Pichot ~~[illegible]~~ Med:

il est un Cercle vicieux en logique
quant on prouve la même chose par
la même chose

on ne pourait donc pas prouver
l'existence d'un dieu. Car on ne peut la
prouver que par la verité
or. prouver, la verité par la verité
etant un Cercle vicieux logicien. par
les hommes, le firmament, l'élan
de l'ame. ce n'est donc rien prouver
puisque ce sont autant de verités.

veritas per veritatem,
Circulus viciosus haud est
admittendus

Ecclesia ne est antiquior idiomate
latino dicendo in illo tempore —
Dapsalinat [illegible]

LEÇONS
DE PHYSIQUE
EXPERIMENTALE.

TOME PREMIER

Ex libris Champfleury

AVIS
AU RELIEUR.

Les douze premieres planches sont pour le premier volume, & les six dernieres pour le second. On les mettra à la fin du livre.

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE.

PAR M. SIGAUD DE LAFOND, Démonstrateur de Physique Expérimentale, & Maître de Mathématiques.

TOME I.

A PARIS,

Chez DES VENTES DE LA DOUÉ, Libraire, rue Saint Jacques, vis-à-vis le College de Louis le Grand.

M. D. CC. LXVII.

Avec Approbation, & Privilége du Roi.

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

LEÇON I.

Des propriétés générales de la Matiére.

I. LA PHYSIQUE a pour objet la connoiſſance de tous les êtres matériels qui ſont partie de l'Univers. Elle ſe propoſe d'en découvrir la nature, les propriétés & les differens rapports.

Ces êtres ont cela de commun, qu'ils ſont tous matériels, & ils different entre eux, par la variété des formes ſous lesquelles ils se présentent à nos recherches.

Les tentatives qu'on a faites jusqu'à présent pour déterminer ce qui constitue l'essence de la matiére, me paroissent trop infructueuses, ainsi qu'on en peut juger par la variété des sentimens qui partagent encore l'école, pour trouver place dans des Leçons où nous ne voulons rien avancer, qui ne soit susceptible d'être démontré par des expériences décisives, ou par des observations constantes.

Nous passerons donc sous silence, non-seulement les différens sentimens qu'on a imaginés pour expliquer la nature des êtres matériels ; mais encore toute question qui ne sera point susceptible d'être traitée par la voie de l'expérience, ou de l'observation.

Nous considérerons dans cette premiére Leçon, les propriétés les plus générales de la matiére ; c'est-à-dire, celles qui conviennent indistinctement à toutes sortes de corps.

II. La premiére chose qui se présente à nos recherches, en considérant un être matériel, c'est son étendue. Cette étendue qui est bornée &

limitée, eſt néceſſairement figurée ; puiſque c'eſt la diſpoſition des limites qui circonſcrivent en toutes ſortes de ſens un être matériel, qui deſſine à nos yeux ſa figure. Or comme il n'y en a aucun qui ne ſoit étendu & borné dans ſon étendue, il n'y en a aucun qui ne ſoit figuré.

Mais cette figure ſous laquelle chaque être matériel s'offre à notre vûe, convient-elle ſpécialement à cet être? Eſt-ce un caractére particulier qui le diſtingue de tout autre individu de la même eſpéce, ainſi que *Leibnits* l'aſſure par ſon *principe des indiſcernables*, dont il déduit la certitude de ſon axiome général de la *raiſon ſuffiſante* (*a*)? Tout nous porte à le croire, ſans que nous puiſſions néanmoins l'aſſurer.

Si nous conſidérons en effet attentivement tous les êtres de même eſpéce qui nous environnent, nous n'en trouverons aucun que nous puiſſions confondre avec un autre. Rien n'eſt plus ſemblable, par exemple, que deux feuilles qui proviennent d'un même arbre ; néanmoins un Obſervateur attentif ſçait très-bien les diſtinguer l'une

(*a*) Inſtitutions de Phyſique, pag. 29.

de l'autre. Rien n'approche pareillement davantage d'une parfaite similitude, que les parties qui résultent de la crystallisation d'un même sel : elles ont toutes une forme, une figure propre à l'espéce de sel à laquelle elles appartiennent. Les cristaux de sel marin, par exemple, se présentent à nos yeux sous la forme de petits cubes, dont tous les angles paroissent coupés, & dont les coins restent triangulaires. Ceux de sel de nitre ou de salpêtre représentent des exagones longs & déliés, dont les côtés sont des parallélogrammes : l'un des bouts se termine constamment en pyramide, ou même par un tranchant affilé, selon la position des côtés des deux plans inégaux ; l'autre bout est toujours raboteux, & paroît comme s'il étoit rompu (*a*). Le sucre se crystallise sous la forme de petits globules, &c.

Si l'on examine néanmoins avec attention ces différentes crystallisations, on ne pourra disconvenir que tous les crystaux de même espéce, sont bien différens les uns des autres. Voici com-

(*a*) Baker, le Microscope à la portée de tout le monde, pag. 294.

ment il faut procéder pour faire cette expérience.

Faites fondre séparément différens sels dans de l'eau distillée ; afin que tout corps étranger qui pourroit se trouver dans toute autre espéce d'eau, ne puisse, par son mêlange avec les parties salines, jetter aucun soupçon sur l'homogénéité des crystaux. Prenez quelques gouttes de ces dissolutions, que vous étendrez sur des lames de verre, que vous exposerez ensuite sous la lentille d'un microscope. Si vous laissez les choses en cet état pendant quelque tems, vous observerez un mouvement intestin dans chaque dissolution : vous verrez les parties salines, qui flottent dans leur dissolvant, s'approcher les unes des autres pour former de plus grosses masses, qui se déposent sur le verre à proportion que le liquide qui leur sert de véhicule s'évapore, & elles y demeurent enfin sous la forme de crystaux. Or quoique les crystaux de sel marin, par exemple, ressemblent tous à de petits cubes, on remarque néanmoins quelque chose de particulier dans chacun de ces cubes, qui ne permet pas qu'on puisse les confondre les uns avec les autres. Ce que je dis par rapport à cette espéce de crystallisation, doit s'entendre également de toute autre.

III. C'est à l'aide de ces sortes d'observations faites sur la figure des sels, qu'on est parvenu à rendre raison des différentes sensations que les substances sapides excitent sur l'organe du goût. On a découvert par-là, que celles de ces substances dont les parties étoient roides & pointues, irritoient fortement les houpes nerveuses de la membrane gustative : que celles dont les parties étoient moins roides, ou moins pointues, ou tout à la fois moins roides & moins pointues, les irritoient plus légérement ; & que celles dont les parties étoient arrondies, glissoient librement dessus, & ne les ébranloient que très-peu. L'expérience est d'accord avec ces observations : car on fait perdre au vinaigre son acidité en émoussant les pointes de ses parties constituantes, & on y parvient en le laissant séjourner pendant quelque tems dans un vase de plomb : il dissout alors quelques-unes des parties de ce métal, qui se répandent dans la masse du dissolvant, s'unissent avec lui, & émoussent les pointes de cet acide.

L'activité de l'esprit de nître se décele d'une maniere bien sensible par les effets qu'il produit sur les corps qu'on expose à son action. Personne n'ignore qu'il dissout la plûpart des métaux, qu'il corrode quantité de substances, qu'il brûle, qu'il scorie la peau. On lui fait cependant perdre presque toute son action, lorsqu'on le combine avec deux parties égales d'esprit-de vin. Les parties huileuses de ce dernier liquide se mêlant avec les parties de l'acide, les embarrassent, les émoussent au point qu'on peut mettre impunément sur la langue quelques gouttes de ce mêlange : il ne produit plus alors qu'une légere irritation, & il fait éprouver la sensation d'un aromat assez gracieux.

On peut pareillement procurer aux substances insipides la faculté d'exciter différentes sensations, en les mêlangeant avec des substances sapides : delà ce prodigieux nombre de sensations différentes, quoique les substances sapides se bornent à un très petit nombre.

La disposition actuelle de l'organe varie encore ces sensations : car on ne peut disconvenir qu'elles ne soient plus vives dans ceux qui ont les houpes nerveuses plus à découvert, ou plus irritables. Elles varient encore, suivant que ces houpes sont abreuvées d'humeurs de différent caractére ; puisqu'il en résulte alors de nouveaux mêlanges, qui doivent procurer à ces papilles des ébranlemens & des irritations différentes.

C'est même à cette derniere cause qu'on doit rapporter en grande partie, la variété des sensations que les mêmes substances sapides produisent sur différens organes.

IV. La variété des sensations que nous éprouvons, vient donc de la maniére selon laquelle les parties constituantes des corps sapides irritent, velliquent, ébranlent les papilles nerveuses de la membrane gustative ; & la différente maniére selon laquelle elles agissent, vient non-seulement de la figure de ces parties constituantes, mais encore de leur dureté, de leur solidité. Quelle est donc la cause de cette solidité qu'on remarque dans ces parties ?

V. Cette solidité dépend de l'union intime des principes qui concourent à la formation de ces parties constituantes. Elle se remarque également dans les parties constituantes de tout mixte quelconque. Cette propriété convient aux parties des liquides aussi complettement qu'à celles des solides : car quoique les parties des liquides n'aient qu'une foible cohésion entre elles, & qu'elles glissent librement les unes sur les autres, elles n'en sont pas moins solides & moins dures pour cela. Les liquides ne différent des solides, qu'en ce que les parties constituantes de ces derniers sont intimement unies entre elles, tandis qu'elles ne le sont que foiblement dans les liquides.

Mais d'où provient l'union intime des principes qui concourent à la formation des parties constituantes des mixtes ? C'est sur quoi les Physiciens ne sont point d'accord entre eux. Les uns attribuent cet effet à la pression d'un fluide ambiant ; les autres l'attribuent à l'attraction de cohésion ; c'est-à-dire, à une force attractive que chaque particule de matiére exerce contre celles qui se trouvent dans sa sphère d'activité.

La preſſion qu'un fluide ambiant déploie contre les molécules de matiére qui ſont en contact, peut bien contribuer à leur union. Nous voyons que la preſſion de l'air concourt à unir enſemble deux ſurfaces de marbre travaillées l'une ſur l'autre, de maniére que ce fluide ne puiſſe point être interpoſé entre elles. La preſſion de ce même fluide ſert également à unir deux hémiſphères creux, dont la capacité eſt vuide d'air, comme nous le ferons obſerver par la ſuite; mais toute l'efficacité de cette adhérence ne dépend point de la preſſion de ce fluide; car elle ſubſiſte dans le vuide, & il faut encore y employer une force aſſez remarquable pour ſéparer ces corps.

Si on coupe deux balles de plomb, de façon que le ſegment qu'on enleve ſur chacune, préſente une ſurface circulaire d'une ligne de diamétre, & qu'on applique ces deux ſurfaces l'une ſur l'autre, ayant ſoin d'en expulſer tout fluide intermédiaire, elles adhéreront alors enſemble avec une force d'environ 20 à 25 livres. J'en ai vû qu'on ne pouvoit ſéparer que par une force de 34 & 37 livres. Or la preſſion des deux colonnes d'air qui s'appuient contre ces deux balles, eſt bien éloignée de produire un tel effort, ainſi qu'on peut s'en convaincre, en comparant cette preſſion avec celle de deux colonnes de mercure de même baſe, & de 28 à 29 pouces de hauteur.

Nous devons donc reconnoître une autre cauſe différente de la preſſion d'un fluide ambiant, pour expliquer les phénomènes dont nous venons de parler. Mais quelle eſt cette cauſe? C'eſt encore un myſtére que les Phyſiciens n'ont pû dévoiler juſqu'à préſent. L'attraction n'eſt qu'un terme qui la déſigne, qui la caractériſe, qui repréſente ſa maniere d'agir; & quoique nous ne puiſſions développer, d'une maniere préciſe & ſatisfaiſante, la nature de cette cauſe, elle n'en exiſte pas moins, & elle ſe décele d'une maniere bien ſenſible dans preſque tous les phénomènes que nous obſervons. La rondeur que les gouttes de liquide affectent, l'union intime de deux gouttes qui ſont proches l'une de l'autre, & qui ſe réuniſſent pour n'en former qu'une ſeule, ſont des preuves inconteſtables de ſon exiſtence.

