à quoi on a oppoſé des raiſonnemens auxquels on n'a pas encore pu répondre. Si l'on eſt curieux de juger ſoi-même ces ſyſtêmes, on les trouvera dans les Ouvrages que nous avons cités ci-deſſus (194); & l'on verra qu'il n'y en a aucun qui préſente, ſur la cauſe phyſique de la peſanteur, une explication ſatisfaiſante & bien intelligible. D'autres enfin diſent que la peſanteur n'eſt qu'un exemple particulier de l'attraction réciproque des corps. Mais cette action des corps les uns ſur les autres, agiſſant comme hors d'eux-mêmes, ſans intermede & à de grandes diſtances, n'eſt point du tout aiſée à concevoir. *Deſcartes* a cru pouvoir rendre raiſon de la chûte des corps par les forces centrales. Mais ſi ſon idée étoit vraie, les corps tendroient, non pas au centre de la terre, mais à l'axe; ce qui eſt contre l'expérience. Nous

n'avons donc juſqu'à préſent, ſur la cauſe phyſique de la peſanteur, aucune explication ſatisfaiſante. Laiſſons donc là la cauſe, & attachons-nous à la connoiſſance des effets : cela ſera plus ſatisfaiſant & en même temps plus utile.

Il arrive ſouvent que la peſanteur agit ſeule ſur les corps : alors ils tombent ſuivant les loix que nous allons établir. D'autres fois la peſanteur agit ſur les corps conjointement avec quelque autre puiſſance ; ce qui fait que le mouvement ſe compoſe. Nous allons traiter ſéparément de ces deux cas. Examinons, 1°. les phénomenes où la peſanteur agit ſeule ſur les corps : 2°. ceux où le mouvement eſt compoſé de la peſanteur & de quelque autre puiſſance.

Phénomenes où la Peſanteur agit ſeule ſur les Corps.

200. Il ne faut pas confondre ces deux termes, *peſanteur* & *poids* ; ils expriment deux choſes très-différentes. La peſanteur d'un corps eſt la force qui le ſollicite à deſcendre ; & ſon poids eſt la ſomme des parties peſantes qui ſont contenues ſous ſon volume. La peſanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps : cette force n'augmente ni ne diminue par leur réunion ou leur ſéparation ; mais le poids d'un corps change, comme la quantité de matiere qui

le compoſe. On peut donc dire que, quoiqu'un petit corps ait moins de poids que n'en a un grand, il a cependant autant de peſanteur ; car l'un & l'autre tendent de haut en bas avec la même vîteſſe.

201. Il faut conſidérer dans la peſanteur, ce que l'on conſidere dans toutes les autres puiſſances ; ſavoir, 1°. ſa direction : 2°. ſon intenſité, c'eſt-à-dire, la meſure ou la quantité de ſon action ſur les corps.

202. Sa direction eſt toujours perpendiculaire à l'horizon. On exprime encore cette direction par une tendance au centre de la terre ; ce qui ſeroit préciſément la même choſe, ſi la terre étoit ſphérique : car alors chaque ligne perpendiculaire à ſa ſurface ſeroit le prolongement d'un rayon. Mais la terre étant un ſphéroïde applati par les pôles, les lignes perpendiculaires à ſa ſurface n'aboutiſſent pas toutes au centre, mais à différens points qui compoſent un eſpace autour du centre. Mais, comme cet eſpace eſt fort petit, on peut, ſans erreur ſenſible, regarder le centre de la terre comme celui des corps graves.

203. A l'égard de l'intenſité de la peſanteur ou de la meſure de ſon action ſur les corps, il y a pluſieurs queſtions qu'il faut examiner & réſoudre. Il faut ſavoir, 1°. ſi cette action eſt la même dans tous les corps ; c'eſt-à-dire, ſi elle

rend à faire deſcendre les corps tous avec la même vîteſſe : 2°. ſi la meſure de cette action eſt la même dans tous les temps : 3°. ſi elle eſt la même dans tous les lieux : 4°. ſi elle varie dans le même corps : 5°. dans le cas où elle varie, ſi elle augmente ou ſi elle diminue : 6°. dans l'un ou l'autre cas, comment ſe font ſes progrès.

204. L'expérience ne nous apprend qu'à peu près combien un corps parcourt d'eſpace, dans un temps donné, en vertu de ſa peſanteur; 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 (75). La réſiſtance des milieux, qui varie comme leurs denſités (76); la figure du corps qui tombe (79, 80, 81); le rapport de ſa maſſe à ſon volume ou ſa denſité (24); la portion de ſon poids qu'il perd dans l'air (321); tout cela empêche qu'on ne connoiſſe au juſte la meſure primitive de l'action de la peſanteur ſur les corps. On ſait ſeulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, un corps qui a peu de volume & beaucoup de maſſe, comme une balle de plomb, parcourt, dans l'air libre, environ 15 pieds de France dans la premiere ſeconde de ſa chûte. Nous verrons bientôt pourquoi on embraſſe ici toutes ces circonſtances.

205. 1°. La meſure de l'action de la peſan-

teur eſt-elle la même dans tous les corps ? On a crû pendant long-temps que la peſanteur & le poids étoient ſynonymes, & que les corps avoient une tendance à tomber d'autant plus grande qu'ils avoient plus de maſſe. Cela étoit vraiſemblable : en effet on voyoit toujours, comme on le voit aujourd'hui, qu'un corps peu denſe, comme une plume, tomboit moins vîte qu'un corps plus denſe, comme une pierre. Mais un plus ou un moins ne décide pas la queſtion, quand il n'eſt pas proportionnel à la cauſe que l'on ſoupçonne. *Galilée* eſt le premier qui ait meſuré ce *moins* : & ayant trouvé qu'il ne répondoit pas à la différence des poids, il imagina que la peſanteur agiſſoit avec une égale force ſur la plume & ſur la pierre ; & que la différence dans leur chûte venoit uniquement de la réſiſtance de l'air, qui ſe faiſoit plus ſentir ſur celui des deux corps qui avoit le moins de maſſe (207). Ce raiſonnement étoit très-bien fondé ; & l'on en voit la juſteſſe, ſi l'on fait tomber des corps dans le vide d'air : alors, de quelque nature qu'ils ſoient, ils tombent tous avec la même vîteſſe. La meſure de l'action de la peſanteur eſt donc la même dans tous les corps. C'eſt donc la réſiſtance de l'air qui eſt la cauſe de la différence de leur chûte dans le plein.

206. On peut ainſi évaluer cette différence, &

& en sentir la raison. La quantité de mouvement des corps s'estime par leur masse & leur vîtesse (63). Si nous regardons maintenant, comme en effet nous devons le faire, la pesanteur comme une force qui imprime une vîtesse commune & égale à tous les corps, les quantités de mouvement de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entre elles que par la masse; & elles doivent lui être proportionnelles. Supposons donc une boule de plomb pesant 24 onces, & une boule de bois de même diametre pesant 2 onces: puisque leurs vîtesses initiales sont égales, leurs quantités de mouvement, au premier instant de leur chûte, seront comme leurs masses, c'est-à-dire, 24 dans le plomb & 2 dans le bois. Supposons maintenant que, pendant leurs chûtes, la résistance de l'air (qui est égale pour les deux corps, puisqu'ils ont le même volume & la même figure) leur ôte à chacun un degré de mouvement; le plomb n'aura perdu que $\frac{1}{24}$ de ce qu'il avoit; & le bois en aura perdu la moitié. Le ralentissement sera donc beaucoup plus considérable dans le bois que dans le plomb, quoique ces deux effets procedent de la même cause. Voilà pourquoi les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse; tandis que dans le vide ils tomberoient tous avec une vîtesse égale.

207. On a fait en grand des expériences sur la chûte directe des corps, tant en Italie qu'en France, en Angleterre, en Allemagne, qui prouvent ce que nous venons d'avancer. Mais *Desaguillers* a fait ces expériences, avec plus d'avantage que personne, à la tour de Saint-Paul de Londres, élevée de 272 pieds anglois, qui équivalent à 255 pieds françois. Il fit tomber de cette hauteur deux boules de $5\frac{1}{2}$ pouces de diametre, dont l'une pesoit 2610 grains; & l'autre seulement $137\frac{1}{2}$ grains. Leurs masses étoient donc, à très-peu de chose près, dans le rapport de 19 à 1. La plus pesante acheva sa chûte en $6\frac{1}{2}$ secondes; la chûte de l'autre dura près de 19 secondes. Donc, 1°. la vîtesse de la chûte n'est pas proportionnelle à la masse; car la plus légere ayant employé 19 secondes à tomber, la plus pesante auroit dû tomber en 1 seconde; & elle en a mis $6\frac{1}{2}$. Donc, 2°. les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse; car la boule qui a employé, dans le plein, $6\frac{1}{2}$ secondes à parcourir 255 pieds françois, auroit, selon les loix de l'accélération, que nous établirons ci-après (216), parcouru, dans le vide, pendant ce temps-là, $633\frac{1}{4}$ pieds: voilà donc $378\frac{1}{4}$ pieds de retranchés par la résistance de l'air; & la boule qui a employé, dans le plein, 19 secondes à parcourir 255 pieds, auroit parcouru,

dans le vide, pendant le même temps, 1353 $\frac{1}{4}$ pieds : voilà donc 1098 $\frac{1}{4}$ pieds de retranchés par la même réſiſtance de l'air. Donc cette réſiſtance de l'air produit ſur les corps qui tombent, d'autant plus de retardement dans leur chûte qu'ils ont moins de maſſe (205). *Newton* a confirmé ce principe par les vibrations de boules ſuſpendues à des fils, & dont il a mis les diametres & les poids en différens rapports. Nous ferons voir (258) que ces vibrations ſont un effet de la peſanteur. Si donc deux boules de même diametre, de même poids, & ſuſpendues par des fils d'égales longueurs, font, dans le même air, des vibrations ſemblables en amplitude & en durée, on voit qu'elles ſont animées par des peſanteurs égales ; & l'on ne doit pas changer de ſentiment, ſi la différence que la diminution ou l'augmentation du poids y apporte, ne ſuit pas le rapport des maſſes.

208. Par ce principe, on explique aiſément pourquoi la même matiere tombe plus lentement à meſure qu'elle ſe diviſe : par exemple, une bûche réduite en copeaux, tombe beaucoup plus lentement que lorſqu'elle eſt entiere. Par ſa diviſion elle acquiert plus de ſurface ; elle en préſente davantage au milieu réſiſtant, qui, pour cette raiſon, lui cauſe plus de retardement dans ſa chûte. Sans cette réſiſtance de l'air, qui retarde

& diviſe les corps dont les parties ont entre elles peu d'adhérence, la chûte d'une potée d'eau ſeroit auſſi à craindre que celle d'un glaçon ou d'une pierre de même poids. C'eſt par cette raiſon que la grêle tombe plus vîte que la pluie, & cauſe plus de ravages dans nos campagnes; & ſans cette réſiſtance de l'air, qui retarde la chûte des corps, la plus petite grêle ſeroit, par la vîteſſe extrême de ſa chûte, capable de tuer les hommes & les animaux.

209. 2°. La meſure de l'action de la peſanteur eſt la même dans tous les temps; car les corps tombent aujourd'hui, comme ils tomboient il y a pluſieurs milliers d'années : il n'y a donc point de variation à cet égard.

210. 3°. La meſure de l'action de la peſanteur eſt-elle la même dans tous les lieux ? En regardant comme centre des graves celui de la terre, on a ſoupçonné qu'à différentes diſtances de ce centre, l'intenſité ou la meſure de l'action de la peſanteur n'eſt pas la même; qu'elle agit avec d'autant moins de force ſur les corps, qu'ils ſont plus éloignés du centre de la terre. Et voulant connoître, par l'expérience, ſi ce ſoupçon étoit bien ou mal fondé, on a éprouvé la chûte des corps aux plus grandes hauteurs & aux plus grandes profondeurs auxquelles on a pu parvenir; mais n'ayant trouvé dans ces chûtes aucune différence

ſenſible, on a cru l'intenſité de la peſanteur uniforme à toutes ces diſtances, juſqu'à ce qu'on ait eu des raiſons de croire le contraire. C'eſt *Newton* qui nous a fourni ces raiſons. Non ſeulement il aſſure que la peſanteur agit d'autant moins ſur les corps, qu'ils ſont plus éloignés du centre de la terre; mais il donne de plus des regles pour évaluer cette diminution. Il nous dit, & de maniere à ſe faire croire, que, ſi la lune étoit abandonnée à ſa force centripete, elle deſcendroit vers la terre en parcourant environ 15 pieds 1 pouce dans la premiere minute de ſa chûte. Or c'eſt-là l'eſpace que les corps, placés vers la ſurface de la terre, parcourent, en vertu de leur peſanteur, dans la premiere ſeconde de leur chûte (204): & s'ils tomboient librement pendant 1 minute, & faiſant abſtraction de la réſiſtance de l'air, ils parcourroient, à cauſe de l'accélération de leur chûte, dont nous parlerons bientôt (216), 3600 fois cet eſpace. Un corps qui tomberoit de la lune vers la terre, tomberoit donc 3600 fois plus lentement. Mais la lune eſt éloignée environ 60 fois autant du centre de la terre, que les corps, qui ſont à ſa ſurface, le ſont de ce même centre (1871): & 3600 eſt le quarré de 60. D'où l'on doit conclure, avec *Newton*, que l'action de la peſanteur ſur les corps décroît comme le quarré de la diſtance

augmente. C'eſt dans les Ouvrages mêmes de *Newton* qu'il faut chercher les preuves de ce qu'il avance; preuves fondées ſur des connoiſſances certaines. (Voyez ſes *Principes mathématiques de la Philoſophie naturelle*, *tom. II*, *Prop. IV*, *pag.* 13, *édit. de Paris* 1759). Voici à peu près comment on peut juger de la quantité de l'action de la peſanteur ſur les corps à la hauteur de la lune, par la quantité de la même action ſur les corps qui ſont vers la ſurface de la terre, en ſuppoſant, comme l'a fait *Newton* (ce qui eſt plus que probable), que la force centripete de la lune eſt la même que celle des
Fig. 21. corps terreſtres. Suppoſons que T (*fig.* 21) repréſente la terre; L, la lune; LABC, l'orbite de cette planete. Il eſt certain que la lune ne circule autour de la terre, qu'en conſéquence de deux puiſſances qui agiſſent en même temps ſur elle (174); l'une ſa force centripete, qui la pouſſe ou la tire vers la terre dans la direction du rayon LT de ſon orbite; & l'autre ſa force centrifuge, réſultante de ſon mouvement de circulation (177), qui la pouſſe dans la tangente LF. Il eſt certain de plus, comme nous l'avons dit ci-deſſus (166), que, ſi un corps obéit en même temps à deux puiſſances, comme LD, LE, on connoît le rapport de ces deux puiſſances par la diagonale LC que ce corps décrit. Suppoſons

donc que LC soit l'arc de son orbite que la lune parcourt dans une minute ; il est clair que le sinus verse LD de cet arc représente la quantité dont la lune descendroit vers la terre T, si elle n'obéissoit qu'à sa force centripete. Mais, vu la distance de la lune à la terre, & sa vîtesse moyenne, LD se trouve être, suivant *Newton*, de 15 pieds 1 pouce 1 $\frac{1}{9}$ ligne. C'est donc là l'espace que la lune parcourroit pendant une minute en vertu de sa pesanteur. L'intensité de cette force sur les corps est donc différente à différentes distances du centre de la terre ; & elle décroît comme le quarré de la distance augmente.

211. Nous n'avons point d'assez grandes hauteurs pour constater par expérience cette théorie de la chûte directe des corps : mais MM. *Bouguer & de la Condamine* y ont suppléé par l'expérience suivante. Il ont fait osciller un pendule pendant la révolution d'une étoile fixe (nous ferons voir ci-après (258) que ces oscillations sont un effet de la pesanteur), 1°. au bas, 2°. au haut d'une des montagnes des Cordilieres, & ont mesuré la différence des hauteurs perpendiculaires de ces deux stations. Le nombre des vibrations a été moindre, pendant le même temps, dans le haut que dans le bas ; & ce *moins* s'est assez bien accordé avec la Théorie de *Newton*.

212. L'intensité de la pesanteur doit encore être

différente dans les différens climats de la terre. Car la terre tournant sur son axe ; chaque point de sa surface, ainsi que les corps qui y sont placés, prennent une force centrifuge (174), qui diminue les effets de la pesanteur, puisqu'elle y est opposée (176). Mais cette force centrifuge ne diminue pas les effets de la pesanteur également par-tout ; car elle est d'autant plus grande dans chacun des corps qui circulent, qu'ils décrivent de plus grands cercles dans le même temps (181), puisqu'alors ils ont plus de vîtesse. Or ceux qui sont sous l'équateur, ou près de là, décrivent de plus grands cercles que ceux qui sont vers les pôles : les effets de la pesanteur sur eux sont donc plus diminués ; d'autant plus que la force centrifuge est directement opposée à la pesanteur sous l'équateur, & obliquement, par-tout ailleurs ; & d'autant plus obliquement, qu'elle s'approche plus des pôles : car supposons AB (*fig.* 22) l'axe sur lequel tourne la terre : DE ou GP, le diametre de son équateur. 1°. Le corps qui tourne en G décrit, en 24 heures, un plus grand cercle que celui qui tourne en F, dont le cercle qu'il décrit a pour diametre FN, plus petit que DE. 2°. La force centrifuge en G a sa direction par GO, prolongement du rayon CG (176) ; & la force centripete a sa direction par GC : donc ces deux forces sont là directement opposées. Mais en F,

Fig. 22.

la force centrifuge a sa direction par FL, prolongement du rayon MF, tiré du centre M de la tranche dans laquelle le corps circule ; & la force centripete a sa direction par FC : donc ces deux forces ne sont là qu'obliquement opposées. Les corps tombent donc plus lentement vers l'équateur que vers les pôles. C'est en effet ce qui a été prouvé par l'expérience faite à Caïenne, en 1672, par M. *Richer*. Il observa qu'un pendule d'une longueur convenable pour battre les secondes à Paris, mesuroit à Caïenne des temps plus longs : & nous ferons voir (258) que le mouvement d'oscillation d'un pendule est un effet de la pesanteur. Cette expérience a été répétée depuis par plusieurs bons Observateurs, entre autres par les Académiciens qui sont allés au Pérou, & par ceux qui ont fait le voyage du Nord pour les mesures relatives à la figure de la terre ; & elle a toujours prouvé que les corps tombent plus lentement vers l'équateur que vers les pôles ; & que ce retardement diminue à proportion que la latitude du lieu augmente.

213. C'est cette même expérience qui a prouvé démonstrativement la rotation de la terre sur son axe ; & qui a fait douter de sa sphéricité. Car, puisque la terre tourne, ses différentes parties acquièrent des forces centrifuges (174), qui ne sont pas égales dans toute son étendue (212) ; puisque les parties qui sont sous l'équateur décri-

vent un grand cercle en 24 heures ; celles qui ſont vers les cercles polaires décrivent, en pareil temps, un cercle dont le diametre eſt beaucoup moindre, & celles qui ſont ſous les pôles, ne tournent point. *Huyghens* & *Newton* ne furent pas plus tôt informés de cette expérience, que, fondés ſur les loix de la ſtatique & des forces centrales, ils ſoupçonnerent que la terre n'étoit pas ſphérique, mais qu'elle étoit un ſphéroïde applati par les pôles. Car, dirent-ils, pour que les rayons de la terre CG, CP (*fig.* 22) qui répondent à l'équateur, ſoient en équilibre avec ceux CA, CB, qui répondent aux pôles, il faut que les premiers ſoient plus longs que les autres d'une quantité proportionnelle à la diminution de leur gravité, par la force centrifuge. Ils ont même pouſſé leur calcul juſqu'à déterminer cette quantité. Suivant *Huyghens*, le diametre de l'équateur eſt à l'axe de la terre comme 578 eſt à 577 ; & ſuivant *Newton*, comme 230 eſt à 229 ; ce qui n'eſt pas très-éloigné l'un de l'autre. La théorie de ces deux grands Hommes a été confirmée depuis par les travaux des Académiciens dont nous venons de parler (212), & qui ont été, les uns au Pérou, & les autres dans le Nord, pour prendre la meſure d'un degré du méridien dans ces différens climats, afin de connoître par-là ſi la terre étoit ſphérique ou non. C'eſt dans les Ouvrages de ces Savans

Fig. 22.

qu'il faut voir le détail de leurs opérations, dont je ne donne ici que les réſultats. Le rayon de l'équateur de la terre eſt de 3,281,013 toiſes : la moitié de ſon axe eſt de 3,265,752 $\frac{1}{2}$ toiſes : la différence, 15260 $\frac{1}{2}$ toiſes, donne l'applatiſſement de la terre vers les pôles. Cette différence ſur l'axe entier eſt égale à 13 lieues communes de France, de 2283 toiſes chacune, plus 842 toiſes : d'où il ſuit que le diametre de l'équateur eſt plus grand que l'axe de la terre de 13 lieues & environ $\frac{1}{7}$; ce qui donne le rapport du diametre de l'équateur à l'axe, comme 215 à 214 ; rapport dont celui de *Newton* approche beaucoup. (Voyez *la grandeur & la figure de la Terre*, Ouvrage qui fait ſuite aux *Mém. de l'Acad. des Scienc. pour l'année* 1718.) On peut voir auſſi les Ouvrages ſur le même objet, des Académiciens qui ont été pour cela au Pérou & dans le Nord.

214. 4°. La meſure de l'action de la peſanteur varie-t-elle dans le même corps ? Si l'on meſure, comme en effet on doit le faire, cette quantité d'action par la viteſſe avec laquelle un corps deſcend, elle peut varier dans le même corps, ſuivant qu'il eſt chaud ou froid, ſuivant la figure de ce corps, ſuivant le rapport de ſa maſſe à ſon volume, &c. Toutes ces cauſes de variation ſont accidentelles ; elles naiſſent de la réſiſtance du milieu (78), que le corps eſt obligé de traverſer. Mais une autre

variation, qui dépend uniquement de la pesanteur, est celle qui arrive au corps pendant qu'il tombe. Il semble que cette force soit dans le mobile même ; elle agit sur lui, pendant toute la durée de sa chûte, autant qu'elle a agi au commencement : de sorte qu'elle lui donne à chaque instant une nouvelle impulsion, d'où naît un nouveau degré de vîtesse. Un corps qui a cédé à sa pesanteur pendant une seconde, a donc une vîtesse actuelle plus grande que celle qu'il auroit eue, s'il n'étoit tombé que pendant une demi-seconde. Car on sait qu'un corps qui tombe librement, produit un choc d'autant plus grand, qu'il tombe de plus haut ; dans ce cas-là, l'intensité de ce choc ne peut augmenter que par la vîtesse : car nous supposons la même masse, puisque c'est le même corps. La vîtesse de ce corps s'accroît donc à chaque instant.

215. 5°. L'intensité de la pesanteur va donc toujours en augmentant dans le même corps, pendant qu'il tombe. Mais suivant quelle loi s'accroît sa vîtesse ? L'expérience prouve que cet accroissement de vîtesse est proportionnel à la hauteur de la chûte, & non pas à sa durée. Que l'on fasse tomber différens corps de mêmes figures, de hauteurs qui soient entre elles en raison inverse des masses de ces corps, ils produiront tous le même effort ; donc ils ont tous des quantités égales de mouvement (63) ; ce qui ne pouroit pas être, si

les vîteſſes acquiſes à la fin de chaque chûte n'étoient pas proportionnelles à la hauteur de ces chûtes. Donc, &c.

216. 6°. Puiſque la vîteſſe d'un corps qui tombe s'accroît à tous les inſtans, quel eſt donc à chaque inſtant la progreſſion de cet accroiſſement de vîteſſe? C'eſt encore à l'expérience à nous inſtruire: voici ce qu'elle nous apprend. Si l'on fait tomber librement un corps qui ait beaucoup de maſſe & peu de volume, afin d'avoir le moins de déchet poſſible par la réſiſtance de l'air, on verra qu'il parcourt un eſpace dans la premiere ſeconde de ſa chûte; trois eſpaces dans la ſeconde ſuivante; cinq eſpaces dans la troiſieme ſeconde; & ainſi de ſuite, en augmentant toujours de deux eſpaces égaux chacun à l'eſpace parcouru dans la premiere ſeconde. D'où il ſuit que la vîteſſe d'un corps qui tombe, s'accroît à chaque inſtant dans la progreſſion arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, 9, &c. Il ſuit encore de là que la ſomme des eſpaces parcourus à la fin de chaque temps, eſt comme le quarré des temps. Car à la fin du premier temps, il n'y a qu'un eſpace parcouru; le quarré de 1 eſt 1: à la fin du ſecond temps, il y a 4 eſpaces parcourus, 1 dans le premier temps, 3 dans le ſecond; le quarré de 2 eſt 4: à la fin du troiſieme temps, il y a neuf eſpaces parcourus; le quarré de 3 eſt 9: à la fin du quatrieme temps,

16 espaces; le quarré de 4 est 16 : &c. La vraie raison de cette accélération, & suivant cette loi, est qu'un corps qui est tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire descendre, en vertu seulement de cette vîtesse acquise, & indépendamment de l'action de la pesanteur, d'une quantité double de l'espace qu'il a parcouru dans le premier temps. Supposons un corps qui est tombé de 15 pieds pendant 1 seconde : ce corps a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire tomber de 30 pieds pendant la seconde suivante : & comme la pesanteur est une force qui réside dans le corps même, qui agit continuellement sur lui, & aussi fortement à tous les instans de sa chûte qu'au commencement (214), il faut, pour l'action de la pesanteur, pendant la deuxieme seconde, ajouter aux 30 pieds, un espace de 15 pieds, égal à l'espace parcouru en vertu de la pesanteur pendant la premiere seconde. Voilà donc, de parcourus pendant la deuxieme seconde, trois espaces, dont chacun est égal à l'espace parcouru pendant la premiere seconde. On fera le même raisonnement pour les secondes suivantes.

217. Ceci n'est point une supposition gratuite : le Docteur *Athoowd* a imaginé un moyen simple de prouver par expérience que, lorsqu'un corps

eſt tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, ſi l'on fait en ſorte que la peſanteur ceſſe d'agir ſur ce corps, il continue de tomber avec une viteſſe uniforme, & ſans aucune accélération, en parcourant, dans chaque temps ſuivant, égal au premier, un eſpace double de celui qui a été parcouru dans le premier temps. Voici en quoi conſiſte l'eſſentiel de ſon inſtrument. Une poulie A (*fig.* 23.) de 6 ou 7 pouces de diametre, très-mobile & ſuſpendue d'une maniere quelconque : deux corps cylindriques de métal B, C, parfaitement égaux entre eux en diametre & en poids : un cordon fort délié DEF : un petit poids G, d'environ 4 gros, rond & propre à être placé ſur le corps B : un autre petit poids H, long & dont le poids ſoit parfaitement égal à celui du poids G : une tringle graduée KL : un cercle de métal I, qui puiſſe ſe fixer à la tringle graduée, & qui ſoit aſſez large pour laiſſer paſſer librement le corps B. Sur la poulie A, faites paſſer le cordon DEF, aux extrémités duquel vous attacherez les corps B, C. Ces deux corps étant égaux en poids, ſeront en équilibre entre eux : pour rompre cet équilibre, & faire deſcendre le corps B, chargez-le du poids G, & placez ſa partie inférieure à la hauteur de o. Ayant un pendule qui meſure des temps égaux appropriés à la chûte de ce corps ; à la fin du premier temps, la partie inférieure du corps B

Fig. 23.

ſera en 1 ; à la fin du ſecond temps, elle ſera en 4 ; à la fin du troiſieme temps, elle ſera en 9, &c. ſuivant la progreſſion des nombres impairs établie ci-deſſus (216). Maintenant, pour faire ceſſer l'action de la peſanteur ſur ce corps B, reportez-le dans le haut, & faites de nouveau répondre ſa partie inférieure à 0 : puis chargez-le du poids H au lieu du poids G ; & le laiſſez tomber. A la fin du premier temps, lorſque la partie inférieure du corps B répondra à 1, le poids H, qui eſt plus long que le diametre du cercle I, reſtera ſur ce cercle ; ce qui ôtera au corps B ſon excès de poids ſur celui du corps C, & fera ceſſer ſur lui l'action de la peſanteur. Alors ce corps B continuera de ſe mouvoir avec une vîteſſe uniforme, parcourant, dans chaque temps ſuivant, un eſpace double de celui qu'il aura parcouru dans le premier temps ; de ſorte qu'à la fin du premier temps, ſa partie inférieure répondant à 1, à la fin du ſecond temps, elle répondra à 3 ; à la fin du troiſieme temps, elle répondra à 5 ; à la fin du quatrieme, elle répondra à 7 ; à la fin du cinquieme, elle répondra à 9, &c. : au lieu que, ſi la peſanteur eût continué d'agir ſur le corps B, il eût répondu à 9 à la fin du troiſieme temps (216).

218. Pour bien entendre ceci, repréſentons, par des lignes, les temps & les vîteſſes acquiſes. Suppoſons la ligne AD (*fig.* 24.) repréſentant *Fig.* 24.

trois

trois temps égaux, AB, BC, CD. Ces temps, quelque courts qu'ils soient, peuvent être divisés en autant d'instans qu'on voudra : divisons-les chacun en 6 instans, A*a*, *ac*, *ce*, *eg*, *gi*, *i*B, &c. La pesanteur, agissant à tous les instans sur le corps qui tombe (214), lui fera acquérir à chaque instant une nouvelle vîtesse. Représentons la vîtesse acquise, à la fin du premier instant, par la ligne *ab*; la vîtesse acquise à la fin du second instant sera représentée par la ligne *cd*, double de la ligne *ab*, puisqu'elle est le produit d'une impulsion deux fois répétée. Par la même raison, la vîtesse acquise à la fin du troisieme instant sera représentée par la ligne *ef*; &c. & en conséquence la vîtesse acquise à la fin du sixieme instant, par la ligne BE, six fois aussi longue que *ab*, comme résultante de six impulsions successives : & le triangle ABE représentera l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Supposons maintenant que la pesanteur cesse d'agir ; le corps continuera de se mouvoir avec sa vîtesse acquise BE, & parcourra, pendant le second temps BC, deux espaces égaux à l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Car pour connoître l'espace parcouru pendant ce second temps, en vertu de la vîtesse acquise, il faut multiplier cette vîtesse BE par le temps BC (56) ; ce qui donne le quarré BCFE,

lequel contient deux triangles, BCE, FEC, égaux au triangle ABE qui repréſente l'eſpace parcouru pendant le premier temps AB. Mais comme la peſanteur agit dans le ſecond temps autant qu'elle a agi dans le premier, il faut ajouter pour l'action de la peſanteur, pendant ce ſecond temps, le triangle FHE; ce qui fera trois triangles, ou trois eſpaces égaux chacun à l'eſpace parcouru pendant le premier temps. On verra de même que, pendant le troiſieme temps CD, il y a cinq eſpaces parcourus: car, à la fin du ſecond temps, la vîteſſe acquiſe eſt repréſentée par CH: ſi donc l'on multiplie cette vîteſſe CH par le temps CD, on aura le parallélogramme CDIH, lequel contient quatre triangles, qui repréſentent les eſpaces parcourus en vertu des vîteſſes acquiſes: ajoutez le triangle IHK, pour l'action de la peſanteur pendant ce troiſieme temps, il complétera les cinq eſpaces parcourus pendant ce temps. Et ainſi de ſuite, on trouvera 7 eſpaces pour le quatrieme temps; 9 pour le cinquieme, &c.

219. Il ſuit de là qu'un corps tombé d'une certaine hauteur, pendant pluſieurs inſtans, ſe trouve avoir, à la fin de ſa chûte, une vîteſſe acquiſe capable de le faire monter, pendant le même nombre d'inſtans, auſſi haut que le point d'où il eſt deſcendu, ſi quelque cauſe change ſa

Fig. 18.

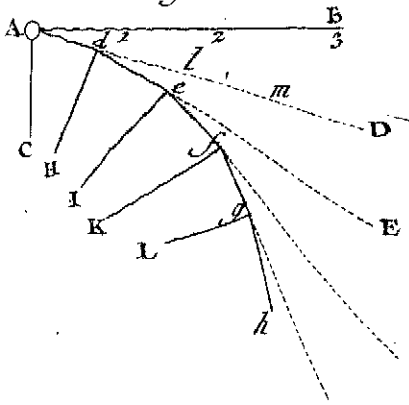


Fig. 19.

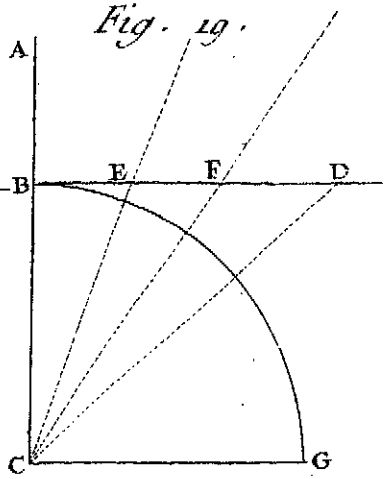
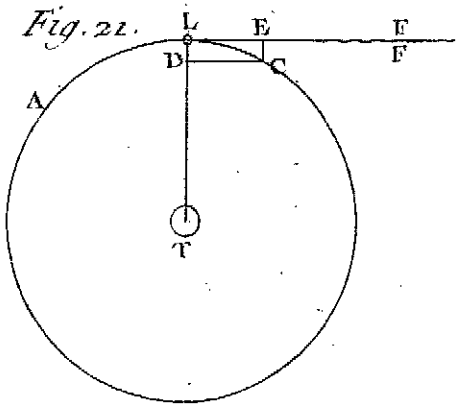


Fig. 21.



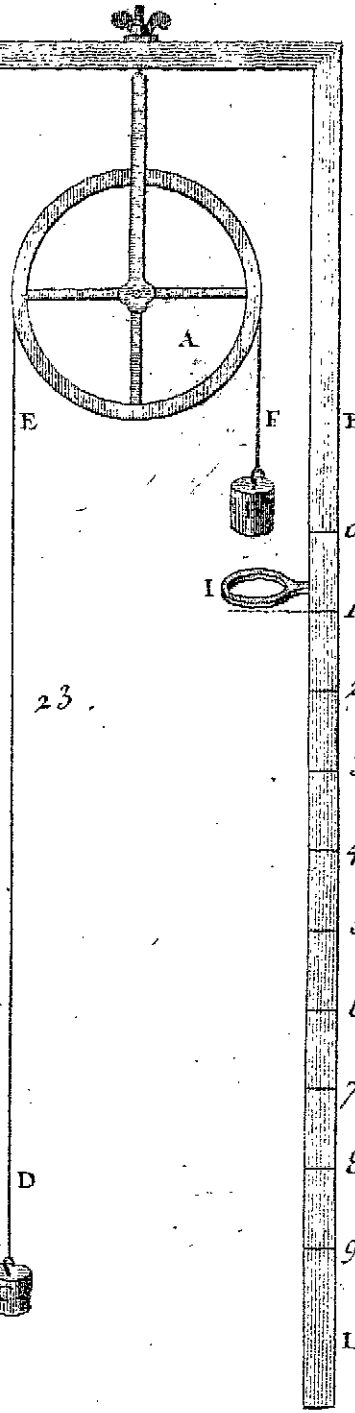


Fig. 20.

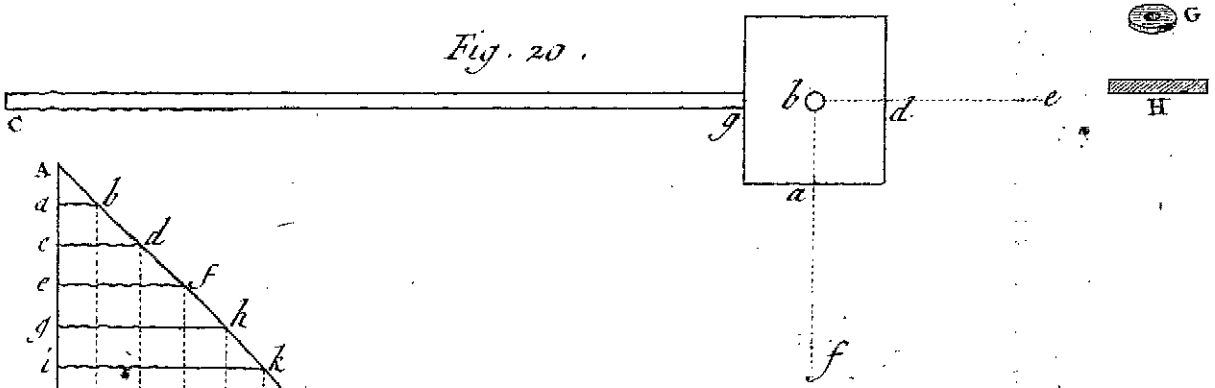


Fig. 23.

Fig. 24.

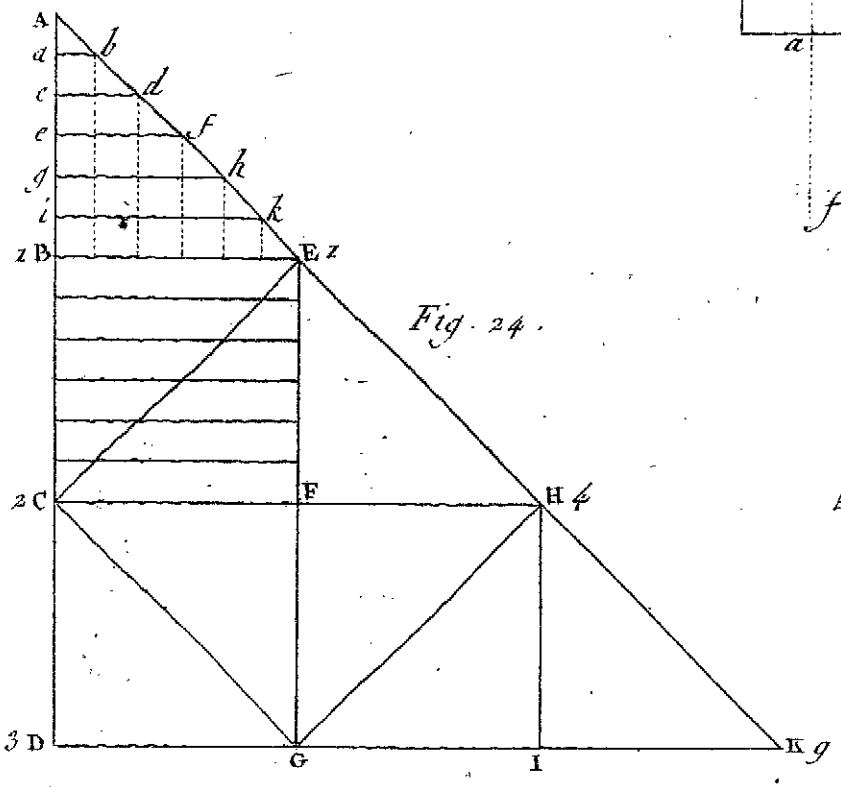
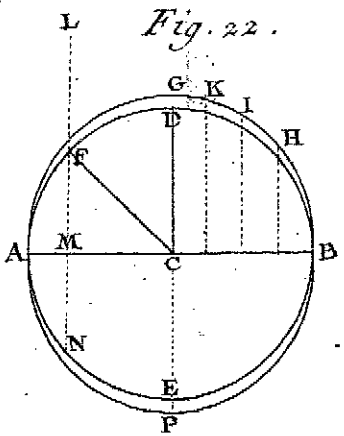


Fig. 22.



direction ; parce qu'en vertu de cette vîteſſe acquiſe, il a une force capable de le porter à un eſpace double de celui qu'il a parcouru (217). Mais, s'il remonte, l'action de ſa peſanteur en retranche la moitié : il ne peut donc monter qu'à une hauteur égale à celle d'où il eſt deſcendu. Cette vîteſſe eſt donc retardée, en montant, par l'action de ſa peſanteur, dans la même proportion que celle ſuivant laquelle elle a été accélérée en deſcendant : de ſorte qu'en montant, il parcourroit des eſpaces ſuivant la même progreſſion que celle ſuivant laquelle il les a parcourus en deſcendant, mais dans un ordre renverſé. Si donc il eſt tombé pendant quatre inſtans, il aura parcouru 1 eſpace dans le premier inſtant ; 3, dans le ſecond ; 5, dans le troiſieme ; & 7, dans le quatrieme (216). S'il remonte, il en parcourra 7 dans le premier inſtant ; 5, dans le ſecond ; 3, dans le troiſieme ; & 1, dans le quatrieme. Mais, de même que la réſiſtance de l'air retranche une partie de l'accélération de la peſanteur dans les corps qui deſcendent (207), de même elle ajoute à ſon retardement dans les corps qui montent. C'eſt pour cette raiſon qu'un corps élaſtique, qui eſt tombé ſur un autre corps élaſtique, tels qu'une bille d'ivoire ou d'acier tombée ſur un plan de marbre (leurs reſſorts fuſſent-ils parfaits),

ne peut jamais remonter auſſi haut que le point d'où il eſt deſcendu.

De tout ce que nous venons de dire, relativement à l'action de la peſanteur, il ſuit :

220. 1°. Que la force qui fait tomber les corps, eſt toujours uniforme, & qu'elle agit ſur eux également à chaque inſtant (214).

221. 2°. Que les corps tombent vers la terre avec une vîteſſe uniformément accélérée (216).

222. 3°. Que leurs vîteſſes ſont comme les inſtans de leur chûte (218).

223. 4°. Que les eſpaces qu'ils parcourent à chaque inſtant de leur chûte, ſuivent la progreſſion arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, &c. (216).

224. 5°. Que les eſpaces qu'ils parcourent pendant la durée de leur chûte, ſont comme les quarrés des temps, ou comme les quarrés des vîteſſes; & que par conſéquent les vîteſſes & les temps ſont en raiſon ſous-doublée des eſpaces (216).

225. 6°. Que l'eſpace qu'un corps parcourt, en tombant pendant un temps quelconque, eſt la moitié de celui qu'il parcourroit pendant le même temps avec une vîteſſe uniforme, en vertu de la vîteſſe acquiſe; & que par conſéquent cet eſpace eſt égal à celui que le corps parcourroit avec une vîteſſe uniforme, en vertu de la moitié de cette vîteſſe (217).

226. 7°. Que la force qui fait tomber les corps vers la terre, eſt la ſeule cauſe de leur poids ; car, puiſqu'elle agit à chaque inſtant (214), elle agit donc ſur les corps, ſoit qu'ils ſoient en repos, ſoit qu'ils ſoient en mouvement ; & c'eſt par les efforts que ces corps font ſans ceſſe pour obéir à cette force, qu'ils peſent ſur les obſtacles qui les retiennent.

227. Comme l'air réſiſte au mouvement des corps, & qu'il y réſiſte d'autant plus qu'il eſt frappé avec plus de vîteſſe (83) ; il en réſulte que quand un corps, en tombant, a acquis par accélération (216) un degré de vîteſſe, qui fait qu'il frappe le fluide auſſi vîte qu'il peut céder, & qui le met par conſéquent en équilibre avec le milieu réſiſtant, il continue de s'y mouvoir, mais avec une vîteſſe uniforme, & ſans aucune nouvelle accélération. Les corps qui tombent, arrivent d'autant plus tard à cette uniformité de vîteſſe, que la denſité du milieu eſt moindre, ou qu'ils ont moins de volume & plus de maſſe (208). Auſſi la grêle arrive-t-elle plus tard à cette uniformité de vîteſſe, que ne le fait la pluie ; & la pluie plus tard que la neige.

Phénomenes où le mouvement eſt compoſé de la peſanteur & de quelque autre puiſſance.

228. La peſanteur eſt une puiſſance dont nous

venons de voir la direction (202) & l'intenſité (202 *& ſuivant.*) Si l'on connoît les autres forces qui agiſſent conjointement avec elles ſur les corps, on jugera aiſément des réſultats ; parce qu'ils ſeront toujours conformes aux loix du mouvement compoſé, que nous avons établies ci-deſſus (160 *& ſuivant.*). Nous n'aurons donc à faire ici que des applications des principes du mouvement compoſé.

229. Quand un corps n'obéit pas complétement à ſa peſanteur, c'eſt qu'il eſt retenu par quelque obſtacle, ou ſollicité par quelque force active qui agit dans une autre direction que celle de ſa peſanteur. Si l'obſtacle y eſt directement oppoſé & invincible, tel que ſeroit un plan horizontal ſur lequel le corps ſeroit poſé, ou une corde qui le tiendroit attaché à un point fixe, le corps ſe trouve alors entre deux puiſſances égales & oppoſées ; ſavoir, d'une part l'action de ſa peſanteur, & d'autre part la réaction du point fixe ou du plan ſur lequel il repoſe : & le corps demeure en repos. Mais ſi l'obſtacle peut céder à la peſanteur, c'eſt le cas de deux forces dont l'une obéit à l'autre ſuivant la valeur de ſon excès ; & le mouvement demeure ſimple, mais retardé (160) ; comme cela arrive lorſque les corps peſans traverſent, en tombant, des milieux réſiſtans (207).

230. Si l'obſtacle n'eſt qu'obliquement oppoſé à la peſanteur, tel que ſeroit, par exemple, un plan incliné ou un fil de ſuſpenſion, ou bien une force active ou projectile, qui lanceroit le corps dans une autre direction que la perpendiculaire à l'horizon, alors le mouvement ſe compoſe de cette force & de celle de la peſanteur.

Chûte des corps par les plans inclinés.

231. Suppoſons d'abord un plan incliné. Un plan incliné eſt celui qui n'eſt ni vertical, comme *a c* (*fig.* 25.), ni horizontal, comme *c d*; mais qui, comme la ligne *a d*, forme un triangle avec ces deux premieres lignes, la verticale & l'horizontale. Ce plan eſt d'autant moins incliné, qu'il s'éleve davantage au deſſus du plan horizontal; ou, ce qui revient au même, que la ligne *a c* eſt plus longue comparativement à la ligne *c d*. Suppoſons que *a c* ſoit l'eſpace que le corps *a* parcourroit en deux temps, en tombant librement, & par une chûte directe & perpendiculaire; il parcourroit dans le premier temps *a b*, & dans le ſecond *b c*, trois fois auſſi long que *ab*, ſuivant les loix de l'accélération établies ci-deſſus (216). Mais ſi ce corps *a* eſt contraint de ſuivre le plan incliné *a d*, il ſe comporte préciſément comme il feroit, ſi, n'y ayant point de plan ſolide *a d* qui le ſoutînt, *Fig.* 25.

il étoit tiré dans le premier temps par une force af, dans une direction perpendiculaire au plan incliné ad, laquelle force continuât enſuite de faire dans tous les inſtans des angles égaux avec la direction de la peſanteur, & qui ne fît que varier d'intenſité dans la même proportion que le fait la peſanteur elle-même. Dans le premier temps, le corps a, qui, en vertu de ſa peſanteur, ſeroit porté de a en b, & qui, en vertu de la force que nous avons ſuppoſée, iroit de a en f, ſuivroit la ligne ae, diagonale du parallélogramme $abef$, dont les deux puiſſances ab, af repréſentent deux côtés (162) : ce corps ſeroit donc beaucoup moins deſcendu, que s'il n'avoit ſuivi que l'impulſion de ſa peſanteur ; puiſqu'il ne ſeroit deſcendu que de la quantité ai, au lieu de la quantité ab. Pour le ſecond temps, comme les forces ont trois fois autant d'intenſité que dans le premier temps, il faut donc repréſenter la peſanteur par eg trois fois auſſi longue que ab, & l'autre force par eh trois fois auſſi longue que af; ce qui donne pour le ſecond temps la diagonale ek trois fois auſſi longue que ae. Pour le troiſieme temps, les forces étant repréſentées par kl & km, la diagonale ſera kn cinq fois auſſi longue que ae ; & pour le quatrieme temps, la diagonale ſera nd ſept fois auſſi longue que ae, &c.

De ces principes il suit :

232. 1°. Qu'un corps ne tombe jamais aussi vîte par un plan incliné, que par la ligne verticale, qui est sa direction naturelle : car s'il descendoit par la ligne verticale *ac*, il arriveroit en deux temps à l'abaissement *c* ; au lieu qu'en suivant le plan incliné *ad*, il n'arrive qu'en quatre temps en *d* (231) qui est au même degré d'abaissement que *c*.

233. 2°. Que, quoique les effets de la pesanteur soient retardés par les plans inclinés, cependant la chûte des corps, par ces plans, est accélérée suivant les mêmes loix & proportions (216), que lorsque la pesanteur agit seule & avec liberté (231). Car la ligne *ek*, qui est parcourue dans le second temps, est trois fois aussi longue que la ligne *ae*, parcourue dans le premier temps : & la ligne *kn*, parcourue dans le troisieme ; est cinq fois aussi longue, &c.

234. 3°. Que la durée de la chûte par le plan incliné est plus longue que celle de la chûte par la ligne verticale, de la même quantité dont ce plan *ad* excede en longueur la ligne verticale *ac* : car *ad*, longueur du plan, est double en longueur de *ac*, hauteur du même plan ; & nous avons dit (231) que le corps qui n'emploieroit que 2 temps à parcourir *ac*, en emploieroit 4 à parcourir *ad*. D'où il suit, en général,

que *la durée de la chûte par un plan incliné quelconque, eſt à la durée de la chûte par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan eſt à ſa hauteur.*

235. 4°. Que plus le plan eſt incliné à l'horizon, plus la chûte eſt retardée : car alors la longueur du plan excede davantage ſa hauteur. Et ſi ce plan devenoit horizontal, le corps, en le parcourant d'un bout à l'autre, ne tomberoit point du tout ; ſa chûte ſeroit nulle.