On peut donc dire que chaque être

matériel eſt étendu, figuré, & qu'il jouit d'une force attractive, qui concourt en grande partie à l'union intime des principes de ſes parties conſtituantes, & qui leur donne cette ſolidité que nous leur remarquons.

VI. Cette ſolidité, cette dureté que nous obſervons dans les parties conſtituantes des mixtes, eſt connue en Phyſique ſous le nom d'impénétrabilité. C'eſt cette propriété qui fait que tout corps réſiſte invinciblement à tout autre corps qui voudroit ſe mettre en poſſeſſion de l'eſpace que le premier occupe.

Pour démontrer que cette impénétrabilité convient à toute eſpéce de corps, je prendrai pour exemple celui de tous les corps qui paroît le moins impénétrable, celui qui réſiſte le moins à ſa pénétration, ſi on peut s'exprimer ainſi ; je veux dire l'air, & de ſon impénétrabilité bien conſtatée, nous en conclurons celle de tous les corps.

Placez un morceau de liége ſur la ſurface d'une maſſe d'eau, compriſe dans un vaſe de cryſtal ; couvrez ce liége avec un cylindre de verre rempli d'air, & fermé à ſa partie ſupérieure :

faites descendre ce cylindre jusqu'au fond du vase, & vous observerez que le liége descendra à proportion que vous plongerez le cylindre (*a*).

Le liége est un corps spécifiquement moins pésant que l'eau, & qui conséquemment se tient toujours au-dessus de la surface de ce liquide. S'il se précipite à travers cette masse d'eau, à proportion qu'on y fait descendre le cylindre, c'est une preuve incontestable que la colonne d'eau qui le porte, & qui répond à l'orifice du cylindre, s'abaisse selon la même proportion, & reflue dans les colonnes collatérales. Or cette colonne qui tend, malgré cela, à conserver une hauteur égale à celle des colonnes collatérales, comme nous le démontrerons dans l'hydrostatique, ne peut s'abaisser, que parce qu'elle éprouve une résistance invincible à s'élever sous le cylindre, résistance qui vient de la part de la masse d'air qui remplit sa capacité : ce qu'on peut confirmer en répétant cette expérience avec un autre cylindre ouvert par ses deux extrémités. L'air pouvant alors s'échapper librement par l'ouverture supérieure, cé-

(*a*) Nollet, Leçons de Phys. Tom. 1. pag. 68.

dera à l'effort que la colonne d'eau fera pour s'élever, & fuira du côté où il trouvera moins de résistance : il s'élevera donc dans l'atmosphère, & il cédera à la colonne d'eau la place qu'il occupe. On aura une preuve très-sensible de l'expulsion de l'air dans cette seconde expérience, si on la répete avec un vase conique ouvert par le haut, mais dont l'ouverture n'ait environ qu'une ligne de diamètre : l'air passant alors d'un espace plus large par un plus étroit, & faisant effort pour sortir par la petite ouverture, dont nous venons de parler, produira un sifflement qui décélera sa sortie.

VII. Il résulte de ces expériences que l'air est impénétrable, & qu'il s'oppose invinciblement à l'effort que tout autre corps peut faire, pour occuper un espace qu'il remplit, & d'où il ne peut s'échapper. Aussi voyons-nous qu'il n'est pas possible de remplir une bouteille d'une liqueur quelconque, lorsque l'entonnoir dont on fait usage, bouche exactement le goulot de cette bouteille ; parce que la masse d'air comprise dans sa capacité ne trouvant aucune issue pour se porter au-dehors, s'oppose invinciblement à ce que la liqueur s'introduise dans la bouteille, pour la remplir.

Je ne disconviens cependant pas qu'une partie de cette liqueur ne puisse pénétrer dans la bouteille; 1°, parce que l'air peut se faire jour à travers la liqueur, lorsqu'elle n'engorge pas l'entonnoir; 2°, parce que c'est un fluide compressible, qui cede en partie à l'effort que cette liqueur exerce par sa pésanteur: cet air se réduit donc alors à un moindre volume, & cede à la liqueur une partie de l'espace qu'il occupe. Pareillement dans la premiére expérience (6.) quoique le liége ait paru descendre jusqu'au fond du vase, il s'est néanmoins élevé sous le cylindre jusqu'à une certaine hauteur, qui seroit très-sensible, si on plongeoit ce vase jusqu'à une très-grande profondeur; parce qu'à proportion qu'on le plonge plus profondément, les colonnes collatérales deviennent plus longues: elles pressent donc alors plus fortement celle qui répond à l'orifice du cylindre. Celle-ci fait un plus grand effort pour s'élever sous sa capacité: elle comprime donc plus fortement la maſſe d'air qui y eſt compriſe. Or plus l'air eſt comprimé, moins il occupe d'eſpace. Cette maſſe d'air ſe retire donc davantage vers la partie ſupérieure du cylindre, & abandonne un plus grand eſpace, dont la colonne d'eau s'empare, & dans lequel elle pouſſe le morceau de liége qu'elle porte.

VIII. Cette obſervation nous fait connoître l'inutilité, ou le danger qu'on encourt lorſqu'on fait uſage de la cloche du plongeur : invention ingénieuſe à la vérité, & qui fit beaucoup d'honneur dans le dernier ſiécle à celui qui l'imagina. Voici en peu de mots la deſcription & l'uſage de cette machine.

Imaginez une charpente établie ſolidement ſur deux barques ſuffiſamment écartées l'une de l'autre, pour livrer paſſage à une groſſe cloche de métal, leſtée avec des boulets de canon. Cette cloche eſt ſuſpendue à des cordages qui paſſent ſur la gorge de quelques poulies fixées au haut de la charpente, & qui s'enveloppent ſur la circonférence d'un treuil établi vers le bas de la même charpente.

On conduit cet appareil dans l'endroit de la mer où il s'est fait un naufrage, ou dans tout autre endroit où on a dessein de faire quelques perquisitions. Un homme se place sous la cloche sur une petite planche qui y est suspendue. On descend cette cloche en mer, jusqu'à ce que celui qui est dessous tire un cordon qui répond à une sonnette placée au haut de la charpente, & avertisse par ce signal que la cloche est suffisamment descendue. Il quitte alors son poste, & il va faire les perquisitions nécessaires. Il revient ensuite sous cette cloche, soit pour y respirer de nouvel air, soit pour y porter ce qu'il a recueilli. Lorsque son opération est achevée, il tire une seconde fois le cordon de la sonnette, pour faire remonter la cloche.

Si l'endroit où l'on veut faire des fouilles est peu profond, cette machine devient inutile ; puisque nous avons des plongeurs qui descendent jusqu'à soixante brasses en mer, & qui y restent assez de tems pour y faire des recherches suffisantes. Si l'endroit est très-profond, cette machine devient dangereuse, & en voici la raison. A proportion qu'on descend cette cloche en mer, l'air compris ſous ſa capacité ſe comprime & ſe retire vers la voute de la cloche, où il ſe trouve réduit à un très-petit volume, lorſque la cloche eſt deſcendue à une très-grande profondeur : mais un air fortement comprimé devient dangereux pour la reſpiration ; il diſtend les véſicules pulmonaires, & il les gonfle au-delà du véritable point de diſtenſion qu'elles ont coutume de ſupporter. Cette diſtenſion tiraille trop fortement les vaiſſeaux qui rampent ſur la ſurface de ces véſicules, & la circulation du ſang devient gênée. Ajoutez à cela que l'air comprimé dans lequel ſe trouve l'homme qui eſt placé ſous la cloche, porte par ſa réaction une preſſion énorme ſur les parties ſupérieures de l'habitude de ſon corps. La circulation du ſang ſe trouve donc gênée à l'intérieur & à l'extérieur : ce fluide reflue donc dans les vaiſſeaux qui ſont à l'abri de cette forte compreſſion. La plûpart de ceux-ci cédant à l'effort du fluide qui y aborde, ſe rompent & occaſionnent des hémorrhagies, qu'on remarque toujours dans ces ſortes de circonſtances. Auſſi voit-on qu'un homme qui ſe prête à une telle opération, rend le ſang par les oreilles, les narrines, les yeux, &c. ce qui prouve le danger de cette cloche, lorſqu'on la porte à une grande profondeur en mer.

Nous pouvons regarder ici cette machine comme une nouvelle preuve de l'impénétrabilité de l'air : car quoiqu'il cede à l'eau qui s'éleve ſous la cloche une grande partie de l'eſpace qu'il occupoit, il ſe retranche néanmoins vers la partie ſupérieure de cette cloche, & s'oppoſe invinciblement à l'effort de l'eau qui tend à s'y porter. Cette propriété étant donc bien conſtatée par rapport à l'air, nous pouvons conclure à plus forte raiſon qu'elle convient à tous les corps.

IX. L'habitude cependant où l'on eſt de ne pas réfléchir aſſez ſur les phénomènes que la nature nous offre à examiner, fait que dans l'uſage ordinaire, on regarde certains corps comme pénétrables.

Ne dit on pas communément que le caffé pénétre le ſucre qu'on met dedans ; que l'eau pénétre une éponge qu'on poſe ſur ſa ſuperficie ; qu'elle pénétre un monceau de ſable, qu'elle baigne par le pied, &c.

Cette façon de parler, introduite par l'usage chez les Physiciens mêmes, n'en est pas plus correcte pour cela. Ce ne sont point de véritables pénétrations que ces phénomènes nous présentent ; ce ne sont tout au plus que des pénétrations apparentes : car les liquides dont nous venons de faire mention, n'occupent point en même-tems la place dont les parties solides des substances indiquées sont en possession : ils ne se jettent que dans les intervalles que chacune de ces parties laisse entre elles. Ainsi les exemples que nous venons de citer ne détruisent aucunement l'impénétrabilité que nous attribuons à tous les corps, & dont nous venons de démontrer l'existence.

X. Les pénétrations apparentes dont nous venons de parler, nous font voir d'une maniére très-sensible que la solidité des corps ne répond point à leur volume ; que leurs parties constituantes ne se touchent point selon toute l'étendue de leurs surfaces, mais qu'il y a de petits espaces vuides de la matiere propre de ces corps entre leurs différentes parties. Ce sont ces petits espaces vuides qu'on connoît en Physique sous le nom de pores. Or ces espaces, ces pores se remarquent-ils indistinctement dans toutes sortes de corps, de sorte qu'on puisse regarder la porosité comme une des propriétés générales de la matiere ?

XI. Pour résoudre cette question d'une maniere satisfaisante, nous soumettrons ici à l'examen différens corps tirés indistinctement des trois régnes de la nature ; & leur porosité étant bien établie, nous conclurons par induction, que cette propriété est commune à tous les corps.

Si on creuse un morceau de bois (*a*), qui est une substance végétale, selon la direction de ses fibres, pour en faire une espéce de gobelet, dont le fond ait 4 à 5 lignes d'épaisseur, & qu'on le remplisse en partie d'eau, ou de tout autre liquide, on pourra regarder le fond de ce gobelet comme composé de plusieurs surfaces criblées d'un très-grand nombre de petites ouvertures, qui, quoiqu'elles ne soient point alignées, se répondent néanmoins assez pour qu'on puisse dire que le liquide compris dans le gobelet, est posé sur un

(*a*) Nollet, Leçons de Phys. T. 1. pag 83.

très-grand nombre de petits canaux, dont la longueur est égale à l'épaisseur du fond du gobelet. Ce liquide tendra donc, en vertu de sa pesanteur, à traverser l'épaisseur du fond, & à se porter au-dehors : mais le frottement qu'il aura à subir dans ce trajet, suffira pour surmonter l'effort de sa pesanteur, & pour le retenir dans le gobelet, jusqu'à ce qu'on emprunte le secours d'une force étrangere, laquelle se joignant à la pesanteur du liquide, lui fera surmonter l'obstacle qui s'oppose à sa filtration.

Pour y réussir d'une maniére très-simple, & en même-tems très-commode à mettre en exécution, placez ce gobelet sur un cylindre creux de crystal ouvert à ses deux extrêmités, ayant soin d'interposer un cuir gras entre l'un & l'autre; établissez ensuite ce cylindre sur la platine de la machine pneumatique, & faites jouer le piston : vous retirerez une portion de la masse d'air comprise dans la capacité du cylindre; vous affoiblirez par-là son ressort : sa réaction contre l'air extérieur qui s'appuie sur le liquide compris dans le gobelet, diminuera à proportion. L'air extérieur deviendra donc prépondérant, & cette prépondérance concourant avec la pesanteur du liquide, l'obligera à se filtrer à travers le fond du gobelet, & à tomber sous la forme de pluie sur la platine de la machine pneumatique.

XII. Nous parlerons en particulier de cette machine, lorsque nous traiterons de l'air & de ses propriétés. Nous eni ndiquerons l'invention, & les différentes formes qu'elle a reçûes. Il suffira de dire ici, pour l'intelligence des expériences que nous serons obligés de faire, que cette machine peut être considérée comme une espéce de seringue disposée verticalement, au bec de laquelle on auroit adapté une platine, sur laquelle on place différens récipiens, avec un cuir interposé entre ces vases & cette platine, pour exclure tout passage à l'air extérieur. D'après cet exposé, on conçoit aisément que si on fait descendre le piston de la seringue depuis la partie supérieure de sa cavité jusqu'au bas, l'air compris sous le récipient se dilatera & passera par le bec de cette seringue, pour se porter dans sa capacité, qui deviendra vuide par la chûte du piston. Or, comme il y a un robinet entre la cavité de la ſeringue & la platine, on peut, en tournant ce robinet dans un certain ſens, fermer la communication qui étoit établie entre le récipient & la ſeringue, & en ouvrir une autre entre cette même ſeringue & l'air extérieur, à l'aide de laquelle on pouſſera au dehors, en relevant le piſton, l'air qui ſera deſcendu dans la capacité de la ſeringue. Retournant enſuite le robinet dans le premier ſens, on pourra réitérer pluſieurs fois la même opération, & évacuer de plus en plus l'air du récipient.

XIII. Si on ſoumet à l'épreuve du vuide une noix vieille placée dans un vaſe en partie rempli d'eau, on verra ſortir de la ſurface de ſes coquilles un nombre prodigieux de bulles d'air. Or, ces bulles ne peuvent paſſer de l'intérieur de la noix au-dehors, que les coquilles de ce fruit, dont la ſubſtance eſt très-compacte, ne ſoient parſemées d'un très-grand nombre de petits pores.

Si on reporte enſuite de nouvel air ſous le récipient, la preſſion qu'il exercera contre la maſſe d'eau, obligera les petites colonnes de ce liquide, qui répondront

pondront aux pores de la noix, à se porter en partie dans son intérieur ; ce dont on sera pleinement convaincu, en l'ouvrant, après l'avoir bien essuyée à l'extérieur. Nouvelle preuve de la porosité de la noix, qui est une substance végétale.

XIV. L'encre de sympathie qui pénétre l'épaisseur d'un livre de 5 à 600 feuillets, confirme encore la porosité des substances qui appartiennent à ce regne ; car le papier est fait avec du vieux linge, qui tire son origine d'une plante qu'on appelle chanvre. Voici le procédé qu'il faut suivre pour faire cette expérience (*a*).

Ecrivez sur un papier blanc, avec une dissolution de sel de Saturne, qui est un sel tiré du plomb par la calcination ; le véhicule qui tient ce sel en dissolution, s'évaporera & laissera le sel à sec sur le papier. Comme ce sel est blanc, les caracteres que vous aurez tracés, cesseront alors d'être visibles. Placez ensuite ce papier entre les premiers feuillets d'un livre, & frottez les derniers feuillets de ce même livre avec une éponge imbibée d'une dissolution de

(*a*) Lemery, Chimie, pag. 389.

chaux vive & d'orpiment ; fermez après cela le livre, & tenez le en presse pendant quelques momens : cette opération faite, l'écriture ou les caracteres tracés sur le papier, deviendront noirs, ou d'une couleur brune foncée, suivant que la derniere de ces dissolutions sera plus ou moins active. Celle-ci est très-volatile ; de sorte que lorsqu'on en répand sur les derniers feuillets d'un livre, les parties volatiles qui s'en exhalent pénétrent par les pores du livre à travers son épaisseur. Une partie de cette émanation rencontre sur son passage le sel de Saturne, se combine avec lui, & lui fait prendre une couleur noire ou brune, qui rend les caracteres qu'il forme très-sensibles à l'œil.

Il résulte des expériences que nous venons d'exposer, que différentes substances prises indistinctement dans le regne végétal, sont poreuses, & conséquemment que toutes les autres substances tirées du même regne, le sont également. En est-il de même des substances animales ? C'est ce que nous allons examiner.

XV. Si on prend un œuf de poule, ou de tout autre animal, & qu'on le foumette, de la même maniere que la noix, à l'épreuve du vuide ; on verra fortir de fa furface une multitude de p tites bulles d'air, qui s'élanceront à travers la maffe d'eau, fóus le récipient, & qui démontreront l'exiftence des pores difféminés fur la furface de la coquille de l'œuf.

C'eft par ces pores que s'échappe continuellement la partie laiteufe de l'œuf, & qu'elle fe diffipe tout-à-fait : auffi ne trouvons nous plus d'œufs frais quelques jours apres que l'animal les a pondus.

Certains Orientaux ont néanmoins l'art de les conferver pendant l'efpace de deux ou trois ans, en faifant une efpéce de pâte avec de la faumure & de la cendre, dont ils les entourent, ayant foin de les envelopper enfuite dans une efpéce de feuille de choux (*a*).

Nous devons à M. *de Reaumur* une autre méthode très-facile à mettre en exécution, & qu'il pratiqua avec fucces, pour fe procurer des oifeaux étrangers, qui ne s'accouplent point dans notre climat. Il imagina de couvrir les œufs avec un vernis léger, qui pût fe

(*a*) Journ. des Sçavans, Mai 1679.

dissoudre dans de l'eau tiéde. Cette pratique qui peut être de quelqu'utilité à la société, mérite de trouver place ici.

Faites dissoudre une gomme légere, telle que de la gomme arabique, de la gomme laque, &c. dans de l'esprit-de-vin; attachez, à l'aide d'un morceau de cire molle, une boucle de fil aux œufs que vous voulez vernir; passez ces boucles dans un bâton suspendu horisontalement, & plongez successivement ces œufs dans le vase qui contiendra le vernis; laissez ensuite les choses dans cet état pendant quelques momens. Lorsque le vernis sera sec, détachez les boucles de fil, en enlevant la cire molle, & achevez de vernir les œufs en cet endroit, à l'aide d'un pinceau. Ces œufs ainsi préparés se conserveront frais, & ne contracteront aucun mauvais goût pendant cinq à six mois (*a*), & peut-être plus long-tems. Lorsqu'on veut faire couver des œufs ainsi préparés, il faut avoir soin de les dévernir; car la transpiration de l'œuf est une des conditions nécessaires pour l'incubation.

XVI. On prouve encore la porosité des substances animales par l'expérience

(*a*) Nollet, Leçons de Phys. T. 1. pag. 99.

ſuivante. Prenez un morceau de peau de mouton, dans laquelle vous renfermerez une demi-livre de mercure, ou environ; formez comme une eſpéce de nouet, que vous lierez fortement avec une ficelle; preſſez enſuite le nouet avec les doigts, & vous verrez tomber le mercure dans un baſſin que vous tiendrez au-deſſous : il ſe tamiſera par les pores de la peau, & il tombera ſous la forme d'une pluie extrêmement fine.

Cette expérience faite avec attention, nous fait obſerver un nombre ſurprenant de pores répandus dans le petit eſpace de peau où le mercure eſt reſſerré.

Toute peau animale quelconque eſt pareillement remplie de petits pores, à travers leſquels il s'échappe une humeur excrémentitielle, qu'on connoît ſous le nom de tranſpiration inſenſible. *Sanctorius*, célebre Médecin de Padoue, fut le premier qui réduiſit au calcul cette évacuation, & il trouva, après une longue ſuite d'expériences, réitérées pendant l'eſpace de 30 ans, que ſi on prend huit livres d'alimens ſolides & liquides dans l'eſpace d'un jour, il en paſſe cinq par la tranſpiration insensible (*a*). M. *Dodart* ayant fait en France des recherches sur cette matiere, composa en 1702 un petit Traité, dans lequel il estime que la transpiration insensible est aux autres évacuations, dans un homme qui fait un exercice modéré, dans le rapport de 7 à 1 (*b*). Il paroît par les observations que *Keill* a faites en Angleterre, que cette évacuation n'y est pas si abondante qu'en Italie & en France : car, suivant cet habile Observateur, cette évacuation évaluée en poids, ne donne que la moitié des alimens solides & liquides, dont on se nourrit en vingt-quatre heures (*c*). Tous ceux qui ont fait des recherches à cet égard, conviennent que cette évacuation est plus abondante pendant l'été que pendant l'hyver. *Keill* estime à près de trois livres la plus grande transpiration d'un jour d'été. Il n'est pas d'accord en cela avec les observations de *Sanctorius* & de *Dodart*, ni même avec celles de *Boyle* (*d*), qui

(*a*) Sanctorius *de Statica Medici.* Aphor. VI. pag. 13.
(*b*) Noguez, T. 2. Med. gall. p. 224.
(*c*) Med. Stat. Britann. Aphor. XXXVIII.
(*d*) Journal des Sçavans, Janvier 1685.

nous apprend que des personnes saines ont transpiré pendant l'hyver, 50 onces en 24 heures.

Quoiqu'il en soit du défaut de conformité qu'on trouve dans les résultats des observations que plusieurs grands hommes ont faites avec soin ; on peut néanmoins conclure que cette évacuation, toute insensible qu'elle soit, est plus abondante que les evacuations sensibles ; & on en sera peu surpris, si on fait attention à la multitude de pores qui sont répandus sur l'habitude du corps de l'homme.

En supposant en effet, d'après *Lewenhoek* (*a*), qu'il n'y ait que 100 pores ou petites ouvertures sur un morceau de peau humaine de la grandeur d'une ligne, supposition qui est au dessous de la réalité, il y aura 1000 pores sur l'espace d'un pouce, (mesure d'Angleterre ;) il y en aura 12000 sur l'espace d'un pied, & conséquemment 144000000 sur un pied en quarré de surface : mais la surface d'un homme de moyenne taille est au moins de 14 pieds quarés. Il faut donc multiplier le dernier nombre par 14, pour avoir

(*a*) Arcan. natur. T. 3. pag. 413.

la ſomme des pores diſſéminés ſur l'habitude du corps d'un homme, ce qui donnera 201600000.

Le cuir le plus dur, le plus compact n'eſt pas dépourvu de pores. Ils ſont à la vérité plus ſerrés, plus petits ; mais ils n'en exiſtent pas moins, puiſqu'ils livrent paſſage à des émanations très-ſubtiles, ainſi qu'on peut s'en convaincre par un fait que *Scaliger* (*a*) rapporte ; ſçavoir que le venin de certaines araignées de l'Aquitaine, ſa patrie, ſe fait jour à travers les ſouliers les plus épais.

La tranſpiration inſenſible porte auſſi avec elle différens caracteres, ſuivant la nature des différens mélanges qui ſe font entre les humeurs ; ainſi que nous le ferons obſerver dans nos Leçons ſur l'œconomie animale.

M. *Borel*, Médecin de Caſtre, a connu une fille ictérique, qui imprimoit une couleur de citron à ſes habits & à l'argent qu'elle portoit dans ſa poche.

Un homme de Plimouth, qui prenoit tous les matins un peu d'eſprit de vitriol parmi ſa boiſſon ordinaire, re-

(*a*) Scaliger exercit. 186.

marqua qu'un paquet de clefs polies & luisantes qu'il portoit sur lui, étoient devenues noires & rouillées, quoiqu'il ne touchât jamais à cet esprit, & qu'il n'en tînt point dans sa poche (*a*).