236. Un corps qui eſt contraint de ſuivre un plan incliné, ne tend donc pas à tomber avec toute ſa peſanteur abſolue, comme il le feroit, s'il tomboit librement par une ligne verticale ; il y eſt ſeulement ſollicité par ſa peſanteur reſpective, c'eſt-à-dire, par la portion de l'effort de ſa peſanteur qui n'eſt pas vaincu par le plan incliné. Et la peſanteur reſpective d'un même corps varie ſuivant l'inclinaiſon du plan qu'il eſt obligé de ſuivre. D'où il ſuit :

237. 1°. Que, ſi l'on prend pour ſinus total la longueur *ad* du plan, ſa hauteur *ac* ſera le ſinus de l'angle d'inclinaiſon *adc* : la peſanteur abſolue du corps *a*, qui eſt obligé de ſuivre ce plan incliné, eſt donc à ſa peſanteur reſpective, comme le ſinus total eſt au ſinus de l'angle d'inclinaiſon.

238. 2°. Que les peſanteurs reſpectives du

même corps, ſur différens plans inclinés, ſont l'une à l'autre comme les ſinus des angles d'inclinaiſon.

239. 3°. Que plus l'angle d'inclinaiſon eſt grand, plus auſſi eſt grande la peſanteur reſpective; car alors le plan eſt moins incliné, & ſoutient moins le corps.

240. 4°. Que dans un plan vertical, où l'angle d'inclinaiſon eſt le plus grand, puiſqu'il eſt formé par une perpendiculaire, la peſanteur reſpective eſt égale à la peſanteur abſolue : & dans un plan horizontal, où il n'y a aucune inclinaiſon, la peſanteur reſpective s'anéantit totalement; car alors le plan porte le poids entier du corps.

241. L'eſpace parcouru ſur un plan incliné par un corps peſant, dans un temps donné, eſt à l'eſpace que ce corps parcourroit, pendant un temps égal, dans un plan perpendiculaire, comme la hauteur de ce plan eſt à ſa longueur; & par conſéquent comme le ſinus de l'angle d'inclinaiſon eſt au ſinus total (237).

242. Car la hauteur AB (*fig.* 26) d'un plan incliné eſt toujours moyenne proportionnelle entre la longueur AC de ce plan, & l'eſpace AD qu'un corps peſant parcourroit ſur ce plan pendant un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber perpendiculairement de la hauteur AB de ce même plan. Si donc de l'angle droit B l'on *Fig.* 26.

tire une perpendiculaire BD sur AC, on aura AC : AB :: AB : AD. Donc un corps pesant, descendant sur ce plan incliné, viendroit du point A en D dans le même temps qu'il tomberoit perpendiculairement du point A au point B.

243. C'est pourquoi, étant donné l'espace AB de la chûte perpendiculaire, pendant un temps déterminé, suivant la hauteur du plan ; si l'on tire une perpendiculaire du point B, terme de cette chûte, sur AC, on a l'espace AD qui doit être parcouru dans le même temps sur le plan incliné AC.

244. Pareillement, étant donné l'espace AD parcouru sur le plan incliné AC, pendant un temps déterminé, on trouve l'espace AB qui seroit parcouru perpendiculairement dans le même temps, en abaissant du point D, une perpendiculaire à AC, qui rencontre le plan vertical en B.

245. D'où il suit que dans le cercle ADEFBG (*fig.* 27), un corps pesant descendra par l'un quelconque de ces plans inclinés, AD, ou AE, ou AF, ou AG, &c. dans un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber par le diametre AB, en le supposant perpendiculaire au plan horizontal HI. Car ce diametre AB est toujours moyenne proportionnelle (242) entre le plan AD, par exemple, & la longueur du plan incliné AL, dont ce plan AD fait partie ; ou entre le plan AF,

Fig. 27.

& la longueur du plan incliné A H, dont ce plan A F fait partie, &c.

246. Pareillement, ſi le diametre A B d'un cercle eſt perpendiculaire à la ligne horizontale H I, un corps peſant deſcendra d'un point quelconque, ou D, ou E, ou F, ou G, &c. de la circonférence de ce cercle, en ſuivant les plans inclinés, ou D B, ou E B, ou F B, ou G B, &c. dans le même temps qu'il deſcendroit par le diametre A B, poſé verticalement. Cela ſe déduit aiſément de l'article précédent (245) : car il n'y a aucun de ces plans qui ne puiſſe avoir ſon parallele & égal, tiré de l'extrémité ſupérieure A du diametre.

247. D'où ſuit cette propoſition générale : Qu'*un corps emploie, pour deſcendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, autant de temps qu'il lui en faudroit pour tomber par le diametre entier de ce même cercle, poſé verticalement.* Car toutes ces lignes, A D, A E, A F, A G, D B, E B, F B, G B, ſont autant de cordes de ce cercle ; & nous venons de voir (245 & 246) que chacune de ces lignes eſt parcourue par un corps peſant dans un temps égal à celui qu'il emploieroit à parcourir le diametre A B, poſé verticalement. De plus, toute ligne tirée d'une extrémité B du diametre à un point D de la circonférence, eſt perpendiculaire à la ligne tirée de

l'autre extrémité A au même point D : elle marque donc le terme de la chûte par le plan incliné AD (243).

248. Il suit encore de là, que, si l'on conçoit AB comme le diametre d'un cercle, & que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chûte perpendiculaire dans un temps donné ; la circonférence de ce cercle passera par toutes les extrémités D, E, F, G, &c. de toutes les chûtes obliques, achevées dans le même temps. Cette méthode, une fois connue, est très-simple pour connoître tout d'un coup le rapport des chûtes obliques entre elles, ainsi qu'avec la chûte perpendiculaire ; car il n'y a point de ligne qu'on ne puisse supposer être le diametre d'un cercle.

Fig. 26. 249. Etant donné l'espace AD (*fig.* 26) parcouru, dans un temps déterminé, sur un plan incliné AC ; si l'on veut déterminer l'espace qui seroit parcouru, dans le même temps, sur un autre plan incliné : du point D abaissez, comme nous l'avons dit ci-dessus (244), une perpendiculaire DB qui rencontre la verticale AB au point B ; la longueur AB sera l'espace que le corps parcourra pendant ce même temps, en tombant perpendiculairement. C'est pourquoi, si du point B on éleve une perpendiculaire BE sur le plan AF, AE sera la partie de ce plan incliné que le corps parcourra dans le même temps qu'il tomberoit per-

pendiculairement du point A au point B ; & par conſéquent dans le même temps qu'il parcourroit la partie AD dans l'autre plan incliné AC.

250. Ainſi, puiſque AB eſt à AD, comme le ſinus total AC eſt au ſinus AB de l'angle d'inclinaiſon C (242) ; & que AB eſt à AE, comme le ſinus total AF eſt au ſinus AB de l'angle d'inclinaiſon F : les eſpaces AD, AE, que le corps parcourt dans le même temps ſur différens plans inclinés, ſeront réciproquement comme les longueurs AC, AF, des plans d'égale hauteur ; c'eſt-à-dire que AD ſera à AE, comme AF eſt à AC.

251. Les vîteſſes acquiſes dans le même temps, par les chûtes d'un corps ſur différens plans inclinés, ſont comme les eſpaces parcourus dans le même temps. Elles ſont auſſi réciproquement comme les longueurs AC, AF, des plans d'égale hauteur ; c'eſt-à-dire que la vîteſſe acquiſe par la chûte d'un corps par la ligne AD, eſt à la vîteſſe acquiſe par la chûte du même corps par la ligne AE, comme AF eſt à AC.

252. Si l'on donne à un corps une impulſion pour le faire monter, ſuivant une direction quelconque, perpendiculaire ou oblique (ſuppoſons que ce ſoit dans un milieu non réſiſtant ; ou faiſons abſtraction de la réſiſtance du milieu), la vîteſſe de ce corps ſera retardée par ſa peſanteur,

comme elle ſeroit accélérée, s'il deſcendoit (216); & les eſpaces que ce corps parcourra en temps égaux, décroîtront dans un ordre renverſé, comme les nombres impairs 7, 5, 3, 1 (219). Et quand la force imprimée ſera épuiſée, le corps redeſcendra par l'effort de ſa peſanteur.

253. D'où il ſuit, qu'étant donné le temps qu'un corps emploie à monter à une hauteur donnée, il eſt aiſé de déterminer l'eſpace parcouru à chaque inſtant par ce corps. Car, ſuppoſez que ce corps deſcendît de cette même hauteur dans le même temps, il ſeroit aiſé de trouver quel eſt l'eſpace parcouru à chaque inſtant: en prenant ces eſpaces dans un ordre renverſé, ils ſeront les mêmes que ceux que l'on cherche. Suppoſez, par exemple, qu'un corps jeté perpendiculairement monte à une hauteur de 240 pieds pendant le temps de 4 ſecondes; & que l'on cherche quels ſont les eſpaces qui ſont parcourus dans les différens temps de cette aſcenſion. Si le corps étoit deſcendu, l'eſpace parcouru dans la premiere ſeconde auroit été 15 pieds (204); dans la ſeconde ſuivante, 45 pieds; dans la troiſieme ſeconde, 75 pieds; dans la quatrieme, 105 pieds (216). Par conſéquent l'eſpace parcouru en remontant ſera, dans la premiere ſeconde, 105 pieds; dans la ſeconde ſuivante, 75 pieds; dans la troiſieme, 45 pieds; & dans la quatrieme, 15 pieds. Alors le

corps

corps recommenceroit à descendre comme ci-dessus.

254. D'où il suit qu'un corps qui s'éleve avec une certaine vîtesse, monte à une hauteur égale à celle d'où il faut qu'il tombe, pour acquérir, par l'accélération de sa chûte (216), la vîtesse initiale avec laquelle il a monté.

255. Donc, réciproquement, un corps qui tombe, acquiert, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse capable de le faire remonter à la hauteur d'où il est tombé. Et comme la vîtesse des corps qui tombent obliquement ou par des plans inclinés, est accélérée suivant les mêmes loix & proportions, que lorsque la pesanteur agit seule (233), il importe peu dans quelle direction se fassent & la chûte & l'ascension.

256. Ainsi, quoique la vîtesse d'un corps qui descend par un plan incliné, soit toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement (232), il est cependant vrai (& l'expérience le prouve) qu'à chaque point de sa chûte oblique, sa vîtesse acquise est égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable : la seule différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse par une chûte oblique, que par une chûte perpendiculaire. Si un corps descend par le plan incliné *a d* (*fig.* 28), ou successivement par *Fig.* 28

les trois plans différemment inclinés, ab, bc, cd; ou par l'arc de cercle $abcod$; ou par la courbe $mnod$, il a, lorsqu'il est arrivé en d, une vîtesse acquise, égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement de la hauteur hd: & cette vîtesse est capable de le faire remonter jusqu'en g, hauteur égale à celle de h ou de m & a, points d'où le corps est supposé parti (255). Il est vrai qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse: car il tombe plus vîte par la ligne verticale hd, que par la courbe $mnod$; plus vîte par cette courbe, que par l'arc de cercle $abcod$; plus vîte par cet arc de cercle, que par les trois plans différemment inclinés ab, bc, cd; plus vîte par ces trois plans, que par le plan unique ad, quoique ce plan unique soit un chemin plus court que les trois autres. En voici la raison.

257. Si le corps parcourt les trois plans inclinés ab, bc, cd, en les parcourant, il sera soutenu successivement sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera davantage du terme de sa chûte d: & il est évident, après ce que nous avons dit ci-dessus (235), que si l'effort de la pesanteur étoit uniforme, il mettroit plus de temps à parcourir le plan cd, qu'il n'en mettroit à parcourir le plan ab, parce que ce premier plan est plus incliné que l'autre. Mais, à cause de l'accélération de la chûte (233), lorsque le corps se trouve en c, après avoir

parcouru les deux plans *a b*, *b c*, il a des vîteſſes acquiſes qu'il n'auroit pas, s'il commençoit à tomber du point *c*; & ces vîteſſes ſont d'autant plus grandes, que le commencement de la chûte a été plus prompt. Or ce commencement eſt d'autant plus prompt, que le premier plan parcouru eſt moins incliné, ou fait avec la verticale un angle plus aigu (235). Il eſt aiſé de voir, par la figure, que le premier élément de l'arc de cercle *a b c o d* fait avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan incliné *a b*; le commencement de la chûte eſt donc plus prompt par l'arc que par le plan: voilà pourquoi le corps tombe *plus vîte* par l'arc *a b c o d*, que par les trois plans *a b*, *b c*, *c d*. Par la même raiſon, le plan *a b* faiſant avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan *a d*, le corps tombe plus vîte par les trois plans *a b*, *b c*, *c d*, que par le plan unique *a d*, quoique ce dernier chemin ſoit plus court. C'eſt encore la raiſon pour laquelle le corps tombe plus vîte par la courbe *m n o d*, que par l'arc *a b c o d*; car le premier élément *m* de cette courbe fait avec la verticale *m r* un angle plus aigu, que celui que fait le premier élément *a* de l'arc avec la verticale *a p*. Cette courbe *m n o d* eſt appelée *Cycloïde*; elle eſt fameuſe en mécanique, par l'uſage qu'en fit *Huyghens*, lorſqu'il

appliqua le pendule aux horloges (266). Elle eſt auſſi appelée la *Courbe de la plus prompte deſcente.* Elle eſt formée par la révolution d'un point de la circonférence d'un cercle, qui ſe développe ſur une ligne droite.

Mouvement d'Oſcillation.

258. Ceci nous conduit à parler du mouvement d'*Oſcillation*; car le corps qui oſcille, le fait en vertu de ſa peſanteur.

On appelle *Oſcillation* ou *vibration du pendule* le mouvement d'un corps lourd, attaché, par un fil ou par une verge, à un point fixe autour duquel il décrit un arc. Tel eſt le corps A (*fig.* 29) attaché au point fixe C, par le fil CE, & qui décrit l'arc BAD. La vraie cauſe de ce mouvement eſt la peſanteur du corps A : car ſi l'on porte ce corps de A en B, & qu'on l'abandonne à lui-même, en vertu de ſa peſanteur, il tomberoit ſuivant la direction BH perpendiculaire à l'horizon (202); mais étant retenu, par le fil C*e*, à une diſtance toujours égale du point C, il ne peut deſcendre qu'en décrivant l'arc BA. Lorſqu'il eſt arrivé au point le plus bas en A, il a acquis, par l'accélération de ſa chûte, une vîteſſe égale à celle qu'il auroit acquiſe en tombant verticalement de la hauteur IA (256), laquelle eſt capable de le porter, dans un temps égal à celui de ſa chûte, à

Fig. 29.

une hauteur égale à celle d'où il eſt deſcendu (255): il ſe porte donc en D, en décrivant l'arc AD, ſa vîteſſe retardant à chaque inſtant dans la même proportion que celle dans laquelle elle a été accélérée en deſcendant (253). Arrivé au point D, il ne peut pas aller plus loin, parce qu'il a conſommé tout ſon mouvement (253). Il ne peut pas demeurer là, parce que ſa peſanteur le ſollicite à deſcendre; & comme il eſt dans le même cas où il étoit au point B, il retourne de D en A & de A en B; & ainſi de ſuite pour les oſcillations ſuivantes. De ſorte que, ſi ce corps n'éprouvoit point de réſiſtance de la part de l'air (84), & qu'il n'y eût point de frottement au point de ſuſpenſion C (96), ce mouvement ſeroit perpétuel. Il ne ceſſe donc que par ces cauſes, qui, quoiqu'accidentelles, ſont cependant inévitables dans la Nature.

259. Le corps A ſuſpendu par le fil CE au point fixe C, autour duquel il peut décrire des arcs plus ou moins grands, tels que BD, FG, &c. eſt ce qu'on appelle un *Pendule*. Le centre de gravité du corps A, qui décrit les arcs, ſe nomme *Centre d'oſcillation*; & le point fixe C s'appelle *Centre de mouvement*.

260. 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 le corps lourd A ne peſeroit

que par un ſeul point, appelé ſon centre de gravité (259), comme ſi, par exemple, toute ſa peſanteur réſidoit au centre. Le pendule compoſé eſt celui qui peſe par pluſieurs points : & c'eſt-là le cas ordinaire, puiſque la verge de ſuſpenſion eſt ordinairement de métal ; & quand elle ſeroit de bois ou de quelque autre matiere, ce ſeroit le même cas, car elle ne ſeroit pas ſans peſanteur. D'où l'on doit conclure que tous nos pendules ſont compoſés. Cependant la plupart des choſes que nous avons à dire ſur le pendule, doivent s'entendre du plus ſimple.

261. La durée de chaque vibration d'un pendule ſe déduit de la longueur de ce pendule, c'eſt-à-dire, de l'intervalle qu'il y a entre ſon centre de mouvement & ſon centre d'oſcillation (259). Car nous avons prouvé ci-deſſus (247) qu'un corps emploie, pour deſcendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, un temps égal à celui qu'il emploie à tomber verticalement par le diametre entier de ce même cercle. Mais un pendule CB deſcend par l'arc BFA (258), & non pas par la corde BA ; & ſa chûte par l'arc eſt plus prompte que par la corde (256 & 257). S'il ſuivoit la corde, il emploieroit donc, à faire ſa demi-vibration, un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber verticalement par le diametre d'un cercle, dont ſa longueur CA

est le rayon : mais il y a une proportion réglée entre la chûte par l'arc & la chûte par la corde : elle est, à très-peu de chose près, comme 51 à 65. Il y a donc la même proportion entre la chûte par l'arc & la chûte par le diametre, lequel est déterminé par la longueur du pendule.

262. D'où il suit qu'un pendule dont la longueur est constante, doit faire toutes ses vibrations, grandes ou petites, isochrones ou de même durée, dans le même lieu : c'est donc l'instrument le plus propre à mesurer des temps égaux. *Galilée*, qui le premier a fait des recherches sur le mouvement du pendule, s'en est servi avec beaucoup de succès pour ses observations & ses expériences ; ce qui lui a valu une exactitude & une précision qu'il auroit eu bien de la peine à se procurer autrement. La durée de la demi-vibration d'un pendule qui bat les secondes à Paris & aux environs, est la même que celle d'une chûte perpendiculaire de 3 pieds 9 pouces dans les mêmes lieux (216) ; & par conséquent la même que celle de la chûte par une corde quelconque d'un cercle de 3 pieds 9 pouces de diametre (247). Cependant le diametre du cercle dont ce pendule à secondes décrit l'arc, est de 6 pieds 1 pouce $5\frac{4}{10}$ lignes ; car, suivant M. *de Mairan*, un tel pendule doit avoir à Paris pour longueur 3 pieds $8\frac{17}{10}$ lignes. Si donc ce pen-

dule, au lieu de parcourir l'arc, parcouroit la corde, la durée de sa demi-vibration seroit de plus d'une demi-seconde; elle seroit, comme nous venons de le dire (261), plus longue que par l'arc dans la proportion de 65 à 51.

263. Si ce pendule étoit ou plus court ou plus long, la durée de ses vibrations seroit de même ou plus courte ou plus longue; parce qu'il répondroit à une chûte verticale ou plus petite ou plus grande, puisque sa longueur est toujours le rayon du cercle dont le diametre mesure la hauteur de cette chûte verticale. Les durées des vibrations de pendules de différentes longueurs sont entre elles en raison sous-doublée de leurs longueurs, ou comme les racines quarrées de ces longueurs, à cause de l'accélération de la chûte des corps; car un corps qui tombe, parcourt, dans le second instant, un espace triple de celui qu'il a parcouru dans le premier (216). C'est pourquoi, pour qu'un pendule mesure des temps doubles, il faut lui donner une longueur quadruple. Un pendule, dont la durée d'une vibration est à Paris d'une seconde, a pour longueur 3 pieds 8 $\frac{17}{10}$ lignes: pour que cette durée soit de deux secondes, il faut lui donner une longueur de 12 pieds 2 pouces 10 $\frac{8}{10}$ lignes. Telle est la longueur du pendule de l'horloge de l'Hôtel de Ville de Paris. Et pour que la durée

d'une vibration d'un pendule ne ſoit que d'une demi-ſeconde, il faut que ſa longueur ne ſoit que le quart de celle du pendule qui bat les ſecondes, c'eſt-à-dire, que cette longueur ne ſoit que de 9 pouces $2\frac{17}{120}$ lignes. Telle eſt la longueur des pendules des horloges à demi-ſecondes.

264. Cette longueur du pendule, dont nous venons de parler, n'eſt pas égale à la longueur totale de l'inſtrument appelé *Pendule* : elle eſt égale à la diſtance qu'il y a entre ſon centre d'oſcillation & ſon centre de mouvement (259). Le centre de mouvement eſt le point de ſuſpenſion : & le centre d'oſcillation eſt un point qui, étant pris dans la ligne de ſuſpenſion d'un pendule compoſé, ſoit tel que, ſi toute la gravité du pendule, ſuppoſé oſcillant, s'y trouvoit raſſemblée, les oſcillations ſe feroient dans un temps égal à celui qu'emploie ce pendule compoſé à faire les ſiennes. Dans un tel pendule, ce point ſe trouve, dans tous les cas, au deſſous du centre de gravité. Les oſcillations de ce pendule ſont toujours égales en durée à celle d'un pendule ſimple (260), qui auroit pour longueur la diſtance de ce centre d'oſcillation au point de ſuſpenſion ou centre de mouvement. Ainſi, chercher le centre d'oſcillation d'un pendule compoſé, c'eſt donc toujours chercher la longueur du pendule ſimple qui feroit ſes vibrations dans le

même temps que le pendule composé. Pour trouver la longueur de ce pendule simple, on peut faire usage de ce que nous avons dit ci-dessus (261, 262, 263). Si l'on est curieux de voir ce qui a été fait de mieux, relativement à la recherche du centre d'oscillation, on le trouvera dans un Mémoire de feu M. *Bernoulli*, de l'Académie des Sciences de Paris, & Professeur à Bâle, imprimé parmi ceux de l'Académie, pour l'année 1703, *pag.* 78.

265. Nous avons dit ci-dessus (262) que *Galilée* s'étoit servi avec succès du pendule, pour mesurer des temps égaux. Mais la maniere dont il en a fait usage, demandoit trop de soins, pour que cet instrument fût à la portée de tout le monde. Il falloit ranimer le mouvement, qui étoit à chaque instant ralenti par la résistance de l'air: de plus, il falloit compter les vibrations l'une après l'autre, pour en avoir la somme. *Huyghens* a fait du pendule une application beaucoup plus utile, & dont tout le monde peut profiter, en le joignant aux horloges pour régler leur mouvement. Ces sortes de machines sont, comme l'on sait, animées par un ressort ou par un poids qui met en mouvement plusieurs roues, par le moyen desquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran. Pour empêcher ce mouvement de se précipiter, il est retenu par un

modérateur : tel eſt encore le balancier dans les montres de poche. C'eſt donc à ce modérateur imparfait que *Huyghens* a ſubſtitué le pendule, en l'adaptant à la piece d'échappement, qui eſt celle qui regle le mouvement de toutes les roues ; afin que ces vibrations, dont la durée eſt toujours égale (262), tant que ſa longueur demeure la même, puſſent rectifier les petites irrégularités de la machine.

266. On remarqua enſuite que les oſcillations d'un pendule, qui ſe font par des arcs plus ou moins grands, quoique d'un même cercle, ne ſont pas d'une durée parfaitement égale : celles qui ſe font dans de grands arcs, y emploient des temps plus longs ; les différences, à la vérité, ſont inſenſibles, quand on ne les conſidere que pendant un temps court & pour un petit nombre de vibrations : mais elles deviennent très-ſenſibles quand elles ſont accumulées pendant un temps plus conſidérable, ou que les arcs different ſenſiblement en amplitude. C'eſt ce qui engagea *Huyghens* à chercher une courbe d'oſcillation dans laquelle il fût abſolument indifférent que le pendule meſurât de grands ou de petits arcs. Il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit (1), & il la ſubſtitua au cercle. Pour

(1) Hiſtoire de l'Acad. des Scienc. année 1700, p. 140.

cela, il rendit flexible la partie supérieure CM (*fig.* 30.) de la verge du pendule CA, & plaça de chaque côté du centre C du mouvement, une portion de cycloïde CE & CF, dont le cercle générateur H avoit pour diametre la moitié de la longueur du pendule CA (257). Moyennant cela, lorsque le pendule fait ses oscillations, la partie flexible CM de sa verge est contrainte de s'envelopper alternativement sur les deux portions de cycloïde CE & CF; ce qui rapproche le corps A du centre C de mouvement, & ce qui l'oblige de se mouvoir dans l'arc de cycloïde EAF, & non pas dans l'arc de cercle BAD. Or la cycloïde est une courbe d'une nature telle, qu'un pendule qui s'y meut, arrive toujours dans des temps égaux au point A le plus bas, quelle que soit la hauteur d'où il commence à tomber; de maniere que toutes ses vibrations, grandes ou petites, sont parfaitement isochrones ou d'égale durée. *Fig.* 30.

267. Cette invention, quoique très-ingénieuse, n'a pas été d'un long usage. La grande difficulté qu'il y a de former des arcs cycloïdaux bien exacts, & l'inconvénient de rendre flexible la partie supérieure de la verge, l'ont fait abandonner très-promptement; d'autant mieux qu'on a remarqué que le cercle & la cycloïde se confondent presque dans la partie inférieure GI: de maniere

qu'en ne faisant décrire par le pendule que des arcs d'une très-petite étendue, il est presque égal de lui faire faire ses oscillations dans le cercle ou dans la cycloïde. C'est en effet le parti que l'on a pris depuis dans l'horlogerie. Il faut cependant avouer que ces petits arcs, quelque peu étendus qu'ils soient, n'équivalent pas aux arcs de cycloïde; car quand ils deviennent plus ou moins étendus dans un temps que dans un autre (ce qui ne manque pas d'arriver de temps en temps par une cause que j'ignore), cela influe toujours sur le mouvement de la machine: quand ils prennent plus d'amplitude, l'horloge retarde toujours; quand ils en prennent moins, elle avance, quoique le corps qui oscille, ne s'éleve que d'un degré par son mouvement moyen: ainsi la cycloïde seroit préférable au cercle, sans les inconvéniens dont nous venons de parler.

268. Nous avons dit (262) que toutes les vibrations d'un pendule sont de même durée tant que sa longueur est la même: il faut ajouter à cela que c'est à condition que ce sera dans le même lieu, ou du moins dans un lieu d'une latitude semblable, puisque les pendules tombent d'autant plus lentement que la latitude du lieu est moindre, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (212), d'après l'expérience faite à Caïenne en 1672, par M. *Richer*. Pour que plusieurs pen-

dules, placés en différens lieux, mesurent tous des temps égaux, il faut donc qu'ils aient plus de longueur vers les pôles que vers l'équateur. Voyez, au *N°.* 264, ce qui mesure cette longueur. Je sais bien qu'on peut objecter que la chaleur qui regne à Caïenne avoit alongé le pendule, ce qui lui faisoit mesurer des temps plus longs : cet effet de la chaleur y contribue sans doute ; mais il n'est pas suffisant, car un pendule qui bat les secondes à Paris, seroit de $1\frac{1}{4}$ ligne trop long près de l'équateur ; & l'expérience prouve que la chaleur de l'eau bouillante (bien supérieure à celle qui regne dans l'air à Caïenne) n'alonge que d'un tiers de ligne une verge de pendule. Il faut donc qu'à la chaleur se joigne une autre cause ; & c'est la force centrifuge.

269. Un pendule ne peut mesurer des temps égaux dans le même lieu, qu'autant que sa longueur demeure constamment la même (263) : mais la chaleur, dont nous venons de parler, fait continuellement varier cette longueur. Tous les corps changent de dimensions par le chaud & le froid (1134) : la même chose arrive à la verge du pendule. La chaleur la fait alonger, le froid la raccourcit. On a pensé à remédier à cet inconvénient, en opposant à elle-même la cause physique d'où il procede ; c'est-à-dire, en faisant en sorte que la même chaleur qui fait

alonger la verge du pendule, faſſe auſſi remonter d'autant le centre d'oſcillation du même pendule, afin qu'il demeure toujours la même diſtance entre ce dernier point & le centre de mouvement ou le point de ſuſpenſion, puiſque c'eſt cette diſtance qui détermine la longueur du pendule (264). M. *Graham*, fameux Horloger de Londres, eſt le premier à qui cette idée s'eſt offerte, & qui a commencé à la mettre en exécution, en ſubſtituant, à la lentille du pendule, un vaſe cylindrique preſque plein de mercure, lequel mercure, étant ſoutenu ſur le fond du vaſe, porte ſa raréfaction vers le haut, & fait ainſi remonter le centre d'oſcillation, à meſure que ce même centre deſcend par l'alongement de la verge. Enſuite M. *Julien le Roy*, à Paris, & M. *Ellicot*, à Londres, ont fait uſage, pour parvenir au même but, d'un moyen plus commode. Ils ont employé tous deux, quoique par des procédés différens, l'excès de l'alongement du cuivre ſur celui de l'acier par le même degré de chaleur (1138). C'eſt ce que l'on fait à préſent dans l'Horlogerie. La maniere la plus ſimple & la plus uſitée, eſt celle qui ſuit. La verge C*b* (*fig.* 31.) qui porte le corps grave O, que l'on appelle *Lentille*, parce qu'on lui en donne ordinairement la forme, laquelle verge eſt d'acier, & compoſée de deux pieces ſéparées C*a* & *ab*. La piece ſupérieure C*a* *Fig.* 31.

eſt fixée à un châſſis compoſé de deux traverſes de cuivre jaune *df*, & *eg*, & de deux verges d'acier *de* & *fg*. La piece inférieure *ab* eſt attachée, par le moyen d'une goupille, à la petite traverſe de cuivre *kh*, & gliſſe librement dans un trou pratiqué à la traverſe inférieure *eg*: *kl* & *hi* ſont deux verges de cuivre jaune, fixées à demeure ſur la traverſe inférieure *eg*, & dont les extrémités ſupérieures s'appliquent deſſous la traverſe *kh*. Si la chaleur vient à raréfier tout cet aſſemblage, la verge C *a b* du pendule s'alonge; ce qui fait éloigner la lentille O du point de ſuſpenſion C; mais la même chaleur alongeant les deux verges de cuivre *kl* & *hi* plus qu'elle n'alonge les deux verges d'acier correſpondantes *de* & *fg*, l'excès de l'alongement du cuivre (qui ne peut pas ſe porter en bas) fait remonter la traverſe *kh* vers la traverſe *df*; ce qui fait rapprocher la lentille O du point de ſuſpenſion C. Si le tout eſt bien proportionné, la lentille remonte autant par l'excès de l'alongement du cuivre, qu'elle deſcend par l'alongement de l'acier; &, par ce moyen, le centre d'oſcillation O ſe trouve toujours également diſtant du centre de mouvement C. Pour que la proportion ſoit exacte comme elle doit l'être, il faut que la longueur de chaque verge de cuivre ſoit à la longueur du pendule, comme la raréfaction de l'acier eſt à celle

celle du cuivre jaune, c'eſt-à-dire qu'il faut que les longueurs de ces verges de métal ſoient en raiſon inverſe de leurs raréfactions. La raréfaction de l'acier eſt à celle du cuivre jaune, ſuivant M. *Berthoud*, Horloger, comme 74 eſt à 121, ce qui eſt, à très-peu de choſe près, comme 3 eſt à 5.

Mouvement de Projection.

270. Tous les corps jetés ou lancés hors de la perpendiculaire à l'horizon, ſe meuvent d'un mouvement compoſé de deux forces; ſavoir, la force de la peſanteur, & la force qui les lance, que l'on nomme ordinairement *force projectile*. Telle eſt, par exemple, l'impulſion du bras qui jette une pierre, ou celle de la poudre qui chaſſe une bombe ou un boulet. La force projectile ſeroit uniforme, c'eſt-à-dire qu'elle feroit parcourir au mobile des eſpaces égaux en temps égaux, ſi la réſiſtance des milieux (*76 & ſuiv.*) & des frottemens (*96 & ſuiv.*) n'y mettoit pas d'obſtacles. Quoique ces obſtacles ſoient inévitables, nous en ferons cependant abſtraction, parce qu'il eſt plus ſimple & plus facile de faire connoître ce qui ſeroit, ſi ces obſtacles n'exiſtoient pas, que de dire exactement ce qui arrive dans l'état naturel.

271. Nous avons vu quelle eſt la direction de

la pesanteur (202), ainsi que son intensité ou la quantité de son action sur les corps (203 & *suiv.*). Si l'on connoît la direction & l'intensité de la force projectile, pour connoître l'effet du mouvement composé de ces deux forces, il suffira d'y appliquer les regles du mouvement composé en ligne courbe, que nous avons établies ci-dessus (168 & *suivant.*) : les résultats y seront conformes. Je dis, les regles du mouvement composé en ligne courbe ; parce qu'ici les puissances changent de rapports entre elles : car la force projectile est uniforme de sa nature, & la force de la pesanteur est accélératrice.

272. Si la direction de la force projectile tend de bas en haut & qu'elle soit perpendiculaire à l'horizon, elle est directement opposée à la direction de la pesanteur (202) : le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pesanteur ; & le mouvement demeurera simple ; mais la vîtesse sera moindre que ne l'exige la force projectile (252). Il arrive à ce mobile ce qui arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vîtesses qu'il auroit acquises par une chûte accélérée (254) ; c'est-à-dire que ce mobile monte à une hauteur égale à celle d'où il faudroit qu'il tombât, pour acquérir, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse égale à celle avec laquelle il a commencé à monter.

273. Si la direction de la force projectile eſt horizontale, le mobile ſe comporte ſuivant la regle établie ci-deſſus (168), & décrit une courbe M*abcdef* (*fig.* 16.) qui ſeroit parabolique, ſi la force projectile étoit parfaitement uniforme, & que la force de la peſanteur fût exactement accélérée. *Fig.* 16.

274. Si la direction de la force projectile tend de haut en bas, mais obliquement à l'horizon, le mobile ſe comporte encore ſuivant la regle établie (168); & il décrit une courbe de la nature de la précédente, qui n'eſt qu'une demi-parabole.

275. Enfin, ſi la direction de la force projectile tend de bas en haut & obliquement à l'horizon (& c'eſt le cas le plus ordinaire), le mobile décrit alors une parabole entiere. Car ſuppoſons que le mobile M (*fig.* 32.) ſoit lancé directement au point P par une force projectile; ſi l'on retranche de l'élévation de cette tendance, pendant une ſuite d'inſtans égaux, autant de parties qui expriment les effets de la peſanteur, en augmentant entre elles comme le quarré des temps (216); c'eſt-à-dire que la ligne qui exprime l'effet de la peſanteur au ſecond temps ſoit 4 fois auſſi longue que celle qui l'exprime au premier temps; que celle qui l'exprime au troiſieme temps ſoit 9 fois auſſi longue, &c. les *Fig.* 32.

extrémités b, r, f, q, de toutes ces lignes ab, dr, ef, Pq, qui expriment les retranchemens causés à l'effet de la force projectile par la pesanteur, donneront la courbe $Mbrfq$, c'est-à-dire, deux demi-paraboles semblables qui se joignent au sommet r.

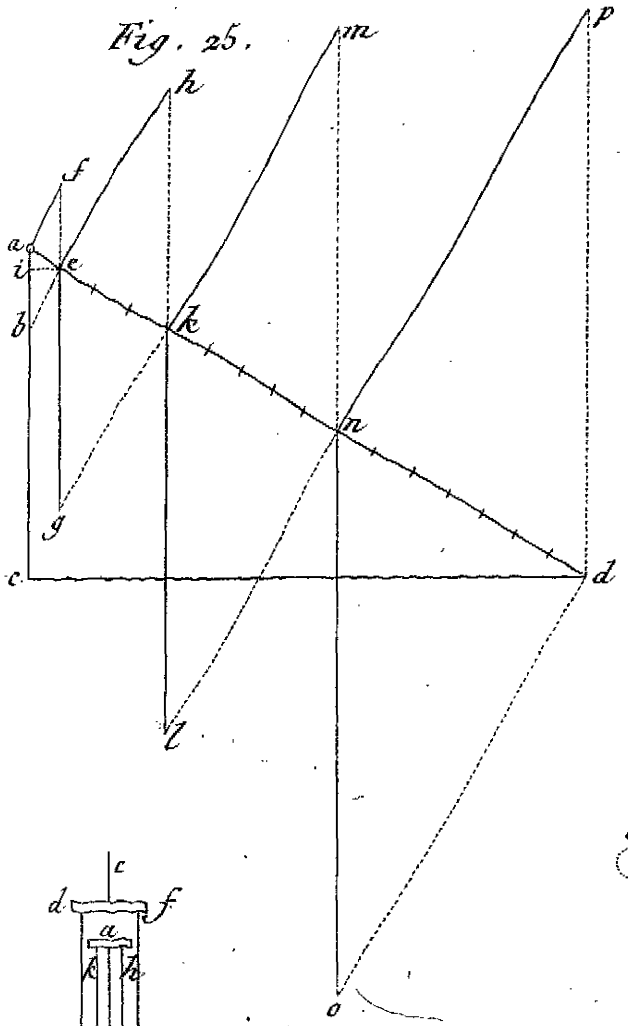
276. C'est là-dessus qu'est fondée toute la science de la Baliſtique ou de l'Art de mesurer le jet d'une bombe ou d'un boulet. Cet Art consiste donc dans la combinaison de la force projectile & de la pesanteur du mobile. Toutes ces courbes, que décrivent les mobiles en pareils cas, ont d'autant plus d'amplitude, que la force projectile est plus grande : &, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande amplitude Mq a lieu, lorsque l'angle d'élévation PMq est de 45 degrés : & les amplitudes répondantes aux angles d'élévation également distans de 45 degrés, sont égales ; car l'amplitude est toujours comme le sinus du double de l'angle d'élévation. Voilà pourquoi l'amplitude qui répond à l'angle de 45 degrés, est la plus grande de toutes ; car le sinus du double de 45 degrés est le sinus de 90 degrés ou le sinus total, qui est le plus grand de tous.

C'est précisément cette amplitude qu'il importe de connoître, pour pouvoir sûrement atteindre le but qu'on se propose ; & c'est-là le point de

la difficulté, ſur-tout s'il s'agit du jet d'une bombe ou d'un boulet. Car, pour connoître l'amplitude de la parabole que décrit le mobile, il faut connoître la valeur de la force projectile : mais cette force projectile vient alors 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 avant le départ de la bombe ou du boulet. Car l'expérience a fait voir qu'il y a toujours une partie de la poudre qui ne s'enflamme point ; & cette partie n'eſt pas toujours proportionnelle à la quantité employée : cela dépend de pluſieurs circonſtances, qu'il eſt difficile de rendre toujours les mêmes, comme de la longueur du canon ou du mortier, du poids de la bombe ou du boulet, de la force avec laquelle la charge a été bourrée, &c. Ainſi une des quantités les plus eſſentielles à connoître, pour juger de l'amplitude de la parabole, eſt ſujette à beaucoup de variations. De plus, dans tout ce que nous venons de dire, nous avons fait abſtraction de la réſiſtance des milieux & de celle des frottemens (270) : il faut cependant les compter pour quelque choſe ; elles influent ſur le mouvement du mobile : le boulet frotte contre les parois intérieures du canon, & en-

suite est obligé de fendre l'air & de le déplacer ; ce qui lui fait perdre une partie de sa vîtesse. La force projectile n'est donc plus uniforme ; & l'effort de la pesanteur donne une vîtesse moins accélérée qu'il n'auroit fait sans ces obstacles. C'est pourquoi, s'il est essentiel de s'instruire des principes, il n'est pas moins nécessaire de s'exercer à la pratique.

Fig. 25.



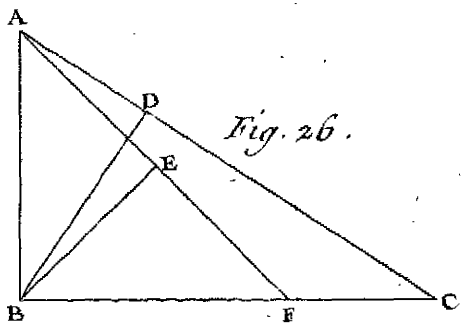


Fig. 26.

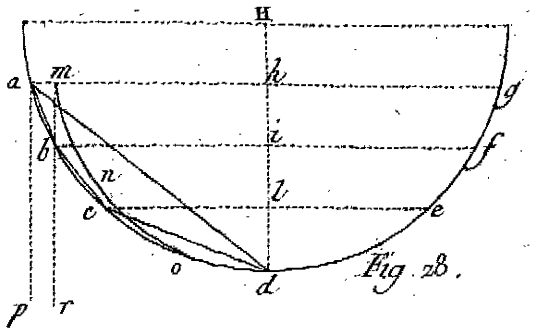
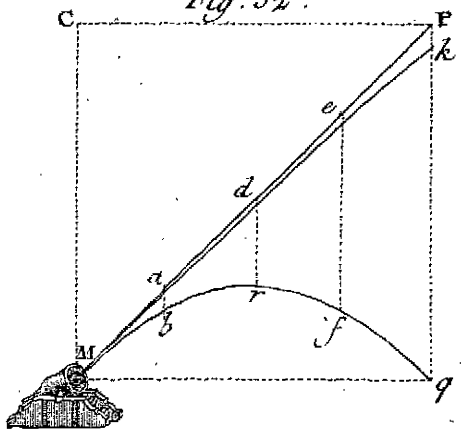


Fig. 28.

Fig. 32.



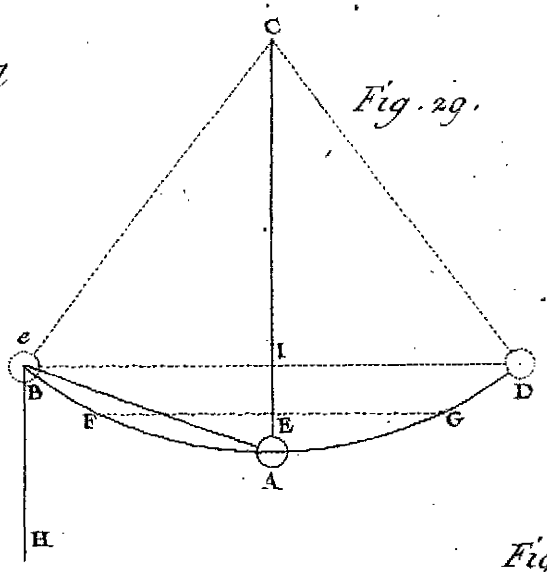


Fig. 29.

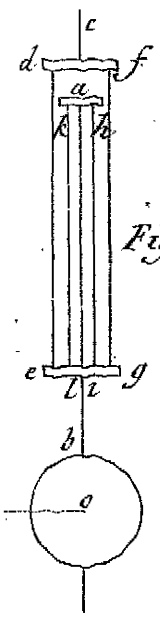


Fig. 31.

Fig. 27.

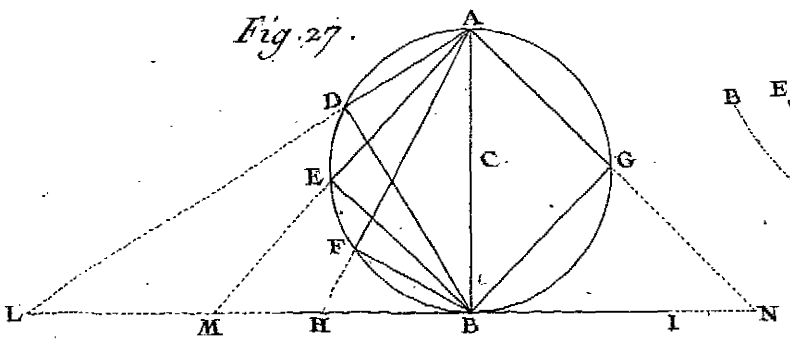
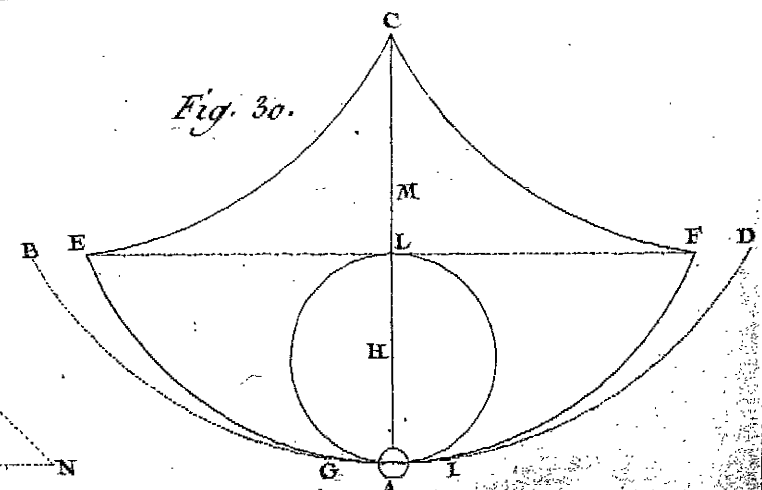


Fig. 30.



CHAPITRE VIII.

De l'Hydrodynamique.

277. L'HYDRODYNAMIQUE est une science qui a pour objet la pesanteur & l'équilibre des fluides, & le mouvement des fluides. On voit, par cette définition, que l'hydrodynamique comprend l'hydrostatique & l'hydraulique.

L'hydrostatique considere l'équilibre des fluides en repos: en détruisant cet équilibre, il en résulte un mouvement; & c'est là où commence l'hydraulique.

De l'Hydrostatique, ou de la Pesanteur & de l'Equilibre des Fluides.

278. On appelle *Hydrostatique*, la science qui a pour objet la pesanteur & l'équilibre des fluides, ainsi que la maniere dont se mettent en équilibre dans ces fluides les corps qui y sont plongés. *Archimedes* est, parmi les Anciens, celui qui a fait le plus de progrès dans cette science. On lui fait encore honneur aujourd'hui de la maniere ingénieuse par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la pesant hydrostatiquement. Parmi les

Modernes, c'eſt à *Galilée*, *Toricelli*, *Deſcartes*, *Paſcal*, *Guglielmini*, & *Mariotte* que nous ſommes redevables des plus belles connoiſſances dans cette matiere ; & leurs expériences, auſſi convaincantes que curieuſes, nous ont mis en état de ſavoir ce que nous devons attendre ou craindre de la force des eaux qui agiſſent par leur poids ; & comment nous pouvons l'employer utilement pour nous, par le moyen des machines hydrauliques.

279. Nous avons dit ci-devant (226) que la force qui fait tomber les corps vers la terre, eſt la ſeule cauſe de leur poids ; & que c'eſt par les efforts que ces corps font ſans ceſſe pour obéir à cette force, qu'ils peſent ſur les obſtacles qui les retiennent. Les fluides qui, comme les corps ſolides, ſont commandés par la peſanteur, font préciſément la même choſe : ils peſent ſur tous les obſtacles qui s'oppoſent à leur chûte. Mais, à cauſe de leur fluidité, ils peſent différemment des corps ſolides ; & il en réſulte des phénomenes tout-à-fait particuliers, & qu'il nous eſt important de connoître.

280. Les fluides ſont des ſubſtances dont les parties ſont mobiles entre elles, n'ont point ou preſque point de cohéſion les unes aux autres, & ſe meuvent indépendamment les unes des autres. Dans cette définition ſont compris les fluides groſſiers, tels, par exemple, qu'un tas de blé, un

tas de ſablon, &c. & les fluides déliés, tels que l'air & les autres fluides aériformes. On peut auſſi y comprendre les liqueurs; car toutes les liqueurs ſont des fluides; mais tous les fluides ne ſont pas néceſſairement liqueurs. Pour qu'un fluide ſoit liqueur, il faut que ſes molécules ſoient extrêmement petites, & puiſſent ſe mouvoir indépendamment les unes des autres avec aſſez de liberté, pour que celles de la ſurface ſupérieure ſe placent toutes dans un plan parallele à l'horizon; tel eſt du vin, de l'eau, &c. Il n'en eſt pas ainſi des fluides groſſiers : l'enſemble forme un cône plus ou moins écraſé, ſuivant qu'il s'éloigne plus ou moins de la parfaite fluidité. Mais les fluides déliés, dont la fluidité égale celle des liqueurs, ſe comportent comme elles dans leur peſanteur & leur équilibre : ils ſuivent les mêmes loix. Il ne ſera donc ici queſtion que de ces fluides déliés & des liqueurs.

281. Tout ce qui eſt liquide ne l'eſt pas également; c'eſt pourquoi ce qu'exigent les loix de l'hydroſtatique, que nous allons établir, s'exécute d'autant moins exactement, que ces ſubſtances s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau & l'huile ſe répandent, ſi les vaſes qui les contiennent ſe renverſent ou ſe caſſent; mais l'effuſion de l'huile eſt plus lente que celle de l'eau, parce que les particules de l'huile ont entre elles

plus de cohésion, que n'en ont celles de l'eau. C'est principalement de l'extrême petitesse des molécules des liqueurs & des fluides déliés, & de leur très-grande mobilité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique.

282. Pour faciliter l'intelligence de cette matiere, nous la diviserons en trois parties. Dans la premiere, nous examinerons de quelle maniere s'exerce la pesanteur d'un fluide seul, & dont toutes les parties sont homogenes, ou peuvent être considérées comme telles. Dans la seconde, nous verrons comment pesent & se mettent en équilibre ensemble plusieurs fluides dont les densités sont différentes. Dans la troisieme, nous examinerons comment les corps solides se mettent en équilibre avec les fluides dans lesquels on les plonge.

Pesanteur & Equilibre d'un fluide seul & homogene.

283. Nous avons à examiner ici la maniere dont une liqueur, ou en général un fluide, pris séparément & sans comparaison avec d'autres, exerce sa pesanteur sur les obstacles qui le retiennent, & comment il se met en équilibre avec lui-même.