XVII. Les substances minérales ont aussi leurs pores, de même que celles que nous venons d'examiner. Renfermez dans des boëtes, de quelque métal que ce soit, du laiton ou de l'argent; tenez dans le même endroit une pierre de Boulogne nouvellement calcinée; les exhalaisons sulphureuses qui s'en échappent se feront jour à travers ces boëtes, & donneront au laiton une couleur d'argent, & à l'argent une couleur d'or (*b*). Un sel tiré d'un mêlange de chaux vive, de vinaigre distillé, de salpêtre, de sel marin & de soufre, mis dans un creuset de fer, exposé à un feu de réverbere, se fond, pénetre aisément l'épaisseur du creuset, le traverse comme l'eau traverse le papier gris, sans laisser aucune trace de son passage (*c*). Il n'y a aucun metal qui n'ait des pores: car ils ne

(*a*) Journal d'Angleterre.

(*b*) Mem. de l'Acad. des Sciences 1709.

(*c*) Mém. de l'Acad. des Sciences 1713.

sont tous dissolubles dans les menstrues qui leur sont propres, qu'à la faveur de leurs pores, qui donnent accès à ces différens menstrues qui les pénetrent, qui brisent les liens qui unissent leurs parties constituantes, & les séparent de la masse totale qu'elles formoient auparavant.

Ces dissolutions qui prouvent d'une maniere incontestable la porosité des métaux, nous offrent plusieurs phénomènes à observer.

1°. C'est un fait reconnu de tous les Chimistes, que tous les métaux ne peuvent point se dissoudre dans le même dissolvant. L'esprit de nitre, par exemple, qui dissout parfaitement bien le fer, le cuivre, l'argent, &c. ne peut point dissoudre l'or. L'eau régale, qui n'est autre chose que de l'esprit de nitre, dans lequel on a fait fondre un quart de sel ammoniac, dissout très-bien l'or, & ne dissout point l'argent.

Pour concevoir la raison d'un phénomène aussi surprenant, M. Lemery fait observer que les pores de l'or sont plus ouverts que ceux de l'argent; mais qu'à la vérité ils sont beaucoup moins nombreux que ceux de ce dernier métal ; ce qui fait que la pesanteur spécifique de l'or est plus grande que celle de l'argent. Or ces pores étant plus ouverts dans l'or, les pointes de l'esprit de nitre, quoique grossies par l'addition du sel ammoniac, peuvent encore les pénétrer, & sont assez solides pour agir contre ce métal, & pour le dissoudre ; mais elles sont trop grosses pour pénétrer ceux de l'argent, & conséquemment elles ne peuvent point le dissoudre ; tandis que les parties de l'esprit de nitre seules & isolées sont assez fines & assez solides pour les pénétrer & pour faire tomber ce métal en dissolution ; ces mêmes parties pénetrent à plus forte raison les pores de l'or : mais leurs pointes sont trop fines & trop pliantes pour séparer les parties constituantes de l'or, qui résistent davantage à leur séparation que celles de l argent (*a*).

2°. Quoiqu'on abandonne différens métaux à des menstrues qui leur conviennent, ils ne s'y dissolvent pas tous également bien. L'esprit de nitre, par exemple, dissout plus aisement & plus promptement le fer que le cuivre.

(*a*) Lemery, cours de Chymie, pag. 468

Mettez dans un vaſe profond un gros de limaille de fer, & un gros de limaille de cuivre dans un autre : verſez dans l'un & dans l'autre quatre gros d'eſprit de nitre, & vous obſerverez les phénomènes ſuivans.

1°. Une forte ébullition accompagnée d'une fumée rouge fort épaiſſe. 2°. Un mouvement très-violent, qui élevera & précipitera ſucceſſivement les parties métalliques dans le diſſolvant. 3°. Une chaleur très-forte qu'on ſentira vivement en touchant les vaſes. 4°. Deux couleurs différentes que prendront ces deux diſſolutions ; celle du cuivre ſera verte, & celle de fer ſera couleur de rouille. 5°. Tous ces effets ſe manifeſteront plus fortement & plus bruſquement dans la diſſolution du fer, que dans celle du cuivre.

De tous ces phénomènes, nous ne conſidérerons ici que le dernier ; les autres trouveront place ailleurs. Nous examinerons donc ſeulement pour quelle raiſon ces effets ſe manifeſtent plus promptement dans la diſſolution du fer, que dans celle du cuivre, & j'en trouve deux raiſons.

1°. Parce que le fer eſt plus poreux

que le cuivre, puiſqu'à volume égal, le cuivre peſe davantage. Le diſſolvant trouve donc un accès plus libre dans le fer, qu'il pénetre en même-tems par un plus grand nombre d'endroits. 2°. Le cuivre contient des parties graſſes, qu'on ne trouve point dans le fer. L'exiſtence de ces ſortes de parties dans le cuivre eſt conſtatée d'une maniere très-ſenſible, par cette eſpéce de graiſſe qui s'attache aux extrémités des doigts de ceux qui manient beaucoup de cuivre : elle eſt encore conſtatée par ce qui arrive habituellement dans les atteliers de ceux qui travaillent ce métal. On y voit qu'une lime qui a travaillé du cuivre pendant un certain tems, gliſſe ſur l'ouvrage ſans mordre deſſus, non parce qu'elle eſt uſée, puiſqu'elle eſt encore très propre à limer du fer; mais parce que ſa ſurface eſt enduite d'une eſpéce de graiſſe, qui ne lui permet plus d'endommager le cuivre. Or l'eſprit de nitre ne mord point ſur les parties graſſes : ces ſortes de parties qui ſe trouvent dans le cuivre, le ſouſtraient donc en partie, à l'action de ce diſſolvant.

Le défaut d'action de l'eſprit de nitre

ſur les parties graſſes, a donné naiſſance à la gravure à l'eau forte : invention auſſi curieuſe qu'utile à la ſociété, qui nous procure, à peu de frais, des cartes, des planches indiſpenſablement néceſſaires à certains ouvrages, qu'on ne pourroit ſe procurer qu'à très-grands frais, ſi on étoit obligé de n'avoir recours qu'au burin. Voici en peu de mots une méthode très ſimple pour graver à l'eau forte.

On prend une planche de cuivre rouge bien dreſſée & bien planie ; on la fait chauffer ſuffiſamment pour qu'elle puiſſe fondre une eſpéce de cire, qu'on appelle vernis de Graveur, dont Boſſe nous a donné la compoſition (*a*). Ce vernis étant enveloppé dans un morceau de taffetas, on en frotte la planche : la chaleur qu'elle a contractée le fait fondre ; il tranſude à travers les pores du taffetas, & il s'attache à la ſurface de la planche. On l'y étend après cela, à l'aide d'un tampon de coton cardé pareillement renfermé dans un morceau de taffetas. Cette premiere opération finie, on fait paſſer la planche

(*a*) Traité des manieres de graver en taille-douce, page 9.

du côté qu'elle est vernie sur la fumée d'un flambeau de résine, & on la laisse réfroidir : on applique ensuite sur le vernis le dessein qu'on veut graver : ce dessein est fait avec de la sanguine & sur un papier huilé ; de sorte que les traits paroissent à travers le papier : on les suit légerement avec une pointe mousse ; ce qui fait que le crayon se détache du papier, & s'applique sur le vernis : on leve alors le papier, & on trouve le dessein tracé sur la planche : on découvre ensuite tous les traits avec la pointe d'une aiguille, & par ce moyen ce dessein se trouve, pour ainsi dire, creusé à jour dans l'épaisseur du vernis : on fait alors un cordon de cire molle autour de la planche ; on la place horisontalement, & on la couvre d'eau seconde, c'est à dire d'eau forte adoucie par une égale quantité d'eau. L'Auteur que nous venons de citer nous donne aussi une composition d'eau forte, dont plusieurs Graveurs font encore usage (*a*) : on donne à cet acide un tems suffisant pour mordre sur le cuivre, qui est à découvert, & pour y creuser les traits dont nous venons de parler. L'opération

(*a*) Bosse, même Ouvrage, pag. 11.

finie, on renverſe la planche pour faire écoulet l'eau forte : on fait enſuite chauffer cette planche pour en enlever le vernis avec un linge, & on la trouve gravée : il reſte néanmoins certains traits qu'on eſt obligé de retoucher au burin.

La diſſolution du cuivre par le moyen de l'eſprit de nitre, nous donne encore lieu de faire une obſervation, que voici. Lorſqu'un corps quelconque eſt diſſous, les Chymiſtes nous offrent deux procédés pour ſéparer les parties diſſoutes du diſſolvant dans lequel elles nagent.

1°. L'évaporation. Si on fait donc évaporer à feu lent le diſſolvant, les parties qu'il tient en diſſolution ſe raſſembleront inſenſiblement : celles qui nagent dans la premiere ſurface de ce liquide qui s'évapore, abandonnées par la diſſipation du liquide, ſe joindront avec celles que renferme la ſurface immédiatement conſécutive, & qui ne ſera point encore évaporée : l'union de ces parties en formera de nouvelles, qui deviendront trop peſantes pour ſe ſoutenir dans le diſſolvant, & qui ſe précipiteront au fond du vaſe. Il en arrivera de même par rapport aux autres parties ; de forte qu'elles demeureront toutes à sec au fond de ce vase.

2°. Le second moyen que les Chymistes nous enseignent pour retirer les parties qui nagent dans un dissolvant, est connu sous le nom de précipitation. Ce phénomène a lieu lorsqu'on donne à un dissolvant, qui a déja dissous une substance quelconque, une autre substance plus aisée à dissoudre. Or comme le fer est plus dissoluble que le cuivre, ainsi que nous venons de le démontrer, si on plonge un morceau de fer dans une dissolution de cuivre, le dissolvant sera encore propre à dissoudre du fer. Il se jettera donc en partie dans cette nouvelle substance, & il abandonnera sur sa surface une partie du cuivre qu'il tenoit en dissolution ; de façon que ce morceau de fer paroîtra surcuivré, & c'est ce qu'on appelle précipitation du cuivre, par l'intermède du fer.

On observe le même phénomène lorsqu'on plonge un morceau de fer dans une dissolution de vitriol de cuivre. Ce phénomène se fait remarquer naturellement, & sans le secours de l'art, lorsqu'on plonge un morceau de fer quelconque dans l'eau de quelques-unes des fontaines qui sont dans le voisinage d'une ville nommée Herngrand. Ce fer paroît alors converti en cuivre, & conserve assez opiniâtrement la couleur de ce métal. J'ai vu une tabatiere de fer qui avoit servi à cette opération, & qui paroissoit être faite d'un fort beau cuivre rouge (*a*).

Toutes ces observations & quantité d'autres qu'on pourroit y ajouter, nous prouvent la porosité des substances métalliques. Il en est de même de toute substance quelconque tirée du regne minéral. Il n'y en a aucune qui ne soit poreuse.

XVIII. Les diamans, les rubis qui sont si compactes, ne livrent passage à la matiere de la lumiere, qu'à la faveur de leurs pores. Les marbres les plus durs ne sont point dépourvus de pores. M. *du Fay* se servit de cette connoissance pour incruster, pour ainsi dire, différens mordans colorés sur la surface du marbre blanc, & il parvint à dessiner dessus des fleurs, dont les couleurs étoient suffisamment empreintes pour résister au poli qu'on leur donna en-

(*a*) Dans le Cabinet d'Hist. Naturelle du Médecin du Prince de Saalm.

ſuite (*a*). On parvient à former différentes ramifications ſur des morceaux d'agathe, qui imitent aſſez bien les dendrides naturelles ; ce qu'on ne peut exécuter que par le moyen des pores dont cette ſubſtance eſt remplie : d'où l'on peut conclure en général, que toute ſubſtance minérale eſt poreuſe. Or comme cette même concluſion a lieu par rapport à toute autre eſpéce de corps tiré des deux autres regnes, nous regarderons la poroſité comme une des propriétés générales de la Matiere.