284. *Les parties d'une même liqueur exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres.* Cette propriété vient de ce qu'elles n'ont

preſque point de cohéſion entre elles. Ce qui eſt très-différent de la maniere de peſer des corps ſolides ; leurs parties étant adhérentes entre elles, elles peſent toutes en commun. Auſſi le choc d'un corps ſolide eſt-il très-différent de celui d'une liqueur. On craint la chûte d'un glaçon d'une livre, qui tomberoit ſur la tête ; & l'on n'a pas peur d'être bleſſé par une livre d'eau. Cette derniere ſubſtance, en avançant, ſe diviſe par la réſiſtance de l'air, qui retarde les parties plus les unes que les autres ; & la vîteſſe de la maſſe totale eſt encore plus retardée, à cauſe de cette diviſion, qu'elle ne l'eût été ſans cela. Ainſi diviſée, elle s'applique à une plus grande ſurface ; ce qui partage ſon effort : au lieu qu'un ſolide ne frappe qu'un petit eſpace, qui reçoit l'effort entier. C'eſt pourquoi un corps anguleux qui tombe ſur la tête, fait plus de mal qu'un corps plat de même poids, & qui tombe de même hauteur.

285. Il ſuit de ce principe, que, ſi à un vaſe plein d'une liqueur on fait un trou dans le bas ; pour empêcher l'écoulement de cette liqueur, on n'a à vaincre que le poids de la colonne de liqueur qui répond au trou ; & que ce poids à vaincre eſt le même, ſoit qu'il n'y ait réellement que cette colonne de liqueur, ſoit que le vaſe en ſoit plein.

EXPÉRIENCE. Soit le vaſe cylindrique de verre

Fig. 33. AB (*fig.* 33), percé à ſon fond d'un trou C, garni d'une virole cylindrique de cuivre D d'un pouce de diametre, que l'on bouche avec un piſton G bien ajuſté à la virole & bien graiſſé, afin qu'il puiſſe céder à une médiocre preſſion. Ce piſton eſt porté par une petite tige GH, attachée en H à une ſoie qui enveloppe la portion de poulie M, dont eſt garnie l'extrémité du levier MN qui a ſon centre de mouvement en L. L'autre portion de poulie N qui termine l'autre extrémité du levier, eſt auſſi enveloppée d'une ſoie qui porte un petit baſſin I. Sur la virolle D s'ajuſte un tube cylindrique de verre FE, dont le diametre intérieur eſt égal à celui de la virolle, & dont la hauteur, lorſqu'il eſt en place, égale celle du vaſe AB. Le tout ainſi diſpoſé, on remplit d'eau le tuyau EF; & l'on met dans le baſſin I des poids tels qu'ils puiſſent être enlevés par le poids de la colonne d'eau, lorſque le tube eſt plein; & en même temps tels qu'ils empêchent le piſton & la colonne d'eau de deſcendre, s'il s'en faut ſeulement d'un demi-pouce que le tuyau EF ne ſoit plein. Enſuite on ôte le tuyau EF; on met le piſton G dans la virole D; & l'on verſe de l'eau dans le vaſe. On obſerve que les poids & le baſſin I ne ſont enlevés que lorſque le vaſe AB eſt entiérement plein. Donc on n'a que le même poids à vaincre, ſoit qu'il n'y ait ſur le piſton G qu'une

colonne d'eau groſſe comme lui, ſoit que le vaſe AB en ſoit plein. Donc, dans ce dernier cas, cette colonne exerce ſa peſanteur indépendamment du reſte.

286. Pour rendre raiſon de ceci, figurons-nous toute la maſſe d'eau, contenue dans un vaſe, diviſée en pluſieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5, (*fig.* 34) dont chacune eſt compoſée d'un égal nombre de parties. Si le fond du vaſe, qui ſert de baſe & d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la colonne 3, n'étant plus ſoutenue, tombera par l'ouverture, en gliſſant entre les deux colonnes 2 & 4, qui ſont ſoutenues par les parties *b* & *c* du fond du vaſe, & dont toutes les parties mobiles deviennent autant de petits rouleaux, qui, n'occaſionnant qu'un frottement de la ſeconde eſpece (97), ne retardent pas beaucoup ſa chûte. Cet effet réſulte de leur peu de cohéſion entre elles (280). Si les colonnes 1 & 2 d'une part, & 4 & 5 d'autre part, étoient compoſées de parties adhérentes entre elles, elles demeureroient de toute leur longueur, tel que le feroient, par exemple, des bougies; & par la chûte de la colonne 3, il ſe feroit un vide entre elles. Mais comme toutes ces particules ſont extrêmement petites & très-mobiles les unes ſur les autres, dès que le haut de la colonne 3 vient à deſcendre, elles s'écroulent, n'étant plus ſoutenues de ce côté-là : & de

Fig. 34.

cette maniere, 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 chûte. Lorſque les parties ont de la viſcoſité, comme celles des liqueurs graſſes, ou que la maſſe du fluide qui s'écoule, a beaucoup de largeur par rapport à ſa hauteur, on apperçoit très-bien le vide que laiſſe au deſſus d'elle la colonne qui deſcend; car alors la ſurface, au lieu d'être plane, eſt creuſe dans le milieu, & prend la figure d'un entonnoir (360); parce que les parties voiſines n'arrivent pas avec aſſez de vîteſſe pour remplacer celles qu'une peſanteur directe fait deſcendre: de plus, la preſſion de l'air au deſſus du trou eſt plus forte que ſa réſiſtance au deſſous.

287. Il eſt aiſé d'appercevoir, d'après ce que nous venons de dire (285), combien la liquidité apporte de changemens aux effets de la peſanteur. Si, le vaſe AB (*fig.* 33.) étant plein d'eau, & en ayant ôté le tube EF, on veut ſoulever le piſton G, on n'a à ſoutenir que le poids de la colonne d'eau qui repoſe deſſus, parce que cette colonne peut ſe mouvoir indépendamment du reſte: mais ſi toute la maſſe d'eau ſe convertiſſoit en glace, par la ſeule raiſon qu'elle ne ſeroit plus liquide, & que toutes ſes parties ſeroient adhérentes entre elles, pour ſoulever le piſton, on auroit à ſoutenir le poids de la maſſe totale.

Fig. 33.

288. *Les liqueurs exercent leur preſſion en toutes ſortes de ſens.* C'eſt-à-dire que non ſeulement elles peſent, comme le font les autres corps, de haut en bas; mais encore elles preſſent, avec toute la valeur de leur poids, les obſtacles qu'elles rencontrent latéralement & de bas en haut. Voilà pourquoi un tonneau plein d'huile liquide ſe vide, quand on le perce ſur le côté. Si l'huile étoit figée, il ne ſe videroit pas : dans ce dernier cas, l'huile ſeroit un corps ſolide : or les corps ſolides ne peſent que de haut en bas, & point latéralement.

289. Pour concevoir cette preſſion latérale, ainſi que celle que les liqueurs exercent de bas en haut, il faut faire attention que leurs molécules ſont comme un amas de petits globules qui ſeroient contenus dans un vaſe : on conçoit aiſément que ces petits globules n'y ſont pas tous arrangés réguliérement & à la file les uns des autres, comme nous les avons ſuppoſés ci-deſſus (*fig.* 34.); 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.* 35.), 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 ſorte que ſi le vaſe étoit ouvert en ces endroits, la liqueur s'écouleroit par la grande mobilité de ſes parties.

Fig. 34.

Fig. 35.

Je ferai le même raiſonnement pour rendre raiſon de la preſſion de bas en haut : quand la colonne df tend à écarter les deux molécules g, h, la molécule g ne peut aller plus loin, parce qu'elle eſt appuyée contre les parois du vaſe ; mais la molécule h peut être ſoulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne ik, ou quelque choſe d'équivalent ne peſe ſur elle pour la contenir.

290. C'eſt d'après ce principe que l'eau, élevée par la pompe de la Samaritaine ou par la pompe de Notre-Dame, après être deſcendue du baſſin dans un tuyau vertical, & enſuite après avoir gliſſé horizontalement dans un autre tuyau ſous le pavé, remonte par un troiſieme tuyau juſqu'à la fontaine. C'eſt encore d'après ce principe qu'on peut remplir un vaſe indifféremment ou par l'embouchure ou par le fond, en pratiquant à ce dernier des trous garnis de clapets, comme on le fait aux grands ſeaux dont on ſe ſert pour tirer l'eau du puits de Bicêtre : ſans cela on ſeroit obligé d'incliner ces ſeaux pour les remplir ; ce qui ſeroit incommode à cauſe de leur longueur.

291. Il ſuit encore de là, que quand on conſtruit des digues, des réſervoirs ou autres ouvrages hydrauliques pour contenir des eaux, il faut les proportionner à la preſſion latérale qu'ils doivent éprouver ; laquelle preſſion eſt d'autant plus grande,

que

que la hauteur de l'eau eſt plus conſidérable. Voilà pourquoi il faut que ces ſortes d'ouvrages ſoient plus épais & plus forts dans le bas que dans le haut. Il faut prendre à peu près les mêmes précautions pour les fluides groſſiers (280), qui pourroient s'écrouler, ſoit par la petiteſſe de leurs parties, ſoit par leur peu de liaiſon. Les murs deſtinés à retenir les terraſſes, doivent donc être aſſez forts pour réſiſter à la pouſſée latérale des terres; laquelle pouſſée ſera d'autant plus grande, que les terres ſeront moins liées, & les terraſſes plus élevées.

292. *Toutes les parties d'une même liqueur ſont en équilibre entre elles, ſoit dans un ſeul vaiſſeau, ſoit dans pluſieurs qui communiquent enſemble, lorſque leurs ſurfaces ſupérieures ſont dans un même plan parallele à l'horizon.* Ceci eſt une ſuite de ce que nous avons dit ci-deſſus (289) : car, puiſque la molécule *h* (*fig.* 35.) doit être ſoulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne *ik* ne peſe ſur elle pour la contenir; donc, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les extrémités ſupérieures de ces deux colonnes ſoient dans un même plan horizontal, ou dans des points également diſtans du centre de la terre; leſquels points ne peuvent donc pas ſe trouver dans une ligne droite : à 1000 toiſes de diſtance, il y a environ 1 pied de différence. *Fig.* 35.

Cette propriété des liqueurs fait que l'eau que l'on amene chez ſoi, par des canaux ſouterreins, remonte auſſi haut que le lieu d'où elle vient, quelle que ſoit la profondeur à laquelle on la fait paſſer. Dans l'uſage ordinaire, on donne une demi-ligne d'inclinaiſon par toiſe, pour vaincre la réſiſtance des frottemens (105); cependant, d'après ce que nous venons de dire, cela n'eſt point abſolument néceſſaire : quelque long que fût le chemin, l'eau arriveroit auſſi haut que le lieu d'où elle vient; il lui faudroit ſeulement un peu plus de temps. Cela peut rendre encore raiſon des ſources qu'on trouve quelquefois au ſommet des montagnes. Ces eaux doivent venir de montagnes plus élevées (ſoit voiſines, ſoit éloignées) par des canaux ſouterreins, qui ont à peu près la forme de ſiphons renverſés. Il ſuit de cet équilibre, que, ſi l'on a pluſieurs réſervoirs qui communiquent enſemble, il ſuffit d'en voir un ſeul, pour juger de la hauteur de l'eau dans les autres: elle ſera ſûrement à la même hauteur dans tous.

293. Nous venons de dire (292) que pour que les parties d'une même liqueur ſoient en équilibre, il faut que leurs ſurfaces ſupérieures ſoient dans un même plan parallele à l'horizon. D'où il ſuit que, lorſque la ſurface des eaux a beaucoup d'étendue, elle eſt ſûrement & ſenſiblement convexe. On s'en apperçoit aiſément ſur la mer : on y

voit les mâts d'un vaiſſeau éloigné, avant qu'on puiſſe appercevoir le corps du bâtiment; de même que ſur terre & en plaine on apperçoit le haut des clochers d'une ville, avant d'en voir les maiſons. La raiſon de cela eſt que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite; & que la convexité de la terre ou de la mer interrompt le rayon viſuel qui vient des parties baſſes, à une diſtance où celui qui vient des parties élevées eſt libre d'arriver à l'œil du ſpectateur.

294. *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 s'oppoſe à leur chûte.* C'eſt-à-dire que ſi vous rempliſſez d'eau pluſieurs vaſes qui ſoient tous de la même hauteur, & dont les fonds ſoient égaux, tous ces fonds ſeront également chargés, quelles que ſoient la forme & la capacité de ces vaſes. Suppoſons qu'on rempliſſe d'eau les trois vaſes ABCD (*fig.* 36.), EFGH (*fig.* 37.), LMNOPQ (*fig.* 38.), dont les hauteurs, AB, IF, LT ſoient les mêmes, & qui aient tous des fonds égaux, BC, FG, NO. Il eſt prouvé par l'expérience, que tous ces fonds ſont également chargés, quoique les quantités d'eau qui rempliſſent les vaſes, ſoient très-différentes. Dans le vaſe, (*fig.* 36.), le fond BC eſt *Fig.* 36, 37. *Fig.* 38. *Fig.* 36.

chargé de toute la maſſe d'eau ABCD : ici la liqueur peſe à la maniere d'un ſolide : ſuppoſons que ſon poids ſoit de ſix livres. Dans le vaſe *Fig.* 37. (*fig.* 37.), il eſt aiſé de concevoir, d'après ce que nous avons dit ci-deſſus (285), que le fond FG n'eſt chargé que de ſix livres, quoique la capacité de ce vaſe ſoit beaucoup plus grande que celle du premier : car ce fond FG ne porte que la colonne IFGK, égale à celle du vaſe *Fig.* 36. (*fig.* 36.), laquelle colonne exerce ſa peſanteur indépendamment du reſte (284), qui eſt porté ſur *Fig.* 37. les parois EF, HG du vaſe (*fig.* 37.). La difficulté conſiſte donc à entendre comment, dans le *Fig.* 38. vaſe (*fig.* 38.), le fond NO eſt encore chargé de ſix livres, quoiqu'une livre d'eau ſuffiſe peut-être pour remplir ce vaſe. Voici comment on peut le faire comprendre. Il eſt certain que ſur la portion TV du fond NO, il y a une preſſion égale à celle d'une colonne d'eau, dont la baſe eſt l'étendue TV & la hauteur LT. Si ſur toutes les autres pareilles portions du même fond, il y a une preſſion égale à celle de cette colonne LTVQ, ce fond eſt par-tout également chargé. Or, par exemple, ſur la portion VX il y a une preſſion égale à celle d'une colonne d'eau QVXR, laquelle ſeroit elle-même égale à la colonne LTVQ : car la petite colonne d'eau PVXS, qui repoſe deſſus, tend à s'élever par la preſſion de

la colonne voiſine LTVQ (289), & avec une force égale à l'excès LMPQ de cette grande colonne ſur la petite : elle preſſe donc la partie PS du fond ſupérieur avec cette force-là. Mais *la réaction eſt égale à la compreſſion* (112). La partie PS réagit donc avec une force égale à l'excès LMPQ de la grande colonne ſur la petite. Donc il y a ſur la portion VX du fond NO, une preſſion compoſée de celle de la petite colonne d'eau PVXS & de la réaction de la partie PS, égale à la preſſion d'une colonne d'eau QPSR, leſquelles deux, priſes enſemble, égalent la preſſion de la colonne LTVQ. Ce que je dis de la portion VX, on peut le dire de tout le reſte. Donc le fond du vaſe (*fig.* 38.), eſt par-tout également chargé ; donc, &c. *Fig.* 38.

295. Il ſuit de là une propoſition qui paroît d'abord être un paradoxe, mais qui n'en eſt pas moins certaine, & qui influe conſidérablement ſur preſque toutes les machines hydrauliques ; ſavoir, que la même quantité d'eau peut faire un effort deux ou trois cents fois plus ou moins grand, ſuivant la maniere dont elle eſt employée. Par exemple, ſi l'on employoit la quantité d'eau que peut contenir le vaſe (*fig.* 37.), dans un vaſe pareil à celui de la *fig.* 38, mais aſſez haut pour la contenir toute, la preſſion ſur le fond NO ſeroit conſidérablement plus grande que ſur le fond FG. *Fig.* 37. *Fig.* 38.

296. Il ſuit encore de ce que nous venons de dire (294), qu'on peut faire crever un tonneau TO, (*fig.* 39.), déjà plein en le chargeant de quelques livres d'eau, employées dans un tuyau AB, long de 25 à 30 pieds. Par ce que nous venons de dire du vaſe (*fig.* 38.), il eſt clair que cette petite quantité d'eau qui remplit le tuyau AB, charge le fond du tonneau autant que ſi on lui ajoutoit une colonne d'eau groſſe comme le tonneau lui-même, & longue comme le tuyau : ce qui feroit un poids énorme.

Fig. 39. *Fig.* 38.

Peſanteur & Equilibre de pluſieurs Fluides dont les denſités ſont differentes.

297. Nous avons dit ci-deſſus (280), que les fluides ſont des amas de petits corps très-mobiles entre eux, indépendans les uns des autres, peſant ſéparément & à proportion de leurs petites maſſes. Il faut ajouter que chacun de ces petits corps eſt lui-même un aſſemblage de petites particules beaucoup plus déliées, & fortement adhérentes entre elles. Les figures & les grandeurs de ces petites particules, ainſi que les figures des petits corps qu'elles compoſent, occaſionnant plus ou moins de vides dans l'aſſemblage, & par conſéquent plus ou moins de poroſité (15); il en réſulte des fluides ou liqueurs de différentes denſités.

298. *La différence du poids ou de la denſité*

ſuffit pour ſéparer les parties de pluſieurs fluides ou liqueurs qu'on a mêlés enſemble, ſi d'autres cauſes plus fortes n'empêchent cet effet. Nous avons dit ci-deſſus (284), que les parties des fluides exercent leur peſanteur indépendamment les unes des autres. Celles qui ont le plus de denſité, ayant plus de force pour occuper le lieu le plus bas, obligent donc les autres à leur céder leur place; & ainſi ſe fait la ſéparation : comme lorſqu'on a bien mêlé enſemble de l'eau & de l'huile; ſi on laiſſe repoſer le tout, l'eau, ayant plus de denſité que l'huile, s'empare de la partie inférieure; & l'huile paſſe à la partie ſupérieure. Si cet effet n'a pas lieu; c'eſt qu'il y a des cauſes qui s'y oppoſent. Ces cauſes ſont, 1°. les frottemens qui croiſſent à meſure que la diviſion eſt portée plus loin, parce qu'alors les ſurfaces augmentent; comme lorſqu'on mêle enſemble de l'eau & du vin : l'eau, quoique plus denſe que le vin, ne s'en ſépare point. 2°. La viſcoſité des matieres; comme lorſqu'on bat des blancs d'œufs, & que, par-là, on y mêle beaucoup d'air : l'air, quoique beaucoup plus léger, n'a pas la force de rompre ſes enveloppes pour s'échapper. 3°. L'analogie entre deux liqueurs, qui fait qu'elles ſe diviſent davantage, & éprouvent, par-là, des frottemens qui font plus que compenſer la différence de leurs denſités; car l'eſprit-de-vin bien mêlé à l'eau ne

s'en ſépare pas; & l'huile s'en ſépare. C'eſt pourquoi le repos ſeul ſuffit pour ſéparer la crême, qui eſt une matiere graſſe, du lait, qui eſt une ſubſtance aqueuſe.

299. *Deux fluides de denſités différentes ſont en équilibre entre eux, lorſqu'ayant la même baſe, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon ſont en raiſons réciproques de leurs denſites ou peſanteurs ſpécifiques.* Alors les preſſions ſont égales, d'où naît l'équilibre. Si l'on met, par exemple, du mercure dans un ſiphon renverſé, & que l'on verſe de l'eau dans une des branches; pour faire élever le mercure dans l'autre branche d'un pouce au deſſus de ſon niveau, il faut que l'eau ſoit à environ $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur. La hauteur de l'eau ſera donc $13\frac{1}{2}$ fois auſſi grande que celle du mercure; de même que la denſité du mercure eſt $13\frac{1}{2}$ fois auſſi grande que celle de l'eau.

300. Les fluides élaſtiques ou aériformes ont, comme fluides, toutes les propriétés de ces ſortes de ſubſtances; & on peut leur appliquer tout ce que nous avons dit juſqu'ici ſur l'équilibre des fluides. Mais ils ont de plus d'autres propriétés particulieres, dépendantes de leur vertu élaſtique, ou de cette faculté par laquelle ils diminuent ou augmentent de volume, ſelon qu'ils ſont plus ou moins comprimés. L'air, dont nous donnerons

ci-après (643) l'analyſe, eſt, de tous les fluides élaſtiques, le plus connu, le plus répandu, & l'agent le plus univerſel de la Nature. C'eſt de ſa preſſion & de ſon équilibre dont nous allons nous occuper; & il ſera aiſé d'appliquer la même théorie aux autres eſpeces de fluides élaſtiques.

301. *L'air eſt un fluide peſant, & qui exerce ſa preſſion dans tous les ſens, à la maniere des autres fluides ou liqueurs.* Quoique la peſanteur ne ſoit pas un attribut eſſentiel à la matiere, & que nous puiſſions la concevoir ſans cette tendance vers le centre de la terre, cependant nous ne connoiſſons aucune ſubſtance ſublunaire qui ne ſoit peſante; & nous n'avons point de raiſon d'excepter l'air de la loi commune à tous les corps ſublunaires. Cependant les anciens Philoſophes ne connoiſſoient point la peſanteur de l'air. Ils admettoient dans la Nature deux ſortes de corps; les corps peſans, tels qu'une pierre, un métal, & en général tous les corps qui, étant abandonnés à eux-mêmes, ſe portent au lieu le plus bas; & les corps légers, tels que l'air, la flamme, les vapeurs, &c. parce que ces corps ſemblent s'élever dans les régions ſupérieures. Ils penſoient donc que l'air étoit doué d'une légéreté abſolue; & tous les effets qui ont ſa peſanteur pour cauſe, étoient attribués à l'*horreur* que la Nature avoit, ſelon eux, pour le *vide*. Cette légéreté de l'air a eu un regne très-

long ; il n'y a pas encore cent cinquante ans qu'on eſt convaincu de ſa peſanteur. Les Fontainiers de *Côme de Médicis*, Grand-Duc de Florence, déſirant faire monter l'eau à 50 ou 60 pieds par le moyen d'une pompe aſpirante, s'apperçurent que l'eau ne montoit qu'à une certaine hauteur, paſſé laquelle, la Nature, par le vide qui s'y trouvoit, étoit réconciliée avec lui, ou du moins ſouffroit, ſans ſe plaindre, cette défectuoſité. Ce caprice, de la part de la Nature, fut communiqué par les Fontainiers à *Galilée*, qui y fit attention, quoique juſqu'alors il ſe fût payé, comme les autres, de l'*horreur du vide*, n'en ayant point apperçu les bornes. Il s'aſſura donc, par des épreuves réitérées, que l'eau ne montoit qu'à environ 32 pieds dans les pompes aſpirantes, & que le reſte du tuyau, s'il étoit plus long, demeuroit vide. Il ne lui en fallut pas davantage pour ſe révolter contre l'*horreur du vide*, &, bien loin de penſer qu'elle avoit ſes limites, au delà deſquelles elle ſe tournoit en indifférence, il commença à croire que ces ſortes de phénomenes 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. Il fit voir le premier, en 1645, qu'une colonne d'air priſe dans l'atmoſphere, ſe met en équilibre avec une colonne d'un

autre fluide, qui a la même baſe ; & afin de n'avoir pas beſoin d'un long tuyau, au lieu d'eau, il ſe ſervit de mercure. Il prit donc un tube de verre d'environ 3 pieds de long, de 2 à 3 lignes de diametre, hermétiquement fermé par un bout, & ouvert par l'autre : il le remplit de mercure bien net ; & ayant bouché l'orifice avec le doigt il renverſa le tube, & plaça ce bout ouvert dans un vaſe plein du même mercure. Il n'eut pas plus tôt retiré ſon doigt, que la colonne de mercure, qui avoit environ 36 pouces de long, ſe réduiſit à la longueur d'environ 28 pouces. Si l'on compare maintenant l'expérience de *Galilée* à celle de *Toricelli*, on verra que les colonnes des fluides élevés ainſi au deſſus de leur niveau, diminuent de longueur comme leurs denſités augmentent : on verra que la cauſe qui éleve l'eau à 32 pieds, ne peut ſoutenir le mercure qu'à 28 pouces. Quand on ſait d'ailleurs que ces deux colonnes, ſi différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'eſt-on pas forcé de reconnoître que cet effet eſt celui d'un équilibre ? & quelle eſt la puiſſance qui peut faire équilibre à ces colonnes ſuſpendues, ſi ce n'eſt l'air qui preſſe par ſon poids ſur les réſervoirs ? C'eſt auſſi le jugement qu'en porta *Toricelli*, & qu'en porterent, après lui, preſque tous les Phyſiciens.

302. *Paſchal* ajouta encore aux preuves de

Toricelli. Voici le raiſonnement qu'il fit : » Si l'air » eſt la cauſe de ce phénomene, 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 » liqueurs avec leſquelles on le mettra en équi- » libre, ſeront toujours plus ou moins longues, » ſelon qu'elles ſeront moins ou plus denſes «. Il ſuit de là que les colonnes d'air doivent faire une preſſion d'autant plus grande, & ſoutenir les liqueurs d'autant plus haut, qu'elles ont plus de longueur : or elles en ont plus au bas d'une montagne, & elles en ont moins à ſon ſommet. *Paſchal* engagea donc M. *Perrier*, ſon beau-frere, qui étoit alors à Clermont en Auvergne, à profiter de l'élévation de la montagne connue ſous le nom du *Puy de Dôme*, pour faire l'expérience ſuivante.

303. EXPÉRIENCE. M. *Perrier* plaça le tube de *Toricelli* ſur une planche graduée en pouces & en lignes ; & ayant remarqué à quelle hauteur le mercure étoit ſoutenu dans ce tube au pied du Puy de Dôme, il obſerva qu'il baiſſoit de plus en plus à meſure qu'il s'avançoit vers le haut de la montagne ; & qu'au contraire il remontoit, & ſuivant les mêmes proportions, à meſure qu'il deſcendoit vers la ville. La différence ſe trouva être de 3 pouces 1 ligne. Cette expérience, ima-

ginée par *Paſchal*, & répétée pluſieurs fois, a toujours donné le même réſultat; d'où l'on a conclu que le mercure ſe ſoutenoit au deſſus de ſon niveau dans le tube de *Toricelli*, par la preſſion de l'air ſur le réſervoir; puiſqu'on voyoit baiſſer le mercure dans le tube, lorſque la colonne d'air, qui répondoit à ce réſervoir, devenoit moins longue. Ces expériences, en prouvant invinciblement la peſanteur de l'air, reſtituerent authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels, qu'on avoit attribués juſqu'alors à une cauſe purement chimérique.

304. *Paſchal* répéta enſuite la même expérience avec de l'eau, du vin, de l'huile, &c. & les hauteurs des colonnes de ces liqueurs ſe trouverent toujours proportionnelles à leurs denſités; preuve évidente qu'elles ſe mettoient en équilibre avec un poids qui ne pouvoit être que celui de l'air.

305. Pluſieurs Phyſiciens s'étant procuré un tube de Toricelli, placé, à la maniere de M. Perrier (303), ſur une échelle graduée en pouces & en lignes, ne manquerent pas de le viſiter ſouvent; ce qui fit remarquer les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube. On conclut de là que la preſſion de l'air, qui eſt la cauſe de la ſuſpenſion de la colonne de mercure, eſt tantôt plus & tantôt moins grande, & agit par conſé-

quent plus ou moins fortement sur nos corps : en conséquence on pensa dès-lors à faire du tube de *Toricelli* un nouvel instrument météorologique, qui est celui que nous appelons aujourd'hui *Barometre* (*fig.* 40.).

Fig. 40.

306. L'air agit de deux manieres sur cet instrument, par son poids, & par son ressort. La variation de sa pression sur le réservoir du barometre est donc produite par deux causes ; savoir, par la variation de son poids, & par celle de son ressort. Son poids varie par la variation de sa densité, & par le plus ou le moins de substances étrangeres qui se trouvent mêlées à ce fluide, ou qu'il tient en dissolution ; & son ressort varie par la variation de sa densité, & par le plus ou le moins de chaleur dont il est affecté. La plupart des substances étrangeres qui ne font que se mêler à l'air sous la forme de fluides élastiques, diminuent le poids de la colonne d'air, parce qu'elles sont plus légeres que lui ; mais celles de ces substances qui sont dissoutes dans l'air, ajoutent à sa densité, & par conséquent à son poids, de même que du sel dissous dans l'eau augmente son poids & sa densité. A l'égard du ressort de l'air, la chaleur qui l'augmente, diminue en même temps sa densité, en le raréfiant ; & il arrive quelquefois que l'un compense l'autre. Mais, comme l'augmentation du ressort de l'air par la chaleur est proportion-

nelle à la force qui le comprime dans le moment où il eſt échauffé (932), il ſe peut faire que cette compenſation n'ait pas lieu. Alors, de ces deux effets, on n'apperçoit que l'excès du plus fort ſur le plus foible.

307. Le barometre a encore une autre propriété qui ne le rend pas moins recommandable. Il annonce d'avance les changemens de temps, ſur-tout quand ils doivent être conſidérables. Il y a bien des circonſtances où ces ſortes de prédictions deviennent utiles, comme, par exemple, pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, &c. D'après toutes les obſervations qu'on a faites ſur le barometre, il paroît aſſez conſtant, 1°. que la hauteur moyenne du mercure eſt en France de $27\frac{1}{2}$ pouces; 2°. que les variations de cette hauteur ne s'y étendent guere au delà de 3 pouces; c'eſt-à-dire que ſon plus grand abaiſſement eſt à 26 pouces, & ſa plus grande élévation à 29; 3°. que ces variations ſont moins grandes vers l'équateur, & qu'elles ſont plus grandes vers les climats ſeptentrionaux; 4°. que, lorſque le mercure baiſſe dans le barometre, à quelque hauteur qu'il ſoit alors, il annonce de la pluie ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais temps; 5°. qu'au contraire, lorſqu'il monte, ne fût-il qu'à 26 pouces lors de ſon aſcenſion, il annonce le beau temps; 6°. que ces prédictions

manquent quelquefois, ſur-tout ſi les variations de hauteur du mercure ſe font lentement & d'une petite quantité ; 7°. qu'au contraire elles ſont preſque infaillibles, 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.

308. Il eſt bien clair qu'une plus grande élévation du mercure dans le barometre, dénote une plus grande preſſion de la part de l'air ; mais il reſte à ſavoir quelle affinité il y a 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 allons tâcher d'expliquer. La preſſion que l'air exerce ſur le réſervoir du barometre, vient de ſon poids & de ſon reſſort : or ces deux choſes peuvent varier, comme nous venons de le prouver (306), & en conſéquence la preſſion qu'elles produiſent. Toutes les fois que l'air diſſoudra une grande quantité d'eau, ſa peſanteur ſpécifique en ſera augmentée (306) ; la colonne d'air qui repoſe ſur le réſervoir du barometre, en deviendra plus peſante, & le mercure remontera. Si la diſſolution n'eſt pas parfaite, la tranſparence de l'air ſera troublée ; cela produira des brouillards, qui ne manquent guere de faire monter le barometre. Mais ſi la diſſolution devient parfaite, la tranſparence de l'air ſera complette ;

complette; le beau temps renaîtra; ce qu'annoncera le mercure du barometre par ſon aſcenſion. Lorſque quelques cauſes détermineront cette eau diſſoute à ſe précipiter & à deſcendre dans la région baſſe de l'atmoſphere, avant qu'elle ſoit aſſez condenſée pour ſe ramaſſer en gouttes & former de la pluie, il y en aura déjà une partie qui ſera arrivée juſqu'à la ſurface de la terre. La preuve de cela, c'eſt que, lorſque le temps ſe prépare à la pluie, tous les corps qui ne ſont pas ſuſceptibles d'être pénétrés par l'eau, telles que les rampes de fer, les pierres dures, &c. ſe trouvent humides. La colonne d'air, qui preſſe ſur le réſervoir du barometre, deviendra donc moins peſante, par la perte de cette portion d'eau, arrivée déjà juſqu'à terre; & le barometre deſcendra, & annoncera la pluie qui ſurviendra peu de temps après, étant formée par le reſte de l'eau qui aura eu le temps de ſe ramaſſer en gouttes.

309. Il y a, je l'avoue, des obſervations qui ſemblent contredire l'explication que nous venons de donner. Il arrive quelquefois que le barometre remonte même pendant la pluie, pendant que l'air ſe décharge de l'eau qu'il tenoit en diſſolution: de même il arrive ſouvent, & je l'ai obſervé pluſieurs fois, ſur-tout en hiver, que, pendant des mois entiers, toutes les fois que le mercure monte dans le barometre, la pluie ſurvient; & toutes les

fois qu'il descend, le beau temps renaît. Je crois cependant que cela peut très-bien se concilier avec l'explication ci-dessus (308). Car, comme nous l'avons dit, c'est la grande quantité d'eau dissoute dans l'air, qui en augmente le poids. Si donc, pendant la pluie, il se fait dans l'air une nouvelle dissolution d'eau plus abondante que la quantité qui en tombe (& cela arrive parfois), le barometre remontera. Si cette eau ainsi dissoute demeure dans la région basse, cette ascension du barometre annoncera une nouvelle pluie : c'est ce qui arrive souvent en pareille circonstance. Enfin, si l'air dissout une grande quantité d'eau, & qu'en même temps le froid ou quelque autre cause empêche cette eau de se dissoudre parfaitement & de s'élever à une grande hauteur, elle n'en augmentera pas moins le poids de l'air, ce qui fera monter le barometre ; & cependant elle sera toute prête à se ramasser en gouttes & à former de la pluie, qui tombera peu de temps après. Pendant que cette pluie tombera, s'il n'y a point de nouvelle dissolution, l'air en deviendra plus léger ; le barometre descendra donc, & malgré cela annoncera le beau temps qui doit suivre. Voilà, je crois, comment on peut rendre raison de l'espece d'affinité qui paroît subsister entre le poids de l'air & le changement de temps, suivant les circonstances. Le beau temps pourra aussi avoir lieu, malgré la diminution

du poids de l'air, lorſqu'il ſe mêlera à ce fluide quelque autre fluide élaſtique plus léger que lui, & qui n'en troublera point la tranſparence. Enfin le reſſort de l'air, dont la force peut varier par différentes cauſes, contribuera encore à faire varier ſa preſſion : ce reſſort agit quelquefois conjointement avec le poids, pour en augmenter l'effet ; d'autres fois il agit en ſens contraire, & peut ainſi diminuer ou même compenſer l'effet de l'augmentation de poids. De ſorte que le beau ou le mauvais temps peut ſubſiſter, à quelque hauteur que ſoit le mercure dans le barometre ; & cela ſans infirmer l'explication que nous avons donnée de ce phénomene.

310. Le tube de *Toricelli*, dont les Phyſiciens ont fait le barometre, eſt celui qu'on appelle *ſimple*. C'eſt ſans doute, de tous ceux qu'on a imaginés juſqu'à préſent, celui qui doit être préféré pour les obſervations qui demandent de l'exactitude, à cauſe des inconvéniens inévitables qui ſe trouvent dans les autres. Si l'on eſt curieux de connoître ces autres barometres, on les trouvera amplement & exactement décrits dans mon *Dictionnaire raiſonné de Phyſique, tome I, page 222 & ſuivantes.*

311. Nous avons dit (301) que l'air exerce ſa preſſion en toutes ſortes de ſens, de haut en bas, latéralement & de bas en haut. Sa preſſion de haut

en bas est bien prouvée par ce qui précede. Il est aisé de faire appercevoir sa pression latérale, ainsi que celle de bas en haut. Si l'on perce, sur le côté ou par le bas, un tonneau plein ou à peu près, d'un petit trou, comme feroit, par exemple, celui d'une vrille, la liqueur ne s'écoule pas; parce que l'air, qui se présente au trou, soutient cette liqueur, qui n'a pas assez de hauteur pour vaincre sa pression. Enfin tous les effets qui dépendent de la pression de l'air, ont lieu dans une chambre où la colonne d'air se termine au plafond, aussi bien que dehors, où cette colonne a toute la hauteur de l'atmosphere; & cela, parce que l'air de la chambre communique avec celui du dehors, ne fût-ce que par le trou de la serrure. Ainsi, dans un barometre placé dans un appartement, le mercure se tient aussi haut que si ce barometre étoit en plein champ.

312. *C'est de la pression de l'air d'où dépend le jeu des siphons.* Un siphon est un tuyau courbé ABC (*fig.* 41.) de verre, ou de métal, ou de bois, &c. & dont une branche AB est plus courte que l'autre BC. Pour faire usage de cet instrument, on place l'extrémité A (*fig.* 42.) de la courte branche AB dans le vase EE qui contient la liqueur : on ôte l'air du siphon en suçant par l'extrémité C de la longue branche BC. Alors l'écoulement commence, & ne finit que lorsque la

Fig. 41.

courte branche AB ne plonge plus du tout dans la liqueur. Il eſt aiſé de voir que c'eſt la preſſion de l'air, ſur la ſurface de la liqueur dans le vaſe, qui cauſe cet écoulement. Car ſuppoſons GF les confins de l'atmoſphere; tous les points de la ſurface A de la liqueur ſont également preſſés par la colonne d'air AF : ſi, à quelque endroit de cette ſurface, on ſupprime cette preſſion, la liqueur doit s'écouler par là, puiſqu'elle y trouve moins de réſiſtance que par-tout ailleurs : c'eſt pourquoi le ſiphon ſe remplit en entier, lorſqu'on ſuce l'air par l'extrémité C.

313. Si les deux branches du ſiphon étoient d'égale longueur, comme BA, BD, l'écoulement n'auroit pas lieu; parce que la colonne d'air DG, qui réſiſteroit en D, étant auſſi haute que celle qui preſſe en A, lui feroit équilibre, de même que ſe le font les deux colonnes de liqueur BA, BD. Mais lorſque l'une BC des deux jambes eſt plus longue que l'autre, quoique la colonne d'air GC, qui lui répond, ſoit plus longue que celle qui preſſe en A, elle n'eſt pas capable d'empêcher l'écoulement. En voici la raiſon. Conſidérons la colonne d'air GC comme diviſée en deux parties, dont une GD fait équilibre à la colonne d'air FA, & ſeroit capable d'arrêter l'écoulement, ſi la branche BC finiſſoit en D. La portion de liqueur qui remplit la partie DC du

ſiphon, ne trouve donc plus d'autre réſiſtance en C, qu'une colonne d'air DC de même longueur qu'elle, mais qui lui eſt très-inférieure en poids. Cette portion de liqueur s'écoule donc par l'excès de ſon poids. Mais tandis qu'elle coule, rien ne ſoutient celle qui eſt au deſſus, qui la ſuit néceſſairement, pendant que la preſſion de l'air en A fournit de nouvelle liqueur pour remplacer celle qui s'eſt écoulée. C'eſt ainſi que l'écoulement devient continu. C'eſt pourquoi la réſiſtance de l'air en C eſt d'autant plus vaincue, que la longueur de la branche BC du ſiphon excede davantage celle de la branche AB. On en aura la preuve, ſi l'on ajoute en C un bout de tuyau qui alonge cette branche; car alors, dans un temps donné, il s'écoulera plus de liqueur qu'il ne s'en écouleroit ſans cet alongement.

314. Puiſque c'eſt la preſſion de l'air qui éleve la liqueur dans la courte branche BA, il s'enſuit que la hauteur de cette branche eſt limitée à 32 pieds quand la liqueur eſt de l'eau; par la raiſon que l'air ne peut pas faire monter l'eau plus haut (301); & que lorſque la liqueur eſt du mercure, la hauteur de la courte branche ne doit pas excéder 28 pouces, puiſque l'air ne peut ſoutenir le mercure qu'à cette hauteur.

Peſanteur & Equilibre des Solides plongés dans les Fluides.

315. Il eſt certain qu'un ſolide qu'on plonge dans une liqueur, & qui eſt en même temps impénétrable à cette liqueur, occupe la place d'un volume de cette liqueur parfaitement égal au ſien. Ce volume de liqueur déplacé, ou égale en denſité ou en poids le ſolide qui prend ſa place, ou bien l'un des deux peſe plus que l'autre. Dans ce dernier cas, qui eſt le plus commun, on appelle *Peſanteur reſpective*, la quantité dont le plus peſant ſurpaſſe le plus léger.

316. *Un corps ſolide entiérement plongé dans un fluide, eſt comprimé de toutes parts par le fluide qui l'entoure; & la preſſion qu'il éprouve eſt d'autant plus grande, qu'il eſt plus profondément plongé, & que le fluide a plus de denſité.* Nous avons prouvé ci-deſſus (288) que les liqueurs ou fluides exercent leur preſſion en toutes ſortes de ſens : par conſéquent un corps ſolide, plongé dans un fluide, eſt comprimé de toutes parts. Nous avons prouvé (294) que cette preſſion croît en raiſon de la hauteur du fluide : donc la preſſion qu'éprouve le corps plongé, eſt d'autant plus grande, qu'il eſt plus profondément plongé. Enfin nous avons prouvé (299) qu'il y a équilibre entre deux fluides dont les hauteurs ſont en raiſons

réciproques de leurs denſités : donc, à profondeurs égales, le corps plongé eſt d'autant plus comprimé, que le fluide a plus de denſité.

317. Nous qui ſommes plongés dans l'air, qui eſt un fluide qui agit ſuivant toutes les loix de l'hydroſtatique (301), nous ſommes donc comprimés de toutes parts par l'air qui nous environne : nous le ſommes plus dans un lieu bas que dans un lieu élevé ; & nous le ſommes d'autant plus, que l'air a plus de denſité. Il eſt vrai que nous nous appercevons peu de cette preſſion, quoiqu'elle ſoit très-grande, puiſque, pour une perſonne d'une moyenne taille, elle excede le poids de 30000 livres : cela vient, 1°. de ce que cette preſſion ſur nous eſt continuelle : or les ſenſations habituelles ne ſont pas, en quelque façon, des ſenſations pour nous ; nous ne nous appercevons bien que des choſes extraordinaires : 2°. de ce que nous reſpirons intérieurement le même fluide ; ce qui établit un équilibre entre la preſſion extérieure & la réaction intérieure. Nous nous appercevons encore moins des différences de cette preſſion, parce qu'elles ſont trop peu ſenſibles. Il n'en ſeroit pas ainſi, ſi, de même que les poiſſons, nous vivions dans un fluide beaucoup plus denſe, comme l'eau. Un poiſſon qui eſt à la ſurface de l'eau, n'eſt chargé que du poids de l'atmoſphere ; mais s'il

ſe plonge ſeulement à 32 pieds de profondeur, la preſſion qu'il éprouve dans ce ſecond cas, eſt double de celle qu'il éprouvoit dans le premier. C'eſt une des principales raiſons qui ont fait abandonner l'uſage de la cloche du plongeur : à environ 60 pieds de profondeur, on éprouvoit une preſſion, ſoit extérieure, ſoit intérieure, déjà trop forte pour pouvoir la ſoutenir pendant quelque temps ſans danger de rupture de vaiſſeaux & de crachement de ſang.

318. *Un corps plongé dans un fluide, ajoute à ce fluide un poids égal à celui du volume de fluide qu'il déplace, quelle que ſoit la denſité de ce corps.* Si, dans un vaſe à peu près plein d'eau, ſuſpendu au bras d'une balance, & en équilibre avec un poids pendu à l'autre bras, on plonge, ſoit une boule de bois, ſoit une boule de plomb de même diametre, fixée à une tige qu'on a ſoin de ne pas lâcher ; dans l'un & l'autre cas on ajoute un poids égal ; car le même poids placé à l'autre bras, ſera dans les deux cas néceſſaire & ſuffiſant pour rétablir l'équilibre. Donc, &c. La raiſon de cela eſt que le corps plongé fait élever la liqueur dans le vaſe, dans lequel on le plonge, autant que ſi on y ajoutoit un volume de liqueur égal au ſien ; or les liqueurs peſent en raiſon de leur hauteur perpendiculaire (294) : donc, quelle que ſoit la denſité

du corps plongé, pourvu que le volume ſoit toujours le même, il ajoutera toujours le même poids : & nous verrons bientôt que ce poids eſt égal à celui du volume de liqueur déplacé.

319. *Si le corps plongé eſt plus peſant que le volume de liqueur qu'il déplace, ſa peſanteur reſpective* (& non pas ſa peſanteur abſolue) *le fait tomber au fond du vaſe, s'il eſt libre de lui obéir.* La preuve de cela, c'eſt que, pour l'empêcher de tomber, il ne faut pas un poids égal au ſien, mais ſeulement un poids égal à l'excès de ſon poids ſur celui du volume de liqueur déplacé. En effet, le corps plongé tient la place d'un volume de liqueur qui ſeroit en équilibre avec le reſte ; le volume de liqueur qui eſt au deſſous, ne doit donc lui céder ſa place que ſuivant l'excès de ſon poids ſur celui de ce volume de liqueur : or c'eſt cet excès que l'on appelle *peſanteur reſpective*. Il ſuit de là :

320. *Qu'un corps plongé dans un fluide perd une partie de ſon poids ; & cette partie perdue eſt parfaitement égale au poids du volume de fluide déplacé.*

Fig. 43. EXPÉRIENCE. L (*fig.* 43.) eſt un petit cylindre ſolide de cuivre, capable de remplir exactement la boîte M ſous laquelle il eſt ſuſpendu. On met le cylindre & la boîte en équilibre, au fléau d'une balance, avec le poids N, placé ſous

l'autre baſſin ; & l'on plonge le petit cylindre dans l'eau. Alors le poids N l'emporte ; donc ce corps plongé perd une partie de ſon poids. Pour rétablir l'équilibre, il ſuffit de charger le bras de la balance d'un volume d'eau égal à celui du cylindre L plongé ; ce que l'on fait exactement en rempliſſant d'eau la boîte M. Donc ce corps plongé perd une partie de ſon poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace ; & la portion de ſon poids qui lui reſte n'eſt donc que ſa peſanteur reſpective ; la ſeule qu'on auroit à ſoutenir, ſi l'on vouloit l'empêcher d'aller au fond. Voilà pourquoi il eſt ſi aiſé d'empêcher un homme de ſe noyer, par quelque endroit qu'on le ſoutienne ; car ſa peſanteur reſpective dans l'eau eſt très-peu de choſe.

321. Il ſuit de là, qu'*un corps ne tend jamais à tomber avec toute l'intenſité de ſa peſanteur abſolue* (204) ; car il eſt toujours plongé dans un fluide ; ce qui lui fait perdre une partie de ſon poids. Il ne lui reſte donc, pour tomber, que ſa peſanteur reſpective.

322. Il ſuit encore de là, 1°. Qu'*à quantité égale de matiere ou à poids égaux, plus les corp ont de volume, plus ils perdent de leur poids par l'immerſion.* Car ils déplacent alors un plus grand volume de liqueur.

323. 2°. Que, *plus la liqueur dans laquelle le*

corps eſt plongé, a de denſité, plus ce corps perd de ſon poids par l'immerſion. Car alors il déplace un volume de liqueur qui a plus de poids. Or c'eſt le poids de ce volume de liqueur déplacé qui détermine la portion de ſon poids que perd le corps plongé (320). Un corps perdroit donc une plus grande portion de ſon poids dans l'eau, que dans l'eſprit-de-vin : il en perdroit encore une beaucoup plus grande portion dans le mercure.

324. *Si un corps eſt moins peſant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il eſt plongé, il ſurnage en partie; & ce qui reſte plongé, déplace une quantité de liqueur qui peſe autant que le corps entier.*

EXPÉRIENCE. Qu'on mette de l'eau dans un vaſe de verre garni d'un robinet par le bas (*fig.* 44.) : qu'on marque, avec une bande de papier, la hauteur à laquelle eſt l'eau dans le vaſe : qu'enſuite on y mette une groſſe boule de bois. Elle ſurnagera en partie : & la partie plongée fera élever l'eau dans le vaſe autant que ſi l'on y avoit ajouté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'enſuite on ôte de l'eau, par le moyen du robinet, juſqu'à ce que la ſurface ſoit baiſſée juſqu'à la marque où elle étoit en premier lieu. Il eſt clair qu'on aura ôté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'on

Fig. 44.

peſe enſuite ce volume d'eau contre la boule de bois; ils ſe feront mutuellement équilibre. Donc ils peſent autant l'un que l'autre. Donc, &c.

325. Un bateau, placé ſur la riviere, déplace donc une quantité d'eau qui peſe préciſément autant que le bateau & toute ſa charge; & ſi on le charge davantage, il s'enfonce d'autant; & ſa partie plongée eſt d'autant plus grande qu'il eſt plus chargé, ou que l'eau a moins de denſité. Il s'enfonce donc moins dans la mer que dans l'eau douce. Ainſi, ſi un bateau doit aller alternativement ſur la mer & ſur l'eau douce, il ne faut pas le charger autant qu'il pourroit l'être ſur la mer; car il ſeroit ſubmergé dans l'eau douce.

C'eſt ſur le principe établi ci-deſſus (324), qu'eſt fondé l'uſage de l'aréometre.

326. L'aréometre eſt un inſtrument par le moyen duquel on connoît la différence de la peſanteur ſpécifique des liqueurs. Le plus ſimple & le plus en uſage conſiſte en une petite boule de verre mince B (*fig.* 45.), ſoufflée à la lampe, *Fig.* 45. & dont le col AC, qui eſt long & d'un petit diametre, eſt diviſé dans toute ſa longueur, en parties égales. Afin que cet inſtrument puiſſe ſe tenir au milieu des liqueurs dans une ſituation verticale, on fait en ſorte que le centre de gravité ſe trouve vers la partie inférieure : c'eſt

pour cela que l'on adapte, au deſſous de la boule, une autre petite boule ſoufflée S, dans laquelle on met du mercure. Il n'y en faut mettre qu'une quantité telle que l'aréometre en entier ne peſe pas tout-à-fait autant qu'un volume des liqueurs qu'on veut éprouver par ſon moyen, égal au volume de l'aréometre même.

327. L'aréometre ainſi conſtruit, on le plonge dans les liqueurs que l'on veut comparer : il ne s'y enfonce pas en entier, puiſque nous le ſuppoſons plus léger qu'un volume de la liqueur égal au ſien : car les corps ſolides, plongés dans les liqueurs, ceſſent de s'y enfoncer, lorſqu'ils ont déplacé une quantité de liqueur dont le poids égale le leur (324). Ils s'y enfoncent donc d'autant plus profondément que la liqueur eſt plus légere ou qu'elle a moins de denſité : au contraire, ils s'y enfoncent d'autant moins profondement, que la liqueur eſt plus peſante ou qu'elle a plus de denſité. De ſorte que ſi le poids de l'aréometre eſt tel qu'il s'enfonce dans l'eau juſqu'à E, il s'enfoncera plus profondément dans des liqueurs plus légeres : il s'enfoncera, par exemple, dans le vin juſqu'à F; dans l'eſprit-de-vin, juſqu'à G, &c. Mais, ſi on le plonge dans des liqueurs plus peſantes que l'eau, il ne s'y enfoncera pas ſi profondément qu'E : par exemple, dans la biere il ne s'enfoncera que juſqu'à D, & toujours

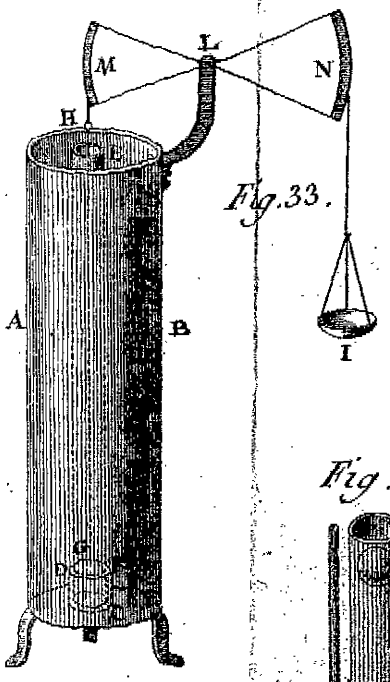


Fig. 33.

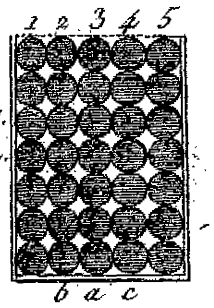


Fig. 34.

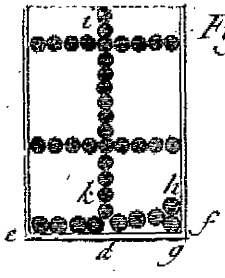


Fig. 35.

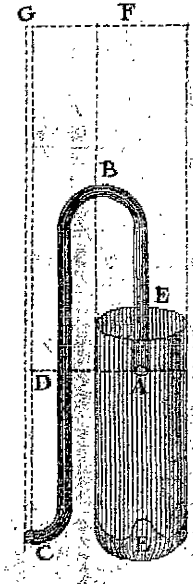
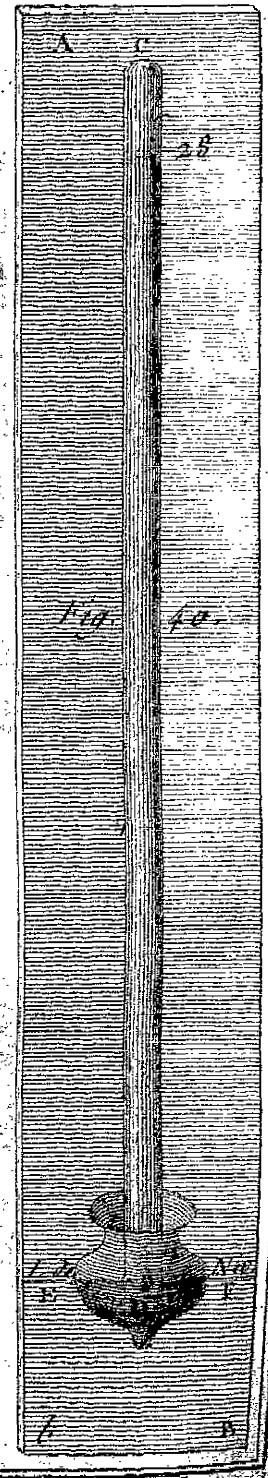


Fig. 42.



Fig. 41.



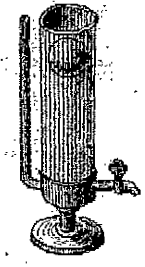


Fig. 44.

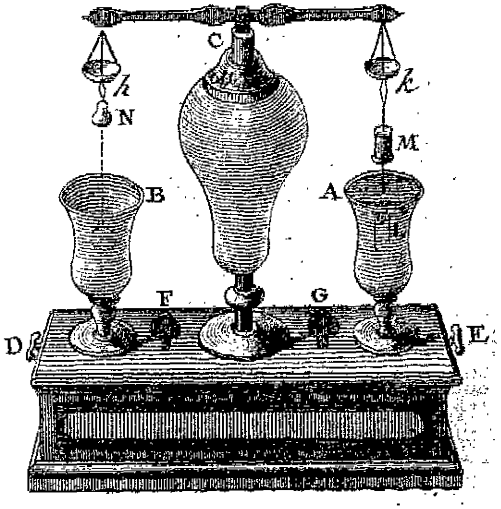


Fig. 43.

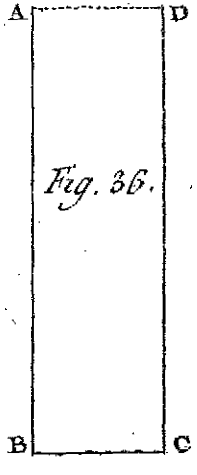


Fig. 36.

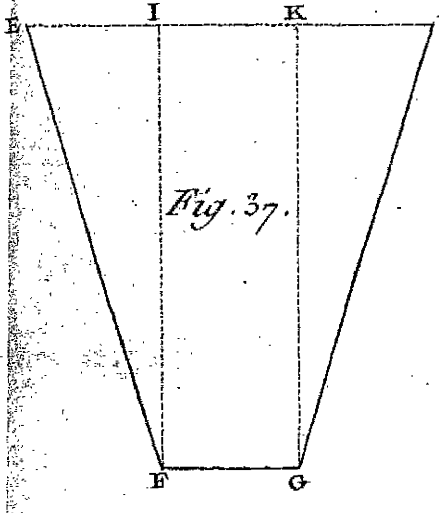


Fig. 37.

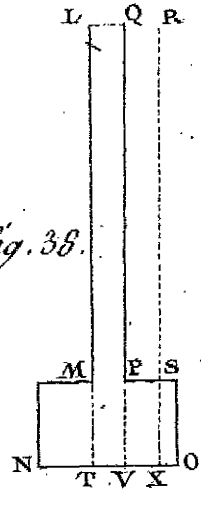


Fig. 38.

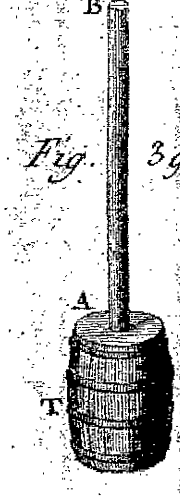


Fig. 39.

Benard Durand

d'autant moins que la liqueur, dans laquelle on le plongera, ſera plus denſe, & par conſéquent plus peſante.

328. Par ce procédé on connoîtra ſi une liqueur eſt plus ou moins peſante qu'une autre, à laquelle on la compare : mais on ne connoîtra pas de combien ; car, pour cela, il faudroit connoître exactement le rapport qu'il y a de la tige AC, aux boules B & S ; ce qui eſt impoſſible, d'après la conſtruction ci-deſſus (326) : il faudroit de plus que la tige AC fut parfaitement cylindrique ; ce qui n'arrive jamais. Le plus ſûr moyen d'acquérir cette connoiſſance exacte, eſt d'opérer toujours ſur des volumes égaux. Pour cela il faut faire uſage de l'aréometre de *Farenheit*, qui eſt, ſans contredit, le meilleur de tous ceux qu'on a imaginé juſqu'à préſent.

329. L'aréometre de *Farenheit* (*fig.* 46.) eſt compoſé d'une petite bouteille ovale de verre mince B, ſoufflée à la lampe, dont le col AC, qui eſt très-menu, eſt ſurmonté d'un petit baſſin DE, deſtiné à recevoir de petits poids. L'inſtrument eſt leſté au moyen d'une petite boule de verre ſoufflée S, adaptée à ſa partie inférieure, & dans laquelle on a mis du mercure. On fixe, ſur le col, un petit grain d'émail *a* ; & l'inſtrument eſt conſtruit. *Fig.* 46.

330. Pour faire uſage de cet aréometre, il

faut commencer par connoître exactement son poids, qu'on fera bien de marquer deſſus, afin de ne pas l'oublier. Enſuite on plonge l'inſtrument dans de l'eau diſtillée; &, en le chargeant de poids, on l'y fait enfoncer juſqu'au grain d'émail *a*. La ſomme des poids qu'on a mis dans le baſſin DE, pour produire cet enfoncement, jointe au poids de l'aréometre, donne exactement le poids du volume d'eau, meſuré par l'aréometre (324). On n'a qu'à faire la même opération ſur telle autre liqueur qu'on voudra; & l'on aura, avec la même exactitude, le poids du volume de cette liqueur meſuré par l'aréometre. Or il eſt clair que ces deux volumes ſont parfaitement égaux, puiſqu'ils ſont meſurés par le même inſtrument: la différence de leurs poids donnera donc la différence de leur peſanteur ſpécifique, ou le rapport de leurs denſités. Pour connoître ce rapport, on fera cette proportion: La peſanteur ſpécifique de cette liqueur eſt à celle de l'eau diſtillée, comme le poids du volume de cette liqueur, meſuré par l'aréometre, eſt au poids du volume d'eau, auſſi meſuré par l'aréometre. Si l'on connoît exactement la peſanteur ſpécifique de l'une, on connoîtra par-là la peſanteur ſpécifique de l'autre, ainſi que celle de toutes les liqueurs qu'on éprouvera de la même maniere.

Si l'on veut connoître les différentes eſpèces d'aréometres

d'aréometres imaginées jusqu'à présent, on les trouvera exactement décrites dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, *Tom.* 1. *pag.* 137 *& suiv.*

331. C'est d'après les principes que nous avons établis ci-dessus (315, 320), qu'on peut connoître la pesanteur spécifique des corps, soit solides, soit fluides. Cette pesanteur est le poids que pese un corps sous un volume connu & déterminé; comme, par exemple, un pouce cube, ou un pied cube. Pour acquérir cette connoissance, on pese les corps hydrostatiquement, c'est-à-dire, 1°. dans l'air; 2°. dans l'eau. Il faut se servir, en pareil cas, d'eau distillée, afin d'être sûr d'avoir toujours la même; & faire en sorte que cette eau soit, dans toutes les épreuves, à la même température. On sait qu'un corps plongé dans l'eau, déplace un volume d'eau parfaitement égal au sien (315), & qu'alors il perd une portion de son poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace (320). On a donc par-là, 1°. le poids de ce corps; 2°. le poids d'un volume d'eau parfaitement égal au volume de ce corps. Ces deux poids, comparés l'un à l'autre, donnent le rapport qu'il y a entre la pesanteur spécifique de ce corps & celle de l'eau (dont je suppose la pesanteur spécifique connue), en faisant cette proportion, dans laquelle 10000

représentent la pesanteur spécifique de l'eau ; & l'on dit : Le poids du volume d'eau déplacé par ce corps, est au poids de ce corps, comme 10000 est à un quatrieme terme, qui représente la pesanteur spécifique de ce corps.

Il ne laisse pas que d'y avoir des difficultés pour obtenir de l'exactitude dans les épreuves. Si l'on veut connoître ces difficultés, ainsi que les moyens de les prévenir, on les trouvera, les uns & les autres, exactement détaillés dans le *Discours préliminaire* de mon Ouvrage sur la *Pesanteur spécifique des corps.*

332. De ce que nous venons de dire, il suit, 1°. que, *quand deux corps sont égaux en volumes, leurs pesanteurs spécifiques sont l'une à l'autre comme leurs masses.* Ainsi un corps est d'une pesanteur spécifique double de celle d'un autre, lorsqu'il a deux fois la masse de cet autre sous le même volume.

333. 2°. *Lorsque deux corps perdent des poids égaux dans la même eau, ils ont sûrement des volumes égaux*, quelque figure qu'ils aient ; puisqu'ils y perdent toujours des poids égaux aux poids des volumes d'eau qu'ils déplacent (320).

334. 3°. *Les pesanteurs spécifiques des corps qui sont du même poids, sont en raison réciproque de leurs volumes.* Ainsi un corps est d'une pe-

ſanteur ſpécifique double de celle d'un autre corps, lorſqu'avec le même poids il n'a que la moitié du volume de l'autre corps.

335. 4°. *Les peſanteurs ſpécifiques des deux corps ſont en raiſon compoſée de la raiſon directe de leurs maſſes, & de la raiſon réciproque de leurs volumes.* Cette propoſition eſt une ſuite néceſſaire des deux précédentes (332, 334).

336. 5°. *Un même corps perdra une plus grande portion de ſon poids dans un fluide ſpécifiquement plus peſant, que dans un plus léger;* puiſqu'il perdra toujours une portion de ſon poids égale au poids du volume de fluide qu'il déplace (320). Il faut donc plus de force pour le ſoutenir dans un fluide plus léger, que pour le ſoutenir dans un fluide plus peſant : il faut plus de force pour le ſoutenir dans l'air, que pour le ſoutenir dans l'eau.

337. 6°. *Les peſanteurs ſpécifiques des corps également peſans ſont réciproquement comme les quantités de leur poids qu'ils perdent dans le même fluide.* Ainſi, ſi, de deux corps de poids égaux, l'un perd $\frac{1}{3}$, & l'autre $\frac{1}{7}$ de ſon poids dans le même fluide, la peſanteur ſpécifique du premier eſt à celle du ſecond, comme 2 eſt à 1; en raiſon réciproque des pertes de poids.

338. 7°. *Si un corps eſt de la même peſanteur ſpécifique qu'un fluide, & qu'on l'y plonge,*

il s'arrêtera à quelque profondeur du fluide qu'on le place; il y ſera en équilibre.

339. 8°. *Si un corps ſpécifiquement moins peſant qu'un fluide y eſt entiérement plongé, & qu'on le lâche, il remontera avec une force égale à l'excès du poids d'un volume de ce fluide égal au ſien, ſur le poids de ce corps.* C'eſt par cette raiſon que les ballons s'élevent dans l'air.

340. 9°. *La peſanteur ſpécifique d'un ſolide eſt à celle d'un fluide plus peſant, & ſur lequel il nage, comme le volume de la partie plongée eſt au volume du corps entier.* Ainſi, ſi le volume de la partie plongée eſt au volume du corps entier, comme 2 eſt à 3; la peſanteur ſpécifique de ce ſolide eſt, à celle du fluide, comme 2 eſt à 3.

341. 10°. *Le poids & le volume d'un corps, ainſi que la peſanteur d'un fluide, ſpécifiquement plus peſant que ce corps, étant donnés, trouver la force requiſe pour tenir ce corps entiérement plongé dans le fluide.*

Comme cette force eſt égale à la peſanteur reſpective du fluide (319), au moyen du volume donné du ſolide & du poids connu d'un pied cube du fluide, trouvez, par la regle de trois, le poids d'un volume du fluide égal au volume du ſolide. Otez de ce poids le poids du ſolide: le reſte eſt la force demandée. Par exemple,

ſuppoſons que l'on demande la force néceſſaire pour ſoutenir plongé dans l'eau un ſolide de 8 pieds cubes de volume & de 400 livres de poids. Puiſqu'un pied cube d'eau peſe 70 livres, le poids de 8 pieds cubes d'eau eſt 560 livres : ôtez-en 400 livres ; les 160 livres reſtantes ſont la force néceſſaire pour tenir le ſolide plongé dans l'eau, & l'empêcher de remonter.

342. 11°. *Le poids d'un corps, qui doit être conſtruit d'une matiere ſpécifiquement plus peſante qu'un fluide, & la peſanteur de ce fluide ſpécifiquement plus léger, étant donnés, déterminer la cavité que le corps doit avoir pour nager ſur le fluide.*

Le poids d'un pied cube du fluide étant donné, on trouve, par la regle de trois, le volume de la portion du fluide égale en poids à celui du corps. Si donc on fait la cavité du corps telle que le volume ſoit un peu plus grand que le volume trouvé, le corps aura moins de poids ſous le même volume que le fluide ; & par conſéquent ſera ſpécifiquement moins peſant ; donc il nagera ſur le fluide. Par exemple, ſuppoſons qu'on propoſe de faire une boule de fer de 30 livres, & qui ait un volume tel qu'elle puiſſe nager ſur l'eau. Puiſque le poids d'un pied cube d'eau eſt 70 livres, un volume d'eau égal en poids à 30 livres ſera les $\frac{1}{7}$ d'un pied cube : on trouvera

facilement quel doit être le diametre d'une ſphere, pour qu'elle ait $\frac{1}{7}$ de pied cube de ſolidité. On fera enſuite la boule de fer de maniere qu'elle ſoit creuſe en dedans, & que ſon diametre ſoit plus grand que le diametre trouvé : ſi l'on donne à cette boule 11 pouces 3 lignes de diametre, elle ſurnagera. Il n'eſt donc pas néceſſaire que, pour qu'un corps ſurnage, il ſoit d'une matiere en elle-même plus légere que l'eau : il ſuffit de lui donner un grand volume & peu de maſſe. Auſſi, quoique le cuivre ſoit environ 8 fois auſſi peſant que l'eau, on a à l'armée des gondoles de cuivre pour établir des ponts pour le paſſage des troupes.

Phénomenes des Tuyaux capillaires.

343. On appelle *Tuyaux capillaires*, les tuyaux menus, ou qui n'ont qu'un petit diametre. Ce nom-là leur vient ſans doute de leur reſſemblance par leur petiteſſe avec les cheveux (en latin *capilli*). Cependant il n'eſt pas néceſſaire qu'ils ſoient auſſi menus que des cheveux : ceux dont on fait uſage en Phyſique, le ſont beaucoup moins ; & même leurs effets ſe font appercevoir, quoique leur diametre intérieur égale 2 lignes ou 2 $\frac{1}{2}$ lignes. Ils peuvent être faits de toutes ſortes de matieres, de verre, de métal, &c. & peuvent avoir toutes ſortes de formes. Tous les corps aſſez poreux &

capables d'admettre les liqueurs dans leur intérieur, peuvent même être considérés comme des assemblages de tuyaux capillaires.

344. Nous plaçons ici les phénomenes des tuyaux capillaires, parce qu'ils paroissent être des exceptions aux loix de l'hydrostatique. Une de ces loix (292) est que *toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entre elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, lorsque leurs surfaces supérieures sont dans un même plan parallele à l'horizon.* Or voici ce qui arrive avec les tuyaux capillaires.

345. 1°. Si l'on plonge l'extrémité d'un tuyau capillaire dans un vase plein de liqueur, aussi-tôt la liqueur s'éleve dans le tuyau au dessus de son niveau.

346. 2°. Si l'on plonge le même tuyau capillaire dans différentes liqueurs, toutes s'élevent dans le tuyau au dessus de leur niveau, mais à des hauteurs différentes : & ce ne sont pas toujours les moins pesantes qui s'élevent le plus haut ; car l'esprit-de-vin s'y éleve beaucoup moins haut que l'eau, l'acide nitrique, l'eau salée, l'acide sulfurique concentré, l'urine, &c. & ce sont celles que je viens de nommer les dernieres, qui s'y élevent le plus haut. D'où il suit qu'elles ne s'y élevent point en raison inverse de leurs densités ; ce qui devroit être, si leur élévation étoit un effet d'équilibre. Ce

ne sont pas même toujours les plus légeres qui s'y élevent le moins; puisque l'urine s'y éleve plus haut que l'acide sulfurique concentré. Ce qui fait voir que cette élévation ne suit aucune regle connue.

347. 3°. Si l'on plonge dans la même liqueur deux tuyaux capillaires de diametres différens, la liqueur s'y éleve au dessus de son niveau à des hauteurs qui sont en raison inverse des diametres des tuyaux.

348. 4°. Le contraire de tout cela arrive avec le mercure : car si l'on plonge un tuyau capillaire dans du mercure, 1°. il s'y tient plus bas que son niveau; 2°. d'autant plus bas, que le tuyau est plus étroit; 3°. & ce *plus bas* est en raison inverse des diametres des tuyaux.

349. Il y a long-temps que l'on cherche la raison de ces phénomenes si contraires aux loix de l'hydrostatique, & si opposés à ce que l'on connoît d'ailleurs; mais on ne peut pas encore se flatter de l'avoir trouvée. On peut ranger en trois classes les différentes opinions qu'on a proposées sur cette matiere.

350. La premiere comprend celles qui attribuent ces phénomenes à la pression inégale du fluide environnant; en supposant qu'il presse plus librement & d'une maniere plus complette sur la surface du vase AB (*fig.* 47) qui contient la *Fig.* 47.

liqueur, que par l'orifice supérieur du tuyau plongé D. On ne peut pas attribuer ces effets à la pression de l'air que nous respirons, puisque les mêmes phénomenes ont lieu dans le vide de Boyle. Il faut donc que cela dépende d'un fluide beaucoup plus subtil, dont nous ne nions pas l'existence. Mais si cela venoit de l'inégalité de pression de ce fluide, les liqueurs devroient s'élever, 1°. proportionnellement à la longueur du tuyau; car si ce fluide y trouvoit de la difficulté, il est certain qu'il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court; cependant cela n'arrive pas. L'élévation de la liqueur dépend uniquement du diametre intérieur du tuyau, & point du tout de sa longueur. 2°. Les liqueurs devroient s'élever en raison inverse de leurs densités : or, comme nous l'avons dit ci-dessus (346), l'expérience prouve que cela n'est pas. 3°. Le mercure devroit s'élever, dans tous les tuyaux capillaires, au dessus de son niveau, de même que le font les liqueurs; ou bien il faudroit dire que, quand on présente le tuyau capillaire à du mercure, ce fluide presse plus librement par l'orifice supérieur du tuyau, que sur la surface du vase; ce qui seroit absurde. 4°. Une preuve bien complette que ces effets ne dépendent point d'une pression plus ou moins libre, c'est que, si, au lieu de plonger le tuyau dans la liqueur, on en fait couler une goutte ou deux en dehors & selon la

longueur du tuyau, dès qu'elle eſt parvenue à l'orifice inférieur, elle y remonte comme dans les autres cas. Cette premiere opinion n'eſt donc rien moins que ſatisfaiſante.

351. La ſeconde claſſe comprend les opinions de ceux qui prétendent que la petite colonne de liqueur perd ſon poids par ſon adhérence au tuyau, ou par le frottement. Ces opinions ſont ſi mal conçues, qu'à peine méritent-elles qu'on y réponde. Il eſt certain, & l'expérience prouve que, pour que la liqueur monte dans le tuyau capillaire, il n'eſt point néceſſaire de l'y plonger; il ſuffit qu'il touche à la ſurface de la liqueur, le plus légérement poſſible; alors la liqueur monte. Il faut donc une cauſe qui la faſſe monter. J'avoue qu'on conçoit aiſément comment une petite colonne de liqueur, une fois montée dans un tuyau capillaire, y pourroit être retenue par le frottement ou par ſon adhérence aux parois du tuyau; mais on conçoit de même que ce frottement ou cette adhérence, au lieu de l'y faire monter, devroit l'en empêcher.

352. La troiſieme claſſe comprend les opinions de ceux qui ſuppoſent que le tuyau, ayant plus de maſſe ou de denſité que la liqueur, l'attire plus puiſſamment qu'elle ne s'attire elle-même: voilà pourquoi, diſent-ils, le mercure ſe tient dans les tuyaux capillaires au deſſous de ſon niveau (348);

parce qu'il s'attire plus puiſſamment lui-même, qu'il n'eſt attiré par les tuyaux, qui ont moins de denſité que lui. Mais ſur quoi eſt fondée cette ſuppoſition ? Suivant quelles loix agit cette attraction ? Si ces loix étoient les mêmes que celles de l'attraction générale, développées par *Newton*, 1°. les liqueurs devroient toujours être attirées en raiſon inverſe de leurs maſſes ; c'eſt-à-dire que les moins denſes devroient être plus fortement attirées que les plus denſes, & par conſéquent s'élever à une plus grande hauteur ; or c'eſt ſouvent le contraire ; car il y a des liqueurs plus denſes, qui s'élevent beaucoup plus haut que d'autres liqueurs moins denſes (346). 2°. L'attraction des tuyaux devroit être proportionnelle à leur maſſe : or cela n'eſt pas ; car, de quelque matiere que ſoient faits pluſieurs tuyaux, pourvu que le diametre intérieur ſoit le même dans tous, la même liqueur s'y élevera à la même hauteur. 3°. Les liqueurs devroient ſe tenir au deſſous de leur niveau, dans des tuyaux faits d'une matiere moins denſe qu'elles ; car alors, ſuivant les loix de l'attraction, elles s'attireroient plus puiſſamment elles-mêmes, qu'elles ne ſeroient attirées par les tuyaux. Or le contraire arrive chaque jour. Les corps poreux, & qu'on doit regarder comme des aſſemblages de tuyaux capillaires, admettent dans leurs pores & élevent au deſſus de leur niveau, des liqueurs

plus denſes qu'eux-mêmes. De plus, le mercure, qui ſe tient au deſſous de ſon niveau dans un tuyau de verre (348), parce que le verre a, dit-on, une denſité moindre que la ſienne, devroit, par la même raiſon, ſe tenir au deſſous de ſon niveau dans un tuyau d'étain, qui n'a guere que la moitié de la denſité du mercure. Or le contraire arrive, comme je l'ai éprouvé moi-même. Ayant plongé dans du mercure un petit tuyau d'étain, d'environ un quart de ligne de diametre, j'ai vu le mercure s'y élever pour le moins juſqu'à ſon niveau. Je ſuis perſuadé qu'il s'éleveroit de même dans un tuyau d'or, d'argent, ou de plomb. Il paroît donc qu'en général les liqueurs s'élevent au deſſus de leur niveau, dans les tuyaux qu'elles peuvent mouiller, ou auxquels elles peuvent adhérer : voilà une des raiſons pour leſquelles le mercure ſe tient au deſſous de ſon niveau dans les tuyaux de verre, auxquels il n'adhere point.

353. Eſt-ce que l'attraction, qu'on prétend être la cauſe des phénomenes des tuyaux capillaires, ſuivroit, ſinon la raiſon des maſſes, du moins la raiſon des ſurfaces ? L'expérience prouve que non. Car elle nous apprend que les liqueurs s'élevent dans les tuyaux capillaires en raiſon inverſe de leurs diametres (347) ; c'eſt-à-dire que, ſi la colonne de liqueur élevée au deſſus de ſon niveau eſt d'un pouce de haut dans un tuyau d'une ligne

de diametre, elle ſera de deux pouces de haut dans un tuyau d'une demi-ligne, & ainſi des autres. Par conſéquent la ſurface intérieure du tuyau, touchée par la liqueur, eſt dans tous de la même étendue, puiſque les circonférences ſont en raiſon directe des diametres. Cependant la quantité de liqueur élevée au deſſus de ſon niveau eſt, comme on le voit clairement, plus conſidérable dans les gros tuyaux que dans les petits, puiſque les ſolidités ſont comme les quarrés des diametres. La force attractive n'eſt donc pas proportionnelle à l'étendue des ſurfaces attirantes; ce qui devroit pourtant être: ou bien il faudroit dire que la même cauſe ne produit pas conſtamment le même effet; ce qu'on ne peut pas admettre.

354. M. *Jurin* (*Tranſ. Phil. n°. 363, art. 2*), d'après des expériences, à la vérité très-ingénieuſes, mais qui, de ſon aveu même, ne ſont point du tout concluantes, a cependant cru pouvoir conclure que l'attraction du tuyau n'agit que par le cercle annulaire de la ſurface intérieure où ſe termine la colonne de liqueur. Voici ſes expériences.

Expériences. Il a fait ſouder l'un à l'autre deux tuyaux capillaires AD & CB (*fig.* 48), dont le diametre de l'un CB étoit beaucoup plus grand que celui de l'autre AD. Suppoſons que dans le gros l'eau ne pût s'élever que de 6 lignes au deſſus *Fig.* 48.

de son niveau, & de deux pouces dans le petit. Il a plongé dans l'eau le tuyau AB par le gros bout B, mais assez profondément pour faire arriver l'eau jusqu'en D, c'est-à-dire, de 2 ou 3 lignes dans le petit diametre : alors il a pu relever le tuyau de 2 pouces hors de l'eau, sans que l'eau retombe, quoique la très-grande partie de cette colonne de 2 pouces fût dans le gros tuyau. Ensuite il a plongé le même tuyau par le petit bout G, de maniere à faire arriver l'eau jusqu'en F, c'est-à-dire, d'environ 2 lignes dans le gros diametre : alors il n'a pu relever le tuyau de plus de 6 lignes hors de l'eau, sans que l'eau retombât, quoique la plus grande partie de cette colonne de 6 lignes fût dans le petit diametre. D'où M. *Jurin* conclut que l'élévation de la liqueur ne dépend que de l'attraction du cercle annulaire de la surface intérieure du tuyau, où se termine la colonne de liqueur, puisque cette élévation change avec le diametre de cet anneau.

355. M. *Jurin*, ne tendant qu'à la connoissance de la vérité, ne dissimule rien de ce qui peut infirmer son opinion. L'expérience précédente (354) peut être faite de maniere qu'elle prouve trop, & qu'elle devienne elle même un nouveau phénomene, qui exige une nouvelle explication.

Fig. 48. *Fig.* 49. EXPÉRIENCE. Au lieu du tuyau AB (*fig.* 48), il emploie un entonnoir IKL (*fig.* 49), qui peut

avoir plusieurs pouces de largeur, & qui est terminé par un tuyau capillaire H; supposons encore que ce tuyau capillaire soit d'un diamètre tel, que l'eau puisse s'y élever de 2 pouces au dessus de son niveau. Si l'on plonge cet entonnoir renversé assez profondément pour que l'eau arrive dans le tuyau capillaire H, on pourra alors soulever l'entonnoir d'environ 2 pouces hors de l'eau, sans que l'eau retombe. Si l'attraction du cercle annulaire soutient la colonne HI, quelle est la cause qui soutient la grande quantité d'eau qui environne cette colonne? On a répondu que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction & l'adhérence de la partie concave LK de l'entonnoir.

356. Mais M. *Jurin* détruit encore cette explication par une nouvelle expérience.

Expérience. Il s'est servi d'un entonnoir qui avoit la forme de celui de la *fig.* 50, & qui étoit aussi terminé par un tuyau capillaire. Il l'a plongé, mais de maniere à ne le remplir que jusqu'à quelques lignes de la partie concave : ensuite, avec le bout du doigt mouillé, il a introduit une goutte d'eau dans le tuyau capillaire. Alors il a soulevé hors de l'eau une partie de l'entonnoir, telle qu'il y avoit au dessus du niveau une colonne d'une hauteur égale à celle qu'auroit pu soutenir un tuyau capillaire du même diametre que celui qui terminoit l'entonnoir. On ne peut pas dire, en pareil cas, *Fig.* 50.

que c'eſt l'adhérence de la partie concave de l'entonnoir qui ſoutient la colonne, puiſqu'il n'y a pas de contact.

357. Si nous voulons être de bonne foi, nous avouerons ingénument que nous ne ſommes pas encore aſſez inſtruits ſur les cauſes (car il y en a peut-être pluſieurs qui agiſſent enſemble) de l'aſcenſion des liqueurs au deſſus de leur niveau dans les tuyaux capillaires. Mais ce ſont des faits conſtans qui peuvent ſervir à en expliquer d'autres; comme la peſanteur, dont la vraie cauſe ne nous eſt pas bien connue, ſert à expliquer beaucoup de phénomenes. L'élévation des liqueurs dans les tuyaux capillaires m'explique pourquoi une bûche debout ſe trouve humide juſqu'au haut, quoiqu'elle ne ſoit qu'en partie plongée dans l'eau. Cela m'explique comment la ſeve s'éleve depuis les racines juſqu'aux extrémités des branches d'un arbre. Dans l'un & l'autre, il y a une grande quantité de tuyaux capillaires. Le corps humain, ainſi que celui des animaux, eſt une machine hydraulique; & dans le nombre preſque infini de tuyaux qui le compoſent, celui des capillaires eſt ſans comparaiſon le plus grand. Il n'eſt donc pas étonnant que les fluides paſſent ſi promptement & ſi aiſément d'un endroit à l'autre. Il y a une grande quantité d'autres phénomenes, qui ne ſont que des dépendances de ceux des tuyaux capillaires.

De

De l'Hydraulique ; ou des Mouvemens des Fluides.

358. On appelle *hydraulique*, la Science qui a pour objet les mouvemens des fluides. C'eſt d'après les principes ſur leſquels eſt fondée cette Science, qu'on trouve les moyens de conduire les eaux d'un lieu à un autre, par des canaux, des aqueducs, des pompes & autres machines hydrauliques ; & de les élever, tant pour les rendre jailliſſantes, que pour d'autres uſages.

Ce que nous allons dire dans ce chapitre, eſt en grande partie extrait de l'*hydrodynamique* de *M. l'Abbé Boſſut*, Ouvrage dans lequel il a rendu compte d'une très-belle ſuite d'expériences qu'il a faites ſur cette matiere, & qui ſont bien propres à guider dans la pratique. Ce ſont les réſultats de ces expériences que nous allons donner ici.

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par de petits orifices.

359. Lorſque l'eau s'écoule d'un vaſe percé à ſon fond d'un orifice qui ſoit petit en comparaiſon de la largeur du vaſe ; 1°. l'eau deſcend verticalement, & la ſurface paroît plane ; mais à 3 ou 4 pouces du fond, les particules ſe détournent de cette direction, & viennent de tous

côtés, ſuivant des mouvemens plus ou moins obliques, gagner l'orifice. Il en eſt de même lorſque l'eau ſort par une ouverture latérale. La tendance de ces particules vers l'orifice eſt une ſuite néceſſaire de leur parfaite mobilité; car elles doivent ſe diriger vers le point qui réſiſte le moins aux forces qui les preſſent: or l'endroit de l'orifice eſt ce point de moindre réſiſtance.

360. 2°. A une petite diſtance du fond, il commence à ſe former un entonnoir, dont la pointe répond au centre de l'orifice. Lorſque l'eau ſort par une ouverture latérale, il ne ſe forme qu'une eſpece de demi-entonnoir, & qui ne paroît commencer que quand la ſurface eſt près de toucher le bord ſupérieur du trou. Il eſt probable que l'entonnoir commence à ſe former dès le premier moment de l'écoulement; mais il ne devient ſenſible que lorſque la ſurface eſt à une petite diſtance du fond; parce que, lorſque cette ſurface en eſt loin, les parties inférieures preſſées par les ſupérieures, ſont portées rapidement dans la direction de l'écoulement. La vraie cauſe de la formation de l'entonnoir eſt l'inégalité de preſſion de la part de l'air au deſſus & au deſſous de l'orifice; parce que l'eau, en tombant par cet orifice, repouſſe l'air, & détruit une partie de ſa réaction.

Il paroît que l'entonnoir commence à une

hauteur d'autant plus grande au deſſus du fond, que le fond eſt plus large; & que la formation de l'entonnoir eſt moins prompte ou moins ſenſible, à meſure que l'orifice augmente comparativement à l'étendue du fond. L'aſpérité plus ou moins grande du fond & des parois du vaſe contribue auſſi à augmenter plus ou moins l'entonnoir.

361. La vîteſſe de l'eau, à ſa ſortie d'un vaſe par un petit orifice percé à ſon fond, eſt égale à celle qu'acquerroit un corps grave en tombant de la hauteur verticale de la ſurface du fluide au deſſus de l'orifice (255).

362. La même choſe a lieu pour un orifice latéral; car la preſſion du fluide eſt égale (à même profondeur) en toutes ſortes de ſens (288), & doit par conſéquent produire la même vîteſſe.

363. La liqueur, au ſortir de l'orifice, a une vîteſſe capable de la faire remonter à une hauteur verticale égale à celle de la ſurface du fluide au deſſus de l'orifice: de même qu'un corps, en tombant par ſa peſanteur d'une certaine hauteur, acquiert une vîteſſe capable de le faire remonter à cette hauteur (255).

364. On voit de même, par la théorie de la chûte des graves (217), que, ſi la vîteſſe de la liqueur, au ſortir de l'orifice, étoit continuée uniformément, la liqueur parcourroit un eſpace

double de la hauteur de la liqueur au deſſus de l'orifice, pendant le même temps qu'un corps peſant emploieroit à tomber de cette hauteur.

365. Cette hauteur étant la même, la vîteſſe du fluide, au ſortir de l'orifice, ſera toujours la même, quelle que ſoit l'eſpece du fluide, & quelle que ſoit ſa denſité, puiſqu'elle a conſtamment pour valeur la vîteſſe due à cette hauteur. Il eſt bien vrai que, lorſque la liqueur a plus de denſité, elle preſſe davantage; mais auſſi la maſſe chaſſée eſt plus conſidérable. En général, il eſt évident que, lorſque les forces motrices ſont proportionnelles aux maſſes qu'elles mettent en mouvement, les vîteſſes ſont égales.

366. Les quantités de liqueur qui ſortent dans le même temps par des orifices différens, chacune ſous des hauteurs ou charges conſtantes (en ſuppoſant par conſéquent que les vaſes ſont entretenus également pleins pendant toute la durée de l'écoulement), ſont entre elles comme *les produits des aires des orifices par les racines quarrées des hauteurs*. Par exemple, l'expérience a appris qu'un orifice circulaire de 1 pouce de diametre, percé dans une mince parois, ſous 4 pieds de charge, fournit dans 1 minute de temps, 5436 (373) pouces cubes d'eau. Si l'on veut ſavoir ce que fournira, dans le même temps, un orifice circulaire de 2 pouces de diametre, ſous 9 pieds

de charge, on fera la proportion ſuivante. (Il faut obſerver que l'orifice de 2 pouces eſt 4 fois auſſi grand que l'orifice de 1 pouce; parce que les aires des cercles ſont comme les quarrés des diametres). $1 \times \sqrt{4} : 4 \times \sqrt{9} :: 5436 : x$, ou 2 : 12 :: 5436 pouces cubes : 32616 pouces cubes d'eau. C'eſt cette derniere quantité que fournira l'orifice de 2 pouces de diametre, ſous 9 pieds de charge.

367. Si l'on remplit d'eau un vaſe priſmatique, & qu'on lui permette de ſe vider entiérement par un orifice fait à ſon fond, & qu'on meſure le temps qu'il met à ſe vider; qu'enſuite l'ayant rempli de nouveau, on l'entretienne conſtamment plein, tandis que l'eau ſort par l'orifice : il ſortira, dans ce ſecond cas, pendant le même intervalle de temps que le vaſe a mis d'abord à ſe vider entiérement, une quantité d'eau double de celle qui eſt ſortie dans le premier cas, abſtraction faite de l'entonnoir (360) qui, dans ce ſecond cas, n'a pas lieu.

368. Dans la pratique, les eaux ſortent ſouvent par des ouvertures latérales, qui, quoique petites en comparaiſon des largeurs des réſervoirs, ne peuvent cependant pas être cenſées avoir tous leurs points à égales diſtances de la ſurface du fluide. Tels ſont, par exemple, les pertuis des moulins. Alors la méthode ordinaire eſt de dé-

terminer l'écoulement d'après le raiſonnement ſuivant. Concevons d'abord que l'orifice ſoit bouché par une plaque, & qu'enſuite on perce cette plaque d'un grand nombre de trous par leſquels l'eau s'échappe. En regardant chacun de ces trous comme un orifice particulier & iſolé, la vîteſſe pour chacun ſera due à la hauteur correſpondante du fluide. Donc, ſi l'on multiplie le nombre des trous à l'infini, ou, ce qui revient au même, ſi l'on imagine que la plaque entiere ſoit ôtée, la vîteſſe, en chacun des points de l'orifice propoſé, ſera due à la hauteur correſpondante du fluide: & dans la détermination de la quantité d'eau écoulée, il faudra avoir égard à cette inégalité de vîteſſes.

369. On ne peut cependant pas ſe diſſimuler que ce raiſonnement n'eſt pas bien concluant. Tant que la ſomme des petits trous percés dans la plaque ſubſtituée à l'orifice, eſt fort petite en comparaiſon de la largeur du réſervoir, les portions de liqueurs qui ſortent par chaque trou, ſont chaſſées par les poids abſolus des colonnes ſupérieures. Mais du moment que le nombre des trous augmente à l'infini, & que les filets deviennent contigus les uns aux autres, on ne voit pas clairement qu'ils doivent ſortir de la même maniere qu'ils ſortiroient par de petits trous iſolés. Cependant, comme cette hypotheſe donne des

réſultats aſſez conformes à l'expérience, il peut être utile de la conſerver, d'autant plus qu'elle même a des calculs fort ſimples; & que dans les queſtions uſuelles, il faut rechercher cette ſimplicité autant qu'il eſt poſſible.

370. La quantité d'eau qui ſort par ces orifices, dans un temps donné, n'eſt pas auſſi grande que ſemble le promettre la grandeur de leur ouverture; parce que la veine fluide ſe contracte au ſortir de l'orifice; & cela juſqu'à une diſtance qui égale à peu près la moitié du diametre de l'orifice : & le diametre de la veine contractée eſt au diametre de l'orifice comme un peu plus de 3 à 4, ou comme $3\frac{1}{2}$ à 4, ou 19 à 24. De ſorte que ſon aire eſt à celle de l'orifice comme 10 à 16. C'eſt à peu près la même choſe lorſque l'eau s'écoule par des ouvertures latérales. La contraction de la veine fluide eſt une preuve de ce que nous avons dit ci-deſſus (359), ſavoir, que dans l'intérieur du vaſe les particules latérales ſe dirigent vers l'orifice ſuivant des mouvemens plus ou moins obliques : & ce mouvement oblique peut ſe décompoſer en deux autres; l'un parallele au plan de l'orifice, & qui reſſerre la veine fluide; l'autre perpendiculaire au même plan, & le ſeul qui produiſe l'écoulement.

371. Cette contraction a lieu auſſi quand on fait écouler l'eau par des tuyaux, & cela à l'entrée

de l'eau dans ces tuyaux, & non pas à sa sortie, où la veine fluide conserve la forme cylindrique. L'on verra ci-après que cette contraction diminue, d'une maniere sensible, les quantités d'eau que ces tuyaux devroient fournir naturellement.

372. Pour s'assurer de tous ces faits par des expériences, on en a fait un grand nombre, dont je ne donne ici que les résultats. Dans tous les cas, les orifices par lesquels s'est fait l'écoulement, étoient percés bien perpendiculairement dans des plaques de cuivre d'environ $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur : & les temps des écoulemens, pour chaque expérience, sont réduits à 1 minute.

373. *Hauteur constante de l'eau au dessus du centre de chaque orifice* = 11 *pieds* 8 *pouces* 10 *lignes.*	*Nombre de pouces cubes fournis en* 1 *minute.*
EXPÉR. 1. Par un orifice horizontal & circulaire de 6 lignes de diametre..	2311
2. Par un orifice horizontal & circulaire de 1 pouce de diametre.	9281
3. Par un orifice horizontal & circulaire de 2 pouces de diametre.	37203
4. Par un orifice horizontal & rectangulaire de 1 pouce de long sur 3 lignes de large.....	2933
5. Par un orifice horizontal & quarré de 1 pouce de côté.....	11817
6. Par un orifice horizontal & quarré de 2 pouces de côté.....	47361
Hauteur constante = 9 *pieds.*	
7. Par un orifice latéral & circulaire de 6 lignes de diametre.....	2018
8. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.....	8135
Hauteur constante = 4 *pieds.*	
9. Par un orifice latéral & circulaire de 6 lignes de diametre.....	1353
10. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.....	5436
Hauteur constante = 7 *lignes.*	
11. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.....	628

374. Il ſuit de ces expériences, 1°. que *les dépenſes d'eau faites en temps égaux par différens orifices ſous une même hauteur de réſervoir, ſont entre elles, à peu de choſe près, comme les aires de ces orifices.* Comparez enſemble les réſultats de la 2^e. & de la 3^e. expérience, dont les aires des orifices ſont dans le rapport de 1 à 4; & vous trouverez que les deux dépenſes, 9281 pouces cubes & 37203 pouces cubes ſont, à peu de choſe près, dans le même rapport.

375. 2°. Que *les dépenſes d'eau faites en temps égaux par une même ouverture, ſous différentes hauteurs de réſervoirs, ſont entre elles, à peu de choſe près, comme les racines quarrées des hauteurs correſpondantes de l'eau dans le réſervoir au deſſus des centres des mêmes ouvertures.* Comparez enſemble les réſultats des 8^e. & 10^e. expériences, où les hauteurs des réſervoirs ſont 9 pieds & 4 pieds, dont les racines quarrées ſont 3 & 2; & vous trouverez que les deux dépenſes, 8135 pouces cubes & 5436 pouces cubes, que fait un même orifice de 1 pouce de diametre, ſous 9 pieds & enſuite 4 pieds de charge, ſont entre elles ſenſiblement dans le rapport de 3 à 2.

376. 3°. Qu'en général *les quantités d'eau dépenſées, pendant le même temps, par différentes ouvertures, ſous différentes hauteurs de*

réſervoirs, ſont entre elles en raiſon compoſée des aires des ouvertures & des racines quarrées des hauteurs des réſervoirs.

377. 4°. Mais que *le frottement eſt cauſe que, de pluſieurs orifices de figures ſemblables, les petits fourniſſent moins à proportion que les grands, ſous une même hauteur d'eau dans le réſervoir.* Parce que, comparativement à l'étendue de l'aire de chaque orifice, il y a plus de points frottans contre les bords de l'orifice dans les petits, qu'il n'y en a dans les grands; car les circonférences ne diminuent pas autant que les aires.

378. 5°. Que *de pluſieurs orifices d'aires égales, celui dont le périmetre eſt le moindre, doit, à cauſe du frottement, fournir plus d'eau que les autres, ſous une même hauteur de réſervoir.* Ainſi les orifices circulaires ſont, à cet égard, les plus avantageux de tous : car la circonférence du cercle eſt la plus courte de toutes les lignes qu'on peut choiſir pour renfermer un eſpace donné. Il y a donc moins de ſurface frottante relativement à la grandeur de l'aire.

379. Il eſt aiſé de voir que ces quantités d'eau dépenſées dans les expériences ci-deſſus (373), ne ſont pas, à beaucoup près, auſſi grandes qu'elles devroient l'être, vu l'étendue des aires des ouvertures, & les hauteurs des réſervoirs : le frottement, & ſur-tout la contraction de la veine

fluide (370) diminuent beaucoup la dépenſe; car la vîteſſe qui eſt due à la hauteur entiere du fluide dans le réſervoir, n'eſt pas ſenſiblement altérée. La différence de ces dépenſes d'eau, en ſuppoſant, 1°. que l'aire de la veine fluide eſt la même que celle de l'orifice, 2°. que cette veine eſt contractée; cette différence, dis-je, eſt, à peu près, comme de 16 à 10; c'eſt-à-dire qu'en ſuppoſant l'aire de l'orifice diminuée dans le rapport de 16 à 10 (370), on pourra déterminer aſſez exactement les écoulemens des fluides qui ſortent de vaſes entretenus également pleins. Nous donnerons ci-après (397) une table de ces différences.

380. On appelle un *pouce d'eau*, la quantité qu'en fournit un orifice circulaire & latéral de 1 pouce de diametre, la ſurface de l'eau étant entretenue conſtamment à 7 lignes au deſſus du centre de cet orifice. C'eſt le cas de la 11e. expérience, où l'on voit que la quantité d'eau fournie eſt 628 pouces cubes qui font $13\frac{1}{12}$ pintes, chaque pinte contenant 48 pouces cubes, puiſqu'il y a 36 pintes au pied cube. M. *Mariotte*, qui a fait la même expérience, a trouvé la dépenſe un peu plus forte; mais il eſt probable qu'il s'y eſt gliſſé quelque erreur; car la 11e. expérience que je viens de citer, a été faite avec le plus grand ſoin. Une pinte d'eau, au lieu de

peſer 2 livres, comme on le croit communément, ne peſe donc que 1 livre 15 onces 0 gros 64 grains.

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par des tuyaux additionnels.

381. Lorſqu'au lieu de faire ſortir l'eau d'un vaſe par un orifice percé dans une mince paroi, on la fait ſortir par un bout de tuyau vertical additionnel, de même diametre que l'orifice, la dépenſe de l'eau eſt plus conſidérable, parce que la contraction de la veine fluide (370) eſt plus grande dans le premier cas que dans le ſecond, comme cela va être prouvé par expérience.

382. La hauteur conſtante de l'eau dans le réſervoir, au deſſus de la baſe ſupérieure du tuyau additionnel vertical, eſt de 11 pieds 8 pouces 10 lignes; & le diametre du tuyau eſt de 1 pouce.

383. *Hauteurs variables du tuyau exprimées en lignes.*		*Nombre de pouces cubes d'eau dépensés en 1 minute.*
EXPÉR. 1. 48 lig.	L'eau sortant à plein tuyau.	12274
2. 24		12188
3. 18		12168
4. 18	L'eau ne suivant pas les parois.	9282

384. On voit que plus ce tuyau vertical est long, plus la dépense est grande, parce que la contraction de la veine fluide est moindre; comme on le voit en comparant les trois premieres expériences : mais il y en a toujours une, quoique l'eau paroisse sortir à plein tuyau.