XIX. Quelques Phyſiciens néanmoins ont revoqué en doute la poroſité des liquides, eu égard à la ſurface lice & polie qu'ils affectent. Quoique cette difficulté ne paroiſſe pas établie ſur un fondement fort ſolide, je citerai néanmoins ici deux expériences qui peuvent ſervir à la démontrer inconteſtablement. La premiere fut faite autrefois par M. *de Reaumur* (*b*) dans une autre vûe. Cet habile Académicien remplit un tube avec une partie d'eſprit de vin,

(*a* Mém. de l'Acad. des Sciences, année 17·8.

b) Hiſt. de l'Acad. des Sciences, année 171

& deux parties d'eau ; de façon que l'esprit de vin surnageoit : il agita ensuite le tube, après l'avoir exactement bouché : ces deux liquides se mêlerent, se combinerent ensemble, & occuperent un moindre espace. L'Historien de l'Académie des Sciences qui cite cette expérience, rapporte que M. *de Reaumur* fut obligé de remettre dans le tube $\frac{1}{20}$ de la masse totale du liquide, pour que le mixte occupât le même espace ; ce qui prouve que ces deux liquides s'étoient pénétrés par leur mêlange. Or comme il n'y a point de pénétration réelle, & que toutes celles que nous imaginons supposent nécessairement des pores (9,) nous devons conclure de cette expérience que les liquides ne sont point dépourvus de pores.

La seconde expérience est tirée des Ouvrages du P. *Magnan* (*a*). Cet habile Physicien mêla ensemble une partie d'eau de puits, & deux parties de vin vieux très-foncé en couleur : il laissa ce mêlange exposé à l'air libre pendant l'espace de dix jours & de dix nuits, dans un vaisseau un peu concave, dont

(*a*) Tom. 1, pag. 332.

l'ouverture étoit fort large. Un vent du Nord qui ſurvint fit glacer l'eau de ce mêlange : il inclina alors le vaſe, & il en retira tout le vin. Il vit les goutes de cette liqueur ſe filtrer au travers l'eau, paſſer ſucceſſivement d'interſtices en interſtices, & couler dans un vaiſſeau qu'il avoit mis au-deſſous. Le vin s'étant ſéparé de l'eau glacée, cette eau devint blanchâtre, & elle paroiſſoit percée de mille & mille petits trous comme une eſpéce de crépine, & lorſque la glace fut fondue, on ne vit dans le vaſe qu'une eau fort nette, ſans aucune apparence de vin.

XX. L'exiſtence & l'univerſalité des pores étant établies, il ſe préſente naturellement à l'eſprit une autre queſtion à réſoudre ; ſçavoir, ſi ces pores innombrables qu'on remarque dans tout être matériel quelconque, ſont réellement vuides, ou s'ils ſont remplis par une autre matiére différente de celle à laquelle ces pores appartiennent.

Avant *Deſcartes* cette queſtion ne ſouffroit pas une grande difficulté, quoique les ſentimens fuſſent partagés. Ce fut lui qui le premier nia non-ſeulement l'exiſtence, mais même la poſſibilité du vuide (*a*) ; aſſertion qui ſuivoit néceſſairement de l'idée qu'il s'étoit formée ſur l'eſſence de la matiere, qu'il faiſoit conſiſter dans l'étendue.

En effet, dans cette hypothèſe la matiere & l'étendue ſont deux mots qui ſignifient une même choſe ; par conſéquent ſi le vuide étoit poſſible, il ne ſeroit rien moins qu'un véritable vuide : ce ſeroit un eſpace qui jouiroit de toutes les dimenſions de la matiere ; c'eſt-à-dire, qui ſeroit étendu en longueur, largeur & profondeur, & qui conſéquemment jouiſſant de la même eſſence que la matiere, dévroit être regardé comme un véritable corps. Il ſe préſente donc ici deux queſtions à réſoudre ; (1o.) ſçavoir ſi le vuide eſt poſſible ; (2o.) s'il exiſte réellement dans la nature.

XXI. La premiere de ces deux queſtions ne me paroît pas mériter une longue diſcuſſion. On conçoit par le mot *vuide* un eſpace qui ne contient aucun corps quélconque (*b*). Cela poſé, comme l'exiſtence des corps & leur conſervation actuelle dépendent du Créa-

(*a*) Principes, Part. 2. pag. 86.

(*b*) Ariſt. lib. 4. de Phyſ. auſc. c. 7.

teur, ne peut-on pas ſuppoſer, par exemple, que tous les corps qui ſont partie de l'univers matériel ſoient renfermés dans une ſphère *A* (*fig.* 1.) & que le corps *C* ſoit anéanti, tous les autres conſervant entre eux le même rapport qu'ils avoient avant l'anéantiſſement du corps *C*? Suppoſition qui ne répugne en rien. Or dans cette hypotheſe l'eſpace *BCD* ſera néceſſairement vuide ; ce qui prouve ſuffiſamment la poſſibilité du vuide.

XXII. Quant à la ſeconde queſtion qui concerne l'exiſtence actuelle du vuide, les ſentimens ſont partagés ; les uns admettent non-ſeulement l'exiſtence d'un vuide diſſéminé entre les molécules de tous les corps, mais encore un vuide immenſe qui ſépare la terre de ces globes lumineux répandus dans l'immenſité des cieux. D'autres admettent un vuide diſſéminé, & nient l'exiſtence de ce vuide immenſe, dont nous venons de parler, & leur ſentiment ne me paroît pas dépourvu de vraiſemblance, s'il s'agit d'un vuide parfait & ſtrictement pris. *Newton* lui-même (*a*) n'a pas regardé cet eſpace

(*a*) Lib. 2. ſ. 7.

comme absolument vuide : mais le détail de cette question, quelqu'intéressant qu'il soit, nous conduiroit trop loin. Nous ne devons considérer ici que le vuide disséminé entre les parties constituantes des corps.

XXIII. La preuve la plus convainquante qu'on puisse apporter de l'existence de ce vuide, sont les absurdités qui accompagnent nécessairement l'hypothèse d'un plein parfait ; quelque nombreuses qu'elles soient, nous n'en remarquons que deux.

1°. Si tous les pores des corps étoient exactement remplis d'une matiere quelconque, il en résulteroit nécessairement une dureté parfaite dans tous les corps. Les fluides eux-mêmes passeroient de cet état à celui de la plus grande solidité : car la cause immédiate de la dureté & de la solidité des corps, est, de l'aveu de la plus saine partie des Physiciens, le contact immédiat des parties des corps que nous regardons comme solides. Quelque hétérogenes que soient les parties d'un mixte quelconque, dès-là qu'elles sont intimement unies entr'elles, par l'attouchement respectif de leurs surfaces, il en résulte un tout, dont

dont la solidité est proportionnelle au contact : or dans l'hypothese d'un plein parfait, tout corps quelconque seroit un mixte composé de parties hétérogenes intimement unies entr'elles ; puisqu'elles se toucheroient par tous les points de leurs surfaces. Les fluides perdroient donc leur fluidité, & acquerroient une extrême solidité.

2°. Dans l'hypothese d'un plein parfait, le mouvement local, ou le transport d'un mobile d'un lieu dans un autre, seroit de toute impossibilité. C'est en vain que *Descartes* & ses sectateurs prétendent qu'un corps mis en mouvement pousse devant lui l'air & la matiere subtile, qui lui répondent, & que ces deux fluides réfluant à ses côtes, viennent occuper la place que le mobile abandonne. Cette réponse suppose ce qui est en question ; sçavoir, le premier transport du mobile.

Nous avons donc plus d'une raison de croire qu'il existe de petits vuides disséminés entre les parties constituantes des mixtes.

XXIV. Je ne disconviens cependant pas que les pores les plus ouverts qu'on remarque dans tous les corps, ne donnent entrée à l'air groſſier que nous reſpirons; que ceux qui ſont plus petits n'admettent un air moins groſſier, une matiere plus ſubtile : mais il n'en eſt pas moins vrai de dire, que ces pores ne ſont point exactement remplis : car quelques figures qu'on accorde à l'air, quelque diſpoſition qu'on ſuppoſe dans cette matiere, qu'on nomme ſubtile, pour ſe prêter à toute figure quelconque; on ne peut pas concevoir que les molécules de l'air, ni que celles de la matiere ſubtile puiſſent s'arranger entr'elles de façon à ne laiſſer aucun vuide. D'ailleurs on retomberoit dans les abſurdités que nous venons d'indiquer (XXIII.)

XXV. C'eſt à l'aide des pores qu'on remarque dans tout être matériel, qu'on parvient à introduire dans l'intérieur de chaque corps des ſubſtances étrangeres, propres à briſer les liens qui uniſſent ſes parties intégrantes. Il n'y en a donc aucun qui ne ſoit ſuſceptible de diviſion, & on doit encore ranger la diviſibilité parmi les propriétés générales de la matiere.

XXVI. Tous les corps ſont diviſibles; perſonne ne conteſte la vérité de cette aſſertion, en faiſant abſtraction des élémens des corps. Mais cette divisibilité à laquelle tous les corps sont soumis, reconnoît-elle des bornes, ou n'en reconnoit-elle point ? C'est une seconde question sur laquelle les sentimens sont encore partagés. Ceux qui prétendent que la matiere est divisible à l'infini, & qu'on ne peut point atteindre à la derniere division de la matiere, se fondent sur ce principe; que la matiere demeure toujours étendue, quelque divisée qu'on la suppose; puisque la division poussée aussi loin qu'on puisse l'imaginer, ne fait que diminuer & non détruire l'étendue.

Ceux qui mettent des bornes à la divisibilité de la matiere, regardent ses élémens comme des êtres simples, parfaitement durs & insécables. Ces derniers, si nous en exceptons *Zénon*, *Galilée*, *Léibnits*, *Wolf*, & quelques autres, conviennent que ces élémens, quoiqu'insécables, sont néanmoins étendus.

Ce sentiment fut imaginé autrefois par *Moschus* le Phénicien : il fut ensuite adopté par *Démocrite*, *Léucippe*, *Epicure*, *Gassendi*, *Newton*, *Boerrhaave*, *Desaguilliers*, & par plusieurs autres célébres Physiciens.

Or comme on ne peut se refuser à croire que les élémens de la matiere sont étendus, la question se réduit donc à examiner si l'étendue peut se diviser à l'infini.

Pour résoudre une question aussi abstraite, & qui se prête à tant de subtilités différentes, il faut la considérer sous les deux points de vue sous lesquels l'*Abbé Nollet* nous la présente (*a*) ; c'est-à-dire, il faut distinguer la divisibilité mentale ou idéale de la divisibilité réelle & physique, & pour lors, comme l'observe très bien le célébre physicien que je viens de nommer, *cette question paroît se réduire à peu de choses.*

En effet, quelque divisée qu'on suppose la matiere, les parties qui naissent de la derniere division sont encore étendues; & comme elles sont nécessairement figurées, elles sont aussi circonscrites par plusieurs côtés distingués les uns des autres (II), & conséquemment qu'on peut supposer séparables les uns des autres. Cette divisibilité idéale ne reconnoît donc point de bornes, & en

(*a*) Leçons de Phys. Tom. I. pag. 10.

ce ſens, on peut dire que la matiere eſt diviſible à l'infini. Si nous conſultons les ouvrages de ceux qui ſont de ce ſentiment, nous y trouverons des démonſtrations évidentes qui ne laiſſent aucun doute à cet égard. En voici une tirée du premier & du ſecond *Poſtulatum* du premier livre d'*Euclide*; ſçavoir, qu'une ligne droite peut être prolongée à l'infini, & que d'un point on peut conduire des lignes droites ſur tous les points d'une autre droite. Cela poſé, ſi on tire les paralleles *AB*, *CD*, (*fig.* 2.) & qu'on abaiſſe la perpendiculaire *OP*, il eſt conſtant, qu'à compter depuis le point *E*, qui eſt au-delà de la perpendiculaire, on peut conduire du point *A*, un nombre infini de droites ſur la ligne *CD*, conſidérée depuis le même point *E*; puiſqu'on peut en tirer ſur tous les points de cette ligne *ED*, qu'on peut prolonger à l'infini. Reſte donc à démontrer que ces droites diviſeront la ligne *OP*, en autant de parties différentes. On démontre en Géométrie que pluſieurs lignes droites menées d'un point à un autre, ne peuvent avoir qu'un point commun; par conſéquent toutes les lignes partant du point *A*, ne peuvent concourir qu'en ce point : or comme elles paſſent toutes par la ligne *OP*, puiſqu'aucune ne peut ſe confondre avec la ligne *AB*, qui eſt parallele à *CD*; elles diviſent la ligne *OP* en autant de parties différentes.