385. En comparant les quantités d'eau dépensées dans la troisieme & la quatrieme expérience, on voit que les deux dépenses, 12168 pouces cubes & 9282 pouces cubes, sont entre elles, à peu près, dans le rapport de 13 à 10. Or nous avons vu ci-dessus (370) que l'eau sortant par un orifice percé dans une mince paroi, si la veine fluide ne se contractoit point, la dépense par cet orifice seroit à la dépense par ce même orifice, la veine se contractant, environ comme 16 est à 10. On doit donc conclure de là, que *la hauteur de*

l'eau dans le réservoir & l'orifice de sortie étant les mêmes, la dépense par un orifice percé dans une mince paroi & dans lequel il n'y auroit pas de contraction de veine; la dépense par un bout de tuyau additionnel; & la dépense par un orifice percé dans une mince paroi, & dans lequel il y a contraction de veine, sont entre elles, à peu de chose près, comme les trois nombres 16, 13, 10. Ces rapports sont assez exacts pour la pratique.

386. Ceci prouve que les tuyaux additionnels ne détruisent qu'en partie la contraction de la veine fluide. La plus sensible de toutes, & que, par cette raison, on appelle *contraction de la premiere espece*, est celle qui a lieu au sortir d'un petit orifice percé dans une mince paroi d'un grand réservoir.

387. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être vertical ou placé au fond du réservoir, étoit horizontal ou placé sur le côté du réservoir, il donneroit la même quantité d'eau, pourvu qu'il eût toujours la même longueur, & que l'orifice extérieur fût placé à la même profondeur au dessous de la surface de l'eau dans le réservoir.

388. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être cylindrique, étoit conique, ayant sa plus grande base du côté du réservoir, il fourniroit une plus grande quantité d'eau. La forme la plus avantageuse qu'on peut lui donner, pour avoir la plus

grande quantité d'eau, dans un temps donné, par un orifice déterminé, eſt celle que prend naturellement la veine fluide, à la ſortie d'un orifice percé dans une mince paroi. C'eſt-à-dire qu'il faut donnet à ce tuyau la forme d'un cône tronqué, dont la petite baſe ait pour diametre celui de l'orifice par lequel on déſire que ſe faſſe l'écoulement. Il faut de plus que l'aire de la petite baſe ſoit à l'aire de la grande, comme 10 eſt à 16; & que la diſtance d'une baſe à l'autre ſoit, à peu près, égale au demi-diametre de la grande baſe. Le reſte de la longueur du tuyau peut être cylindrique ou priſmatique. Alors l'écoulement ſera auſſi abondant que celui qui auroit lieu par un orifice égal à la petite baſe, percé dans une mince paroi, & dans lequel la veine fluide ne ſouffriroit aucune contraction.

389. Cette forme peut avoir ſon application à la pratique, lorſqu'il s'agit de dériver une certaine quantité d'eau d'une riviere, d'un aqueduc, &c. par un canal ou tuyau latéral.

390. Si l'on compare maintenant les écoulemens faits par des tuyaux additionnels de différens diametres, & ſous différentes hauteurs de réſervoirs, on a les réſultats ſuivans; les tuyaux additionnels ayant 2 pouces de long, & étant verticaux, ou placés au fond du réſervoir.

391.

391. *Hauteurs constantes de l'eau au dessus de l'orifice.*

	Diametres des tuyaux exprimés en lignes.		*Nombres de pouces cubes fournis pendant 1 minute.*
EXPÉR. 1.	6	L'eau sortant à plein tuyau.	1689
2.	10		4703
3 pieds 10 pouces ou 552 lignes. 3.	6	L'eau ne suivant pas les parois.	1293
4.	10		3598
5.	6	L'eau sortant à plein tuyau.	1222
6.	10		3402
2 pieds ou 288 lignes. 7.	6	L'eau ne suivant pas les parois.	935
8.	10		2603

392. Il résulte de ces expériences, 1°. que *les dépenses par différens tuyaux additionnels, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux aires des orifices ou aux quarrés de leurs diametres.*

393. 2°. Que *les dépenses par des tuyaux additionnels de même diametre, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux racines quarrées des hauteurs des réservoirs.*

394. 3°. Qu'en général, *les dépenses faites, pendant le même temps, par différens tuyaux additionnels, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont entre elles, à peu de chose près, comme les produits des quarrés des diametres des*

tuyaux par les racines quarrées des hauteurs des réservoirs.

395. On voit par-là que les écoulemens par des tuyaux additionnels suivent entre eux les mêmes loix que ceux qui se font par des orifices percés dans de minces parois (374 *& suiv.*)

396. D'après toutes ces expériences, on peut former la table suivante des dépenses d'eau, par un orifice donné, percé dans une mince paroi, en supposant que la veine fluide ne souffrît aucune contraction; ou par le même orifice, avec contraction de veine; ou par le même orifice garni d'un tuyau additionnel.

397. Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au dessus de l'orifice, exprimées en pieds.	Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un orifice de 1 pouce de diametre, sans contraction de veine, exprimées en pouces cubes.	Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un tuyau additionnel de 1 pouce de diametre & 2 pouces de long, exprimées en pouces cubes.	Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un orifice de 1 pouce de diametre, avec contraction de veine, exprimées en pouces cubes.
1	4381	3539	2722
2	6169	5002	3846
3	7589	6126	4710
4	8763	7070	5436
5	9797	7900	6075
6	10732	8654	6654
7	11592	9340	7183
8	12392	9975	7672
9	13144	10579	8135
10	13855	11151	8574
11	14530	11693	8990
12	15180	12205	9384
13	15797	12699	9764
14	16393	13197	10130
15	16968	13620	10472

Des Jets d'eau.

398. Quelle que soit la direction d'un jet, la dépense d'eau qu'il fait est toujours la même, pourvu que l'ajutage & la hauteur du réservoir au dessus de l'ajutage soient les mêmes. Cela est une suite nécessaire de la pression égale des fluides en tous sens (288).

399. L'eau, au sortir d'un ajutage quelconque très-petit, a une vîtesse capable de la faire re-

monter à la hauteur de la ſurface de l'eau dans le réſervoir (363) : ainſi les jets verticaux s'éleveroient, ſi rien ne les en empêchoit, à la hauteur entiere de leurs réſervoirs.

Pluſieurs cauſes concourent à diminuer l'élévation des jets verticaux : 1°. le frottement dans les tuyaux depuis le réſervoir juſqu'à l'ajutage (434) : 2°. le frottement contre le circuit de l'orifice : 3°. la réſiſtance que l'air oppoſe au mouvement de la colonne : 4°. le poids des particules d'eau qui, en montant, ont perdu toute leur vîteſſe, & qui retombent ſur celles qui montent encore. Car en inclinant un peu le jet, il s'éleve un peu plus haut que quand il eſt exactement vertical. Mais, dans ce cas-là, il ne produiroit pas un effet auſſi agréable aux yeux, que lorſque la gerbe retombe perpendiculairement ſur elle-même.

400. Lorſque l'ajutage ſe dirige obliquement à l'horizon, la force de projection & la peſanteur de l'eau font que le jet décrit ſenſiblement une parabole (275), dont l'amplitude eſt d'autant plus grande, que la hauteur du réſervoir eſt plus conſidérable ; car elle y eſt proportionnelle.

401. Lorſque l'ajutage ſe dirige horizontalement, le jet décrit une demi-parabole.

402. Les jets d'eau s'élevent d'autant plus haut, que les ouvertures des ajutages ſont plus grandes ;

parce que de deux jets d'eau qui, venant du même réservoir, sortent de leurs ajutages avec des vîtesses égales, le plus gros, 1°. éprouve moins de frottemens, 2°. a plus de masse, & par conséquent plus de force pour vaincre les obstacles. Mais quoique les gros jets s'élevent plus haut que les petits, ils ne dépensent cependant pas plus d'eau à proportion que ces derniers : car la dépense est comme le produit de l'ouverture de l'ajutage par la vîtesse au sortir de l'ajutage (364); & cette vîtesse est sensiblement la même pour l'un & pour l'autre, abstraction faite des frottemens.

403. Pour que les gros jets s'élevent plus haut que les petits, il faut cependant que les tuyaux de conduite soient assez gros pour fournir les eaux avec une abondance suffisante; car s'ils sont fort étroits, l'expérience prouve que les petits jets s'élevent plus que les gros. Il faut donc que le diametre du tuyau de conduite ait une certaine grandeur par rapport à celle de l'ajutage, pour que le jet s'éleve à la plus grande hauteur où il puisse atteindre. Si donc l'on compare deux jets d'eau différens, & que l'on veuille que chacun s'éleve à sa plus grande hauteur, il faut que *les quarrés des diametres des tuyaux de conduite soient entre eux en raison composée des quarrés des diametres des ajutages & des racines quarrées des*

hauteurs des réservoirs. Ainsi, si l'on connoît par expérience le diametre que doit avoir un tuyau de conduite, pour fournir à la dépense d'un ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir, on déterminera le diametre de tout autre tuyau, pour fournir à un autre ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir.

404. L'expérience a appris que, pour un ajutage de 6 lignes de diametre, & sous une hauteur de réservoir de 52 pieds, le diametre du tuyau de conduite doit être d'environ 39 lignes; & que, pour un ajutage de 6 lignes de diametre, & sous une hauteur de réservoir de 16 pieds, le diametre du tuyau de conduite doit être d'environ $28\frac{1}{2}$ lignes. Il n'y a aucun inconvénient à donner au tuyau de conduite un diametre plus grand que ne l'exige la regle ci-dessus; & il y en auroit un à lui en donner un plus petit.

405. On fait quelquefois les ajutages en forme de cônes ou de cylindres: on a tort. Les ajutages cylindriques sont les plus désavantageux de tous. Les ajutages qui procurent le plus d'élévation aux jets, sont ceux qui sont percés dans la platine horizontale qui ferme l'extrémité du tuyau. Il faut que cette platine soit bien polie, mince, d'une épaisseur uniforme, & percée perpendiculairement.

406. Il résulte de la comparaison de plusieurs

expériences faites sur les jets d'eau, que *les différences des hauteurs des jets verticaux, aux hauteurs de leurs réservoirs, sont entre elles sensiblement comme les quarrés des hauteurs des jets.* Si donc l'on connoît par expérience la quantité dont il s'en faut qu'un jet s'éleve à la hauteur de son réservoir, on connoîtra par une simple proportion, la quantité dont il s'en faudra que tout autre jet de hauteur donnée s'éleve à la hauteur de son réservoir. Si l'on veut connoître la hauteur du réservoir, on n'aura qu'à ajouter à la hauteur du jet la quantité trouvée par la proportion.

407. Lorsqu'on est obligé de couder les tuyaux de conduite, il faut éviter, autant qu'on peut, de les couder à angle droit; car le choc du courant, contre ces sortes d'angles, détruit une partie de la vîtesse, & fatigue beaucoup le tuyau de conduite.

408. Nous ajoutons ici une table, pour faciliter l'application des principes que nous venons d'établir.

On trouve dans les deux premieres colonnes les hauteurs des jets & les hauteurs correspondantes des réservoirs. La troisieme colonne contient, en pintes de Paris, dont 36 forment le pied cube, les dépenses pendant 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diametre, relativement

aux hauteurs de la ſeconde colonne. Connoiſſant les dépenſes par un ajutage de 6 lignes, une ſimple proportion fera connoître les dépenſes par tout autre ajutage ſous même hauteur dans le réſervoir ; puiſqu'il a été prouvé (374) que les dépenſes ſont alors entre elles comme les aires des ajutages, ou comme les quarrés des diametres de ces ajutages. Dans la quatrieme colonne on trouve les diametres que doivent avoir les tuyaux de conduite pour un ajutage de 6 lignes de diametre, relativement aux hauteurs de la ſeconde colonne. On connoîtra les diametres des tuyaux de conduite pour d'autres ajutages & d'autres hauteurs de réſervoir, en ſuivant la regle établie ci-deſſus (403).

Nota. Relativement aux deux dernieres colonnes, on a négligé les fractions dans le calcul.

409. *Hauteurs des jets exprimées en pieds.*	*Hauteurs des réservoirs exprimées en pieds & pouc.*		*Dépenses en 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diamètre, exprimées en pintes de Paris.*	*Diametres des tuyaux de conduite relatifs aux 2e. & 3e. colonnes, exprimés en lignes.*
5 pieds	5 pi.	1 po.	32 pintes.	21 lignes.
10	10	4	45	26
15	15	9	56	28
20	21	4	65	31
25	27	1	73	33
30	33	0	81	34
35	39	1	88	36
40	45	4	95	37
45	51	9	101	38
50	58	4	108	39
55	65	1	114	40
60	72	0	120	41
65	79	1	125	42
70	86	4	131	43
75	93	9	136	44
80	101	4	142	45
85	109	1	147	46
90	117	0	152	47
95	125	1	158	48
100	133	4	163	49

Des Pompes.

410. Les pompes ſont des machines hydrauliques deſtinées à élever de l'eau. Elles ſont compoſées de cylindres creux AB (*fig.* 51.) ou EF (*fig.* 53.) intérieurement bien alaiſés, & d'un diametre bien égal dans toute leur longueur, que l'on appelle *corps de pompe*, dans leſquels on *Fig.* 51. *Fig.* 53.

fait gliſſer un bouchon I, appelé *piſton*, que l'on met en jeu par le moyen d'une tige de métal Xx, à l'extrémité X de laquelle on adapte le moteur, à l'aide d'un levier XY, ou de quelque autre machine : à cela on joint un tuyau montant AT (*fig.* 51.), pour conduire l'eau à la hauteur qu'on déſire ; & enfin des clapets ou ſoupapes S, *s*. *Fig.* 51.

411. Il y a pluſieurs eſpeces de pompes. Les unes ſont foulantes ; les autres ſont aſpirantes ; & il y en a qui ſont tout à la fois aſpirantes & foulantes.

412. Il y a deux manieres de conſtruire les pompes foulantes. Dans les unes (*fig.* 51.), la colonne d'eau qu'on éleve, repoſe ſur le piſton que l'on tire : dans les autres (*fig.* 52.), la colonne d'eau réſiſte au piſton que l'on pouſſe. Les premieres peuvent être appelées *pompes foulantes ſoulevantes* ; & les ſecondes, *pompes foulantes repouſſantes*. *Fig.* 51. *Fig.* 52.

413. La pompe foulante ſoulevante (*fig.* 51.) eſt compoſée d'un corps de pompe AB, à la partie inférieure duquel eſt placé un bout de tuyau BN, ouvert par le bas, ou mieux encore percé de trous dans toute ſa longueur, de maniere que les ordures groſſieres ne puiſſent arriver juſqu'au corps de pompe. A la réunion de ce bout de tuyau avec le corps de pompe, eſt une *Fig.* 51.

ſoupape *s*, qui, en ſe ſoulevant, permet à l'eau d'entrer dans le corps de pompe, mais qui, enſuite en s'abaiſſant, ne lui permet pas d'en ſortir. Dans ce corps de pompe eſt un piſton I, percé de part en part, garni dans ſa partie ſupérieure d'une ſoupape S, & ſurmonté d'une fourchette *x*, par laquelle il eſt joint, au moyen d'une tête fendue comme celle d'un compas, à la tige *x*X qui le met en jeu, à l'aide du levier du premier genre (477) XZY, qui a ſon point d'appui en Z. A la partie ſupérieure A du corps de pompe, eſt adapté le tuyau montant AT, qui a ſon tuyau de décharge en T. Cette pompe doit être aſſujettie d'une maniere quelconque dans le puits ou baſſin, de façon que le corps de pompe AB ſoit tout entier au deſſous de la ſurface de l'eau A A.

414. Maintenant, ſi l'on ſouleve le piſton I en abaiſſant l'extrémité Y du levier YZX, de maniere que ce levier ſe trouve dans la poſition *y*Z*u*, ce piſton s'élevera dans le corps de pompe AB d'une quantité égale à X*u*; pendant lequel temps, la ſoupape *s* ſe ſoulevant, l'eau paſſera du baſſin dans la pompe, par la preſſion de l'eau extérieure (288). Que l'on abaiſſe enſuite le piſton, cette preſſion fait fermer la ſoupape *s* & ſoulever la ſoupape S. Par-là, l'eau qui étoit au deſſous du piſton, ſe trouve par-deſſus, & preſſe la ſoupape S contre ſon

trou ; ce qui l'empêche de repaſſer par-deſſous, lorſqu'on ſouleve de nouveau le piſton. Un ſecond coup de piſton élevera donc cette quantité d'eau, & permettra, par le même mécaniſme, à une nouvelle quantité de paſſer dans la pompe, & enſuite au deſſus du piſton, comme a fait la premiere : de ſorte que, par un certain nombre de coups de piſton, on parviendra à remplir le tuyau montant A T. Alors il ſortira à chaque coups de piſton, par le tuyau de décharge T, une maſſe d'eau égale à un cylindre qui aura pour baſe la largeur du piſton, & pour longueur le chemin que le piſton parcourra dans le corps de pompe. C'eſt ce chemin parcouru que l'on appelle *jeu du piſton*.

415. Il eſt aiſé de ſavoir quel eſt le poids de la colonne d'eau dont le piſton eſt chargé, lorſque le tuyau montant eſt plein ; & en conſéquence quelle eſt la force qu'il faut faire agir en Y pour faire jouer la pompe. Nous avons prouvé ci-deſſus (294) que *les liqueurs peſent en raiſon de leur hauteur perpendiculaire, & de la largeur de la baſe qui s'oppoſe à leur chûte*. Dans une pompe, cette baſe eſt le piſton, & la hauteur perpendiculaire eſt celle du tuyau montant au deſſus de la ſurface de l'eau. Ainſi, quand le tuyau montant eſt plein, la charge ſur le piſton eſt égale au poids d'un cylindre d'eau qui auroit

pour diamètre celui du piston ; & pour hauteur, celle du tuyau montant au dessus de la surface de l'eau, quel que soit le diamètre du tuyau montant : ce qui est aisé à calculer, lorsqu'on sait qu'un cylindre d'eau d'un pied de diamètre & d'un pied de haut, pese 55 livres.

416. Il suit de là, qu'on ne diminue point le poids de la colonne d'eau, en diminuant le diamètre du tuyau montant. On augmente même par-là la résistance qu'il faut vaincre, à cause de l'augmentation des frottemens, qui sont plus considérables dans les petits tuyaux que dans les gros (105) ; parce que les surfaces relatives augmentent, comme les diamètres diminuent. Aussi, si ce n'étoit pas pour épargner la dépense, on auroit grand tort de faire, comme cela est cependant d'usage, les tuyaux montans plus petits que le corps de pompe. Il vaudroit mieux leur donner un diamètre un peu plus grand que celui du corps de pompe : alors la colonne d'eau qu'on éleve, glisseroit dans un tuyau d'eau, & n'éprouveroit par conséquent que des frottemens de la seconde espece (97).

417. La pompe foulante repoussante est composée d'un corps de pompe CD (*fig.* 52), tout-à-fait fermé par le bas, entierement ouvert par le haut, & dans lequel est un piston K, qui ne differe de celui de la précédente pompe (413) qu'en ce que sa soupape S est placée à sa partie infé- *Fig.* 52.

rieure. Ce piston, ainsi que celui de la pompe précédente, se met en jeu à l'aide d'un levier YXZ, mais du second genre (477), & qui a son point d'appui en Z. Son tuyau montant DO est placé à côté du corps de pompe, avec lequel il communique, & est garni d'une soupape *s* dans sa partie inférieure, & d'un tuyau de décharge O à sa partie supérieure. Cette pompe, ainsi que la précédente, doit être assujettie dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe CD soit tout entier au dessous de la surface de l'eau AA.

418. L'eau remplit le corps de pompe, en tombant par l'ouverture C & passant au travers du piston K, dont la soupape S, vu sa position, se trouve naturellement ouverte. Si l'on vient à abaisser le piston K, en amenant le levier YXZ dans la situation *y u* Z, la résistance de l'eau contre la soupape S la ferme aussi-tôt. Cette eau ne pouvant donc pas repasser au dessus du piston, est obligée d'enfiler le tuyau montant DO, en soulevant la soupape *s*. Si-tôt qu'on releve le piston, la soupape *s* se ferme par la pression de l'eau qui est au dessus; & la soupape S s'ouvre, en retombant par son propre poids. Il passe donc une nouvelle masse d'eau au dessous du piston, qui, par un second abaissement du même piston, est contrainte de passer, comme la premiere, dans le

tuyau montant. De sorte que, par un certain nombre de coups de piston, on parvient à remplir le tuyau montant D O. Alors tout se passe comme dans la précédente pompe. Si dans l'une & dans l'autre le piston est de même diametre, & si les tuyaux montans sont de la même hauteur perpendiculaire, les poids des deux colonnes d'eau sont égaux; & ces deux pompes exigent la même force motrice pour être mises en jeu; car, dans ce cas-là, c'est la même chose, quant à cette force, ou qu'elle ait à élever le piston chargé de la colonne d'eau, ou qu'elle ait à pousser la colonne d'eau avec le piston.

419. La pompe aspirante (*fig.* 53.) est composée d'un corps de pompe E F, ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration F P. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape *s*, destinée à permettre, en se soulevant, à l'eau d'entrer du tuyau d'aspiration P F dans le corps de pompe F E; & à l'empêcher, en s'abaissant, d'en sortir par la même voie. Dans le corps de pompe est un piston L, tout-à-fait pareil à celui I (*fig.* 51.) de la premiere espece de pompe foulante, dont nous avons parlé ci-dessus (413), & qui se met en jeu de la même façon, & à l'aide d'un levier X Z Y (*fig.* 53.) du même genre. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que *Fig.* 53. *Fig.* 51. *Fig.* 53.

l'extrémité inférieure du tuyau d'aſpiration FP qui plonge dans l'eau.

420. Dans le moment de l'inaction de la pompe, les deux ſoupapes S & *s* ſont naturellement fermées par leur propre poids. Si l'on vient à ſoulever le piſton L, en amenant le levier XZY dans la ſituation *u*Z*y*, on ſoulève la colonne d'air qui repoſe deſſus ; & l'air qui eſt renfermé dans le tuyau d'aſpiration, depuis la ſurface de l'eau *a* juſqu'au piſton, ayant alors plus de place à occuper, devient plus rare que l'air extérieur. Ce dernier preſſe donc avec avantage ſur la ſurface de l'eau *a*, & l'oblige à monter dans le tuyau d'aſpiration, juſqu'à ce que l'air intérieur ait repris ſa premiere denſité, en occupant moins de place. De ſorte qu'après quelques coups de piſton, l'eau arrive au corps de pompe, & paſſe au travers du piſton, en ſoulevant les ſoupapes *s* & S l'une après l'autre ; lequel piſton, en s'élevant, oblige l'eau de s'échapper par le tuyau de décharge E.

421. Comme c'eſt la preſſion de l'air qui fait monter l'eau dans cette pompe, & que cette preſſion ne peut ſoutenir une colonne d'eau que d'environ 32 pieds (301), il eſt clair que le tuyau d'aſpiration ne doit pas avoir plus de longueur. Dans l'uſage ordinaire, on ne lui donne pas même 32 pieds. Pour que la preſſion de l'air pût ſoutenir une colonne d'eau de cette hauteur, il faudroit

faudroit, 1°. que la pompe aſpirante fût faite avec la plus grande exactitude, & demeurât toujours telle; 2°. qu'elle fût placée au niveau de la mer, ou à peu près, parce que c'eſt là où la preſſion de l'air eſt la plus forte; 3°. que la preſſion de l'air ne variât point. Or le plus ſouvent ces données n'ont pas lieu. On ſe contente donc aſſez ordinairement de donner au tuyau d'aſpiration 23 ou 24 pieds. Si l'on a à élever l'eau à une plus grande hauteur, il faut ſe ſervir de la pompe foulante. Il eſt vrai que l'uſage de cette derniere eſt ſujet à bien des inconvéniens. On eſt obligé de placer ſon corps de pompe dans le puits ou dans le baſſin: & lorſqu'il y a à y travailler, ce qui n'arrive que trop ſouvent, il faut de deux choſes l'une; ou vider le puits ou le baſſin, ou en retirer le corps de pompe: ce qui eſt très-incommode & très-couteux. Pour éviter ces inconvéniens, ce qu'il y a à faire de mieux en pareil cas, c'eſt de rendre la pompe tout-à-la-fois aſpirante & foulante, comme nous le verrons ci-après (425).

422. En 1766, on prétendit & l'on fit mettre dans les Papiers publics, qu'on avoit fait, à Séville en Eſpagne, une pompe ſimplement aſpirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds; & l'on conclut en conſéquence, que juſqu'alors on s'étoit lourdement trompé, en diſant que la preſſion de l'air ne pouvoit ſoutenir une colonne d'eau que de 32 pieds.

Voyons jusqu'à quel point cette prétention étoit fondée. Un Ferblantier peu instruit, construisit effectivement, à Séville, une pompe aspirante, au tuyau d'aspiration de laquelle il donna 60 pieds de longueur, parce qu'il avoit besoin d'élever l'eau à cette hauteur. Sa pompe en place, il la mit en jeu, & ne put jamais parvenir à faire arriver l'eau au corps de pompe. Soit impatience ou colere, il donna un coup de hache, & fit une petite ouverture au tuyau d'aspiration à environ 10 pieds au dessus de la surface de l'eau du bassin. Aussi-tôt il arriva une petite portion d'eau au corps de pompe. C'est d'après ce procédé qu'on a prétendu avoir fait une pompe aspirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds. Le Lecteur peut juger cette prétention.

423. Supposons donc que le tuyau d'aspiration P F a, depuis *a*, surface de l'eau du bassin, jusqu'en F, 60 pieds de hauteur; & qu'après un certain nombre de coups de piston, on est parvenu à faire monter l'eau jusqu'en *c* à 32 pieds de hauteur. Si l'on fait alors un petit trou en *b* à 10 pieds au dessus de la surface de l'eau, l'air qui entre par ce petit trou, & qui exerce sa pression en toutes sortes de sens (301), fait tomber dans le bassin la colonne d'eau de 10 pieds qui est au dessous de *b*; & la pression que l'air exerce en *b* de bas en haut, n'a plus affaire qu'à une colonne d'eau de 22 pieds. Elle pourroit donc porter cette colonne, non pas

seulement à 60 pieds, mais à plus de 8000 pieds de hauteur. Car l'air, pris vers la surface de la terre, est plus de 800 fois moins dense que l'eau (885); & en supposant (ce qui n'est pas) que sa densité ne fût pas en diminuant, à mesure qu'on s'éleve, les 10 pieds d'eau retranchés équivaudroient donc à plus de 8000 pieds d'air. La colonne d'air qui presseroit en *b*, seroit donc trop forte de plus de 8000 pieds. Ainsi les 22 pieds d'eau restans ne seroient en équilibre avec la colonne d'air, qu'après être montés à plus de 8000 pieds. Pour avoir une seconde portion d'eau avec une pareille pompe, il faudroit commencer par boucher le trou qu'on auroit fait en *b*; ensuite donner plusieurs coups de piston, pour élever l'eau jusqu'en *c*; & enfin venir rouvrir le trou en *b*. Regardera-t-on ce procédé bien simple? & pour avoir une si petite quantité d'eau. Encore faudroit-il que le tuyau d'aspiration fût d'un petit diametre; sans quoi la colonne d'eau se déchireroit, l'air passeroit au travers, & il ne monteroit pas une goutte d'eau au corps de pompe. Pour annoncer fausse une opinion universellement reçue, il faut, pour le moins, y penser à deux fois.

424. Fort peu de temps après, le S^r. *Bellangé*, Orfévre-Bijoutier, demeurant à la Place Dauphine, à Paris, imita la pompe de Séville, & lui donna de plus la propriété de fournir de l'eau à 55 pieds

de hauteur par un jet continu, quoiqu'elle ne fût que ſimplement aſpirante. Voici comment il s'y prit. A un petit corps de pompe de 25 lignes de diametre intérieur, & dont le piſton avoit 8 pouces de jeu, il adapta un tuyau d'aſpiration de 10 lignes de diametre & de 56 pieds de longueur: ce tuyau étoit garni d'une ſoupape à ſa jonction avec le corps de pompe, & d'une autre à ſon extrémité inférieure. Cette extrémité plongeoit dans un tonneau plein d'eau. Le S^r. *Bellangé* avoit fait à ce tuyau un petit trou d'environ $\frac{1}{2}$ ligne de diametre, à 12 ou 15 pouces au deſſus de la ſurface de l'eau du tonneau. Le tout ainſi diſpoſé, s'il faiſoit mouvoir le piſton lentement, il ne montoit point d'eau: le petit trou fourniſſoit aſſez d'air pour remplir le tuyau d'aſpiration. Mais s'il faiſoit jouer le piſton avec beaucoup de vîteſſe, le petit trou ne pouvant pas, en ſi peu de temps, fournir aſſez d'air pour remplir le tuyau, il montoit un peu d'eau qui ſe mêloit à l'air: de ſorte que la colonne ſe trouvoit compoſée de petits cylindres alternativement d'air & d'eau; & quoiqu'elle eût 55 pieds de hauteur, il s'en falloit de beaucoup qu'elle peſât autant que peſeroit une colonne d'eau continue de 32 pieds de haut. Auſſi, ayant calculé, d'après le diametre du corps de pompe, & l'étendue du jeu du piſton, la quantité d'eau que cette pompe auroit dû fournir, s'il

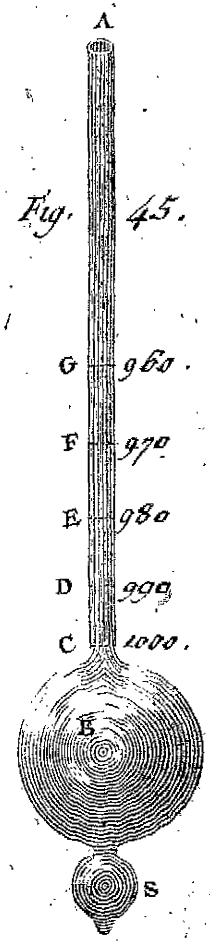


Fig. 45.

Fig. 46.



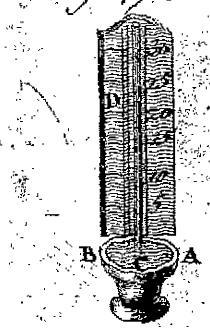


Fig. 47.

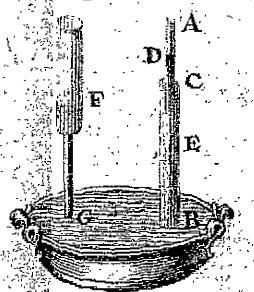


Fig. 48.

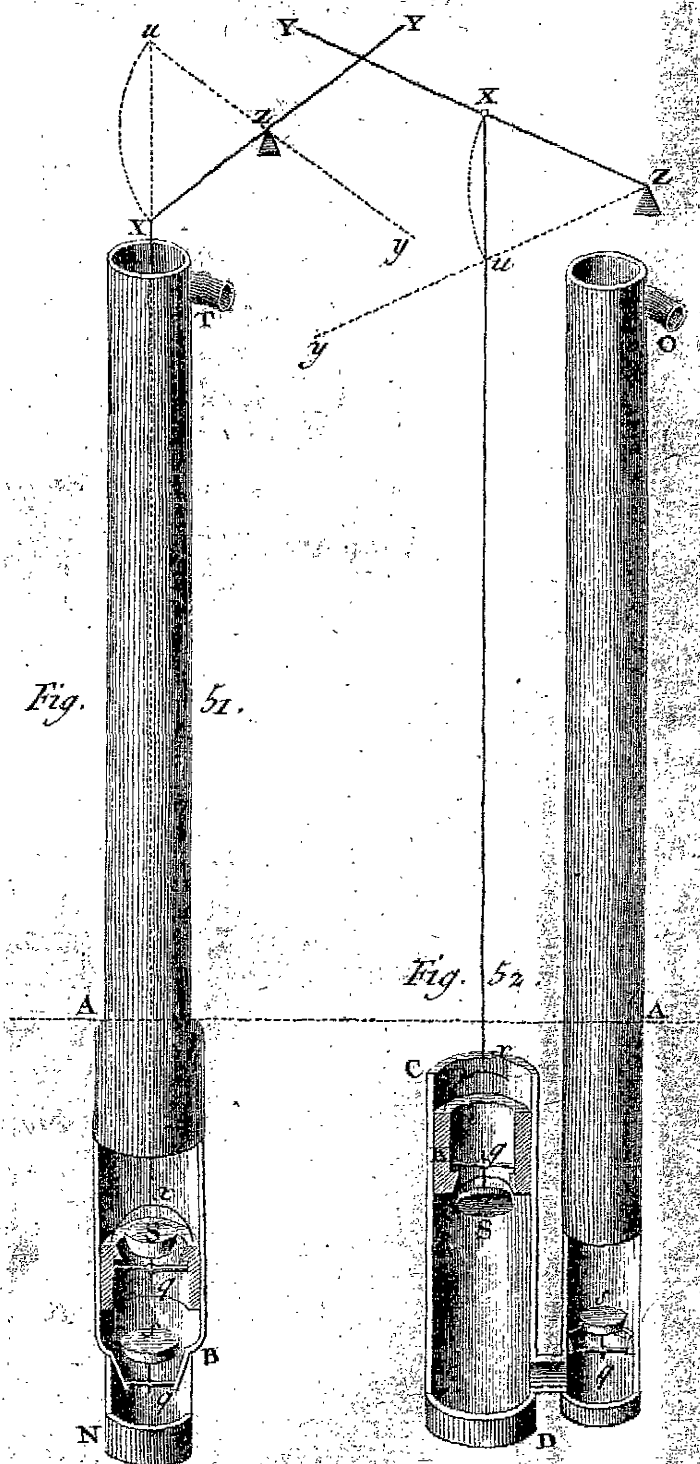


Fig. 51.

Fig. 52.

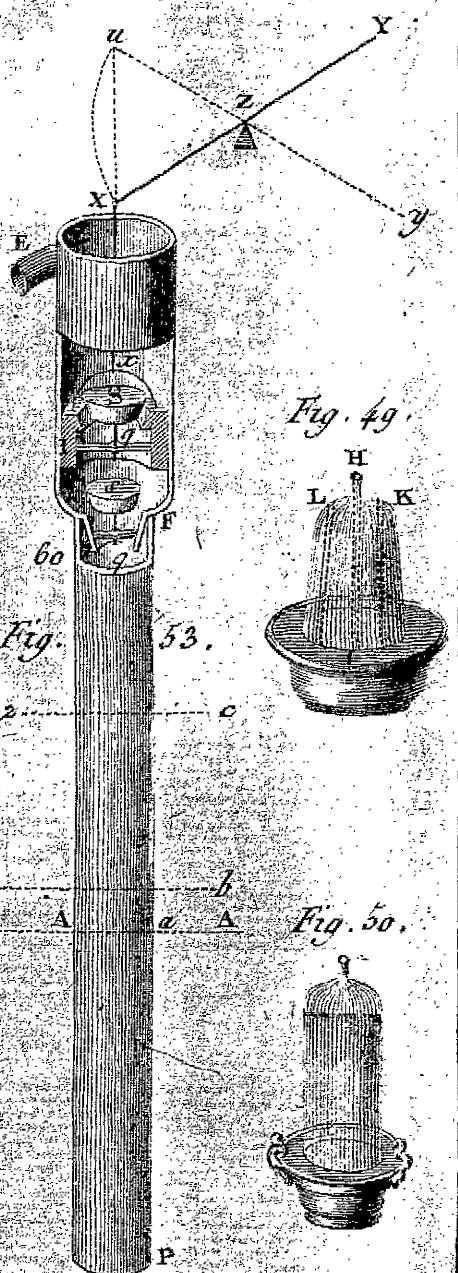


Fig. 53.

Fig. 49.

Fig. 50.

n'étoit point passé d'air, & ayant comparé cette quantité à celle qu'elle nous fournit réellement, je trouvai cette derniere de beaucoup inférieure. Car, en 6 minutes de temps, on donna 530 coups de piston, qui ne fournirent que 36 pintes d'eau; ils en auroient dû fournir plus de 292 pintes. Cette pompe ne nous fournit donc pas la huitieme partie de l'eau qu'elle auroit dû nous fournir. Ainsi, quoiqu'elle paroisse mieux conçue, elle ne vaut pas mieux que celle de Séville.

425. La pompe aspirante & foulante est composée d'un corps de pompe GH (*fig.* 54.), ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration HV. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape S, destinée au même usage que dans la pompe simplement aspirante (419). Dans le corps de pompe est un piston M, non pas percé comme les précédens, mais plein, & qui est mis en jeu à l'aide de la tige xX, & d'un levier YXZ du second genre (477), qui a son point d'appui en Z. A côté du corps de pompe, & vers le bas, est adapté un tuyau montant HR, garni d'une soupape *s* dans sa partie inférieure, & d'un tuyau de décharge R dans sa partie supérieure. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration HV qui plonge dans l'eau. *Fig.* 54.

426. Il eſt aiſé de voir que la premiere action de cette pompe eſt d'être aſpirante, comme celle dont nous avons parlé ci-deſſus (419). Car ſi l'on ſouleve le piſton M, en amenant le levier YXZ dans la ſituation yuZ, on ſouleve la colonne d'air qui repoſe deſſus : l'air qui eſt dans le tuyau d'aſpiration, devient par-là plus rare que l'air extérieur. Ce dernier preſſe donc avec avantage ſur la ſurface de l'eau AA, & la porte, après quelques coups de piſton, juſque dans le corps de pompe. Arrivée là, ſi l'on abaiſſe le piſton M, la ſoupape S ſe ferme, & l'eau eſt contrainte d'enfiler le tuyau montant HR, en ſoulevant la ſoupape s; laquelle, ſi-tôt que la preſſion ceſſe, retombe par ſon poids & celui de l'eau qui eſt au deſſus. On voit donc que le piſton aſpire en montant, & foule en deſcendant.

427. Cette pompe eſt très-commode, en ce que ſon corps de pompe étant placé hors de l'eau, on peut y faire aiſément les réparations néceſſaires ; & en ce qu'on peut, par ſon moyen, porter l'eau à telle hauteur que l'on veut ; il ne s'agit pour cela que de donner plus de longueur au tuyau montant, & augmenter la force qui doit mettre la pompe en jeu.

428. On peut mettre dans le genre de la précédente (425) la pompe d'incendie, qui non ſeulement eſt tout à la fois aſpirante & foulante,

mais dont le jet eſt continu, quoiqu'elle n'ait qu'un corps. Cette pompe eſt, pour l'eſſentiel, compoſée comme la pompe aſpirante & foulante (*fig.* 54.), dont nous venons de parler (425); avec cette différence que ſon tuyau d'aſpiration eſt beaucoup plus court; & qu'au lieu de tuyau montant ſolide, elle porte un tuyau de cuir, auquel on donne une longueur convenable. Cette pompe (*fig.* 55.) eſt donc compoſée d'un corps de pompe GH, ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel eſt adapté le tuyau d'aſpiration HT. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, eſt une ſoupape S, deſtinée à empêcher que l'eau, une fois paſſée dans le corps de pompe, retourne dans le baſſin. Dans ce corps de pompe eſt un piſton M, non pas percé, mais plein, & qui eſt mis en jeu à l'aide de la tige de métal *x*X, & d'un levier du ſecond genre (477) YXZ, qui a ſon point d'appui en Z. Vers le bas du corps de pompe & ſur le côté, eſt un trou C que l'on recouvre d'un clapet *cl*, dont la queue *l* eſt à reſſort, & attachée avec une petite vis. Ce clapet eſt deſtiné à empêcher que l'eau, ſortie du corps de pompe, puiſſe y rentrer, lorſqu'on ſoulève le piſton M. Le corps de pompe GH eſt enveloppé de toutes parts d'un tuyau ABDE, d'un diametre de 2 ou 3 pouces plus grand que celui du corps de pompe; & l'intervalle qui

Fig. 54.

Fig. 55.

demeure entre l'un & l'autre, eſt rempli d'air. A la partie inférieure de ce tuyau & ſur le côté, eſt adapté un autre petit tuyau coudé E R, garni à ſon bout R d'une ſoupape *s* & d'une virole à vis, deſtinée à recevoir un écrou, par le moyen duquel on joint, à ce bout de tuyau, le tuyau de cuir dont nous avons parlé ci-deſſus, & qui tient lieu de tuyau montant. Tout cet aſſemblage eſt
Fig. 56. placé comme on le voit en P (*fig.* 56.), ſur une caiſſe N O doublée de plomb, qui contient l'eau, & ſerré de haut en bas entre le couvercle L de la caiſſe & une traverſe Q, au travers de laquelle
Fig. 55. paſſe le bout ſupérieur F (*fig.* 55.) du corps de pompe, qui pour cela eſt d'un plus petit diametre
Fig. 56. que le reſte. Le couvercle L (*fig.* 56) de la caiſſe eſt auſſi percé à ſon milieu, pour laiſſer paſſer le
Fig. 55. tuyau d'aſpiration H T (*fig.* 55.)

429. On voit maintenant que, ſi l'on ſouleve le piſton M, en amenant le levier Y X Z dans la ſituation *y u* Z, la ſoupape *s* & le clapet *c*, placé en C, ſe trouvent ſerrés contre leurs trous par la preſſion de l'air extérieur. Cette même preſſion, agiſſant ſur la ſurface de l'eau V V, l'oblige de paſſer dans le corps de pompe, en ſoulevant la ſoupape S. La pompe eſt donc alors aſpirante. Mais lorſqu'on abaiſſe le piſton M, la preſſion que cela cauſe, ferme la ſoupape S, & ouvre le clapet qui eſt en C : l'eau paſſe donc alors, non ſeulement

dans le tuyau de cuir *a b d* (*fig.* 56.) en ſoulevant la ſoupape *s* (*fig.* 55.), mais encore dans l'intervalle qui ſe trouve entre le corps de pompe & le tuyau qui l'enveloppe, en montant vers IK, & y comprimant l'air qui y eſt renfermé. Si-tôt qu'on ſouleve de nouveau le piſton M, cet air n'étant plus ſoumis à la preſſion qu'il éprouvoit, ſe développe par ſon reſſort, agit ſur l'eau qui eſt entre le corps de pompe & le tuyau qui l'enveloppe, & la pouſſe dans le tuyau de cuir : de ſorte que, lorſqu'on abaiſſe le piſton, l'eau eſt pouſſée par le piſton lui-même ; & lorſqu'on le ſouleve, l'eau eſt pouſſée par le reſſort de l'air (905) : ce qui rend le jet continu, quoiqu'il n'y ait qu'un corps de pompe. *Fig.* 56. *Fig.* 55.

430. La continuité du jet eſt néceſſaire dans les incendies. On l'obtient avec cette pompe, en employant le reſſort de l'air dans le moment où l'on ſouleve le piſton. Il eſt vrai qu'il faut alors, pour faire jouer la pompe, une force double ; ſavoir, une force capable de pouſſer la colonne d'eau, & une force pareille pour comprimer l'air. Mais ce n'eſt point un inconvénient ; car, dans le cas d'incendie, on manque rarement de bras : il n'y en a ſouvent que trop.

431. On emploie, pour mouvoir les pompes, toutes ſortes d'agens, comme des hommes, des chevaux, des courans d'eau, l'action du vent, &c.

Les petites machines de ce genre, telles que les pompes à puits ou à incendies, ſont ordinairement mues à bras d'hommes. Lorſqu'on a à élever une quantité conſidérable d'eau, on augmente à proportion la force motrice : & pour qu'elle exerce continuellement le même effort, du moins à peu près, ſans reſter jamais oiſive, on établit pluſieurs équipages de pompes ; de maniere que lorſqu'une partie des piſtons deſcend, l'autre monte. C'eſt ainſi qu'on l'a pratiqué à la Machine de Marli.

432. Tout le jeu de ces machines dépend de la régularité du mouvement alternatif des ſoupapes ou des clapets. Il faut donc que ces pieces ſoient tellement conſtruites & diſpoſées, qu'elles tiennent bien l'eau, quand elles ſont fermées, & qu'elles s'ouvrent facilement quand elles doivent le faire.

433. On emploie auſſi quelquefois, pour mettre des pompes en jeu, l'action de l'eau réduite en vapeur par l'action du feu ; & c'eſt ce qu'on appelle *pompes à feu*, qui ſont des machines hydrauliques, propres à élever une grande quantité d'eau à une grande hauteur. Nous en parlerons ci-après (1067) en traitant de l'eau comme vapeur ; & en faiſant connoître les efforts énormes dont eſt capable ce fluide élaſtique.

Mouvemens des Eaux dans les Tuyaux de conduite.

434. Lorſqu'on veut conduire de l'eau d'un endroit à un autre, il eſt clair qu'il faut des tuyaux de conduite d'autant plus longs, que l'endroit d'où l'eau part & celui où elle doit arriver ſont plus diſtans l'un de l'autre. Dans les tuyaux additionnels, dont nous avons parlé ci-deſſus (381 *& ſuivant.*), nous avons peu tenu compte de la réſiſtance des frottemens, parce qu'elle y eſt peu ſenſible. Il n'en eſt pas de même dans les longs tuyaux : le frottement de l'eau contre leurs parois, ralentit conſidérablement la vîteſſe, comme le prouve l'expérience. Suppoſons d'abord les tuyaux rectilignes.

435. Dans ces expériences, on s'eſt ſervi de deux tuyaux, dont l'un avoit 16 lignes de diametre intérieur, & l'autre 2 pouces. On a alongé ſucceſſivement les deux tuyaux, depuis 30 pieds juſqu'à 180. Et la hauteur conſtante de l'eau dans le réſervoir, au deſſus de l'axe de chaque tuyau, a été tantôt de 1 pied, tantôt de 2 pieds.

436. On voit dans la table ſuivante les réſultats de toutes ces expériences.

Hauteur constante de l'eau dans le réservoir au dessus de l'axe du tuyau, exprimée en pieds.	*Distance des points où l'on a reçu l'eau au point où on l'a prise, exprimée en pieds.*	*Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 16 lignes de diametre.*	*Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 2 pouces de diametre.*
1	30	2778	7680
1	60	1957	5564
1	90	1587	4534
1	120	1351	3944
1	150	1178	3486
1	180	1052	3119
2	30	4066	11219
2	60	2888	8190
2	90	2352	6812
2	120	2011	5885
2	150	1762	5232
2	180	1583	4710

437. Si, au moyen de la table ci-dessus (397), on cherche les dépenses de deux bouts de tuyaux additionnels, de 16 lignes & de 2 pouces de diametre, sous mêmes hauteurs de réservoir, & sans avoir égard aux frottemens, mais seulement aux aires des orifices des tuyaux, on trouve que, pendant 1 minute,

1°. La hauteur du réservoir étant de 1 pied, le tuyau de 16 lignes de diametre fourniroit 6292 pouces cubes d'eau.

2°. La hauteur du réservoir étant de 2 pieds, le même tuyau fourniroit 8893 pouces cubes d'eau.

3°. La hauteur du réſervoir étant de 1 pied, le tuyau de 2 pouces de diametre fourniroit 14156 pouces cubes d'eau.

4°. La hauteur du réſervoir étant de 2 pieds, le même tuyau fourniroit 20008 pouces cubes d'eau.

On voit que ces dépenſes d'eau ſont beaucoup plus grandes que leurs correſpondantes dans la table précédente ; & que la dépenſe de chaque tuyau diminue d'autant plus que ce tuyau eſt plus long, parce qu'alors il y a plus de ſurfaces frottantes.

438. Mais on peut remarquer auſſi que la diminution de la dépenſe n'eſt pas en proportion de l'alongement du tuyau : cette dépenſe diminue à meſure qu'on alonge le tuyau, mais par des quantités qui décroiſſent ; car les premiers 30 pieds diminuent beaucoup plus la dépenſe que ne le font les ſeconds 30 pieds ; & le troiſieme alongement de 30 pieds diminue encore moins la dépenſe que ne le fait le ſecond ; & ainſi de ſuite.

439. Il réſulte de tout ceci, que, dans la pratique, où l'on n'a pas beſoin d'une ſi grande préciſion, on peut prendre pour regle, que *les dépenſes faites, en temps égaux, par un même tuyau horizontal, ſous une même hauteur de réſervoir, & pour différentes diſtances de l'orifice*

de ſortie à l'origine du tuyau, ſont entre elles, à peu près, en raiſon inverſe des racines quarrées de ces diſtances.

440. On peut remarquer, par la table précédente, que le tuyau de 16 lignes de diametre dépenſe moins, à proportion, que celui de 2 pouces, ſous une même hauteur de réſervoir & une même longueur. Cela vient de ce qu'il y a relativement aux quantités d'eau que ces tuyaux peuvent contenir, plus de ſurfaces frottantes dans le petit tuyau que dans le gros (416).

441. Si le même tuyau, au lieu d'être rectiligne, eſt curviligne, cela diminue encore la dépenſe, mais d'une petite quantité : & cette dépenſe eſt encore un peu plus diminuée, ſi le plan du tuyau curviligne eſt mis dans une poſition verticale, plutôt que dans une poſition horizontale. Cette petite diminution eſt produite par le choc de l'eau contre les angles du tuyau, qui fait perdre une partie de la vîteſſe.

442. Mais ſi le tuyau, au lieu d'être curviligne, étoit compoſé de parties droites qui fiſſent des angles entre elles, la diminution ſeroit plus grande, & d'autant plus que ces angles ſeroient moins ouverts ; parce qu'alors le choc de l'eau ſeroit moins oblique, & feroit par-là perdre plus de vîteſſe.

443. Quand les tuyaux ſont courbes, &

que le plan de leur courbure eſt vertical (*fig.* 57.), il y a alors des pentes & des contre-pentes, dans leſquelles l'air peut ſe cantonner, & ralentir, ou même arrêter le cours de l'eau. Soit, par exemple, le tuyau ABCDEFG, dont l'extrémité ſupérieure A répond à un réſervoir qui lui fournit l'eau, & l'extrémité G va fournir de l'eau à une fontaine. Le tuyau n'étant rempli que d'air, ſi l'on fournit de l'eau en A, cette eau, chaſſant l'air devant elle, remplira la portion AB plus la portion BC : l'eau arrivée à la courbure C, gliſſera par la partie inférieure de cette courbure, & ira (comme l'expérience le prouve) remplir le coude D, laiſſant derriere elle la colonne d'air CD, qui ne pourra plus ſortir. L'eau continuant de couler, montera de D en E, où étant arrivée, elle gliſſera encore par la partie inférieure de cette courbure, pour aller remplir le coude F, laiſſant derriere elle une ſeconde colonne d'air EF, qui y demeurera cantonnée, malgré la preſſion de la colonne AB. Car la colonne d'air CD ne peut pas contre-balancer la preſſion de la colonne d'eau DE; non plus que la colonne d'air EF ne contre-balancera la colonne d'eau FI. De ſorte que, quoique l'eau ſoit dans le tuyau AB bien au deſſus du niveau G, l'eau ne pourra s'élever que vers I, & ne coulera point. Le ſeul remede eſt de chaſſer les deux

Fig. 57.

colonnes d'air CD & EF, en mettant, au ſommet des courbures, deux bouts de tuyau C & E, par leſquels on laiſſera échapper l'air, & que l'on fermera enſuite avec des tampons ou des robinets, lorſque le cours de l'eau ſera bien établi.

Mouvement oſcillatoire de l'Eau dans un Siphon.

444. Nous avons prouvé ci-deſſus (262) que, *Fig. 29.* ſi un corps lourd ou pendule A (*fig.* 29.) ſuſpendu par le moyen d'un fil CE, décrit des arcs de cercle BAD ou FAG, en oſcillant autour du point fixe C, toutes ſes oſcillations ſont iſochrones ou de même durée, quoique les arcs parcourus BAD ou FAG ſoient inégaux. Nous avons prouvé auſſi (263) que les durées des oſcillations de deux pendules de longueurs inégales, ſont entre elles comme les racines quarrées de ces longueurs. Le mouvement de l'eau, qui ſe balance ou oſcille dans un ſiphon, eſt de même genre.

Fig. 58. 445. Suppoſons un ſiphon (*fig.* 58.) compoſé de trois branches, deux verticales *ln*, *mo*, & une horizontale *no*; que le diametre intérieur de ce ſiphon ſoit bien égal dans toute ſon étendue; que, dans ce ſiphon, le fluide, dans l'état de repos, occupe l'eſpace *anod* : alors les deux ſurfaces *ab*, *cd*, ſont de niveau. Suppoſons enſuite

que,

que, par une cauſe quelconque, la liqueur ſoit forcée de deſcendre en *gh*, dans la branche *mo*, & par conſéquent de s'élever en *ef*, dans la branche *ln* : ſi-tôt que cette cauſe ceſſera d'agir, le fluide ſera abandonné uniquement à l'action libre de ſa peſanteur. L'excès de longueur de la colonne *en* ſur celle de la colonne *ho* forcera la liqueur de deſcendre, & même au deſſous du niveau de l'autre, à cauſe de l'accélération de ſa chûte (216); ce qui fera monter la liqueur dans l'autre branche *mo*; laquelle liqueur redeſcendra & remontra enſuite alternativement, formant des oſcillations ſemblables à celles d'un pendule qui va & vient : & la durée de chacune de ces oſcillations ſera préciſément la même que celle des oſcillations d'un pendule qui auroit pour longueur la moitié de la longueur *pqr* de la colonne fluide.

446. Puiſque les oſcillations de l'eau ſuivent les mêmes loix que celles des pendules (263), ſi l'on augmente ou diminue la longueur de la colonne d'eau, la durée de chacune de ſes oſcillations augmentera ou diminuera, & ſuivra la raiſon ſoudoublée de cette longueur.

Mouvement oſcillatoire de l'Eau dans les Ondes.

447. *Newton*, dans ſes *Principes mathématiques* (*Liv. II. Prop.* 46) compare au mouvement

oſcillatoire de l'eau dans un ſiphon, le mouvement d'ondulation d'une maſſe fluide indéfinie, qui a été dérangée de ſa ſituation d'équilibre par l'action du vent ou de toute autre maniere. Soit
Fig. 59. AB̃CDEF (*fig.* 59.) une eau ſtagnante dont la ſurface monte & deſcende par des ondes ſucceſſives, que A, C, E ſoient les éminences de ces ondes, & B, D, F les cavités intermédiaires qui les ſéparent. Comme le mouvement des ondes ſe fait par l'aſcenſion & la deſcenſion ſucceſſive de l'eau; en ſorte que ces parties qui ſont les plus hautes, deviennent enſuite les plus baſſes, & ainſi de ſuite alternativement & ſucceſſivement; & comme la force motrice qui fait monter les parties les plus baſſes & deſcendre les plus hautes, eſt le poids de l'eau élevée; cette aſcenſion & cette deſcenſion alternatives ſont analogues au mouvement d'oſcillation de l'eau dans un ſiphon, & elles obſervent les mêmes loix par rapport à leur durée.

448. Si donc l'on a un pendule dont la longueur ſoit égale à la moitié de la diſtance tranſverſale qu'il y a entre une éminence A, par exemple, & la cavité B, c'eſt-à-dire, égale à la moitié de A*b*, les parties les plus hautes deviendront les plus baſſes dans la durée d'une oſcillation de ce pendule; & dans la durée d'une autre oſcillation, elles redeviendront les plus hautes.

Chacune de ces ondes parcourra donc ſa largeur dans le temps que le pendule emploiera à faire deux oſcillations. Et comme un pendule dont la longueur ſeroit quadruple de celle du précédent, c'eſt-à-dire, dont la longueur égaleroit la largeur AC de l'onde, ne feroit qu'une oſcillation pendant que le premier en feroit deux (263), on doit conclure que les ondes font leurs oſcillations dans le même temps qu'un pendule qui auroit pour longueur la largeur des mêmes ondes, feroit les ſiennes. On appelle *largeur des ondes*, l'eſpace tranſverſal AC qui eſt entre leurs plus grandes élévations, ou l'eſpace BD qui eſt entre leurs plus grands abaiſſemens.

449. Il ſuit de là que des ondes qui auroient 3 pieds $8\frac{17}{10}$ lignes de largeur, en avançant pendant une ſeconde, parcourroient leur largeur : par conſéquent, dans une minute, elles parcourroient 183 pieds 6 pouces 10 lignes ; & dans une heure 11014 pieds 2 pouces. Si ces ondes avoient une largeur quadruple, elles parcourroient cette largeur dans un temps qui ne ſeroit que double : donc plus elles ont de largeur, plus elles parcourent de chemin dans un temps donné.

450. Le tout arriveroit ainſi que nous venons de le dire, dans l'hypotheſe que toutes les parties de l'eau monteroient & deſcendroient en lignes droites ; mais cette aſcenſion & cette deſcenſion

ſe font plutôt par des lignes courbes : ainſi cette détermination de tel & tel eſpace parcouru, dans un temps donné, n'eſt qu'un à peu près.

Mouvement des Roues mues par le choc de l'Eau.

451. Parmi les roues des moulins, les unes ont leur circonférence garnie d'aubes ; les autres l'ont garnie d'augets. Dans le premier cas, l'eau agit ſur ces roues principalement par ſon choc : dans le ſecond, elle agit par ſon poids. Parlons d'abord des roues mues par le choc de l'eau.

452. L'expérience a prouvé que plus les roues ont d'aubes, plus elles tournent vîte. Aux roues de 20 peids de diametre on met ordinairement 40 aubes : un plus grand nombre, comme, par exemple, 48, ſeroit plus avantageux. Aux roues des moulins placés dans des bateaux ſur des rivieres, on ne met pour l'ordinaire que 8 à 10 ailes ou aubes ; ces roues produiroient plus d'effet, ſi elles en avoient 15 à 16.

453. Lorſqu'une roue à aubes tourne dans une courſiere, l'impulſion qu'elle reçoit de la part de l'eau, eſt environ $\frac{1}{7}$ de la vîteſſe du fluide, plus grande que l'impulſion qu'elle reçoit dans un fluide indéfini : parce que, dans ce dernier, l'eau, qui eſt abondante, tourne derriere l'aube, & lui réſiſte ; au lieu que, dans la courſiere, il

n'y a que peu d'eau, qui fuit auſſi vîte ou même plus vîte que l'aube.

454. En effet, l'expérience prouve que, lorſque la courſiere n'a que la largeur & la profondeur ſimplement ſuffiſantes pour le jeu de la roue, & que le fluide a la liberté de s'échapper après avoir donné ſon choc, l'impulſion directe & perpendiculaire contre l'aube de la roue eſt environ double de l'impulſion que l'aube recevroit, ſi elle étoit plongée à même profondeur dans un courant indéfini.

455. Lorſqu'une roue, garnie de 48 aubes, tourne dans une courſiere, & qu'elle n'eſt pas plongée bien profondément dans l'eau, ſa circonférence doit prendre environ les $\frac{2}{5}$ de la vîteſſe du courant, pour que la machine produiſe le plus grand effet.

456. Les aubes dirigées au centre de la roue, paroiſſent les plus avantageuſes; parce qu'alors il s'en faudroit peu qu'elles fuſſent frappées perpendiculairement par le fluide : ce qui produiroit la percuſſion la plus grande. Lorſqu'elles ſont inclinées, le choc eſt oblique; ce qui diminue l'effort. Cependant un certain degré d'inclinaiſon fait que l'eau monte le long de l'aube, & y demeure pendant un certain temps : elle y agit alors par ſon poids, après avoir agi par ſon choc; & il peut ſe faire que l'effort qui en réſulte

faſſe plus que compenſer la diminution que le choc reçoit par l'obliquité ſous laquelle l'aube eſt frappée. En général, dans les roues poſées dans des courſieres qui ont une certaine pente, les aubes doivent être inclinées d'une certaine quantité au rayon, tant pour être frappées dans une direction plus approchante de la perpendiculaire, que pour recevoir une augmentation de force de la part du poids de l'eau. L'inclinaiſon des aubes au rayon la plus avantageuſe, paroît être, ſuivant l'expérience, entre 20 & 30 degrés.

457. Une roue placée tout près du réſervoir, tourne plus vîte que par tout ailleurs, parce qu'on profite alors de toute la chûte de l'eau. Mais ſi l'on eſt contraint de placer la machine au bout d'une courſiere, à une certaine diſtance du réſervoir, il faut incliner le canal de la courſiere d'environ la dixieme partie de ſa longueur, afin que la pente rende à l'eau la vîteſſe détruite par le frottement. Alors la roue reçoit la même impulſion que ſi elle étoit placée près du réſervoir.

Mouvement des Roues mues par le poids de l'Eau.

458. L'eau agiſſant par ſon poids, produit un effet beaucoup plus grand, que lorſqu'elle agit par ſon choc. Car M. *Parent* en 1704, & M.

Pitot en 1725, ont démontré qu'une roue (supposée sans frottement), mue par un courant d'eau, & destinée à faire remonter une portion de cette eau, à la hauteur de celle qui la fait mouvoir, n'en pourroit élever au plus que les $\frac{4}{27}$, ou un peu plus de $\frac{1}{7}$. Au lieu qu'en faisant agir l'eau sur la roue par son seul poids, elle peut faire remonter, à la même hauteur d'où elle descend, la moitié de l'eau qui descend, ou les $\frac{2}{3}$, ou les $\frac{3}{4}$, ou, &c.

459. Lors donc qu'on n'aura qu'une petite quantité d'eau, & qu'on sera contraint de la ménager (ce qui arrive le plus souvent, parce qu'il y a plus de petits ruisseaux que de grandes rivieres), il faudra faire agir cette eau par son poids plutôt que par son choc. Pour cela, au lieu de roues à aubes, on se servira de roues à augets, par-tout où l'on pourra avoir une chûte de plus de 4 pieds, & où l'on n'aura pas toute l'eau nécessaire pour faire tourner, par exemple, un moulin avec une roue à aubes.

460. M. *Deparcieux* (*Mém. de l'Acad. des Sc. Année* 1754, *pag.* 603 & 671.) a ensuite prouvé que, plus les roues à augets tournent lentement, plus elles produisent d'effet avec une dépense d'eau égale. Il a donc fait faire une petite roue de 20 pouces de diametre, dont la circonférence est garnie de 48 augets. Sur l'arbre ou

axe de cette roue, ſont placés quatre cylindres de différentes groſſeurs : le moindre a 1 pouce de diametre ; le ſuivant a 2 pouces ; le troiſieme en a 3 ; & le quatrieme, 4. Ces cylindres ſont les différens treuils autour deſquels s'enveloppe le cordon qui monte un poids, par le moyen d'une poulie de renvoi, placée au deſſus de la machine. L'arbre de cette roue eſt porté à chaque bout ſur deux rouleaux très-mobiles ; & cela pour diminuer les frottemens. Sur le devant de la roue, & un peu plus haut que ſon axe, eſt une petite tablette, ſur laquelle on place un vaſe percé ſur le côté tourné vers la roue, & que l'on remplit d'eau. Au deſſus de ce vaſe on place & l'on ſoutient une grande bouteille pleine d'eau, renverſée, & dont le goulot plonge de quelques lignes dans l'eau du vaſe, afin que la bouteille ne puiſſe ſe vider qu'à meſure que l'eau du vaſe s'écoule par le trou dont nous venons de parler. Cette eau, en s'écoulant, tombe dans un canal qui la porte dans les augets de la roue. Par-là, on eſt ſûr d'employer, à chaque expérience, toujours la même quantité d'eau.

461. Voici les réſultats des expériences faites par M. *Deparcieux*. Il a enlevé des poids tantôt de 12 onces, tantôt de 24 onces : le plus fort réſiſtant davantage, obligeoit la roue à tourner plus lentement. Il a fait envelopper les cordons

qui ſoutenoient les poids, ſucceſſivement ſur les différens cylindres : le même poids réſiſtoit donc d'autant plus que ſon cordon enveloppoit un plus gros cylindre.

Diametres des cylindres.	*Elévations du poids de 12 onces.*	*Elévations du poids de 24 onces.*
1 pouces.	69 pouces. 9 lignes.	40 pouces. 0 lignes.
2	80 6	43 6
3	85 6	44 6
4	87	45 3

462. Quand le cordon enveloppe un plus gros cylindre, ou que le poids enlevé eſt plus conſidérable, la roue tourne plus lentement. On voit, par ces réſultats, que le même poids eſt porté d'autant plus haut que ſon cordon enveloppe un plus gros cylindre. On voit de même que le poids double, qui ralentit encore la rotation, eſt porté à plus de la moitié de la hauteur à laquelle eſt porté le poids ſimple. Donc, dans ces cas-là, l'effet eſt plus grand.

463. On peut donc établir comme un principe, que *l'eau d'une même chûte agit par ſon poids beaucoup plus avantageuſement que par*

ſon choc ; & que plus les roues à augets tournent lentement, plus, à dépenſes d'eau égales, elles produiſent d'effet. Ce plus d'effet réſulte de ce que la même portion d'eau agit plus long-temps, quand la roue tourne plus lentement.



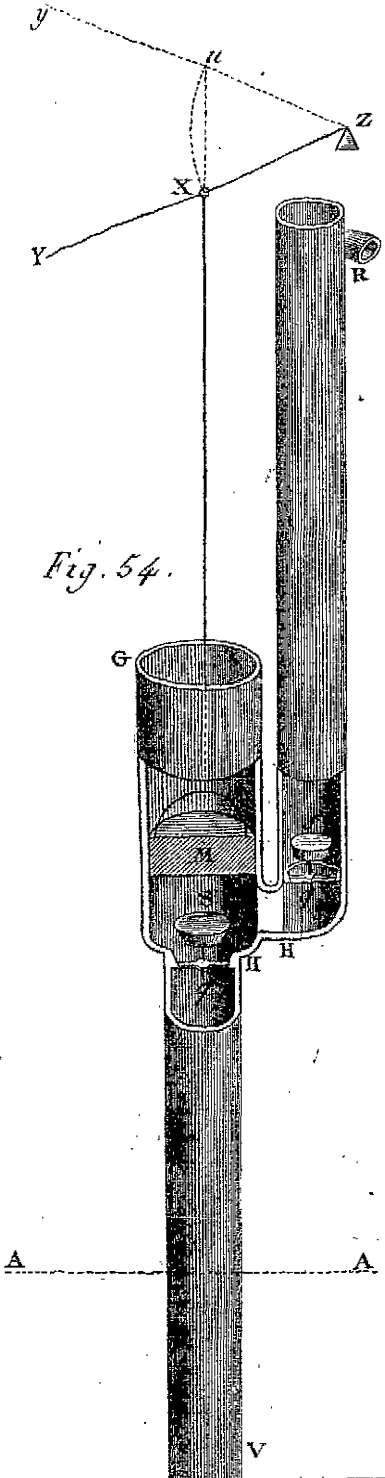


Fig. 54.

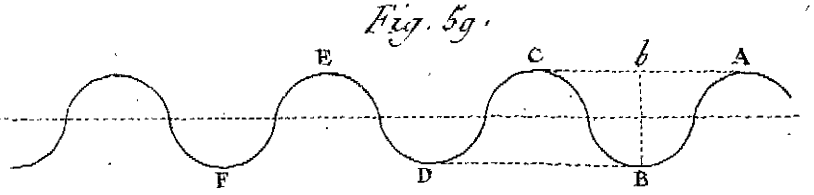


Fig. 59.

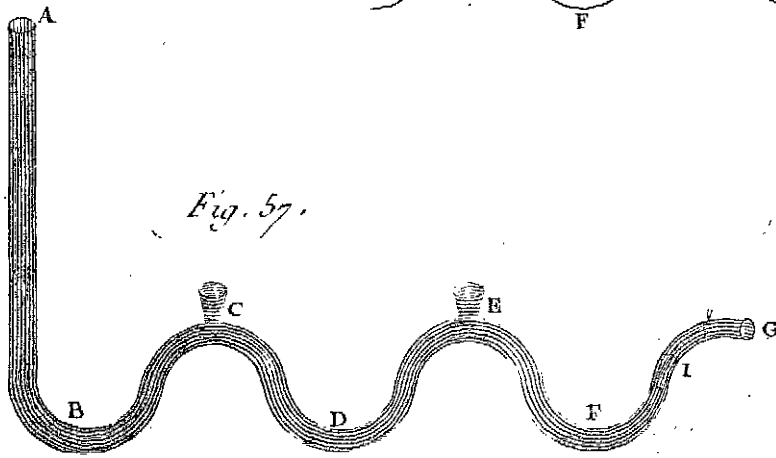


Fig. 57.

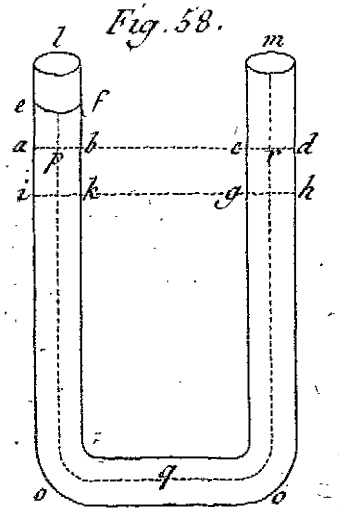


Fig. 58.

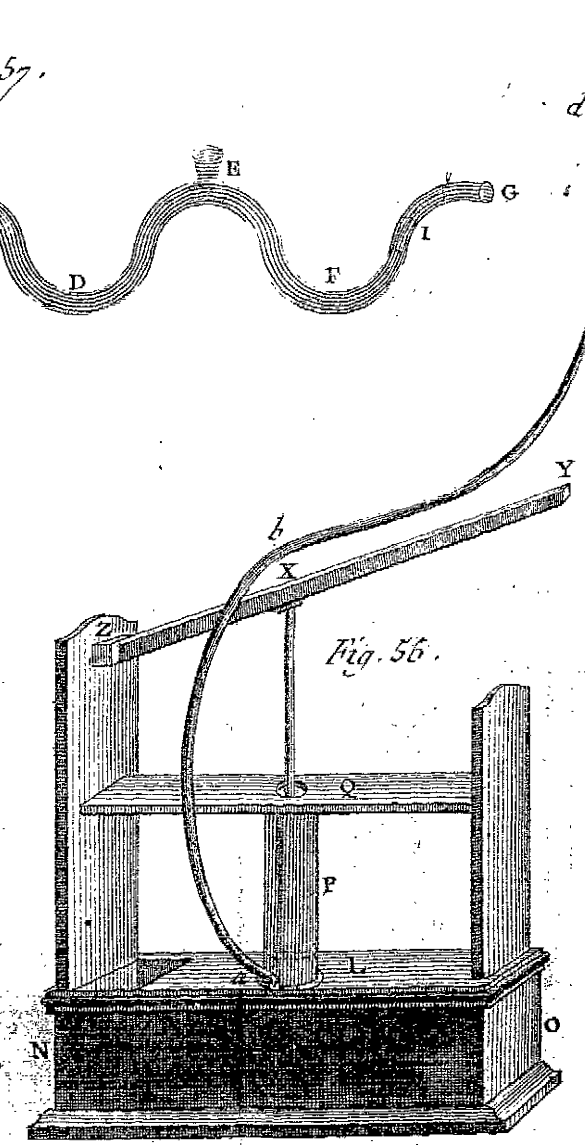


Fig. 56.

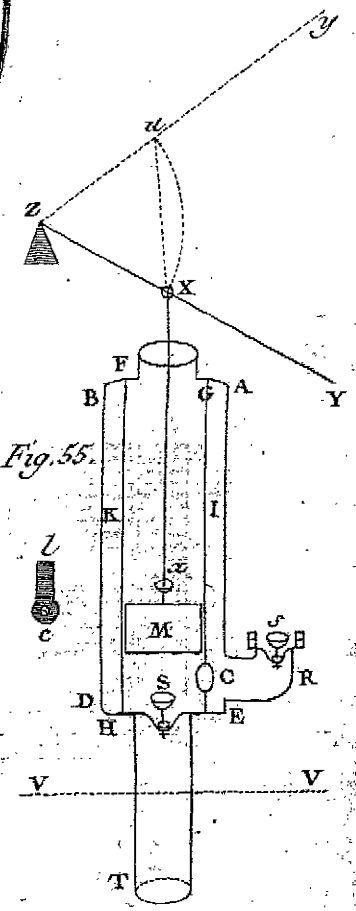


Fig. 55.

CHAPITRE IX.

De la Mécanique ſtatique.

464. APRÈS avoir parlé des propriétés & des loix du mouvement, ſoit des corps ſolides, ſoit des fluides, nous devons maintenant nous occuper des moyens d'employer ces mouvemens utilement pour nous. Ces moyens ſont les machines ; c'eſt-à-dire, des aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins ſimple, qui tranſmettent l'action d'une puiſſance ſur une réſiſtance, & qui la font croître ou diminuer, en variant les vîteſſes de l'une ou de l'autre. En un mot, ce ſont des inſtrumens, ſimples ou compoſés, deſtinés à produire du mouvement, de façon à épargner ou du temps dans l'exécution de l'effet, ou de la force dans la cauſe.

465. La Mécanique eſt la Science qui nous conduit à la connoiſſance de ces moyens. Dans ſa ſignification la plus étendue, elle a pour objet les loix du mouvement des corps & les loix de leur équilibre. Quand elle conſidere le mouvement, elle ſe nomme *Mécanique proprement dite*, ou *Dynamique* : c'eſt celle qui nous a occupés juſqu'à préſent. Quand elle traite des loix de l'équilibre,

elle s'appelle *Mécanique ſtatique* : c'eſt celle-ci dont nous allons nous occuper maintenant.

466. On diſtingue deux ſortes de machines : les machines ſimples, & les machines compoſées.

467. On compte ordinairement ſix machines ſimples, que l'on appelle *forces mouvantes*, & auxquelles toutes les autres machines peuvent ſe réduire ; ſavoir, le *levier*, la *poulie*, le *treuil*, le *plan incliné*, le *coin*, & la *vis*. On pourroit réduire ces ſix machines à deux, ſavoir, le levier & le plan incliné ; car on peut conſidérer la poulie & le treuil comme des aſſemblages de leviers : & le coin & la vis ne ſont autre choſe que des plans inclinés, comme nous le verrons ci-après (548 & 555).

468. Les machines compoſées ſont celles qui ſont en effet compoſées de pluſieurs machines ſimples, combinées enſemble. Ce ſont donc des aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins compoſée, par le moyen deſquels on peut faire varier la valeur d'une puiſſance, en variant les vîteſſes.

469. Il y a, dans une machine, quatre choſes principales à conſiderer ; ſavoir, la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou le centre de mouvement, & la vîteſſe de la puiſſance & de la réſiſtance.

470. La puiſſance eſt une ou pluſieurs forces qui concourent à vaincre un obſtacle ou à ſoutenir ſon effort : tels ſont les efforts des hommes, des chevaux, des poids, des reſſorts, &c. Comme la puiſſance peut n'être pas toujours d'une valeur conſtante, il faut faire en ſorte que, dans ſon moment le plus foible, elle ſoit toujours ſupérieure à la réſiſtance, même dans ſon moment le plus fort ; ſans quoi la machine s'arrêteroit.

471. La réſiſtance eſt un ou pluſieurs obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de la machine. Telle eſt, par exemple, un bloc de marbre qu'on enleve avec une grue. La réſiſtance, de même que la puiſſance (470), peut n'être pas toujours d'une valeur conſtante ; comme lorſqu'il s'agit de ſoutenir des fluides, de tendre des reſſorts, de diviſer des corps, &c. Il faut donc faire en ſorte que la réſiſtance, dans ſon moment le plus fort, ſoit toujours inférieure à la puiſſance, même dans ſon moment le plus foible. Ainſi, dans une pompe, par exemple, il faut ſuppoſer le tuyau montant tout plein, pour avoir le moment le plus fort de la réſiſtance ; il faut donc rendre la puiſſance ſupérieure au poids de cette colonne d'eau.

472. Le point d'appui ou centre de mouvement eſt cette partie d'une machine autour de laquelle les autres ſe meuvent. Dans une balance, par exem-

ple, le point de la chaſſe où repoſe l'axe du fléau, eſt le point d'appui. Il faut toujours que ce point d'appui ſoit aſſez fort pour ſoutenir la puiſſance & la réſiſtance, ou pour, dans certains cas, concourir avec une de ces forces à ſoutenir l'effort de l'autre.

473. Les vîteſſes ſe meſurent par les eſpaces que parcourent dans le même temps la puiſſance & la réſiſtance (56), ou qu'elles parcourroient, ſi l'une des deux emportoit l'autre. Comme, dans une machine, les temps ſont toujours égaux pour la puiſſance & la réſiſtance, ces eſpaces parcourus ou à parcourir déterminent leurs vîteſſes relatives (61).

474. Pour calculer l'effet d'une machine, on la conſidere ordinairement dans l'état d'équilibre, c'eſt-à-dire, dans l'état où la puiſſance, qui doit ſurmonter la réſiſtance, eſt en équilibre avec cette réſiſtance. Mais il faut remarquer qu'après le calcul du cas de l'équilibre, on n'a encore qu'une idée très-imparfaite de l'effet de la machine. Car, comme toute machine eſt deſtinée à mouvoir, on doit la conſidérer dans l'état de mouvement, & non pas dans celui d'équilibre. Pour cela il faut avoir égard, 1°. à la maſſe (52) de la machine ou des pieces de cette machine que la puiſſance eſt obligée de ſoulever; laquelle maſſe s'ajoute à la réſiſtance à vaincre, & pour laquelle

on doit par conſéquent augmenter la puiſſance : 2°. au frottement, qui augmente prodigieuſement la réſiſtance (*96 & ſuivant.*). C'eſt principalement ce frottement & les loix de la réſiſtance des ſolides, ſi différens pour les grands & pour les petits corps, qui font ſouvent qu'on ne ſçauroit conclure de l'effet d'une machine en petit à celui d'une autre machine ſemblable en grand, parce que les réſiſtances n'y ſont pas proportionnelles aux dimenſions des machines.

Du Levier.

475. Le levier eſt, de toutes les machines, la plus ſimple : c'eſt une verge de fer, de bois, ou de toute autre matiere équivalente, au moyen de laquelle une puiſſance, aidée d'un point d'appui, peut vaincre ou ſoutenir une réſiſtance. Tel eſt un Maçon B (*fig.* 60) qui, au moyen de la verge de fer BA & du point d'appui A, ſouleve la pierre C. *Fig.* 60.

476. On regarde ordinairement un levier comme une ligne droite, inflexible & ſans poids, qui détermine les diſtances & les poſitions de la puiſſance (470), de la réſiſtance (471), & du point d'appui (472). Si cette ligne eſt courbe, ſa courbure ſe réduit toujours à la plus courte diſtance qu'elle met entre la puiſſance & la réſiſtance, ou entre l'une & l'autre de ces forces & le point

d'appui. Si elle a de la peſanteur, comme cela ne peut pas manquer d'être, ſon poids fait, d'une part, partie de la puiſſance, &, d'autre part, partie de la réſiſtance; & cela ſuivant le rapport de diſtance de ces forces au point d'appui.

477. On diſtingue trois ſortes de leviers. On appelle *levier du premier genre*, celui dans lequel le point d'appui C (*fig.* 61) eſt placé entre la puiſſance A & la réſiſtance B. On nomme *levier du ſecond genre*, celui dans lequel la réſiſtance B (*fig.* 62) eſt placée entre la puiſſance A & le point d'appui C. Enfin on appelle *levier du troiſieme genre*, celui dans lequel la puiſſance A (*fig.* 63) eſt placée entre la réſiſtance B & le point d'appui C. Et l'on diſtingue les différentes eſpeces de chacun de ces genres par les différens rapports de diſtance de la puiſſance & de la réſiſtance au point d'appui. Ainſi, dans le levier (*fig.* 64.), ſi le point d'appui eſt en *a*, la puiſſance en *p* & la réſiſtance en *r*, on dit que c'eſt un levier du premier genre à bras égaux : ſi le point d'appui eſt en *b*, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance *p* eſt à celui de la réſiſtance *r*, dans le rapport de 2 à 1 : & ſi le point d'appui eſt en C, le bras de la puiſſance eſt à celui de la réſiſtance dans le rapport de 3 à 1 ; & ainſi des autres. De même, dans le levier du troiſieme genre (*fig.* 65.), ſi la puiſſance *p* eſt appliquée

Fig. 61. *Fig.* 62. *Fig.* 63. *Fig.* 64. *Fig.* 65.

en

en 1, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance *p* eſt à celui de la réſiſtance R, comme 1 eſt à 3; car la longueur du bras de levier eſt toujours déterminée par la diſtance au point d'appui C. Mais ſi la puiſſance P eſt appliquée en 2, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance P eſt à celui de la réſiſtance R, comme 2 eſt à 3.

478. C'eſt la diſtance de ces forces au point d'appui, qui détermine leurs vîteſſes, & ces vîteſſes ſont toujours dans le même rapport que ces diſtances; car, ſi le point d'appui étant en C (*fig.* 66.), l'une des puiſſances eſt en B, & l'autre en A à une diſtance double du point d'appui, cette derniere A aura une vîteſſe double de celle de la premiere B. Car, ſi le levier vient à ſe mouvoir, tandis que B parcourra l'arc B *b*, A parcourra l'arc A *a*. Or ce dernier arc eſt double de l'autre; car les arcs ſont toujours dans le même rapport que leurs rayons. *Fig.* 66.

479. Comme l'effort d'un corps réſulte de ſa maſſe multipliée par ſa vîteſſe (64), il ſuit de ce que nous venons de dire (478), 1°. qu'*un poids agiſſant par un levier, produit un effort d'autant plus grand, qu'il eſt plus éloigné du point d'appui*; car alors il a plus de vîteſſe.

480. 2°. Que *deux poids égaux, oppoſés ſur un levier, ne ſont en équilibre qu'à égales diſtances du point d'appui.*

481. 3°. Que *deux poids inégaux y produisent des efforts égaux, quand leurs distances au point d'appui sont en raison réciproque de leurs masses.* Le gain qu'on fait du côté de la force employée, est donc toujours accompagné d'une perte du côté du temps ; & réciproquement.

Dans tout ce que nous venons de dire du levier, nous avons toujours supposé que les puissances agissoient l'une & l'autre dans des directions perpendiculaires ou également obliques au bras de levier.

482. La position la plus avantageuse d'une puissance qui agit par le moyen d'un levier, est que sa direction soit perpendiculaire au bras du levier par lequel elle agit. Ainsi, dans le levier (*fig.* 67.), si la puissance B agit dans la direction *b*B, elle produit le plus grand effort qu'elle puisse produire ; elle produiroit donc un effort moindre, si elle agissoit suivant *b*D ou *b*E. Mais si, lorsqu'une des puissances devient oblique au bras du levier, l'autre puissance le devient également, de maniere que les directions de ces deux puissances demeurent paralleles, telles que sont les directions *a p* & *b r* (*fig.* 68.), alors elles gardent entre elles le même rapport. Mais si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, celle des deux qui s'écarte davantage de l'angle droit, rend la puissance plus foible : par

Fig. 67.

Fig. 68.

exemple, si la puissance Q (*fig.* 69.) gardant sa direction perpendiculaire, l'autre puissance devenoit oblique, & agissoit suivant *p c*, ou *p d*, ou *p e*, ou *p f*, elle deviendroit plus foible; & d'autant plus qu'elle s'écarteroit davantage de la direction perpendiculaire *p* P. *Fig.* 69.

483. Si l'on veut juger de ce degré d'affoiblissement, on n'a qu'à prolonger ces directions obliques *a d* ou *a f* (*fig.* 70.) par des lignes indéfinies *a i* ou *a k*, & supposer que le bras de levier *c a* tourne sur le point *c*, & décrit par son extrémité *a*, une portion de cercle *a g h i k*; il y aura un point *n* ou *m* dans sa longueur, sur lequel la direction prolongée *a i* ou *a k* tombera perpendiculairement: c'est sur ce point que la puissance exerce toute sa force, & non pas à l'extrémité *a* du bras de levier. Sa distance au point d'appui *n c* ou *m c*, égale à *b c* ou *e c*, est moindre: c'est donc comme si cette puissance, au lieu d'être appliquée perpendiculairement en *a*, l'étoit perpendiculairement en *b* ou en *e*. Mais comme les rayons *c e* & *c b* sont égaux aux rayons *c m* & *c n*, lesquels sont les sinus des angles que forment les directions *a d* & *a f* avec le bras de levier, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons de dire, & l'énoncer par cette proposition: *Les différens efforts d'une puissance, appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon* *Fig.* 70.

différentes directions, ſont entre eux comme les ſinus des angles que font ces directions avec le bras de levier. Ce qui explique très-bien pourquoi l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, quand ſa direction eſt perpendiculaire au levier (482); car alors elle fait avec ce bras de levier un angle droit, dont le ſinus eſt le rayon entier, c'eſt-à-dire, le bras entier du levier.

484. Il eſt indifférent que la direction de la puiſſance s'écarte de l'angle droit, ſoit en dedans, ſoit en dehors du levier. Ainſi, qu'une puiſſance agiſſe ſuivant la direction *a* D (*fig.* 71.), faiſant avec le levier *ba* un angle aigu, ou ſuivant la direction *a* P, faiſant avec ce même levier un angle obtus, pourvu que, dans les deux cas, elle ſoit également éloignée de l'angle droit, ſa force ſera également affoiblie; puiſque deux angles qui s'éloignent également tous deux de l'angle droit, l'un en défaut & l'autre en excès, ont le même ſinus. Deux angles, l'un de 45 degrés & l'autre de 135 degrés, ont le même ſinus.

Fig. 71.

485. En général, quand, dans une machine compoſée, pluſieurs leviers agiſſent enſemble, & que les directions des puiſſances font avec leurs bras de levier des angles égaux ou également obliques, *la puiſſance eſt à la réſiſtance, comme le produit des bras du levier de la réſiſtance eſt*

au produit des bras de levier de la puiſſance, en raiſon inverſe des vîteſſes.

486. Puiſque, dans le cas d'équilibre, la puiſſance eſt toujours à la réſiſtance, comme la diſtance de la réſiſtance au point d'appui eſt à la diſtance de la puiſſance au même point d'appui (481), il s'enſuit que la puiſſance eſt ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la réſiſtance, ſelon que la diſtance de la réſiſtance au point d'appui eſt ou plus grande, ou plus petite, ou égale à celle de la puiſſance. De là on doit conclure, 1°. que, dans le levier du premier genre, la puiſſance peut être ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la réſiſtance; 2°. que, dans le levier du ſecond genre, la puiſſance eſt toujours plus petite que la réſiſtance; 3°. qu'elle eſt toujours plus grande dans le levier du troiſieme genre; & qu'ainſi ce dernier genre de levier, bien loin d'aider la puiſſance, quant à ſa force abſolue, ne fait au contraire que lui nuire. Cependant ce troiſieme genre de levier eſt celui que la Nature a employé le plus fréquemment dans le corps humain. (Voyez *Borelli*, *de Motu Animalium*.) Par exemple, quand nous ſoulevons un poids avec la main, ce poids doit être conſidéré comme fixé à un bras de levier, dont le point d'appui eſt dans le coude, & dont par conſéquent la longueur eſt égale à l'avant-bras. Or ce

même poids eſt ſoutenu en cet état par l'action des muſcles, dont la direction eſt fort oblique à ce bras de levier, & dont par conſéquent la diſtance au point d'appui eſt beaucoup plus petite que celle du poids (483). Ainſi l'effort des muſcles doit être beaucoup plus grand que le poids. Pour rendre raiſon de cette ſtructure, on remarquera que plus la puiſſance, appliquée à un levier, eſt proche du point d'appui, moins elle a de chemin à faire pour en faire parcourir un grand au poids (478). Or l'eſpace à parcourir par la puiſſance, étoit ce que la Nature avoit le plus à ménager dans la ſtructure de notre corps. C'eſt pour cette raiſon qu'elle a rendu la direction des muſcles fort peu diſtante du point d'appui; mais elle a dû auſſi les faire plus forts en même proportion.

487. Ce que nous avons dit ci-deſſus (480), ſemble être contredit par une machine imaginée par M. *de Roberval*, & que, pour cela, on a appelée *Balance de Roberval*. Elle paroît préſenter un paradoxe de mécanique, relativement à la propriété du levier. Voici en quoi conſiſte ce paradoxe. On attache à une regle fendue AB (*fig.* 72.) deux autres regles FC, ED, par le moyen de deux petits boulons, autour deſquels ces regles ſont mobiles: on attache de même aux extrémités de ces dernieres regles deux autres

Fig. 72.

regles FE, CD, auſſi mobiles autour des points C, D, &c. par leſquels elles ſont attachées ; en ſorte que le rectangle FCDE puiſſe prendre telle figure ou telle ſituation qu'on voudra, comme *f c d e*. Au milieu de la regle FE, ainſi que de la regle CD, on place vis-à-vis l'une de l'autre, deux autres regles HGO, INP, perpendiculaires & fixement attachées chacune à leur regle. Cela poſé, en quelque endroit de ces dernieres regles qu'on accroche les poids égaux H, I, ils ſont toujours en équilibre, même dans le cas où l'un des poids I ſeroit placé en P, beaucoup plus près des points d'appui A & B que ne l'eſt le poids H. Que devient donc, dit-on, cette regle générale (480), que *deux poids égaux oppoſés ſur un levier, ne ſont en équilibre qu'à égales diſtances du point d'appui ?*

488. On rendra aiſément raiſon de cette eſpece de paradoxe, ſi l'on fait attention à la maniere dont les poids H, I, agiſſent l'un ſur l'autre. Pour le bien entendre, on décompoſera les efforts des poids H, I, (*fig.* 73.) chacun en deux, dont l'un, pour le poids H, ſoit dans la direction H*f*, & l'autre dans la direction H*e* ; & dont l'un, pour le poids I, ſoit dans la direction IC, & l'autre dans la direction ID. Or l'effort IC ſe décompoſe encore en deux efforts C*n* & CQ ; & de même l'effort ID ſe décompoſe en deux *Fig.* 73.

efforts D*n* & DO. Donc la regle CD eſt tirée, dans la direction CD, par une force égale à C*n* plus *n*D, tandis que les efforts CQ & DO ſe détruiſent mutuellement. On trouvera de même que la regle *fe* eſt tirée, dans la direction *fe*, par une force égale à *fg* plus *ge*. Donc, puiſque BC eſt égale à B*f*; & que CD eſt égale & parallele à *fe*, les deux efforts, ſuivant CD & *fe*, doivent ſe faire équilibre.

489. C'eſt-là ce que l'on appelle la *décompoſition des forces*, très en uſage dans la Statique & dans la Mécanique. Dans cette décompoſition, les directions & les valeurs des deux forces, par exemple, C*n* & CQ, dans leſquelles on décompoſe la force donnée CI, ſont repréſentées par les deux côtés C*n*, CQ d'un parallélogramme C*n*IQ, dont la diagonale CI repréſente la direction & la valeur de la puiſſance donnée.

490. Le point d'appui, dans le levier, peut être regardé comme une troiſieme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice & à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour ſoutenir l'effort de l'autre.

491. Dans les leviers du premier genre (477), le point d'appui C (*fig.* 74.), qui ſe trouve alors placé entre la puiſſance D & la réſiſtance E, porte l'effort abſolu de ces deux forces, lorſque les directions DA & EB de ces forces ſont paral-

Fig. 74.

leles entre elles ; & l'effort qui ſe fait alors ſur le point d'appui C, ſe fait dans une direction C I parallele à celles de ces forces. Mais ſi les directions I Q (*fig.* 76.) de la puiſſance, & K N de la réſiſtance ſont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui L eſt chargé d'une quantité moindre que la ſomme totale des deux forces, & d'une quantité d'autant moindre, que cette inclinaiſon eſt plus grande ; & l'effort qui ſe fait alors ſur le point d'appui L, ſe fait dans une direction L M qui tend au point de concours M des directions des puiſſances. *Fig.* 75.

492. Il en ſeroit de même, ſi les puiſſances *f* & *g* (*fig.* 76.) étoient en équilibre entre elles par inégalité de diſtance au point d'appui H, c'eſt-à-dire, dans le cas où leurs maſſes ſeroient en raiſon inverſe de leurs diſtances *f* H & *g* H au point d'appui (481). La charge ſur ce point d'appui ne ſeroit jamais plus grande que la ſomme réelle des deux forces, ou la ſomme des maſſes oppoſées : elle ſeroit égale à cette ſomme, ſi les directions des puiſſances étoient parallèles entre elles ; mais elle ſeroit moindre que cette ſomme, ſi ces directions *e c*, *e c* étoient inclinées l'une à l'autre ; & alors l'effort ſur le point d'appui H ſe feroit dans une ligne H I qui tendroit au point de concours I de ces directions. Si, dans ce cas-là, le point d'appui n'eſt jamais plus chargé que de la *Fig.* 76.

ſomme réelle des maſſes oppoſées, quoique la petite maſſe produiſe un auſſi grand effort que la grande ; cela vient de ce que cette petite maſſe ne produit un auſſi grand effort que parce qu'elle a plus de vîteſſe ; or la vîteſſe ne peſe point.

493. Dans les leviers du ſecond & du troiſieme genre (477), le point d'appui ne porte qu'une partie de l'effort de l'une des deux forces ; c'eſt-à-dire qu'il concourt avec la puiſſance dans les leviers du ſecond genre, ou avec la réſiſtance dans les leviers du troiſieme genre, pour porter l'effort de l'autre : comme lorſque deux hommes portent un fardeau, au moyen d'un bâton appuyé ſur leurs épaules. Ces deux hommes, dont l'un peut être regardé comme la puiſſance, & l'autre comme le point d'appui, ne portent chacun qu'une partie du fardeau. Et celui des deux qui eſt le plus près du fardeau, en porte une plus grande portion, & cela dans le rapport de cette proximité.

De la Poulie.

494. La poulie, l'une des ſix machines réputées ſimples (*fig.* 77), eſt un corps rond, plat, mobile ſur ſon axe C, & dont la circonférence *c g* (*fig.* 78.) eſt creuſée en gorge pour recevoir la corde FBAR, ou EOAR, ou GHOAR (*fig.* 77) à laquelle on applique d'une part la

Fig. 77. *Fig.* 78. *Fig.* 77.

Fig. 61.

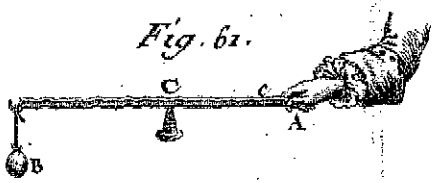


Fig. 62.

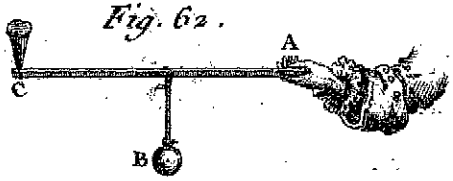


Fig. 63.

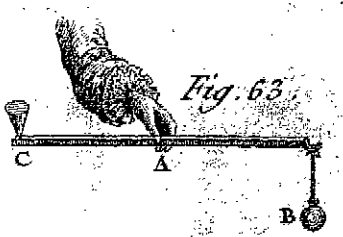


Fig. 64.

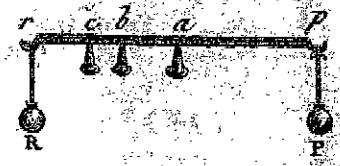


Fig. 65.

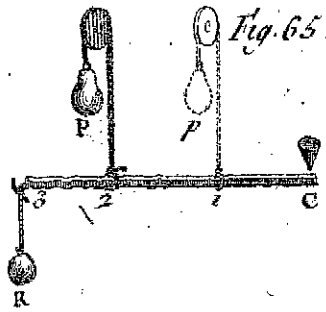


Fig. 66.

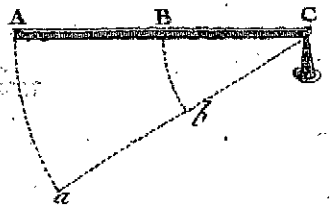


Fig. 67.

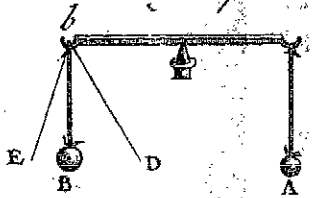


Fig. 68.

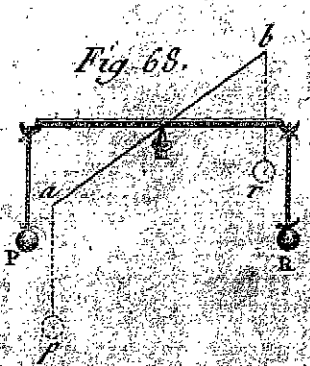


Fig. 69.

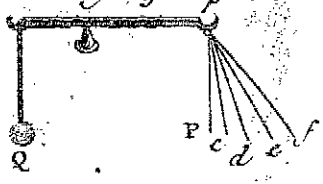


Fig. 70.

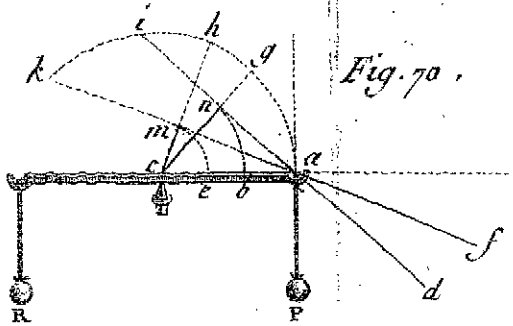


Fig. 71.

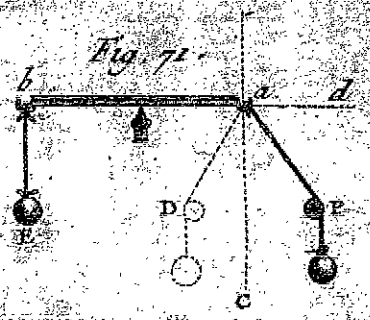


Fig. 72.

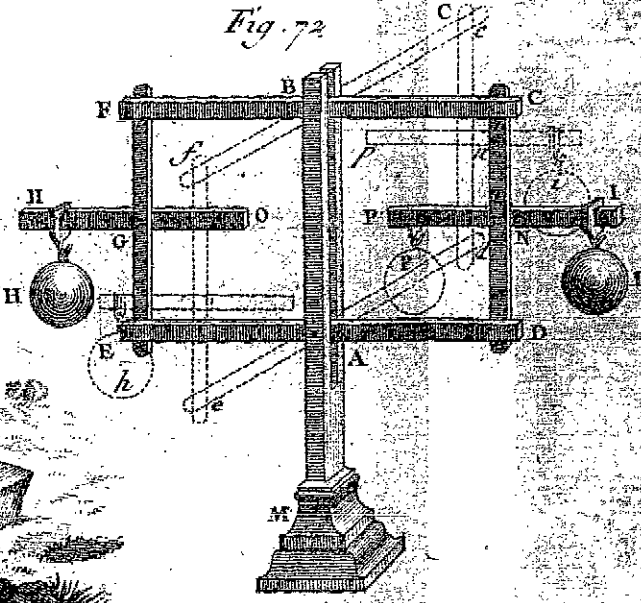


Fig. 73.