Si on conſulte les théorèmes de *Keill* (*a*), *Sgraveſande* (*b*), *Deſaguilliers* (*c*), &c. on trouvera dans les ouvrages de ces grands hommes quantité d'autres démonſtrations, qui établiſſent auſſi manifeſtement la diviſibilité de la matiere à l'infini.

Mais toutes ces démonſtrations ne prouvent qu'une diviſibilité idéale & métaphyſique : elles ſont toutes fondées ſur la propriété des lignes, que les Géomètres conſidérent ſans largeur. Reſte donc encore à examiner ſi on peut exécuter phyſiquement toutes les diviſions qu'on conçoit dans la matiere. Peut-on donc diviſer réellement la matiere en autant de parties qu'on la conçoit diviſible? Non, ſans doute ; car lorſque nous avons pouſſé la diviſion

(*a*) *Introd. ad veram Phyſ. & veram Aſtronom.*

(*b*) Elémens de Phyſ. Math.

(*c*) Cours de Phyſ. Expérim.

de la matiere jusqu'à un certain point, les parties qui naissent de cette derniere division échappent à la foiblesse de nos organes; nous ne connoissons plus alors d'agens propres à la diviser davantage. Le feu même qui est l'agent le plus puissant que nous puissions employer pour la décomposition des mixtes, se refuse à notre intention. Nous lisons dans l'histoire de l'Académie des Sciences que M. *Homberg* (*a*) tint en digestion, pendant plusieurs années, des esprits acides de sels qu'il avoit renfermés dans des verres, & qu'il ne remarqua après un si long-tems aucun changement dans ces corps.

Nous ne pouvons donc pas porter la division de la matiere au-delà de certaines bornes, qui ne nous permettent pas d'altérer les parties élémentaires des corps, ainsi qu'on peut encore s'en convaincre par l'analyse chymique. Peut-être même est-ce une nouvelle preuve de la sagesse suprême du Créateur, qui n'auroit créé que des agens suffisans pour subvenir abondamment à nos besoins, & qui n'auroit laissé dans le monde que des moyens impuissans pour

(*a*) Hist. Acad. reg. par Duhamel.

en déranger l'œconomie (*a*) : car on ne peut disconvenir que s'il existoit dans la nature des agens propres à altérer, diviser les parties élémentaires des mixtes, il en résulteroit des altérations sensibles & des désordres, à l'abri desquels le monde s'est toujours conservé jusqu'à présent (*b*).

XXVII. Si nous ne pouvons pas diviser la matiere au-delà d'un certain point, si nos efforts deviennent alors impuissans, on ne peut disconvenir néanmoins qu'on peut pousser très loin cette opération. Il n'y a même qu'un œil vraiment philosophe qui puisse voir jusqu'où peut aller en cela le génie de la nature, & l'industrie de l'homme. Nous en donnerons ici quelques exemples, que nous tirerons des différens procédés des arts & des opérations les plus ordinaires de la nature.

XXVIII. Les teintures, les dissolutions, la ductilité des métaux maniés avec art, & quantité d'ouvrages qu'on conserve soigneusement dans les cabinets des curieux, sont autant de preuves

(*a*) Nollet, Leçons de Phys. T. 1. pag. 12.
(*b*) Mussenbroek, Essais de Phys. T. 1. pag. 34.

frappantes de la vérité de la proposition que nous nous proposons de démontrer.

Les teintures nous fournissent un moyen très-propre à satisfaire notre curiosité sur la prodigieuse divisibilité de la matiere ; car outre les différens mêlanges que le Teinturier peut faire pour varier les couleurs, souvent leur dégradation, leurs nuances ne dépendent que de la ductilité du corps colorant. Cette maniere d'affoiblir une couleur & de la rendre plus tendre, a donné lieu aux Physiciens d'examiner jusqu'à quel point on peut conduire la division du corps colorant, en l'étendant de plus en plus dans son dissolvant.

Un grain de cochenille délayé dans de l'esprit d'urine colore 125280 grains d'eau (*a*) Un grain pésant de carmin, par exemple, delayé dans un verre d'eau, donne une teinture très-foncée. Jettez cette teinture dans six pintes d'eau commune, mesure de Paris, toute cette masse prendra une teinture fort sensible. Or une masse d'eau de six pintes pese douze livres. Réduisant ce poids en

(*a*) Boyle, Experim. & consid. de color. Exper. 24.

grains, on trouve 110592 grains. Un grain de carmin se divise donc par ce seul procédé au point de se distribuer à 110592 parties, pésantes chacune un grain : mais chaque grain de cette masse d'eau qui est empreint de la teinture que le carmin lui fournit, peut lui-même se diviser en plusieurs parties sensibles. Supposons seulement en 4, chacune des parties qui naîtront de cette division sera nécessairement colorée. La division du carmin deviendra donc quadruple, & conséquemment le nombre des parties du carmin sera = $110592 \times 4 = 442368$; division qu'on pourroit pousser beaucoup plus loin, en affoiblissant la teinte, c'est-à-dire, en étendant le carmin dans une plus grande masse d'eau.

XXIX. Les dissolutions des métaux par les acides, confirment d'une maniere très-sensible ce que nous venons de démontrer, par le moyen des teintures. *Boyle* (a) nous apprend qu'un grain de cuivre dissous dans une suffisante quantité d'esprit volatil de sel ammoniac, peut donner une teinture

(a) *De mirâ subtilit. effluvior.* c. 3.

bleue à 28534 grains d'eau. *Keill* (*a*) a porté plus loin l'observation : il assure qu'une même quantité de cuivre dissous par le même esprit, est capable de teindre en bleu 105570000 parties d'eau sensibles à l'œil.

On peut aisément répéter cette expérience, & on verra que le résultat s'accorde très-bien avec le calcul de *Keill.* Je suis parvenu à donner une couleur bleue, très peu foncée à la vérité, à 479270000 grains d'eau distillée par le moyen de 2 grains de cuivre rosette, que j'avois fait dissoudre dans le dissolvant que je viens d'indiquer.

XXX. Si les teintures & les dissolutions nous offrent un moyen facile de diviser la matiere en un nombre prodigieux de parties, la ductilité des métaux nous en procure encore un autre pour pousser très-loin cette même opération. Quoique les arts ne fussent point anciennement aussi perfectionnés qu'ils le sont aujourd'hui, les anciens néanmoins sçavoient déja mettre à profit cette propriété des métaux. On peut consulter sur cela ce que *Cardan* (*b*) &c

(*a*) *Introd. ad veram Phys. & veram Astron.*
(*b*) Lib. 3. c. 11. f. 21.

ſes contemporains ont écrit ſur les avantages que la ſociété pouvoit retirer de la malléabilité des métaux. *Boyle* (*a*) qui n'ignoroit point que la ductilité de l'argent le cede de beaucoup à celle de l'or, regarde celle de ce premier métal comme un moyen très-propre à démontrer l'extrême diviſibilité de la matiere. Il nous apprend qu'il étendit à huit aunes de longueur, un morceau d'argent qui ne péſoit pas un grain.

Actuellement que les arts ſont enrichis de nouvelles pratiques beaucoup plus avantageuſes, on ne fait pas un grand effort pour étendre un grain d'argent ſous le marteau, & pour lui donner aſſez d'étendue pour le diviſer en 466560 parties ſenſibles.

Nous trouverons encore une preuve plus frappante de la prodigieuſe diviſibilité des métaux, ſi nous nous tranſportons dans les atteliers des tireurs d'or. Nous y verrons que le fil d'or qui ſert habituellement à enrichir nos parures, n'eſt qu'un fil d'argent doré, & que l'épaiſſeur de l'or qui le couvre n'égale peut-être pas $\frac{1}{525000}$ d'une ligne (*b*).

(*a*) *De mirâ ſubtil. effluviorum.*

(*b*) Nollet, Leçons de Phyſ. T. 1. pag. 41.

En effet, on couvre un cylindre d'argent avec des feuilles d'or (*a*). On en employe plus ou moins, afin que la dorure ſoit plus ou moins belle : mais comme il nous ſuffit ici que le cylindre ſoit couvert dans toute ſon étendue, nous ſuppoſerons qu'on n'employe qu'une once d'or pour cette opération. Ce cylindre dont le poids $=$ 22 livres $\frac{1}{2}$ porte 22 pouces de longueur ſur 15 lignes de diamètre. On le fait paſſer enſuite ſucceſſivement par les trous décroiſſans d'une femelle d'acier, & par ce moyen, on l'allonge aux dépens de ſon épaiſſeur & de celle de l'or qui le recouvre. L'opération étant finie, ce cylindre ne forme plus qu'un fil, dont la longueur $=$ 97 lieues communes de France. Mais ce fil d'argent doré n'eſt point encore propre aux uſages auxquels on le deſtine : il doit ſubir auparavant une autre opération. Il faut l'applatir, & on y parvient en le faiſant paſſer entre deux rouleaux d'acier. Cette opération allonge encore ce fil d'une quantité $= \frac{1}{7}$. Sa longueur eſt donc $= 97 + 13\frac{6}{7}$ de lieues $= 110\frac{6}{7}$. Négligeant les $\frac{6}{7}$, qui méritent cependant quelques

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences, an. 1713.

considérations, une once d'or s'étend par ce procédé, au point d'acquérir 110 lieues de longueur. Par conséquent, réduisant ce nombre de lieues en toises, en pieds, en pouces & en lignes, nous aurons $110 \times 2000 = 220000$ toises $\times 6 = 1320000$ pieds $\times 12 = 15840000$ pouces $\times 12 = 190080000$ lignes. Mais une ligne se divise aisément en 12 points sensibles à l'œil. On peut donc multiplier par 12 le dernier résultat, & nous aurons $190080000 \times 12 = 2280960000$ points. Il faut encore observer que c'est une lame d'argent doré qu'on vient de diviser, & qu'une telle lame a nécessairement deux surfaces parfaitement distinguées l'une de l'autre. Il faut donc encore doubler ce dernier produit ; ce qui donnera $2280960000 \times 2 = 4561920000$ parties sensibles : calcul qu'on pourroit pousser plus loin, si on vouloit considérer la largeur de la lame dont il est ici question, & qui est elle même susceptible de division. On peut donc diviser une once d'or en 4561920000 parties. Or comme une once contient 576 grains ; en divisant ce dernier produit par 576, on verra qu'un grain d'or peut se diviser par cette opération, en 7920000 parties sensibles.

XXXI. Les ouvrages précieux qu'on conserve dans les cabinets des curieux, sont autant de preuves existantes, non-seulement de la dextérité de ceux qui les ont faits, mais encore de la facilité avec laquelle la matiere se prête à sa division.

Le Docteur *Power* dit avoir vû à Tredescant une chaîne d'or composée de 300 anneaux, qui n'avoit pas plus d'un pouce de longueur, & qu'une mouche pouvoit traîner aisément (*a*).

Le célebre *Henri Baker* si connu par un excellent Traité d'observations microscopiques, dont il a enrichi l'Histoire Naturelle, dit avoir vû auprès de Durhamgard, une chaise faite par le sieur *Boverik*, Horloger, qui avoit quatre roues avec toutes leurs appartenances, roulant aisément sur leurs essieux, & un homme assis dans la chaise; le tout étoit d'yvoire: elle étoit traînée par une mouche; & ayant pesé exactement la chaise, l'homme & la mouche, le

(*a*) Le microscope à la portée de tout le monde, pag. 327.

tout ne pésoit pas plus d'un grain (*a*).

Le même Auteur rapporte encore d'autres observations plus surprenantes, qu'on pourra lire dans l'Ouvrage que je viens de citer. Le Journal d'Allemagne nous apprend (*b*) qu'un ouvrier nommé *Oswald Nerlinger*, manioit toutes sortes de matieres avec tant de dextérité, qu'il parvint à renfermer dans une coupe faite avec un grain de poivre, 1200 petites coupes d'yvoire, tournées, montées chacune sur leur pied, dorées à leurs bords, & qu'elles y étoient contenues de façon qu'on auroit pû y en renfermer un tiers en sus.

Les arts nous fournissent donc quantité de preuves de la prodigieuse divisibilité de la matiere : mais la Nature est encore plus féconde en cela, ainsi que nous allons le démontrer par les observations suivantes.

XXXII. Ayant pesé avec attention 120 aunes de fil de vers à soye, on trouva que leur poids n'excédoit pas un grain (*c*)

(*a*) Le même Ouvrage, pag. 328.

(*b*) Tom. 1. *addend. ad Obser.* 13.

(*c*) Boyle *de mirâ subtil. effluvior.*

On remarque la même finesse dans celui que les araignées produisent pour former leur toile. M. *de Reaumur* compta six mammelons plus petits chacun que la tête d'une épingle, placés vers le derriere de cet animal. Cet habile Naturaliste prétend que chaque mammelon est une espéce de filiere, qui laisse sortir plus de mille fils. Cette observation fut faite sur de grosses araignées. Or chaque araignée étant constituée de la même maniere, au moins quant aux organes qui lui servent à filer sa toile; ces mammelons doivent être prodigieusement plus petits dans celles qui se dérobent souvent à notre vûe, & qu'on ne peut voir qu'à l'aide d'une forte loupe : telles sont celles qui ont la forme de petits points rouges. Quelle doit donc être la délicatesse du fil que ces dernieres produisent ? C'est ce qui surpasse la foible partie de l'esprit humain.

XXXVII. Ceux qui ont eu la curiosité d'ouvrir tous les jours des œufs, ont sans contredit remarqué la grande disproportion qui se trouve entre le poulet & ce point, que le célebre *Harvée* appelle *punctum saliens*. On remarque la même disproportion le septieme & le huitieme jour, entre le poulet & la matiere qui est dans l'œuf. Raisonnant donc par analogie, on sçait que les mites qu'on trouve dans le fromage, & qu'on ne peut voir souvent qu'à l'aide d'un microscope, tirent leur origine d'un œuf, & qu'il doit y avoir la même disproportion entre cet animal & l'œuf dans lequel il est renfermé, puisqu'une partie de la substance de cet œuf doit fournir pendant un certain tems à sa nourriture & à son accroissance (a). Mais si on veut pousser plus loin l'observation, on peut considérer que cet animal formé dans son œuf, & qui doit être d'une petitesse inconcevable, est un animal vivant, muni de tous les organes nécessaires à l'entretien de la vie animale; par conséquent qu'il est muni de vaisseaux, dans lesquels il se fait une circulation continuelle d'humeurs. Chaque molécule de ces humeurs, comparée avec le corps de cet animal, doit être dans le même rapport que celui qu'on observe entre chaque molécule de celles qui circulent dans les vaisseaux du corps humain,

(a) Boyle *de mirâ subtil. effluv.*

comparée au corps de l'homme. Quelle ſuite de chiffres ne faudroit il donc pas pour exprimer un tel rapport ? Quelle plus grande ſuite ne faudroit-il pas encore, ſi on fait la même proportion entre les molécules des fluides qui circulent dans les vaiſſeaux de ces petits inſectes dont parle M. *de Malezieu* (a), & qu'il eſtime vingt-ſept millions de fois plus petits qu'une mite ?

XXXIV. Les émanations des ſubſtances perſpirables ſont encore une preuve très-convainquante que la nature a des moyens beaucoup plus efficaces que ceux que l'induſtrie de l'homme nous fournit, pour diviſer la matiere.

Piſon nous apprend qu'un certain poiſſon bleſſe la main, ou le pied qui le touche, quoique revêtu d'un ſoulier très épais, & que le pied devient paralytique, par le ſeul effet des émanations qui s'échappent de ce poiſſon, & qui traverſent l'épaiſſeur du ſoulier (b); accident néanmoins qui ne ſubſiſte que pendant un certain temps.

Une preuve très ſenſible de la ſub-

(a) Hiſt. de l'Acad. des Sciences, an. 1718.
(b) Hiſt. du Breſil, L. 5. c. 14.

tilité des émanations, est sans contredit le peu de déchet qu'on trouve dans le poids des substances perspirables; quoiqu'elles aient fourni une quantité prodigieuse d'émanations.

Boyle (*a*) tint pendant 3 jours ½, dans le plateau d'une balance, qui trebuchoit à une très-petite partie d'un grain, un morceau d'ambre, qui pesoit plus de 100 grains, & il ne parut point avoir perdu de son poids.

Palmarius (*b*) nous apprend que des animaux qui avoient seulement touché à des végétaux, y avoient laissé des corpuscules si contagieux, qu'ils procurerent la même maladie à d'autres animaux qui mangerent de ces végétaux.

Sennert (*c*) rapporte qu'en 1542 la peste fit mourir plus de 6000 hommes à Breslaw, en six mois de temps, & qu'elle se conserva dans un linge ployé pendant quatorze ans, lequel ayant été transporté dans une autre Ville, y causa la peste, qui se répandit dans les campagnes voisines.

(*a*) *De mirâ subtil. effluv.*
(*b*) *De morbis contagiosis.*
(*c*) *De febribus*, L. 4. c. 3.

Trincavalla (*a*) fait mention d'une contagion plus subtile encore, qui détruisit 10000 hommes. Elle avoit été occasionnée par des cordages qui avoient servi à descendre des pestiférés dans des fosses.

On sera peu surpris de ces derniers effets, qui paroissent si surprenans au premier abord; si on fait attention que les corps dont nous venons de parler, n'avoient point été exposés à l'air libre; condition si nécessaire, & que les médecins recommandent spécialement, pour priver ces corps des parties vénéneuses qu'ils peuvent renfermer : mais il est bon d'observer ici, que quoique la plûpart des médecins n'exigent que vingt jours d'évaporation en plein air; ce temps ne suffit pas toujours, ainsi que *Diemmerbroek* (*b*) le remarque, & qu'il le prouve par une observation qu'il cite; ce qui démontre, d'une maniere convainquante, l'immense ténuité des parties qui s'évaporent; puisqu'elles suffisent pendant un temps aussi considérable à impregner une masse d'air qui se renouvelle continuellement.

(*a*) Lib. 3. consultat. 17.
(*b*) Cap. 4. *de peste*.

Les émanations qui s'échappent des corps emportent ſouvent avec elles la qualité des ſubſtances qui les produiſent. *Sennert* nous apprend que des éleves de chimie furent trouvés endormis dans un laboratoire, pour y avoir reſpiré les vapeurs qui s'élevoient d'une diſtillation de ſubſtances ſoporifiques (*a*).

Levinus Lomnius ayant mis dans ſon cabinet des pommes de mandragore, fut accablé d'un ſommeil qu'il ne put éviter, qu'en tranſportant ces pommes dans un autre endroit (*b*).

Le célébre *Boyle* propoſoit de mettre cette pratique en uſage, pour purger ceux qui ont de l'averſion à boire des médecines : on l'a pratiquée avec ſuccès dans pluſieurs endroits de l'Allemagne.

XXXV. Les parties odorantes qui s'échappent des fleurs dont nos jardins ſont embellis, ainſi que celles qui s'échappent de tous les corps odorans, ſont une nouvelle preuve de la vérité que nous avons miſe en avant. Il y a certaines fleurs dont l'odeur ſe fait ſentir à plus de dix pieds de diſtance,

(*a*) Lib. 6. part. 7. cap. 1.

(*b*) *In explicat. herbarum biblicar.* cap. 1.

c'est-à-dire, qui parfument une sphere d'air de plus de 20 pieds de diametre, & conséquemment une masse d'air de plus de 4000 pieds, qui se renouvelle sans cesse. Si on veut réduire à un calcul assez vraisemblable la prodigieuse délicatesse des parties évaporées; voici le procédé qu'il faut suivre.

Faites évaporer de l'essence de lavande dans une salle fermée exactement, jusqu'à ce que toute la masse d'air comprise dans cette salle, soit impregnée de l'odeur de la lavande; comparez ensuite, autant qu'il sera possible, la quantité de parties odorantes évaporées, avec la masse d'air qui en sera chargée, & vous jugerez par-là de la tenuité des parties odorantes.

Voila la méthode que j'ai suivie pour faire cette expérience. J'ai introduit dans une espece de cassolette environ un pouce cubique d'essence de lavande: j'ai exposé cette cassolette sur la flamme d'une lampe à esprit de vin, & j ai arrêté l'évaporation, lorsque je me suis apperçu que la salle étoit parfumee dans toute son étendue: j'ai mesuré ensuite ce qui restoit de liqueur dans la cassolette, & autant que j'en ai pu juger, l'évaporation n'avoit emporté tout au plus qu'une ligne cubique de liquide.

La salle dans laquelle j'ai fait cette expérience avoit 22 pieds de longueur, 18 de largeur, 10 de hauteur; réduisant en lignes cubiques la masse d'air comprise dans cette salle, j'ai trouvé 1182449664o lignes cubiques d'air; c'est donc une ligne cubique de liquide qui s'est divisée par cette opération en 1182449664o parties, en supposant que chaque ligne cubique d'air ne contînt qu'une seule partie odorante: mais il s'en faut de beaucoup que cette supposition soit vraie: car l'*Abbé Nollet* (*a*) réfléchissant sur la même expérience, pense que c'est le moins qu'on puisse supposer, que d'admettre quatre particules odorantes dans chaque ligne cubique d'air: ainsi la division du liquide dont il est ici question, est donc quadruple de celle que nous venons d'indiquer. Il faut donc multiplier par 4 le nombre 11824496640; ce qui donne 47297986560; mais il faut encore observer, comme le remarque très-bien l'*Abbé Nollet*, que l'évapora-

(*a*) Leçons de Phys. T. 1. pag. 28.

tion que j'ai calculée ſur le pied d'une ligne cubique, doit être réputée beaucoup moindre; puiſque les parties odorantes qui ſe ſont exhalées, ne ſont que la plus petite partie de la maſſe du liquide évaporé, qui leur ſervoit de véhicule; & quand je ſuppoſerois ici, que ces parties odorantes ne ſont que $\frac{1}{10}$ de la maſſe totale évaporée, cette ſuppoſition ſeroit très-recevable. On pourroit donc décupler le produit, pour déterminer d'une maniere plus préciſe la ténuité des parties odorantes qui s'exhalent pendant l'opération que je viens de décrire, & on trouveroit que chaque partie odorante n'égaleroit que $\frac{1}{4729\ 9865600}$ d'une ligne cubique.

Tout corps odorant nous offre de ſemblables phénomenes à examiner. M. *Boyle* dit qu'il avoit une paire de gants d'Eſpagne, qui avoient été parfumés avec un grain de muſc, & qu'ils répandoient encore une odeur très-ſuave 29 ans après (*a*).

Le muſc ſe forme dans une veſſie placée ſous le ventre d'une eſpéce de chevreuil ſauvage, qu'on trouve dans le Royaume de Boutan, d'où on le

(*a*) *De mir. ſubtil. effluv.*

porte à Patna, principale ville de Bengale (*a*). Si on s'en rapporte aux relations des curieux (*b*); ses émanations ont la propriété d'assoupir, d'endormir & de rendre immobiles des serpens énormes, à une très-grande distance.

Toutes les observations que nous venons de rapporter, prouvent, d'une maniere très-convainquante, que la nature nous offre un très-grand nombre d'exemples d'une prodigieuse divisibilité de la matiere, & on peut juger, d'après tout ce que nous avons dit jusqu'à présent, que si la matiere n'est pas divisible à l'infini; elle l'est néanmoins au-delà de ce que le vulgaire peut imaginer.

XXXV.* La divisibilité à laquelle tous les corps sont soumis, suppose que les parties des corps sont susceptibles d'être séparées les unes des autres, & qu'elles n'opposent point une résistance invincible à leur mutuelle séparation: mais des parties qu'on sépare les unes des autres, changent nécessairement de place, & passent d'un lieu dans un

(*a*) Tavernier, voyag. des Indes, T. 4 pag. 75.