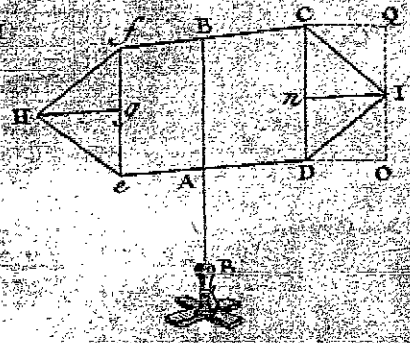
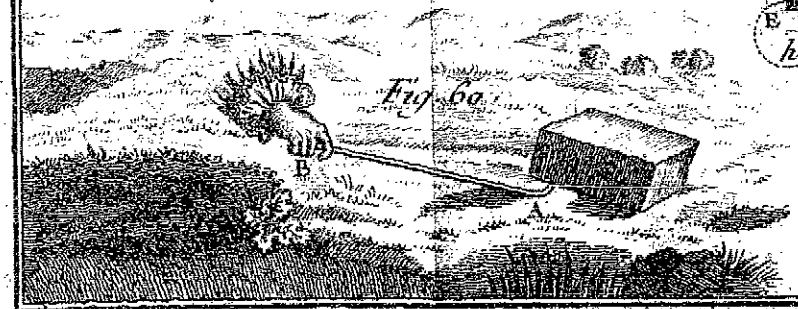


Fig. 60.



Benard Direxit.

puiſſance F ou E ou G, & de l'autre part la réſiſtance R. On creuſe la gorge *cg* (*fig.* 78.), non pas en rond, mais en angle, comme on le voit dans la figure, afin que la corde, étant en quelque façon pincée dans cet angle, ne gliſſe pas ſur la gorge. *Fig.* 78.

495. On fait ordinairement les poulies de bois ou de métal, & on les fait tourner ſur leur axe A*a*: il vaudroit mieux, ſur-tout ſi elles ſont de bois, fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chape AD*a* qui ſoutient la poulie. Le mouvement ſe faiſant alors ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottemens: & ſi les trous de la chape venoient à s'agrandir, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, le trou s'alongeroit; la poulie deſcendroit un peu, mais elle n'en tourneroit pas moins rondement; ce qui n'arrive pas, lorſque la poulie, tournant ſur ſon axe, le trou, qui reçoit l'axe, s'agrandit, & ſouvent pas également dans tous les ſens.

496. La poulie eſt une machine au moyen de laquelle on peut élever des fardeaux d'une maniere ou plus commode ou plus avantageuſe: plus commode, en rendant le mouvement continu & en changeant la direction du mouvement, pour mettre dans toute ſa force la puiſſance qui agit; de ſorte que, par-là, un cheval, qui ne peut agir

qu'horizontalement, peut vaincre une réſiſtance verticale : plus avantageuſe, en faiſant enlever un grand poids avec une force moindre. En effet, au moyen d'une poulie, 1°. la puiſſance peut tirer en toutes ſortes de direction, ſans rien perdre de ſon avantage; parce que la corde par laquelle elle agit, eſt toujours tangente à la circonférence de la poulie, & par conſéquent toujours perpendiculaire au rayon CH ou CB ou CO (*fig.* 77.); ce qui eſt la direction la plus avantageuſe (482). 2°. Comme les puiſſances qu'on y applique, agiſſent d'autant plus fortement, que leur diſtance à l'axe eſt plus grande, en ſe ſervant d'une poulie qui ait pluſieurs gorges (*fig.* 79.), ou en enfilant ſur le même axe pluſieurs poulies de différens diametres, celle des puiſſances qui agira à une plus grande diſtance de l'axe *c*, aura de l'avantage ſur l'autre. Ainſi, ſi l'on ſuppoſe en I un poids de ſix livres, il faudra en H ſix livres pour le ſoutenir, parce que les rayons *cd* & *c* 1 ſont égaux. Mais il ne faudroit que trois livres en K; car le rayon *c* 2 eſt double du rayon *cd* : & il ne faudroit que 2 livres en L, parce que le rayon *c* 3 eſt triple du rayon *cd*.

Fig. 77.

Fig. 79.

Dans tous ces cas, la poulie fait l'office de levier du premier genre (477); car on peut la conſidérer comme un aſſemblage de leviers fixes, dont le point d'appui commun eſt au centre. Tous

ces leviers ont des bras égaux dans les poulies à une seule gorge (*fig.* 77.); & ils ont des bras inégaux dans les poulies à plusieurs gorges (*fig.* 79.). Toutes ces poulies sont fixes. *Fig.* 77. *Fig.* 79.

497. Nous venons de dire (496) qu'au moyen d'une poulie à plusieurs gorges (*fig.* 79.), on peut rendre égales les actions de deux puissances inégales entre elles : on peut de même entretenir l'équilibre, ou un rapport constant, entre deux puissances dont les forces relatives changent continuellement. Pour cela on peut se servir d'une poulie, qui, au lieu de plusieurs gorges concentriques, n'en a qu'une, mais qui prend la forme d'une spirale, & conséquemment augmente peu à peu de diametre, selon la proportion suivant laquelle augmente l'intensité de l'une des deux forces. Qu'on prenne, par exemple, une poulie A (*fig.* 80.), dont la gorge soit creusée en spirale, & dont on voit la coupe en *gabc* & le plan en *de*4 : qu'on fixe au centre de cette poulie un barillet *e* ou E garni d'un ressort pareil à celui d'une montre. Si la force de ce ressort est telle qu'une puissance quelconque, un poids, par exemple, agissant par DE, le tienne en équilibre; lorsqu'on aura roulé le ressort de trois ou quatre tours de plus, le même poids le tiendra encore en équilibre en agissant par *g* F, si le rayon EF est alongé dans la proportion de l'augmen- *Fig.* 79. *Fig.* 80.

tation d'intenſité de la force du reſſort. Ce que l'on dit de ce point F, on peut le dire de tous les autres. D'où il ſuit que ces deux puiſſances, le reſſort & le poids, garderoient toujours entre elles le même rapport, quoique l'intenſité de l'une des deux variât continuellement. C'eſt-là le moyen que l'on a pris, en horlogerie, pour rendre uniforme l'action des reſſorts des montres & des pendules, pendant tout le temps de leur développement.

Fig. 77. 498. L'axe C (*fig.* 77.) d'une poulie ſimple ne peut jamais être chargé par une plus grande force que celle qui eſt égale à la ſomme des deux puiſſances F & R : & il peut n'être chargé que d'une quantité moindre. Lorſque les directions BF & AR des deux puiſſances ſont paralleles, c'eſt-à-dire, lorſque la corde embraſſe la moitié de la circonférence de la poulie, l'axe eſt chargé d'une force égale à la ſomme de celles des deux puiſſances. Mais ſi les directions EO & RA de ces deux puiſſances ſont obliques entre elles, l'axe n'eſt chargé que d'une force moindre que la ſomme de celles des deux puiſſances ; & dans ce cas-là, *la force dont l'axe eſt chargé, eſt à la ſomme des forces des deux puiſſances, comme la ſoutendante* AO *de l'arc embraſſé par la corde, eſt au diametre* AB. Et l'effort ſe fait alors ſur l'axe C, dans une direction qui, paſſant par C,

tend au point de concours des directions EO & RA des deux puiſſances.

499. Et dans tous ces cas la force F doit être égale à la réſiſtance R pour avoir équilibre. D'où il ſuit que la poulie ſimple n'aide point la puiſſance, & ne lui nuit pas non plus. Elle eſt ſeulement propre, comme nous l'avons dit ci-deſſus (496), à conſerver la puiſſance dans ſa direction la plus avantageuſe, à changer la direction du mouvement, & à rendre ce mouvement continu.

500. On peut auſſi conſidérer la poulie comme levier du ſecond genre (477) : elle en a effectivement les propriétés, lorſque la réſiſtance R (*fig.* 81.) eſt attachée à la chape *c i*, & qu'un des bouts de la corde, qu'on fait paſſer alors par-deſſous la poulie, eſt attaché au point fixe *a*, pendant que l'autre eſt tiré ou ſoutenu par la puiſſance *d*. Alors la poulie eſt mobile, & eſt elle-même enlevée avec le fardeau. Elle repréſente donc un levier du ſecond genre *b e*, dont le point d'appui eſt en *b*, & qui eſt partagé en deux parties égales *b c*, *c e*, par la direction *c* I de la réſiſtance R. C'eſt pourquoi, dans ce cas-là, la puiſſance *d* n'a beſoin d'être que la moitié de la réſiſtance R pour la tenir en équilibre. Et ſi le fardeau eſt enlevé, la puiſſance *d* fait un chemin double de celui de la réſiſtance R, *Fig.* 81.

& a par conſéquent une vîteſſe double. Car ſuppoſons que le centre *c* de la poulie eſt porté au point *h*, alors il ne reſte au deſſous de la ligne *da* que la portion de corde qui paſſe ſous la poulie : les deux portions *ba* & *ed*, ou leurs équivalentes, ſont donc paſſées au deſſus ; mais *ba* & *ed*, qui marquent l'eſpace parcouru par la puiſſance, ſont, priſes enſemble, doubles de *ch*, eſpace parcouru par la poulie. Donc la puiſſance a une vîteſſe double de celle de la réſiſtance. Dans le cas préſent, la corde embraſſe la moitié de la circonférence de la poulie ; & les directions des deux puiſſances ſont paralleles. Le bras de levier de la puiſſance eſt donc le diametre *eb* de la poulie ; & celui de la réſiſtance n'en eſt que le rayon *cb*. C'eſt pourquoi, pour avoir équilibre, *il faut que la puiſſance ſoit à la réſiſtance, comme le rayon eſt au diametre.*

501. Mais ſi les directions des puiſſances étoient obliques entre elles ; ſi, par exemple, un des bouts de la corde étoit attaché au point fixe *g*, pendant que l'autre ſeroit tiré ou ſoutenu par la puiſſance P, elle repréſenteroit encore un levier du ſecond genre *ml*, dont le point d'appui ſeroit en *m*, & qui ſeroit partagé en deux parties égales *mi*, *il*, par la direction *c*I de la réſiſtance. Alors *la puiſſance* P *devroit être à la réſiſtance* R,

comme

comme le rayon c b est à la soutendante l m de l'arc embrassé par la corde.

502. Si au lieu de tirer de bas en haut, on trouve plus commode de tirer de haut en bas, on ajoutera, au dessus de la poulie mobile *m* (*fig.* 82), une poulie fixe *n*, qui ne changera rien à la valeur de la puissance (499). Et si la puissance n'étoit pas assez forte pour enlever le fardeau, on ajouteroit encore une seconde poulie mobile, & une autre poulie fixe (*fig.* 83.); ou même un plus grand nombre. La puissance acquerroit par-là beaucoup de valeur. Ce sont ces assemblages de poulies, dont les unes sont fixes & les autres mobiles, & toutes embrassées par une même corde, que l'on appelle *Mouffles*, & en terme de Marine, *Palans*, *Caliornes*. Les poulies fixes 2 & 4 sont toutes portées par une même chape, & les poulies mobiles 1 & 3 par une autre chape. La partie inférieure M de la chape qui porte les poulies fixes, sert de point fixe pour un des bouts de la corde; & c'est à la partie inférieure R de la chape qui porte les poulies mobiles, que l'on accroche le fardeau. *Fig.* 82. *Fig.* 83.

503. On peut, au moyen de ces assemblages, enlever de très-grands fardeaux avec une petite force; car il est démontré que la *force nécessaire pour soutenir un poids*, par le moyen d'une mouffle, *est au poids lui-même, comme l'unité*

eſt au double du nombre des poulies mobiles, lorſque les directions des cordes ſont bien paralleles entre elles : les puiſſances ſont alors, comme nous l'avons dit ci-deſſus (500), en raiſon inverſe des vîteſſes.

504. D'où il ſuit que le nombre des poulies mobiles & la puiſſance étant donnés, on trouve aiſément le poids que la mouſle pourra ſoutenir, en multipliant la puiſſance par le double du nombre des poulies mobiles. Par exemple, ſuppoſons que la puiſſance égale 60 livres, & que le nombre des poulies mobiles ſoit trois : 60 multipliés par 6, double de 3, égale 360, qui eſt le poids que peut ſoutenir cette mouſle.

505. De même le nombre des poulies mobiles étant donné, ainſi que le poids que doit ſoutenir la mouſle, on trouvera la puiſſance néceſſaire, en diviſant le poids par le double du nombre des poulies mobiles. Suppoſons donc que le poids égale 800 livres, & que le nombre des poulies mobiles ſoit 4 : 800 diviſés par 8, double de 4, donnent au quotient 100 livres, qui eſt la force néceſſaire pour ſoutenir, avec une pareille mouſle, le poids de 800 livres.

506. Pour trouver le nombre des poulies mobiles que doit avoir une mouſle, afin de ſoutenir un poids donné avec une puiſſance donnée, il faut diviſer le poids par la puiſſance : la moitié

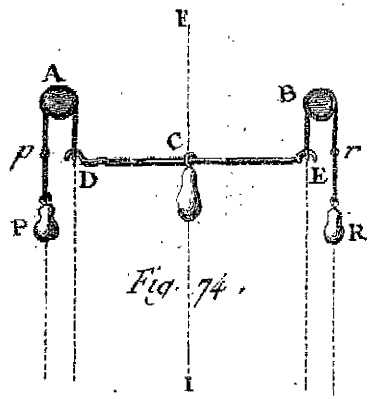


Fig. 74.

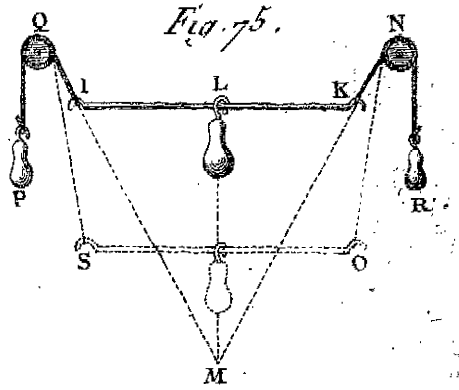


Fig. 75.

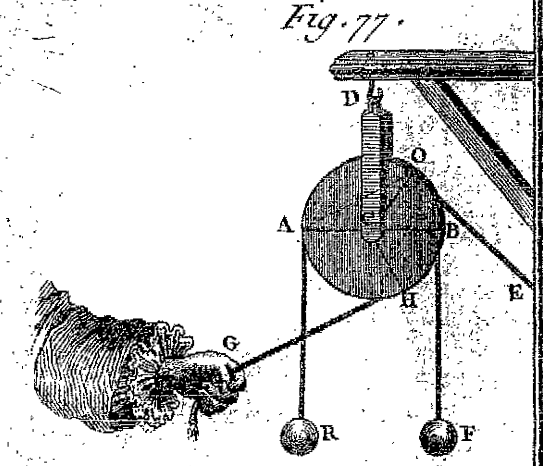


Fig. 77.

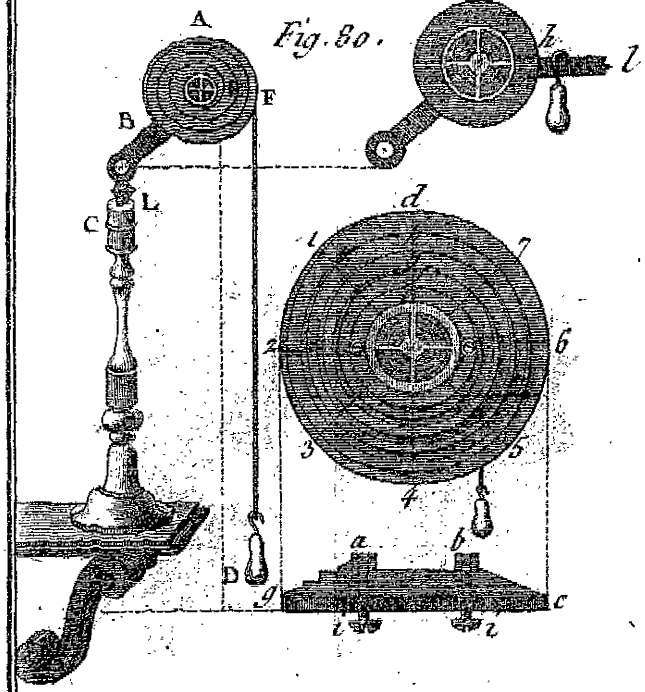


Fig. 80.

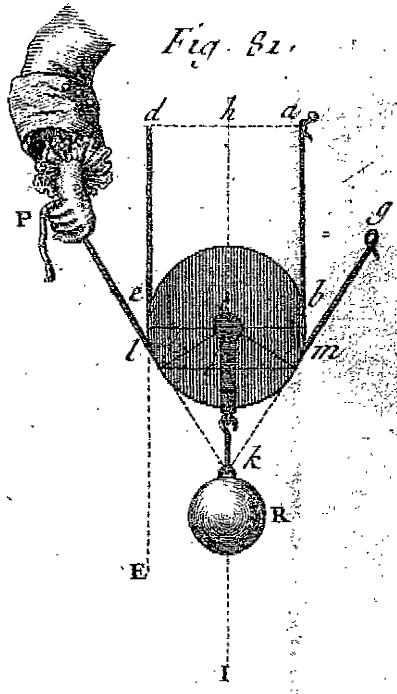


Fig. 81.

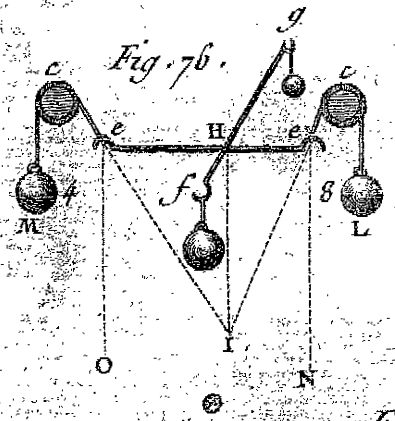


Fig. 76.



Fig. 78.

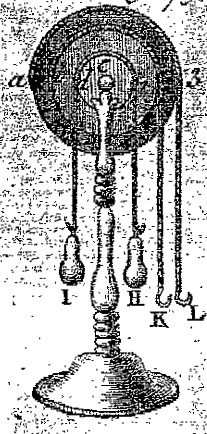


Fig. 79.

du quotient eſt le nombre cherché. Suppoſons, par exemple, que le poids ſoit 500 livres, & la puiſſance 50 : il faut que la mouffle ait 5 poulies mobiles; car 500 diviſés par 50, donnent 10 au quotient, dont la moitié eſt 5.

507. Dans tous ces cas, nous avons ſuppoſé (503) que les directions des cordes ſont paralleles entre elles. Si elles ſont obliques, alors *la réſiſtance ou le fardeau à ſoutenir eſt à la puiſſance, comme la ſomme des ſinus des angles que les cordes tangentes aux poulies mobiles font avec l'horizon, eſt au ſinus total.* Il faut donc, dans ce cas-là, que la puiſſance ſoit plus grande que nous ne l'avons dit. C'eſt pourquoi il faut faire en ſorte que les directions des cordes ſoient bien paralleles entre elles.

508. Pour empêcher le frottement des cordons les uns contre les autres, ce qui occaſionneroit une grande réſiſtance & uſeroit la corde, on eſt contraint d'employer, dans la même mouffle, des poulies de diametres de plus petits en plus petits; ce qui eſt un inconvénient, à cauſe de la roideur de la corde (576). Il vaut donc mieux placer les poulies de chaque mouffle, la ſupérieure & l'inférieure, parallélement entre elles, en les plaçant dans une chape commune, & les faiſant traverſer par un boulon commun, comme on le voit *fig.* 84. Là, toutes les poulies ſont de *Fig.* 84.

diametres égaux. Ces ſortes de mouffles ſont fort en uſage, ſur-tout dans les vaiſſeaux. Les cordons n'y ſont pas exactement paralleles ; mais ce défaut eſt peu conſidérable.

509. Dans les calculs précédens (503 *& ſuiv.*) nous avons fait abſtraction de la réſiſtance des frottemens, & de celle qui naît de la roideur & du poids des cordes (572 *& ſuiv.*), pour leſquelles il faut augmenter la puiſſance, & la rendre plus grande que nous ne l'avons ſuppoſée. Il peut même arriver qu'en augmentant le nombre des poulies, on augmente tellement ces réſiſtances, qu'elles faſſent plus que compenſer l'augmentation de force qui réſulte de l'augmentation du nombre des poulies.

Des Roues.

510. Les roues, de même que les poulies, peuvent être conſidérées comme des aſſemblages de leviers. Il y en a de deux eſpeces : les unes tournent toujours dans le même lieu ſur un axe qui eſt fixé à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui ſervent d'appui : telles ſont les roues des horloges, des moulins, des tournebroches, &c. Ces ſortes de roues reçoivent le mouvement ou le tranſmettent par certaines parties ſaillantes qu'on réſerve ou qu'on ajoute à leur circonférence, & que l'on nomme

dents, *chevilles*, *vannes*, &c. Les roues de l'autre eſpece, roulant ſur leur circonférence, portent leur centre & l'axe ou l'eſſieu qui le traverſe, dans une direction parallele au plan ou au terrein qu'elles parcourent : telles ſont les roues des voitures, comme carroſſes, charrettes, &c. Ces ſortes de roues ont donc deux mouvemens; l'un, de leur centre qui s'avance en ligne droite, & l'autre, de toutes leurs parties qui circulent autour de ce centre.

511. Quand il s'agit des roues de la premiere eſpece, on place ordinairement ſur un même arbre ou axe une grande roue & une petite roue, autrement nommée *pignon*, dont les dents ou les ailes engrenent avec les dents d'une autre grande roue. Dans les grandes machines on ſubſtitue ſouvent aux pignons, & pour en tenir lieu & en faire l'office, des *lanternes*, qui ne ſont autre choſe que des cylindres ou fuſeaux paralleles entre eux & aſſemblés en rond entre deux plateaux. Alors les dents de la roue engrenent avec les fuſeaux de la lanterne, comme elles feroient avec les ailes d'un pignon. Le mécaniſme revient abſolument au même dans les deux cas : ainſi il ſuffit d'examiner l'engrenage des roues & des pignons.

512. Les roues de la premiere eſpece (510), celles dont les axes ne ſont que tourner dans la

même lieu, doivent être considérées comme des leviers du premier genre (477.), dont les bras sont les rayons des roues & des pignons, & qui ont leur point d'appui à l'axe. Soient donc trois
Fig. 85. roues A, B, C (*fig.* 85.), & leurs pignons correspondans *a*, *b*, *c*. Le pignon, ou, ce qui est la même chose, le cylindre *a* soutient un poids P; la roue A, qui a le même arbre que le cylindre *a*, engrene avec le pignon *b*; la roue B, qui a le même arbre que le pignon *b*, engrene avec le pignon *c*; la roue C, qui a le même arbre que le pignon *c*, est tirée à sa circonférence par la puissance Q : & tout le système est en équilibre. On voit qu'ici le poids P agit par les rayons des pignons; & que la puissance Q agit par les rayons des roues. Supposons que les rayons des roues sont quadruples des rayons des pignons; que les premiers sont, par exemple, de 8 pouces, & les autres de 2 pouces. Comme il faut, pour avoir équilibre, que *la puissance soit à la résistance, comme le produit des bras de levier de la résistance, est au produit des bras de levier de la puissance* (485), c'est-à-dire, en raison inverse de la longueur des bras de levier; on cherchera ces produits, en multipliant les uns par les autres & les rayons des roues, & les rayons des pignons. Le premier produit fera 512; & le second 8; auquel cas la puissance Q doit

être au poids P, comme 8 eſt à 512, ou comme 1 eſt à 64.

513. D'où il ſuit qu'en cas d'équilibre, & quels que ſoient les diametres des roues & des pignons, *la puiſſance eſt à la réſiſtance, comme le produit des rayons des pignons, eſt au produit des rayons des roues.* On voit par-là que ces ſortes de machines peuvent donner un très-grand avantage à la puiſſance ſur la réſiſtance, relativement à la force. Mais cet avantage eſt acquis aux dépens de la vîteſſe, lorſque la machine paſſe du repos au mouvement. Car on perd toujours en vîteſſe ce que l'on gagne en force, & réciproquement.

514. On a ſouvent beſoin, ſur-tout dans l'horlogerie, que les nombres des révolutions des roues & des pignons aient entre eux un certain rapport. On l'obtiendra en donnant aux roues & aux pignons les nombres convenables de dents & d'ailes: par exemple, ſi l'on veut qu'une roue ne faſſe qu'une révolution pendant qu'un pignon en fait quatre, il faudra donner à la roue quatre fois autant de dents que le pignon a d'ailes. Ainſi, ſi nous ſuppoſons quatre roues A, B, C, D (*fig.* 86.), dont la premiere A engrene avec le pignon *b* fixé à la ſeconde B; celle-ci engrene avec le pignon *c* fixé à la troiſieme C; cette troiſieme engrene avec le pignon *d* fixé à la qua- *Fig.* 86.

trieme D ; enfin cette quatrieme engrene avec le dernier pignon *e* : pour avoir le rapport du nombre des révolutions de la premiere roue A au nombre des révolutions du dernier pignon *e*, il faut multiplier le nombre des dents de la roue A, par le nombre des dents de la roue B ; ce premier produit par le nombre des dents de la roue C ; & le second produit, par le nombre des dents de la roue D : il faut enſuite multiplier le nombre des ailes du pignon *b* par le nombre des ailes du pignon *c* ; ce premier produit, par le nombre des ailes du pignon *d* ; & le ſecond produit, par le nombre des ailes du dernier pignon *e* : les derniers produits des dents des roues & des ailes des pignons, donneront le rapport cherché.

515. On peut donc établir, pour regle générale, que *le nombre des révolutions de la premiere roue* A, *eſt au nombre des révolutions du dernier pignon, comme le produit des ailes des pignons, eſt au produit des dents des roues.* On voit par-là qu'il n'eſt point néceſſaire de déterminer les nombres d'ailes & de dents que chaque pignon & chaque roue doit avoir en particulier : il ſuffit que le rapport du produit de toutes les ailes, au produit de toutes les dents, ſoit le même que celui que l'on déſire.

516. Au moyen des roues de cette eſpece, on peut tranſmettre au loin l'action d'une puiſſance,

changer la direction du mouvement, & faire varier la vîteſſe dans l'une ou l'autre des puiſſances.

1°. Si, au lieu d'appliquer le pignon D (*fig.* 87) immédiatement ſur la roue H, on fixe ce pignon D à l'autre extrémité de l'axe prolongé, tant qu'il en ſera beſoin, de cette maniere l'action de la puiſſance qui agira par la manivelle G, ſe pourra tranſmettre à une certaine diſtance par le moyen du pignon D fixé à l'extrémité de l'axe. *Fig.* 87.

2°. Si ce pignon D engrene avec une autre roue E, qui ait des dents paralleles à ſon axe, le mouvement qui lui ſera tranſmis, changera de direction, & deviendra horizontal, de vertical qu'il étoit.

517. 3°. Enfin, ſi la roue E a quatre fois autant de dents que le pignon D a d'ailes; comme ce pignon ne peut ſe mouvoir ſans la roue verticale H, il faut que l'un & l'autre faſſent quatre tours pour en faire faire un à la roue horizontale E; & réciproquement, ſi l'on fait faire une révolution à celle-ci, on en fera faire quatre au pignon D & à la roue verticale H. Si l'on ſuppoſe donc à chacune des deux grandes roues H & E une manivelle G ou F menée par un homme qui lui faſſe faire une révolution dans une ſeconde, la vîteſſe ſera quatre fois auſſi grande, lorſqu'il agira par la manivelle F, que s'il agiſſoit par la manivelle G. Il eſt vrai qu'alors

il lui faudra employer quatre fois autant de force ; parce qu'on perd toujours en force ce qu'on gagne en vîteſſe ; & réciproquement, on perd toujours en vîteſſe ce qu'on gagne en force. La liberté de choiſir eſt une choſe avantageuſe.

518. Quant aux roues de la ſeconde eſpece (510), qui ont deux ſortes de mouvement, comme celles des voitures, dont le centre s'avance en ligne droite, pendant que les autres parties tournent autour de lui, on doit les regarder le plus ſouvent comme un levier du ſecond genre, qui ſe répete autant de fois qu'on peut imaginer de points à la circonférence. Car chacun de ces points eſt l'extrémité d'un rayon C M (*fig.* 88.) appuyé d'une part ſur le terrein M ; & l'autre bout C, chargé de l'eſſieu qui porte la voiture, eſt en même temps tiré par la puiſſance P qui la mene. De ſorte que ſi le plan étoit parfaitement uni & de niveau, ſi la circonférence des roues étoit bien ronde & ſans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe au moyeu, & ſi la direction de la puiſſance demeuroit toujours bien parallele au plan, une petite force meneroit une charrette très-peſante ; car la réſiſtance, qui vient de ſon poids, repoſe entiérement ſur le terrein par le rayon CM, ou par un ſemblable qui lui ſuccede l'inſtant d'après.

Fig. 88.

519. Mais de toutes les conditions que nous

venons de ſuppoſer, & dont le concours ſeroit néceſſaire pour produire cet effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'uſage ordinaire. Les roues des charrettes ſont groſſiérement arrondies, & garnies de gros clous : les chemins ſont naturellement inégaux, ou ils le deviennent par le poids de la voiture qui les enfonce ; ces inégalités, ſoit des roues, ſoit du terrein, font que la roue s'appuie par un rayon CQ ou CN oblique à la direction CP de la puiſſance, ou à la direction CM de la réſiſtance. Le poids qui réſide en C, réſiſte donc à la puiſſance, qui ne peut le faire avancer qu'en le faiſant monter autant que le point Q ou N eſt au deſſus du point M. La puiſſance eſt donc alors obligée de ſoutenir une partie du poids de la voiture, comme ſi elle étoit placée ſur un plan incliné. D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient ſur des ſurfaces parfaitement unies, droites & dures, il ſe fait indiſpenſablement, de l'eſſieu aux moyeux, un frottement conſidérable.

520. Les creux & les hauteurs qui ſe rencontrent dans les chemins, changent auſſi la direction de la puiſſance. Un cheval placé plus bas ou plus haut, par la diſpoſition du terrein, au lieu de faire ſon effort par la ligne CP, parallele à la portion du plan qui porte naturellement les roues, le fait aſſez ſouvent par CS ou CR, c'eſt-à-

dire, obliquement à la direction CM de la réſiſtance, & par conſéquent avec déſavantage; car une charrette qui ſe meut aſſez facilement par la force d'un ſeul cheval ſur un terrein horizontal, a ſouvent beſoin de pluſieurs chevaux pour être tirée ſur un plan qui va tant ſoit peu en montant.

521. En général, pour tirer un fardeau ſur un terrein inégal & raboteux, comme ils le ſont preſque tous, il eſt plus avantageux, ainſi que l'ont prouvé MM. *Stevin*, *Wallis* & *Deparcieux*, de tirer un peu en en haut, comme par la ligne CR; il faut donc que l'axe des roues ſoit un peu plus bas que la poitrine des chevaux : cela fait que la direction de la puiſſance approche davantage du paralléliſme à chacun des petits plans inclinés que forment les inégalités du terrein.

522. Mais, s'il n'eſt pas poſſible de ſe mettre abſolument au deſſus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues plutôt que des petites. Car il eſt certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes dans les creux du terrein, comme on le peut voir par la *fig.* 89, où le rayon *c q* de la petite roue, qui porte contre le terrein, lorſqu'il s'agit de ſortir du trou, eſt beaucoup plus oblique à la direction *c p* de la puiſſance, que ne l'eſt le rayon C*q* de la grande

Fig. 89.

roue à la direction CP. De plus, comme la circonférence d'une grande roue mesure, en roulant, plus de chemin que celle d'une petite, elle tourne moins vîte, ou elle fait un moindre nombre de révolutions, pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Du Treuil.

523. Le treuil ou tour, l'une des six machines réputées simples, est un arbre ou cylindre qui tourne sur son axe soutenu sur deux points fixes; au moyen duquel, avec une petite force, on enleve un grand fardeau attaché à une corde, qui s'enveloppe sur le cylindre; & cela par le moyen d'une espece de tambour fixé à une des extrémités du cylindre, & portant assez souvent à sa circonférence des especes de chevilles ou leviers.

524. Dans l'usage ordinaire, au lieu de tambour, on ne fait que fixer, à l'une des extrémités du cylindre AB (*fig.* 90.), des leviers croisés EF, GH, par le moyen desquels on fait tourner le cylindre sur son axe CD, tandis que la corde, qui soutient le poids *a*, s'enveloppe sur le cylindre AB. Il est aisé de voir que l'effet du treuil revient à celui d'un levier du premier genre. Car supposons que *hg* (*fig.* 91) représente le rayon du cylindre; & que *h*P représente le bras de levier par lequel agit la puissance P; *Fig.* 90. *Fig.* 91.

si la longueur de hP, est à celle de hg, comme 3 est à 1, une puissance de 100 livres en P, agissant dans une direction perpendiculaire à Ph, tiendra en équilibre un poids G de 300 livres (481).

525. Il suit de là que, pour avoir équilibre par le moyen du treuil, il faut que *la puissance* P *soit au poids* G, *comme le rayon* hg *du cylindre, est au levier* hP; ou, ce qui revient au même, *comme le rayon du cylindre est au rayon du tambour*. Ainsi, si, dans l'état d'équilibre, la puissance est moindre que le poids, & cela, dans le rapport du rayon du cylindre à celui du tambour; aussi, dans l'état de mouvement, la puissance va plus vîte que le poids, & cela, dans le rapport du rayon du tambour à celui du cylindre. Cette regle suppose que la puissance est toujours perpendiculaire au rayon par lequel elle agit; car la direction du poids est toujours perpendiculaire au rayon du cylindre, puisque la corde qui le soutient, est toujours tangente à sa circonférence.

526. Dans les grands efforts, comme il faut que les bras de levier de la puissance soient très-longs, & qu'on ne pourroit pas, vu leur longueur, atteindre l'extrémité de l'un pendant qu'on tiendroit l'extrémité de l'autre; que d'ailleurs on ne pourroit pas les multiplier assez, sans affoiblir considérablement la tête du cylindre; on a pris

Fig. 82.

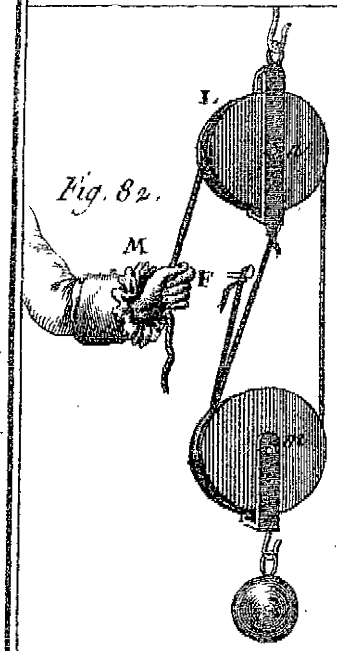


Fig. 83.

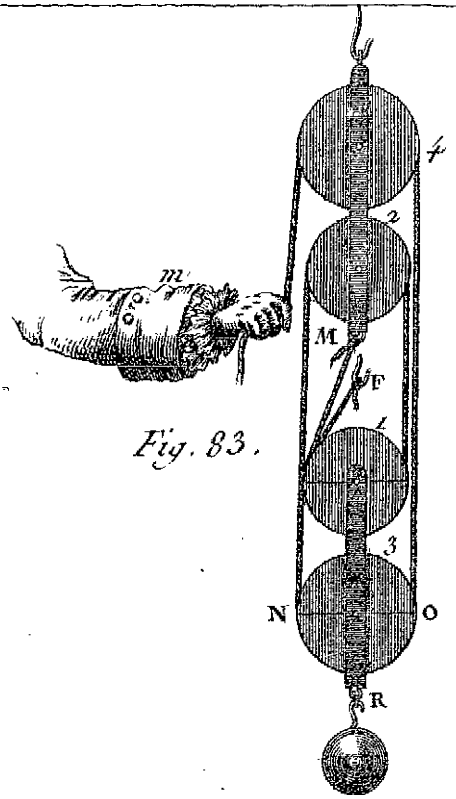


Fig. 84.



Fig. 85.

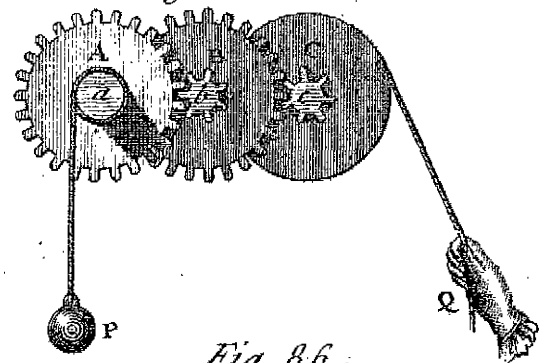


Fig. 86.

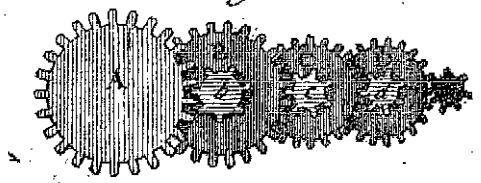


Fig. 87.

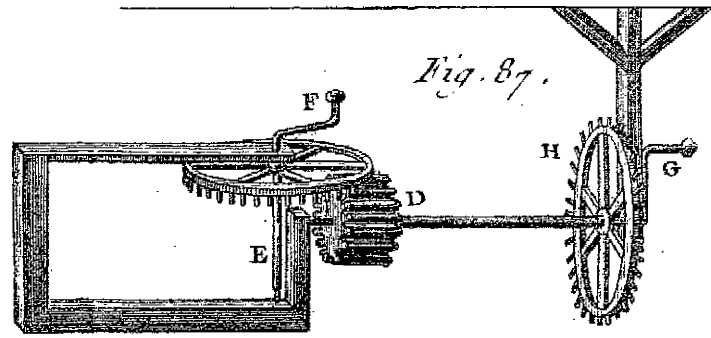


Fig. 88.

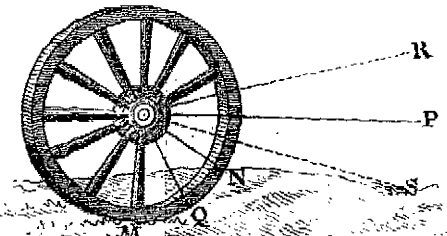


Fig. 89.

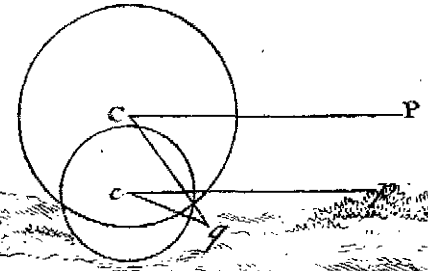
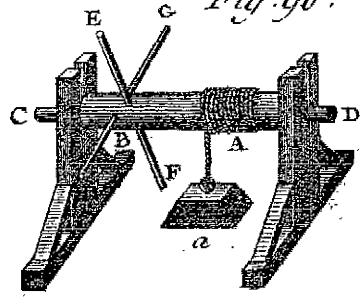


Fig. 90.



Benard Direxit.

le parti de réunir les extrémités de ces rayons par une circonférence à laquelle on adapte des chevilles, par lesquelles les hommes agissent ; comme on le voit dans la roue des carrieres (*fig.* 92.) & dans la grue (*fig.* 93). *Fig.* 92. *Fig.* 93.

527. D'après ce que nous venons de dire, il est aisé de voir que la principale partie, dans la roue des carrieres & dans la grue, n'est autre chose qu'un treuil à tambour. On voit aussi que dans la chevre (*fig.* 94.) le cylindre ED est un treuil à leviers G & F. *Fig.* 94.

528. Dans la roue des carrieres & dans la grue, les hommes agissent communément par leur poids. Mais comme ils ne peuvent pas se tenir à l'extrémité du rayon horizontal, ce qui seroit le plus avantageux, puisque la direction de leur poids, qui est verticale, y seroit perpendiculaire, & que le poids de leur corps les retient plus bas ; alors, pour avoir équilibre, il faut que *leur poids soit au fardeau qu'ils soutiennent, comme le rayon du cylindre est au sinus de l'angle que fait la direction verticale avec le rayon de la roue à l'extrémité duquel ils agissent* : dans la même raison que l'effort d'une puissance agissant obliquement à l'extrémité d'un bras de levier (483).

Du Cabeſtan.

529. Le cabeſtan eſt un véritable treuil : il n'en differe que par la poſition de ſon cylindre, qui eſt vertical, tandis que dans le treuil il eſt horizontal. La maniere dont une puiſſance agit ſur une réſiſtance, par le moyen du treuil (525), eſt entiérement applicable au cabeſtan. Mais le cabeſtan eſt beaucoup plus avantageux que le treuil ; 1°. parce que la puiſſance peut toujours agir perpendiculairement à ſon bras de levier : 2°. parce qu'on peut y appliquer un grand nombre d'hommes à la fois.

530. Le cabeſtan eſt donc une machine au moyen de laquelle on peut vaincre de très-grandes réſiſtances avec des puiſſances beaucoup moindres. Auſſi s'en ſert-on ſur les vaiſſeaux, pour lever les ancres ou autres fardeaux, auxquels ſont amarrés les cables que l'on roule ſur le cylindre. On s'en ſert encore dans les ports pour amener les vaiſſeaux à terre, quand il en eſt beſoin ; & pour faire paſſer d'un bateau ſur le port, des maſſes extrêmement lourdes, comme des blocs de marbre ou de pierre.

531. La maniere ordinaire de ſe ſervir du cabeſtan, eſt de faire faire ſur le cylindre AB (*fig.* 95) deux ou trois tours à la corde CD, qui tient *Fig. 95.*

la

la réſiſtance vers D, tandis que des hommes tirent, de toutes leurs forces, la partie C de la corde, pour empêcher qu'elle ne gliſſe : car alors le frottement de la partie de la corde qui eſt roulée autour du cylindre, eſt ſi conſidérable, que, quoique le poids de la réſiſtance ſurpaſſe de beaucoup la force des hommes qui tiennent la corde, il ne peut cependant la ſurmonter, ni faire gliſſer la partie de la corde roulée autour du cylindre. Si l'on applique enſuite des hommes aux leviers E, F, G, H; & que ces hommes faſſent tourner le cylindre, ils amenent la réſiſtance : & pendant ce temps-là, ceux qui tirent la partie C de la corde, la devident; de ſorte qu'il n'en reſte jamais ſur le cylindre plus de tours qu'on ne lui en avoit d'abord fait faire; car un côté ne peut pas ſe rouler, que l'autre ne ſe déroule.

532. Il eſt aiſé de voir que le cabeſtan agit comme un levier ſans fin du premier ou du ſecond genre à bras inégaux (477); & que le bras de la réſiſtance eſt beaucoup plus court que celui de la puiſſance. Car le bras de levier par lequel agit la réſiſtance, eſt le rayon du cylindre : & le bras de levier par lequel agit la puiſſance, eſt ce même rayon prolongé par un des leviers en croix E, F, G, H. Plus ces leviers ſeront longs, plus la puiſſance deviendra capable de vaincre une grande

réſiſtance ; mais il lui faudra plus de temps, parce qu'elle aura un plus long chemin à par-
Fig. 91. courir. Suppoſons gk (*fig.* 91) le diametre du cylindre, dont le centre eſt en h : hg, rayon de ce cylindre, eſt le bras de levier par lequel agit la réſiſtance G ; hP ou hp, rayon prolongé, eſt le bras de levier par lequel agit la puiſſance P ou p. Si donc hg eſt à hP, comme 1 eſt à 10, un effort de 100 livres en P pourra tenir en équilibre une réſiſtance de 1000 livres en G.

533. Il y a ordinairement ſur les vaiſſeaux deux ſortes de cabeſtans ; ſavoir, un grand, qu'on nomme *cabeſtan double*, & un petit, qui eſt le cabeſtan ordinaire. Le cabeſtan double eſt placé ſur le premier pont, & s'éleve juſqu'à quatre ou cinq pieds au deſſus du ſecond pont. Il eſt deſtiné à produire les plus grands efforts, comme à lever l'ancre, &c. Le petit cabeſtan eſt poſé ſur le ſecond ou le troiſieme pont, entre le grand mât & le mât de miſaine ; & il ſert à hiſſer les mâts de hune & les grandes voiles.

534. Lorſque le cable auquel eſt attachée la réſiſtance, eſt trop gros pour pouvoir être roulé ſur l'arbre ou cylindre du cabeſtan, tel que celui qui ſert à lever les ancres des gros vaiſſeaux, on ſe ſert d'un cordage médiocrement gros, nommé *tournevire*, auquel on fait faire deux ou

trois tours sur l'arbre du cabestan, & dont on joint ensuite les deux bouts ensemble, de façon qu'un côté ne puisse se rouler sans que l'autre se déroule. A ce tournevire on attache, par le moyen de petites cordes, qu'on appelle *garcettes*, le gros cable qui tire l'ancre.

535. Il y a, dans l'usage du cabestan, plusieurs inconvéniens qu'on n'a encore pu corriger, malgré toutes les peines qu'on a prises, & tous les Savans qui s'en sont occupés. Si l'on se sert du tournevire, les garcettes, qui y tiennent le cable attaché, sont bientôt hors d'usage: il faut les défaire, pour les remettre plus loin, ce qui fait perdre un temps souvent précieux. Mais le plus grand inconvénient est que le cordage qui enveloppe & se dévide sur le cylindre, descend à chaque tour de tout son diametre, &, par-là, arrive jusqu'au bout du cylindre. Pour éviter qu'il ne se croise & qu'il ne s'embarrasse, il faut le rehausser; c'est ce qu'on appelle *choquer*: opération qui est d'autant plus fréquente, que le cordage est plus gros & le cylindre plus court. Mais, à chaque fois qu'on choque, il faut arrêter le mouvement de la machine; prendre des bosses sur le cordage, pour empêcher que la résistance ne l'emporte; dériver le cabestan pour mollir la partie du cordage qui est sur le cylindre; relever

le cordage ; le roidir de nouveau ; & enfin ôter les bosses, pour remettre le cabestan en jeu. Tout cela demande beaucoup de temps & de travail.

J'ai cependant appris qu'on a, depuis quelque temps, construit à Cherbourg un cabestan qui n'a pas besoin de choquer : mais j'ignore quel est le mécanisme qui l'en dispense. J'avois prié un de mes confreres, qui y réside, de me le faire connoître : je viens encore de lui écrire, pour lui rappeler sa promesse ; si je reçois sa réponse avant qu'on imprime cet article, c'est ici que je ferai connoître ce mécanisme ; si je la reçois plus tard, je le placerai en quelque autre endroit, qui sera indiqué par la *Table des matieres* au mot *Cabestan*.

Du Cric.

536. Le cric est encore une machine, moyennant laquelle on peut, avec une petite force, vaincre une grande résistance. Le cric simple est
Fig. 96. composé d'une barre de fer AB (*fig.* 96) garnie de dents à l'une de ses faces, & mobile dans une chasse CE. Les dents de la barre AB engrenent avec celles d'un pignon DD, qu'on fait tourner sur son axe, au moyen de la manivelle MN. Les dents du pignon soulevent la

barre, & font par conſéquent monter le poids placé ſur ſa tête A.

537. En conſidérant l'effort que chaque dent du pignon fait en D pour ſoulever la barre, comme un poids à élever, il eſt clair (512) que *la puiſſance*, appliquée à la manivelle, *eſt à ce poids, comme le rayon du pignon eſt au bras* NM *de la manivelle*. D'où l'on voit qu'en faiſant le rayon du pignon très-petit, par rapport à celui de la manivelle, on peut, avec une force médiocre, élever un poids très-conſidérable.

538. Quelquefois, pour ſoulever un plus grand poids, avec la même force appliquée à la manivelle, on ajoute au cric une vis ſans fin (559) qu'on fait tourner avec la manivelle fixée à ſon axe, & dont les filets engrenent avec les dents du pignon. Suppoſons que, dans le cric ſimple, le pignon ait 8 dents : à chaque tour de manivelle la barre ſera élevée de 8 dents. Mais ſi l'on ajoute une vis ſans fin qui ait deux filets, il faudra, pour faire faire une révolution au pignon, & pour élever la barre de 8 dents, faire faire quatre tours à la manivelle. Par-là on rendra donc quadruple le chemin parcouru par la puiſſance; & par conſéquent on quadruplera ſa force. Mais on voit que, pour le même degré d'élévation de la réſiſtance, il faudra, dans le ſecond cas,

quatre fois autant de temps que dans le premier. Cette vis sans fin produit un autre avantage, qui est de pouvoir arrêter où l'on veut, sans craindre que le poids redescende.

Du Plan incliné.

539. Le plan incliné, l'une des six machines réputées simples, est celui qui fait un angle avec un plan horizontal. Cet angle peut être infiniment petit; & alors le plan se confond avec la ligne horizontale: ou bien cet angle peut être droit; & alors le plan devient vertical. Entre ces deux extrêmes sont comprises toutes les autres especes d'inclinaison.

540. Nous avons prouvé ci-dessus (234) que la durée de la chûte d'un corps par un plan incliné, est à la durée de la chûte de ce même corps par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan est à sa hauteur. Donc un corps placé sur un plan incliné, est en partie soutenu par ce plan: donc une puissance qui agit par le moyen d'un plan incliné, peut soutenir, ou même vaincre, une résistance plus grande qu'elle. Et cette puissance n'agit jamais avec tant d'avantage que lorsque sa direction est parallele au plan.

Fig. 97. 541. Soit A C (*fig.* 97.) un plan incliné: pour soutenir le corps D sur ce plan, & l'empêcher de tomber; il n'est pas nécessaire que les poids

d, *d*, qui le retiennent par le moyen des cordes D*e d*, ſoient, pris enſemble, égaux au poids du corps D, ſi ces poids *d*, *d*, tirent dans la direction D*e* parallele au plan incliné. Mais ſi ces poids tiroient dans les directions DF ou DE, ils perdroient de leur avantage : on en verra la raiſon ci-après.

542. Il eſt évident que le plan incliné porte une partie du poids D, puiſque des poids moindres que le ſien l'empêchent de tomber. En effet, le corps *k* (*fig.* 93.) tend à tomber par la direction verticale *k h* (202); il en eſt empêché par le plan incliné *a c* qu'il eſt contraint de ſuivre. Son point d'appui eſt en *d* : on peut donc regarder le rayon *d k* comme un levier, à l'extrémité *k* duquel agiſſent deux puiſſances ; l'une, le poids du corps *k*, dans la direction *k h*, oblique au rayon *d k*; & l'autre, *k p*, perpendiculaire à ce rayon. La longueur du bras de levier de cette derniere puiſſance eſt donc le rayon entier *d k* : & la longueur du bras de levier par lequel agit le poids du corps *k*, ſe réduit à *d e*, ſinus de l'angle que fait la direction *k h* avec le rayon *k d* (485). *Fig.* 93.

543. Mais, comme les puiſſances doivent être en raiſon inverſe des longueurs des bras de levier (481), la puiſſance *k p* doit être au poids du corps *k*, comme *d e* eſt à *d k*. Mais *d e* eſt à *d k*,

comme *a b*, hauteur du plan, eſt à *a c*, ſa longueur. Car le triangle *dek* eſt ſemblable au triangle *a b c*, comme cela eſt aiſé à voir : il y a donc le même rapport entre *d e*, & *d k*, & *e k*, qu'entre *a b* hauteur du plan incliné, & *a c* ſa longueur, & *b c* ſa baſe : *d e* repréſente donc *a b* la hauteur du plan ; & *d* k repréſente *a c* ſa longueur. D'où il ſuit que, *dans le cas où la direction de la puiſſance eſt parallele à la longueur du plan incliné, la puiſſance doit être au poids, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur.*

544. Mais ſi la direction de la puiſſance eſt oblique à la longueur du plan, elle ſera dans un autre rapport. Par exemple, *ſi cette direction eſt k m, parallele à la baſe du plan, la puiſſance doit être alors au poids, comme la hauteur du plan eſt à ſa baſe* : comme *d e* eſt à *e k*, ou à *d o*, parallele & égale à *e k* ; laquelle ligne *d o* eſt le ſinus de l'angle que fait la direction *k m* de la puiſſance avec le rayon *d k*. Pour tous les autres degrés d'obliquité, ce ſera toujours le ſinus de l'angle que fera la direction de la puiſſance avec le rayon *d k*, qui déterminera le rapport.

545. Enfin, pour déterminer ce rapport d'une maniere plus générale, on peut dire que, dans tous les cas, *le poids & la puiſſance doivent être*

entre eux, comme les ſinus des angles que font avec le rayon dk, la direction de la puiſſance & la ligne verticale (483); laquelle ligne eſt la direction du poids.

546. Puiſque le plan incliné porte une partie du poids (542), ce n'eſt pas la peſanteur abſolue de ce poids que doit ſoutenir la puiſſance, mais ſeulement ſa peſanteur reſpective; c'eſt-à-dire, la portion de ſon poids qui n'eſt pas ſoutenue par le plan incliné. Voyez ci-deſſus (*236 & ſuivant.*) quel rapport il y a entre cette peſanteur reſpective & l'inclinaiſon du plan.

Du Coin.

547. Le coin, l'une des ſix machines réputées ſimples, eſt un priſme triangulaire DAC (*fig.* 99), ou, ce qui eſt la même choſe, un corps compoſé de trois plans DC*cd*, D*da*A, C*ca*A, qui terminent deux triangles DAC, *dac*. Les deux plans D*da*A, & C*ca*A, qui ſont les plus longs, & que l'on nomme ſes *côtés*, forment un angle à la ligne A*a*, qu'on appelle la *pointe* ou le *tranchant du coin*: & le plan DC*cd*, qui eſt le plus petit des trois, & qui détermine l'écartement des deux autres vers le haut, s'appelle la *baſe* ou la *tête du coin*. La ligne BA eſt ce qu'on appelle la *hauteur* ou l'*axe du coin*. *Fig.* 99.

548. L'action du coin peut se rapporter à celle du plan incliné (539). En effet, il est évident que le plan A C *c a* est incliné au plan A D *d a*.

549. On se sert du coin pour fendre, soulever, ou comprimer des corps; & pour le faire agir, on emploie communément le choc d'un corps dur, & quelquefois la pression d'un poids. La résistance, qu'on veut vaincre par le moyen du coin, vient souvent de la tenacité des parties; adhérence difficile à estimer. La percussion qui fait agir le coin, est encore une force difficile à comparer à celle d'une pression : c'est pourquoi l'application de la théorie du coin à la pratique n'est pas susceptible d'une grande précision. Pour approcher davantage de cette précision, supposons des puissances dont on connoisse la force absolue, comme des poids; & voyons quels sont les rapports que prennent entre elles la puissance & la résistance, par l'interposition du coin.

550. Supposons donc les deux rouleaux *m*, *n*, (*fig.* 100.) attachés, l'un *m* à la corde *m l e*, & l'autre *n* à la corde *n i d*, portant chacune un poids de 10 livres *p* & *r*, & passant par-dessus les poulies *f* & *h* : supposons aussi que la base *a b* du coin soit égale à la moitié de sa hauteur *c h*. Il faudra une pression de 5 livres pour tenir ce coin en équilibre avec la somme des deux poids,

Fig. 100.

qui eſt égale à 20 livres ; & un peu plus de 5 livres pour faire enfoncer le coin de toute ſa hauteur ch, abſtraction faite des frottemens. Il eſt évident, par la conſtruction, que, pendant que le coin s'enfoncera de toute ſa hauteur ch, les deux poids p & r monteront chacun d'une quantité égale à la moitié de il, laquelle eſt égale à ab, baſe du coin. Et comme il faut, pour qu'il y ait équilibre, que la puiſſance ſoit à la réſiſtance en raiſon inverſe des vîteſſes (481), ou des eſpaces parcourus dans le même temps, il eſt clair que, *dans le cas d'équilibre, la puiſſance doit être à la réſiſtance, comme la moitié de la baſe du coin eſt à ſa hauteur.* Donc plus le coin eſt aigu, plus ſon action devient puiſſante, & plus la même force produit d'effet par ſon moyen.

551. Si le coin tend à écarter les parties d'un corps dur, & qui ont beaucoup d'adhérence entre elles, comme cela arrive le plus ſouvent, ſon avantage va toujours en augmentant à meſure qu'il s'enfonce entre ces parties. Car ſuppoſons qu'on ait fortement attaché enſemble deux tringles de bois sq & tr (*fig.* 101.) par de forts liens *Fig.* 101.
p, u, x, &c. tous égaux en force, & qui repréſentent l'adhérence des parties d'une bûche, par exemple ; le coin étant placé entre les deux tringles, agit en quelque façon par les bras sp,

tp, de deux leviers angulaires spq, tpr, tandis que les deux autres bras pq, pr, retenus par les liens, s'appuient mutuellement l'un contre l'autre. Si la force du coin excede un peu celle du premier lien p, ce lien ſera rompu. Le ſecond lien u, quoiqu'auſſi fort que le premier, ſera rompu plus aiſément par l'action du même coin, parce qu'alors les bras des leviers par leſquels il agit, ſont alongés de la quantité pu; & ainſi des autres. C'eſt ſans doute pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matieres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclats, & ſe fendent fort aiſément dès qu'on a commencé à les entamer.

552. On a rapporté au coin tous les inſtrumens à tranchans & à pointes, comme couteaux, haches, épées, poinçons, &c. En effet, tous ces inſtrumens ont au moins deux plans inclinés l'un à l'autre, quelquefois quatre ou même plus, qui forment entre eux un angle plus ou moins aigu. Ainſi les clous, les aiguilles, les épingles, &c. font l'office de coin, & doivent être conſidérés comme tels.

De la Vis.

553. La vis, l'une des ſix machines réputées ſimples, eſt un cône fort alongé ou un cylindre

Fig. 91.

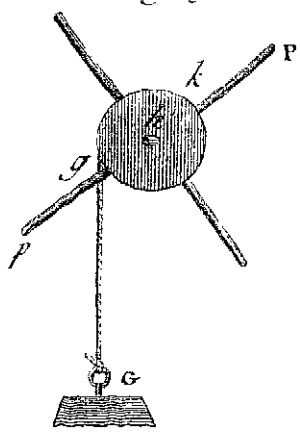


Fig. 92.

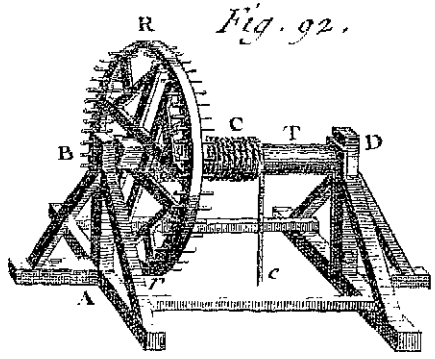


Fig. 95.

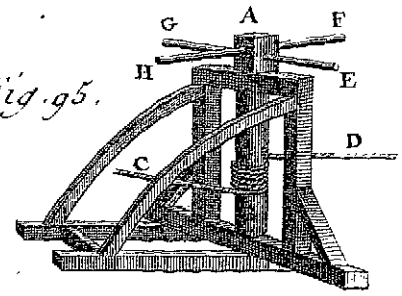


Fig. 96.

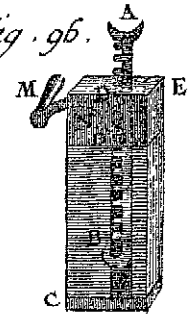


Fig. 98.

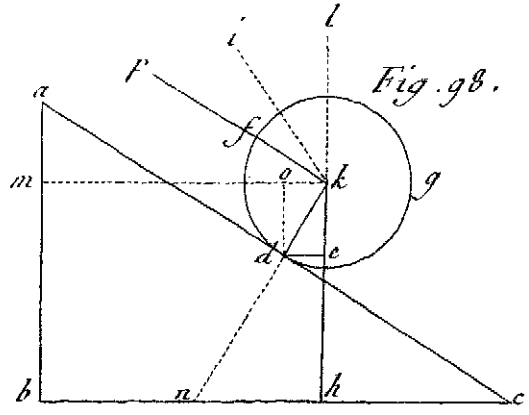


Fig. 99.

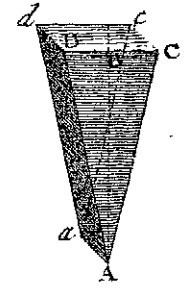


Fig. 94.

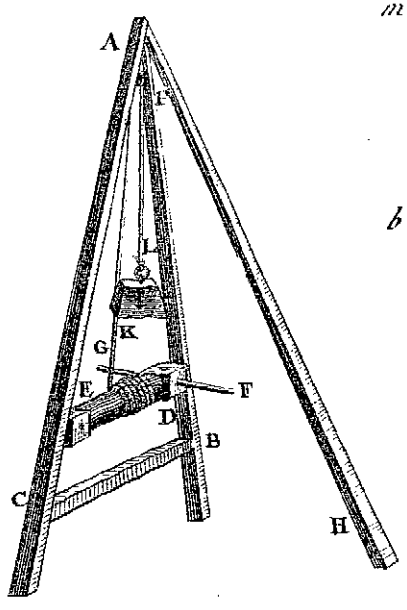


Fig. 93.

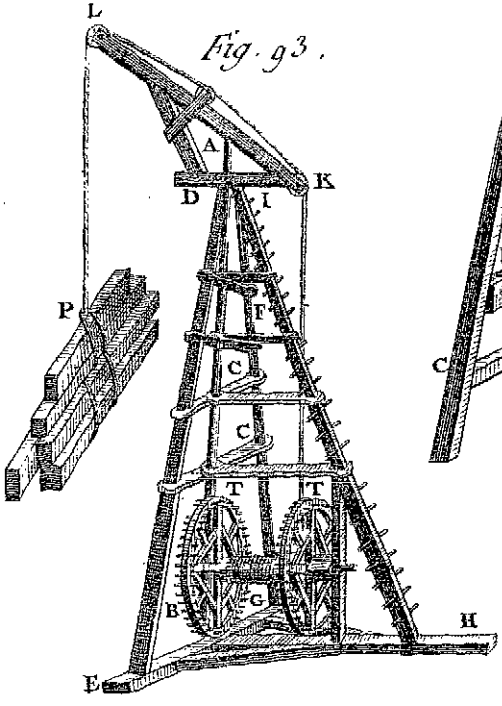


Fig. 97.

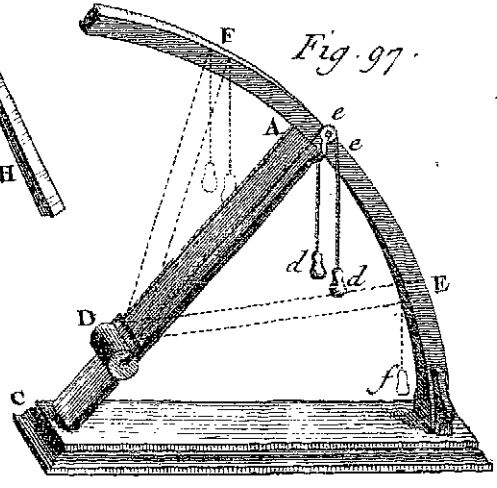
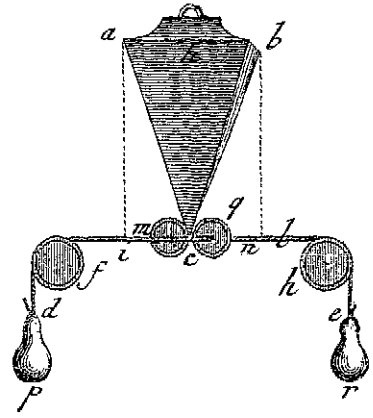


Fig. 100.



Benard Direxit

AB (*fig.* 102.), sur la circonférence duquel on a creusé une gorge en spirale CFG. On peut représenter sa génération par le mouvement uniforme d'une ligne droite FG (*fig.* 103.), qui trace la surface d'un cylindre KH, dans le même temps qu'un point F descend avec une vîtesse uniforme de F en I & de I en G. Il est clair qu'à la fin de trois révolutions & un quart, ce point auroit parcouru la ligne spirale FLMHHKNOP. La cloison CF (*fig.* 102.) qui demeure entre les tours de la gorge de la vis, s'appelle le *filet de la vis*; & la distance CG qu'il y a d'un filet à l'autre, s'appelle le *pas de la vis*. *Fig.* 102. *Fig.* 103. *Fig.* 102.

554. On pratique de même le filet & la gorge dans une cavité cylindrique, pratiquée dans un morceau de métal ou de bois CD (*fig.* 104.), pour en faire une vis intérieure, qui prend ordinairement le nom d'*écrou*. On l'appelle aussi quelquefois *vis femelle*, tandis qu'on nomme la vis AB, *vis mâle*. *Fig.* 104.

555. Il est aisé de voir que le filet d'une vis est un plan incliné à la base du cylindre AB (*fig.* 102.); & que ce plan y est d'autant plus incliné, que les pas CG sont moins grands. La hauteur de ce plan est le pas de la vis, ou, ce qui est la même chose, la distance d'un filet à l'autre: sa base est la circonférence de la vis: & sa longueur est donnée par cette circonférence & la hauteur du pas; car *Fig.* 102.

si l'on développe un de ces filets $a\,b$, il formera, avec son pas $b\,c$, & sa base ou la circonférence $a\,c$ de la vis, un triangle $a\,b\,c$, rectangle en c, dont il est aisé de connoître le côté $a\,b$, puisqu'on connoît les deux autres, ainsi que l'angle en c. Lors donc qu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés, dont l'un glisse sur l'autre.

556. Selon la matiere dont on fait les vis, ou celle dans laquelle elles doivent entrer, & suivant les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes à leurs filets. Aux vis de bois, on fait des filets C, G, F, angulaires, pour leur conserver de la force; car, par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte. On donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, c'est-à-dire, de ces petites vis de fer, qui sont des cônes fort alongés, qui finissent presque en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois. On doit les considérer, de même que les meches des vrilles & des tarieres, comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant plus aisément, qu'il est plus aigu. Mais aux grosses vis de métal (*fig.* 105.), qui servent aux presses & aux étaux, on fait des filets quarrés f, f, afin qu'elles éprouvent plus de frottemens par l'augmentation de la surface de chaque filet; car c'est souvent des

Fig. 105.

frottemens que vient le principal effet des vis : ils empêchent les mâchoires d'un étau de s'écarter, quoiqu'elles y tendent par la réaction de la piece qu'elles ferrent entre elles.

557. On se sert principalement des vis pour ferrer fortement des corps les uns contre les autres, & quelquefois aussi pour élever des poids ou des fardeaux, ou pour faire avancer ou reculer certaines pieces d'une quantité déterminée. Pour cela on fait usage de la vis & de l'écrou, dont l'un ou l'autre sert de point d'appui. Quelquefois la vis est mobile & l'écrou est fixe; d'autres fois c'est la vis qui est fixe, tandis que l'écrou est mobile; mais, dans l'un & l'autre cas, l'effet de la vis est le même.

558. Quand on veut faire usage de cette machine, on attache donc ou l'on applique l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la résistance à vaincre, & l'autre lui sert comme de point d'appui. Alors, en tournant, on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou, selon sa longueur; & ce qui résiste à ce mouvement avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires est poussée, par l'action d'une vis, contre l'autre, à laquelle est fixé un écrou. Il faut, comme l'on voit, que la puissance fasse un tour entier, pour faire avancer la résistance d'un pas de vis, c'est-à-dire, d'une

quantité égale à la distance d'un filet à l'autre. Si la puissance est appliquée immédiatement à la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse est *a c* (*fig.* 102.), qui est la mesure de la circonférence de la vis (555); & le degré de vîtesse de la résistance est *c b*, mesure du pas de la vis. Mais, comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des leviers ou quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle étoit immédiatement appliquée à la vis : ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse; c'est la circonférence du cercle, dont le levier DE est le rayon. Et, comme, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les puissances soient entre elles en raison inverse de leurs vîtesses, on peut établir, en général, que dans l'usage des vis, si l'on fait abstraction des frottemens, *la puissance est à la résistance, en cas d'équilibre, comme la hauteur du pas est à la circonférence que décrit la puissance.* D'où il suit que la même résistance sera vaincue par une puissance d'autant plus petite, que le pas de la vis sera lui-même plus petit, ou que cette puissance agira par un levier plus long. Mais, dans ce dernier cas, elle fera plus de chemin : elle perdra donc en temps ce qu'elle gagnera en force, comme cela ne manque jamais d'arriver.

Fig. 102.

De

De la Vis sans fin.

559. La vis sans fin differe beaucoup des vis dont nous venons de parler (553 *& suivans*). Ces dernieres se meuvent dans un écrou, & cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur. Au lieu que la vis sans fin est un cylindre qui tourne toujours du même sens, ses deux extrémités A & B (*fig.* 106.) étant portées sur des pivots solides; de sorte que son action est continue : c'est ce qui lui a fait donner son nom. Les filets *g*, *h* de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, engrenent avec les dents d'une roue verticale C*h*, qui porte, sur son axe, un rouleau T, avec une corde à laquelle on attache le fardeau P qu'on veut élever. Une très-petite force, appliquée à la manivelle ME, peut enlever un fardeau P très-considérable; mais il faut beaucoup de temps, comme on va le voir. *Fig.* 106.

560. Cherchons donc le rapport du poids P, à la puissance Q. Il est évident que le poids P est contre-balancé immédiatement par la résistance que le filet *h* de la vis oppose à la dent de la roue, suivant la direction *hg*, perpendiculaire au rayon C*h*. Ce filet *h* agit donc par le rayon C*h* de la roue, tandis que le poids P agit par le rayon C*d* du rouleau. Ainsi, pour avoir équilibre, il faut

que la force en *h* ſoit au poids P, comme C*d*, rayon du rouleau, eſt à C*h*, rayon de la roue (478 *& ſuiv.*).

561. Mais de même que le filet de la vis pouſſe la dent de la roue ſuivant la direction *hg*, de même auſſi ce filet eſt repouſſé à ſon tour ſuivant la direction contraire *hi*, & avec la même force, par la réaction de la dent de la roue, que le poids P tend à faire tourner dans ce ſens-là. Si cette derniere force l'emportoit, elle feroit faire un tour au rayon ME de la manivelle, pendant que la roue reculeroit d'une dent. Il faut donc, pour avoir équilibre, que la puiſſance Q ſoit à la réaction de la dent de la roue, comme le pas *zh* de la vis eſt à la circonférence que décrit le rayon ME, par lequel agit la puiſſance Q.

562. On peut donc exprimer ainſi le rapport que le poids P doit avoir en cas d'équilibre, avec la puiſſance Q. *Le poids eſt à la puiſſance, comme le produit du rayon de la roue, multiplié par la circonférence que décrit le rayon de la manivelle, eſt au produit du rayon du rouleau multiplié par la hauteur du pas de la vis.*

563. On pourroit encore exprimer autrement ce rapport. Nous venons de dire (561) que la puiſſance Q fait faire un tour à la manivelle ME, pour faire avancer une dent de la roue. Pour

faire faire un tour entier à cette roue, & par conſéquent pour élever le poids P d'une quantité égale à la circonférence du rouleau, il faudroit donc faire faire à la manivelle autant de tours que la roue a de dents. Et comme les puiſſances doivent être en raiſon réciproque des vîteſſes ou des eſpaces parcourus, on peut dire : *Le poids eſt à la puiſſance, comme la ſomme des circonférences décrites par l'extrémité du rayon de la manivelle, eſt à la circonférence du rouleau.*

564. Il ſuit de là que le mouvement de la roue étant exceſſivement lent, en comparaiſon de celui de la manivelle, il n'eſt beſoin que d'une très-petite puiſſance pour ſoulever un poids conſidérable, par le moyen de la vis ſans fin. Par exemple, ſuppoſons, comme dans la *fig.* 106, une roue C*h* qui ait 19 dents ; & une vis qui n'ait qu'un filet, & qui, à chaque tour, ne faſſe paſſer qu'une dent de la roue ; que la circonférence du rouleau T ſoit d'un pied ; & que celle que décrit le rayon E M de la manivelle, ſoit de 5 pieds. Quand la roue C*h* aura fait un tour entier, le poids P ſera monté de 1 pied ; & l'eſpace parcouru par la puiſſance Q, ſera de 19 fois 5 pieds, ou de 95 pieds. La vîteſſe de la puiſſance Q ſera donc à la vîteſſe du poids P, comme 95 eſt à 1. Par conſéquent cette puiſ- *Fig.* 106.

ſance, avec un effort d'une livre, en ſoutiendroit 95; & ſi ſon effort égaloit 30 livres, elle en ſoutiendroit 2850.

565. Si la roue C*k* avoit une fois plus de dents qu'elle n'en a, ou que le rayon E M de la manivelle fût une fois plus long, la même puiſſance Q produiroit un effet double; c'eſt-à-dire qu'elle ſoutiendroit 5700 livres.

566. Mais ſi, ſans changer le nombre des dents de la roue C*h*, ou la longueur du rayon E M de la manivelle, on plaçoit ſur l'axe de la roue, au lieu du rouleau T, une autre vis ſans fin, dont le filet engrenât avec les dents d'une ſeconde roue de même nombre que la premiere, & garnie du rouleau T, qui ſoutînt le poids P, la même puiſſance Q ſeroit capable de ſoutenir un poids 19 fois auſſi grand; c'eſt-à-dire que cette puiſſance, ne valant intrinſéquement que 30 livres, en pourroit ſoutenir 5415o.

De la Vis d'Archimede.

567. Cette machine, inventée par *Archimede*, eſt très-propre à l'élévation des eaux. C'eſt un cylindre C D (*fig.* 107.) qui tourne ſur deux pivots, & autour duquel on a roulé en ſpirale un canal creux C *a d e g f i*. On incline ce cylindre à l'horizon ſous un angle d'environ 45 degrés,

& l'on fait plonger dans l'eau l'orifice C du canal. Ce canal, qui dans la figure eſt ouvert dans toute ſa longueur, doit être fermé de toutes parts, excepté à ſes deux extrémités. Si, par le moyen d'une manivelle M, ou autrement, on fait tourner la vis, l'eau gliſſe dans le canal ſpiral, ſe porte de ſpire en ſpire, & va ſe décharger par l'autre extrémité *i* du canal creux.

568. Cette machine eſt très-ſimple, & ſon invention eſt très-heureuſe; l'eau y monte, non pas en deſcendant, comme quelques-uns l'ont dit, mais par la même force qui tend à la faire deſcendre, en un mot par ſa peſanteur. En effet, la particule d'eau qui eſt dans la partie inférieure de la vis, en *d*, par exemple, ne peut pas demeurer au point *d*, lorſqu'en tournant la vis, ce point *d* paſſe en *a*, lieu plus élevé que n'étoit le point *d* avant qu'on tournât la vis; parce que la peſanteur de cette particule l'oblige de ſe porter au point qui a ſuccédé au point *d* à la partie inférieure de la vis; lequel point eſt plus bas que n'eſt actuellement le point *a*, mais en même temps plus élevé que n'étoit le premier point *d* avant qu'il paſsât en *a*; de ſorte que cette particule d'eau, tendant toujours à ſe tenir au lieu le plus bas, ſe trouve, à chaque inſtant, dans des points de plus en plus élevés; & elle y eſt réellement portée par

ſa peſanteur. Ce que nous diſons de cette particule d'eau, on peut le dire de toutes les autres. Il faut donc que, pour qu'une ſubſtance puiſſe monter dans la vis d'*Archimede*, elle ſoit fluide & peſante.

569. Cette vis eſt fort propre à élever une grande quantité d'eau avec une très-petite force : c'eſt pourquoi elle peut être très-utile pour vider des lacs & des étangs. Mais elle ne peut pas porter l'eau à une grande hauteur, parce que cette vis étant néceſſairement inclinée, ne peut élever l'eau fort haut, ſans devenir elle-même fort longue, & par-là très-peſante, & ſans courir les riſques de ſe courber & de perdre ſon équilibre : ce qui exigeroit alors une très-grande force pour la mettre en jeu.

Des réſiſtances qu'éprouvent les Machines lorſqu'elles ſont prêtes à ſe mouvoir.

570. Si les matieres dont les machines ſont compoſées, étoient parfaitement dures & parfaitement polies, & ſi les cordes qu'on eſt ſouvent obligé d'employer, pour tranſmettre l'action de la force motrice d'une partie de la machine à l'autre, avoient une parfaite flexibilité ; la théorie de l'équilibre que nous venons d'établir, ſuffiroit pour déterminer, dans chaque cas, la force requiſe pour contre-balancer

une réſiſtance donnée : & cette force une fois trouvée, on ſeroit aſſuré qu'en l'augmentant de la plus petite quantité, l'équilibre ſe romproit, & la réſiſtance ſeroit vaincue. Mais dans l'état phyſique & naturel des machines, il s'en faut de beaucoup que les choſes ne ſoient ainſi. Il peut ſe faire qu'on augmente, même d'une quantité aſſez grande, cette puiſſance déterminée par la théorie, ſans que pour cela il réſulte aucun mouvement dans la machine. Le frottement des ſurfaces les unes contre les autres, & la réſiſtance que font les cordes, lorſqu'il s'agit de les faire plier autour des poulies ou cylindres qu'elles embraſſent, s'oppoſent au mouvement de la machine. La valeur de ces réſiſtances eſt très-difficile à eſtimer : on ne doit donc pas ſe promettre une théorie rigoureuſe ſur cette matiere, qui eſt mêlée d'un ſi grand nombre d'accidens & de difficultés phyſiques, qu'on ne parviendra peut-être jamais à l'éclaircir complétement.

571. Nous avons déjà parlé aſſez au long (*96 & ſuiv.*) de la réſiſtance qui réſulte des frottemens : nous croyons devoir y renvoyer le Lecteur. Nous allons nous occuper maintenant de la réſiſtance qui vient de la roideur des cordes.

De la Roideur des cordes.

572. Les cordes ſont des corps longs & plus ou moins flexibles, compoſés de pluſieurs fils, de matiere, ſoit végétale, ſoit animale, ſoit minérale, appliqués les uns contre les autres, & réunis par le tortillement. On fait donc des cordes de matieres végétales, telles que le chanvre & l'écorce d'arbre : celles de chanvre ſont les plus communes, les plus en uſage, & préférables à celles d'écorce d'arbre ; car elles ont plus de force. On en fait de matieres animales, telles que la ſoie, les boyaux, & les nerfs. On en fait auſſi quelquefois de matieres minérales, telles que le fil de fer & le fil de laiton.

573. La difficulté que fait éprouver la roideur des cordes, lorſqu'il s'agit de les faire plier ſur les poulies ou les cylindres, eſt très-conſidérable & très-difficile à évaluer, comme nous l'avons dit ci-deſſus (570). Les principes que nous allons établir ne ſont donc pas rigoureuſement vrais ; mais du moins ils ſont aſſez conformes à ce que l'expérience nous a appris là-deſſus. C'eſt M. *Amontons* qui a le premier traité méthodiquement cette matiere. (*Voyez les Mém. de l'Acad. Royale des Sc. année 1699, page 217.*) Il rapporte les expériences qu'il a faites pour s'aſſurer

des proportions dans lesquelles ces résistances augmentent. De ces expériences il suit que la roideur des cordes dépend principalement de trois choses : 1°. de la force qui tient les cordes tendues ; 2°. de la grosseur des cordes ; 3°. de la quantité dont on les fait plier, ou, ce qui est la même chose, du diametre des poulies ou cylindres sur lesquels on les fait plier.

574. Supposons deux cordes AC, BD, (*fig.* 108.) attachées chacune à un point fixe A & B ; qu'on leur fasse faire à chacune un tour sur le cylindre EE. Si elles n'avoient point de roideur, & qu'elles fussent parfaitement flexibles, le poids seul du cylindre suffiroit pour le faire tomber : au lieu de cela, il faut, pour qu'il descende, y ajouter un poids d'autant plus considérable, que les cordes sont tendues par une plus grande force. Pour s'en assurer, que l'on attache au cylindre EE un bassin de balance G, avec un cordon roulé dans le sens contraire à celui dans lequel sont roulées les cordes AC, BD, & que l'on tende ces cordes avec des poids placés sur le plateau CD. On verra, 1°. que, pour faire descendre le cylindre, & par conséquent pour vaincre la roideur des cordes, il faudra ajouter, dans le bassin G, un poids d'autant plus considérable, que le poids placé sur le plateau CD, & qui tend les *Fig.* 108.

cordes, ſera plus grand. Si le poids qui tend les cordes eſt, 1°. de 100 livres ; 2°. de 200 livres, il faudra, dans le baſſin G, dans le ſecond cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il ſuit que la *réſiſtance de la roideur des cordes, qui réſulte des forces qui tendent ces cordes, croît en raiſon directe de ces forces.*

575. On verra, 2°. qu'avec le même cylindre & le même degré de tenſion des cordes, il faudra ajouter, dans le baſſin G, un poids d'autant plus conſidérable, que le diametre des cordes ſera plus grand. Si ce diametre eſt, 1°. de 10 lignes, 2°. de 20 lignes ; il faudra, dans le baſſin G, dans le ſecond cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il ſuit que *la réſiſtance de la roideur des cordes, qui réſulte de leur groſſeur, croît ſeulement comme le diametre des cordes, & non pas comme leur ſolidité.*

576. On verra, 3°. qu'en éprouvant toujours les mêmes cordes, tendues par les mêmes forces, & conſervant toujours le même diametre au cylindre ſur lequel s'enveloppe le cordon qui porte le baſſin G, il faudra ajouter, dans ce baſſin, un poids d'autant plus conſidérable, que le diametre du cylindre, ſur lequel s'enveloppent les cordes, ſera plus petit ; mais non pas toujours ſuivant la proportion de la diminution de ce diametre. Car

la *réſiſtance de la roideur des cordes* (qui augmente certainement à meſure que les cylindres deviennent plus petits) *n'augmente pourtant pas toujours autant que décroiſſent les diametres des cylindres ſur leſquels elles s'enveloppent.*

577. Pour rendre raiſon de ces faits, ſuppoſons la corde *i h f e* L (*fig.* 109.), attachée au point fixe *i*, & roulée ſur le cylindre *e*. On peut conſidérer le diametre *f e* du cylindre & le diametre *e h* de la corde, comme formant enſemble un levier à bras inégaux, dont le point d'appui eſt en *e*, point où la corde touche le cylindre. Le poids du baſſin G agit donc par le bras de levier *f e*, tandis que le poids attaché à l'extrémité L de la corde, & qui la tend, agit par le bras de levier *e h*, ou par le diametre de la corde. Il eſt aiſé de voir maintenant qu'un poids double, agiſſant par ce bras de levier, doit y produire un effet double. C'eſt de là que réſulte le premier principe (574). *Fig.* 109.

578. En ſuppoſant toujours la même figure, on voit pourquoi, à meſure que *e h*, ou, ce qui eſt la même choſe, le diametre de la corde augmente, la force du poids L augmente en même proportion : car ce poids agit alors par un bras de levier plus long ; ce qui lui donne plus de force pour augmenter la roideur de la corde. C'eſt de là que réſulte le ſecond principe (575). On voit que ce n'eſt que le diametre de la corde, & non pas

ſa ſolidité, qui influe ſur cet effet; cela vient de ce que cette réſiſtance, cauſée par le diametre de la corde, ne provient que de ce que ce diametre éloigne ou approche l'action du poids L du point d'appui *e*; & non pas de ce que la corde contient plus ou moins de matiere : car, ſi cela étoit, cette réſiſtance augmenteroit ou diminueroit ſuivant les quarrés des diametres des cordes.

579. Pour rendre raiſon du troiſieme principe (576), ſavoir pourquoi la réſiſtance de la roideur des cordes augmente à meſure que les cylindres, ſur leſquels elles s'enveloppent, deviennent plus petits; ſuppoſons une corde tendue A B D C (*fig.* 110.) : ſi l'on veut la faire plier ſur le cylindre K, on eſt obligé de faire écarter ſes parties dans la moitié de ſon épaiſſeur A B E F, pour lui faire prendre la ſituation *a g d e h f*; & de reſſerrer au contraire ſes parties dans l'autre moitié de ſon épaiſſeur *e h f c i b* : or cet écartement d'une part, & ce reſſerrement de l'autre, font une réſiſtance réelle à la puiſſance qui tend à plier la corde; & cette réſiſtance eſt d'autant plus grande, 1°. que la force qui tend la corde eſt plus conſidérable; car alors elle eſt plus roide; 2°. que la corde eſt plus groſſe; puiſqu'il y a plus de parties à écarter d'une part, & à reſſerrer de l'autre; 3°. que le diametre du cylindre ſur lequel on fait plier la corde, eſt plus petit, la corde demeurant la même; puiſqu'il

faut écarter davantage d'une part, & reſſerrer de l'autre, la même quantité de parties. Il faut donc moins de force pour faire plier la même corde ſur le cylindre K, que ſur le cylindre *k*. Mais l'expérience prouve que cette réſiſtance n'augmente pas toujours autant que les diametres des cylindres décroiſſent.

580. De tout ceci il ſuit qu'en général *la réſiſtance qui vient de la roideur des cordes eſt en raiſon compoſée de la raiſon directe des forces qui tendent les cordes, de la raiſon directe des diametres des cordes, & à peu près, de la raiſon inverſe des diametres des cylindres.*

581. Il ſuit de là que la réſiſtance qui vient de la roideur des cordes dans une machine, étant eſtimée en poids, tel que celui qui eſt néceſſaire pour contre-balancer cette réſiſtance, devient comme un nouveau fardeau qu'il faut ajouter à celui que la machine doit élever; & comme cette augmentation de poids augmentera encore la roideur des cordes, il faudra de nouveau calculer cette augmentation de réſiſtance, & ajouter le poids néceſſaire pour la contre-balancer; & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que cette réſiſtance, provenant de l'augmentation qu'on fait à chaque fois à la puiſſance, ſoit ſi petite, qu'on ne doive plus y avoir égard. Ainſi on aura pluſieurs ſommes décroiſſantes, qu'il faudra ajouter enſemble, & qui peuvent ſe monter très-haut.

582. Il suit de tout ce que nous venons de dire sur la résistance qui provient de la roideur des cordes, qu'on doit préférer, autant que faire se peut, les grandes poulies aux petites ; non seulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe éprouve moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent y souffrent une moindre courbure (579), & font par conséquent une moindre résistance. Cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, selon la regle de M. *Amontons* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1699, *page* 225), on voit clairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de 800 livres avec une corde de 20 lignes de diametre, & une poulie qui n'eût que 3 pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres, seulement pour vaincre la roideur de la corde, sans compter plus de 224 livres pour vaincre le frottement de l'axe de la poulie ; au lieu qu'avec une poulie de deux pieds de diametre, 22 livres suffiroient pour vaincre la roideur de la corde, & 23 livres pour vaincre le frottement.

583. Comme les cordes qu'on emploie dans les grandes machines & sur les vaisseaux, sont d'un prix considérable, & qu'elles doivent soutenir de très-grands efforts, on doit chercher à les rendre durables, & à leur donner le plus de force qu'il

eſt poſſible. Si les fibres qui compoſent les cordes étoient aſſez longues par elles-mêmes, on ſe ſeroit ſans doute contenté de les mettre enſemble, & de les lier en forme de faiſceaux ſous une enveloppe commune. Cette maniére de compoſer les cordes eût peut-être paru la plus ſimple & la plus propre à leur conſerver la flexibilité qui leur ſeroit ſi néceſſaire : mais comme ces fibres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'eſt-à-dire, en les tortillant enſemble. Le frottement qui naît de cette ſorte d'union, eſt ſi conſidérable, qu'elles ſe caſſent plutôt que de gliſſer l'une ſur l'autre. C'eſt ainſi que ſe forment les premiers fils dont l'aſſemblage fait un cordon ; & de pluſieurs de ces cordons réunis & tortillés enſemble, on compoſe les plus groſſes cordes. On juge aiſément que la quantité de matiere contribue beaucoup à la force des cordes : on conçoit bien auſſi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire une corde plus difficile à rompre : mais quelle eſt la maniere la plus avantageuſe d'unir les fils ou les cordons ? Eſt-il plus avantageux de tordre beaucoup les cordes, ou de les tordre peu ? Le tortillement augmente-t-il leur force ou la diminue-t-il ? M. *de Réaumur* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1711, *page* 6) a fait une longue ſuite d'expériences pour chercher à réſoudre cette queſ-

tion. Après avoir éprouvé la force de pluſieurs brins de fil, il a fait pluſieurs petites cordes, compoſées de différens nombres de ces brins, tortillés enſemble. Jamais ces cordes n'ont porté la ſomme des poids que les brins, dont elles étoient compoſées, portoient ſéparément. D'où l'on a conclu, avec raiſon, que le tortillement diminue la force des cordes.

584. Il eſt aiſé d'en ſentir la raiſon. En tortillant enſemble pluſieurs cordons pour former une corde, les uns ſont inévitablement plus fortement tendus que les autres: lorſque la corde eſt appliquée à quelque effort, cet effort eſt inégalement partagé entre eux: celui de tous qui eſt le plus tiré, caſſe le premier; & ſi tous ſont néceſſaires pour l'effort à vaincre, la corde devient par-là trop foible. Ce raiſonnement eſt conforme à ce qui arrive journellement: jamais une groſſe corde ne caſſe toute entiere d'un ſeul coup; on entend caſſer ſes cordons les uns après les autres.

Fig. 111. En effet, ſuppoſons que le cordon A B (*fig.* 111.) puiſſe porter 10 livres, & rien au delà: ſi, avec deux cordons parfaitement ſemblables, on forme, en les tortillant, une corde G, elle ne ſoutiendra pas, ſans ſe caſſer, les deux poids E, F, de chacun 10 livres. La même choſe arriveroit, ſi, au lieu de réunir les deux cordons, on les attachoit ſéparément à deux points fixes C, D, & qu'on leur ſuſpendît

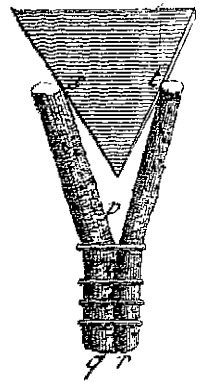
ſuſpendît enſuite un poids de 20 livres H, mais de façon que l'un C fût attaché vers un des bouts du poids, & l'autre D vers la moitié ou le tiers de ſa longueur. Ce dernier, étant par cette diſpoſition chargé de plus de 10 livres, caſſeroit infailliblement; après quoi l'autre, ſe trouvant ſeul chargé des 20 livres, ſe romproit de même. On peut ajouter qu'en tortillant les cordons, pour en former une corde, on les tend néceſſairement un peu; & cette tenſion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent ſoutenir. On voit donc bien maintenant pourquoi le tortillement affoiblit les cordes: d'où il ſuit qu'on les affoiblit d'autant plus qu'on les tord davantage. En effet, je penſe qu'on devroit tordre les cordes moins qu'on ne le fait; elles en ſeroient moins roides, & elles ne ſe caſſeroient pas ſi aiſément. Elles acquerroient par-là deux qualités bien précieuſes: elles ſeroient plus durables, & plus faciles à faire plier ſur les poulies & les cylindres.

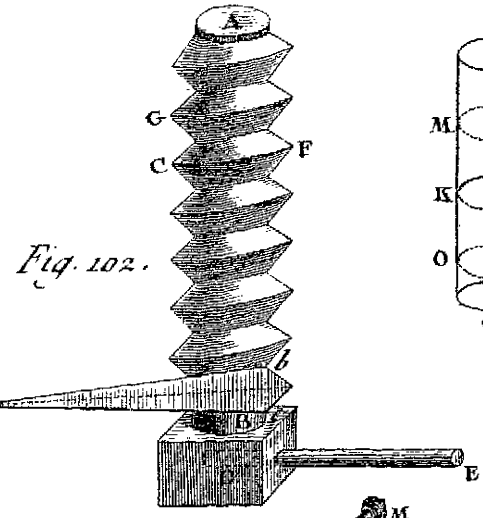
585. Comme les cordes, que l'humidité pénetre, ſe renflent & ſe raccourciſſent néceſſairement, peu ou beaucoup, quelles que ſoient les forces qui s'y oppoſent; on pourroit les employer utilement pour ſoulever, d'une petite quantité, un corps très-lourd, ſous lequel on voudroit introduire quelque autre corps. Pour cela, il faut attacher ce corps lourd, par le moyen d'une corde aſſez forte &

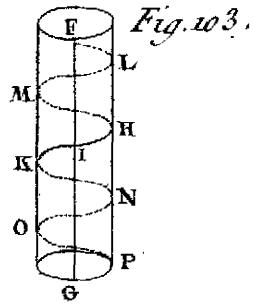
d'une certaine longueur, à un point bien fixe & capable de réſiſter au poids de ce corps. On tendra la corde le plus qu'on pourra; enſuite on la mouillera. L'humidité, en la pénétrant, la gonflera & la raccourcira au point de ſoulever le corps, quel que ſoit ſon poids.

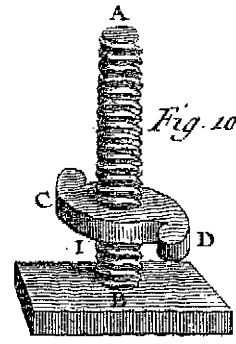
586. Les particules humides pénetrent les corps avec une très-grande force, dont on ne connoît pas bien la cauſe. On conçoit que ces particules, en pénétrant, comme autant de petits coins, entre les fibres de la corde, les écartent & leur font faire ventre; ce qui gonfle & raccourcit néceſſairement l'aſſemblage.

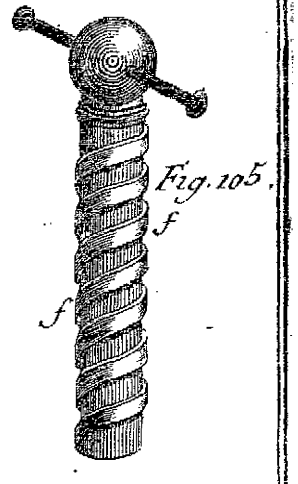
FIN DU TOME PREMIER.

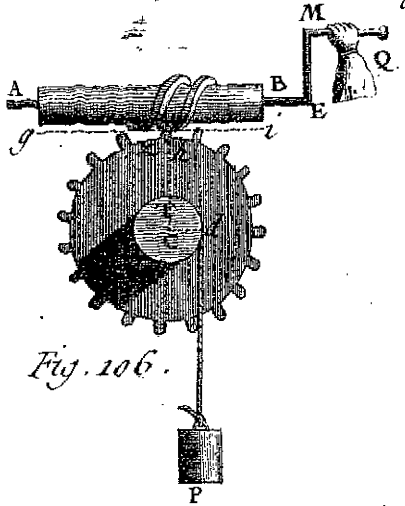

Fig. 101.
q r

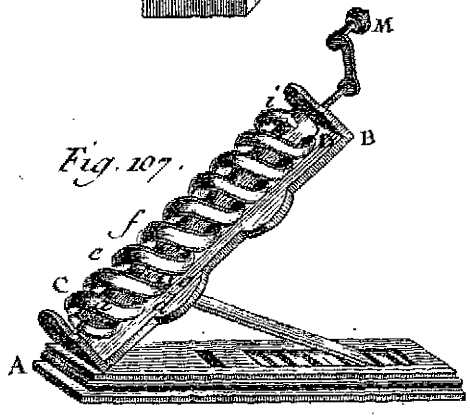

Fig. 102.
A
G
C
F
b
a
B
E

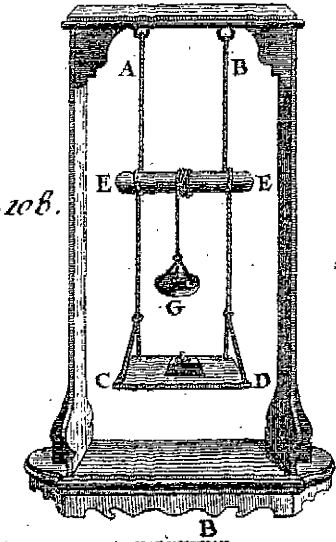

Fig. 103.
F
L
M
H
K
I
N
O
P
G

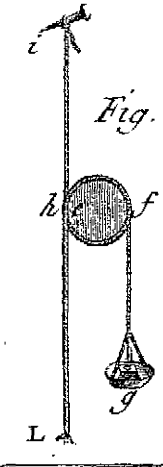

Fig. 104.
A
C
D
I
B

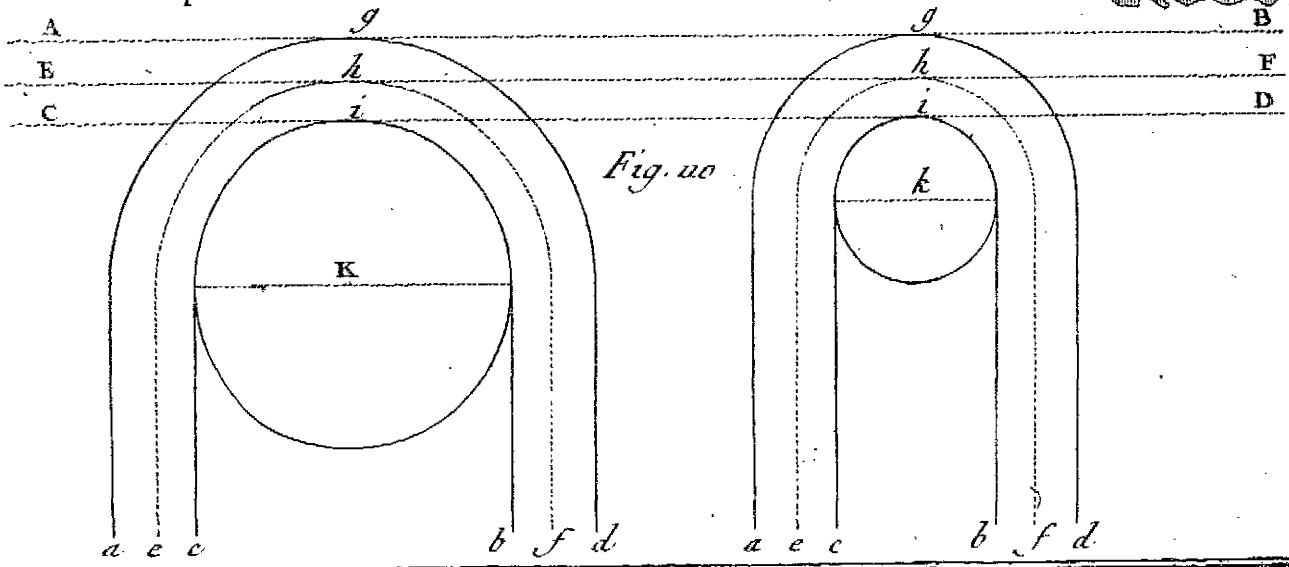

Fig. 105.
f
f

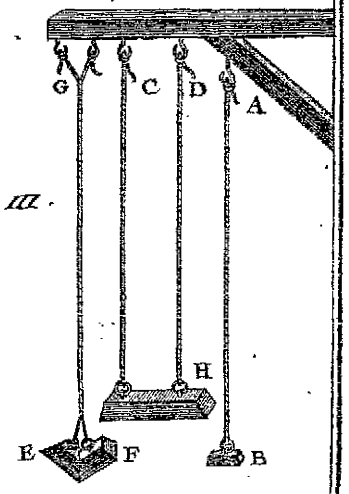

Fig. 106.
M
Q
A
B
E
g
i
P


Fig. 107.
M
i
B
f
e
C
A


Fig. 108.
A
B
E
E
G
C
D
B


Fig. 109.
i
h
f
g
L


A
E
C
g
h
i
K
a e c
b f d
Fig. 110
F
D
k


Fig. 111.
G
C
D
A
H
E
F
B