(*b*) Lett. édifiantes, recueil 14.

autre, ce qu'on appelle *être en mouvement*. On peut donc appeller *mobilité* cette faculté qu'elles ont de pouvoir être separées, & de passer par leur séparation d'un lieu dans un autre. Ce que je dis ici des différentes parties des corps, peut s'appliquer à tout corps quelconque. Il n'y en a aucun qui occupe tellement un espace, qu'on ne puisse le déplacer & le faire passer dans un autre. Il n'y a donc aucun corps qui ne soit mobile, & conséquemment il faut encore regarder la mobilité, comme une des propriétés générales de la matiere.

XXXVI. Tout corps est mobile, mais tout corps ne l'est pas également, c'est-à-dire, qu'une même force appliquée à différens corps ne les fera pas tous mouvoir de la même maniere. D'où provient donc cette différence ? Le voici. C'est une vérité universellement reconnue, que tout corps quelconque ne se meut ni plus vîte, ni plus lentement que chacune de ses parties en particulier ; mais pour faire mouvoir chacune des parties d'un mobile, il faut de toute nécessité, lui imprimer une force qui se distribue uniformément à chacune des parties qui conſtituent ſa maſſe. L'intenſité de cette force conſidérée dans chaque partie, diminue donc, comme le nombre des parties du mobile augmente. L'activité de cette force conſidérée dans chaque partie eſt donc en raiſon réciproque de ce nombre de parties; & comme tout effet eſt proportionnel à ſa cauſe, la vîteſſe avec laquelle un mobile paſſe d'un lieu dans un autre, ſuit la même proportion. Cela poſé, ſi une même force eſt appliquée à deux mobiles, dont l'un ait une maſſe double de celle de l'autre; ce dernier, toutes choſes égales d'ailleurs, ſe tranſportera une fois plus vîte que l'autre; d'où il ſuit que la maſſe du mobile apporte un obſtacle à ſa mobilité.

2°. La figure du mobile mérite auſſi d'entrer ici en conſidération. Suppoſons, par exemple, deux corps égaux en tout, mais dont les figures ſoient différentes; que l'une repréſente une ſphére, & l'autre un polyédre quelconque : l'expérience démontre que la même force fera mouvoir avec plus de vîteſſe le premier de ces deux corps que le ſecond. En effet, dans l'hypothèſe préſente, chacune des parties de ces deux corps aura reçu à la vérité une même force pour se mouvoir; mais la sphere ne touchant que par un point le plan sur lequel elle est en mouvement, trouvera moins d'obstacle à se mouvoir que l'autre polyédre, qui touchera le même plan par un plus grand nombre de points, comme nous le démontrerons en traitant de la théorie des frottemens.

3°. Deux corps ayant la même figure & étant égaux en tout, si la surface de l'un est plus lice & plus polie que la surface de l'autre, le premier sera plus mobile; parce qu'il éprouvera aussi un moindre frottement.

4°. Le volume du mobile ne doit point être négligé en pareille circonstance; car plus un mobile aura de volume, toutes choses égales d'ailleurs, plus il éprouvera de résistance à se mouvoir, comme nous le démontrerons en traitant de la résistance des milieux.

Résumant donc toutes les observations que nous venons de faire, nous trouverons que la masse du mobile, sa figure, sa surface & son volume, sont autant de choses qui peuvent contribuer à varier la mobilité d'un même corps. Les effets néanmoins de la figure, de la surface & du volume du mobile se réduisent à zéro dans le vuide. Il n'y a plus alors que sa masse qui soit un obstacle à sa mobilité.

XXXVII. Plusieurs célébres physiciens ont donné le nom de *force d'inertie* à cette résistance, que la masse d'un mobile oppose à son mouvement. Ils regardent cette résistance comme une force réelle & inhérente à cette masse. Cette force, suivant eux, se décele dans un corps en repos, qu'on veut faire passer de cet état à celui du mouvement. Elle se décele encore dans un corps en mouvement, auquel on veut donner une plus grande vîtesse. On trouve dans les Leçons de Physique de l'*Abbé Nollet* (a) tout ce qu'on peut dire de plus solide en faveur de cette force. Il y a développé d'une maniere claire & précise l'expérience sur laquelle *Newton* appuye l'existence de cette force.

Je ne disconviens point à la vérité qu'il ne faille employer d'autant plus de force pour faire mouvoir également vîte un corps, que sa masse est plus grande. Je ne disconviens point non plus,

(a) Leçons de Phys. Tom. 1. pag. 180 & suiv.

que pour faire mouvoir plus vîte un corps qui est déja en mouvement, il ne faille employer une nouvelle force, & que dans l'un & l'autre cas, on n'éprouve une résistance de la part du mobile : mais je ne puis croire pour cela qu'il réside dans le corps en repos, ainsi que dans celui qui se meut moins vîte, une force réelle & intrinséque, en vertu de laquelle le premier résiste au mouvement, & l'autre à une plus grande vîtesse.

S'il en étoit ainsi, on ne pourroit pas dire qu'un corps est un être passif, également indifférent au repos & au mouvement; puisque cette inertie étant une force réelle & directement opposée au mouvement, ou à un plus grand mouvement, solliciteroit nécessairement ce corps à être en repos. L'état du repos étant directement opposé à celui du mouvement, tout ce qui est opposé à ce dernier état, doit favoriser celui qui lui est contraire.

Ajoutez à cela, qu'un mobile ne pourroit être mu, que sa force d'inertie, opposée au mouvement qu'on voudroit lui donner, ne fût détruite: mais la destruction d'une force réelle emporte nécessairement avec elle, celle de son antagoniste : la puissance qui voudroit animer un mobile & le mettre en mouvement, perdroit donc une partie de son intensité à vaincre l'inertie du mobile. Un corps mou, par exemple, qui viendroit heurter un autre corps mou en repos, & qui lui seroit égal en masse, consumant une partie de sa force pour vaincre l'inertie du corps choqué, ne se mouveroit point après le choc, ainsi que le corps choqué, avec une vîtesse soudouble de celle dont le corps choquant jouissoit avant le choc, & la somme des forces ne seroit plus la même après le choc; ce qui est contraire à l'expérience, comme nous le démontrerons dans la leçon suivante.

Si on est donc obligé d'employer une force proportionnée à la masse du mobile pour le mettre en mouvement; c'est qu'il ne peut y avoir dans la nature aucun effet sans cause, & que la vîtesse du mobile étant l'effet de la force qui le met en mouvement, cette force doit être d'autant plus grande, qu'elle a plus de parties à mouvoir; & s'il faut employer une nouvelle force pour faire mouvoir plus vîte un corps qui eſt déjà en mouvement, c'eſt qu'il faut augmenter l'intenſité de la cauſe, lorſqu'on veut augmenter ſon effet.

Réduiſant les choſes à leur juſte valeur, on peut ſe ſervir du terme d'*inertie*, pour déſigner l'exigence de la force qu'il faut employer, pour déterminer au mouvement un corps en repos, ou pour faire mouvoir plus vîte un corps qui ſeroit déjà en mouvement.

René pichot Champfleuri
Docteur Medecin a
untrain 20 Germinal
an 6 10 avril 98

LEÇON II.

DE LA DYNAMIQUE.

XXXVIII. APRÉS avoir parlé des propriétés générales de la matiere, de celles qui conviennent indistinctement, & en tout temps à toutes sortes de corps ; il est naturel de passer à la considération de celles qui ne conviennent qu'accidentellement à ces corps, & qu'on peut plutot regarder comme des modes, que comme des propriétés de la matière. Parmi ces différens modes, j'en remarque un principal ; sçavoir, le mouvement, dont la connoissance me paroît indispensablement nécessaire pour acquerir celle des différens phénomenes que la nature offre continuellement à nos recherches. Aussi le célébre *Aristote* (*a*) ne craint-il point d'assurer, que quiconque ne connoît point le mouvement, ne connoît point la nature.

La connoissance exacte du mouve-

(*a*) Phys. Lib. 1. c. 1.

ment emporte avec elle celle de sa nature & de ses différentes propriétés. Lorsque cette connoissance est fondée sur des principes mathématiques; on donne, à la science qui en résulte, le nom de *Méchanique*. Cette science se propose deux objets à considérer; sçavoir, l'estimation des forces actives, & celle des forces réactives. La science qui traite des forces actives s'appelle *Dynamique*. Celle qui s'applique à la considération des forces réactives est connue sous le nom de *Statique*.

XXXIX. La *Dynamique*, qui va faire l'objet de cette leçon, s'applique donc spécialement à la connoissance des forces actives; c'est-à-dire, du mouvement: mais qu'est-ce que le mouvement? Rien de si connu, & rien en même temps de si difficile à déterminer. Le célébre *Bernier*, après trente ans d'étude & de spéculations sur cet objet, fut obligé d'avouer que la nature du mouvement étoit un mystere qu'il n'avoit encore pu pénétrer. On s'en forme néanmoins une idée assez juste, en le considérant comme le transport d'un mobile, qui passe d'un lieu dans un autre.

Ce transport, ou pour mieux dire, le mouvement est de plusieurs espéces: il est uniforme, ou non uniforme, ou mixte.

Le mouvement uniforme est celui qui fait parcourir au mobile des espaces égaux, dans des temps égaux. Le mouvement non-uniforme est celui qui lui fait parcourir des espaces inégaux, dans des temps égaux. Celui-ci peut se diviser en deux espéces; sçavoir, en accéléré & en retardé. Le premier fait parcourir au mobile, en temps égaux, des espaces qui vont toujours en augmentant, & le second des espaces qui vont toujours en diminuant. Le mouvement mixte participe du mouvement uniforme & du mouvement non uniforme. Nous traiterons de ces trois espéces de mouvemens.

XL. Le mouvement uniforme peut être produit par une seule puissance, ou par l'action réunie de plusieurs puissances, qui tendent toutes à porter le mobile vers un même point, ou par l'action de deux puissances opposées, dont l'une seroit supérieure à l'autre. Ce même mouvement peut encore être produit par l'action simultanée de plusieurs puissances qui sollicitent le mobile à se mouvoir vers différens points, non cependant diamétralement opposés les uns aux autres. Dans le premier cas, on regarde le mouvement comme simple. Dans le second cas, on le regarde comme composé. Nous parlerons de l'un & de l'autre.

XLI. On considere trois choses dans le mouvement simple : la vîtesse du mobile ; la force avec laquelle il se meut, & les loix qu'il suit dans son mouvement.

La vîtesse se mesure par l'espace qu'il parcourt dans un temps donné. Elle est donc d'autant plus grande, qu'il parcourt plus d'espace dans un temps donné, ou qu'il emploie moins de temps à parcourir le même espace. Elle suit donc la raison directe de l'espace & l'inverse du temps.

XLII. On distingue deux espéces de vîtesse ; l'une qu'on nomme *absolue*, & l'autre qu'on appelle *relative*. La premiere est le rapport de l'espace au temps que le mobile met à le parcourir. Elle se connoît en divisant cet espace par le temps ; ce qui nous fournit cette expression générale, en désignant chacune de ces trois choses par leurs lettres initiales. $V = \frac{E}{T}$; cette expression donne naissance aux deux suivantes. $E = VT$ & $T = \frac{E}{V}$. D'où il suit que de ces trois choses, l'espace, le temps & la vîtesse, deux étant connues, la troisième l'est aussi.

XLIII. Ces expressions nous fournissent un moyen de déterminer d'une maniere aussi précise qu'exacte, les différens rapports qui se trouvent entre les vîtesses absolues de deux, ou de plusieurs mobiles, ainsi que des espaces qu'ils parcourent, & des temps qu'ils emploient à les parcourir.

1°. S'il s'agit des vîtesses, leur rapport sera en général comme leurs expressions; c'est-à-dire, que V, vîtesse de l'un, étant désignée par $\frac{E}{T}$, & v, vîtesse de l'autre, étant désignée par $\frac{e}{t}$; on aura la proportion suivante: $V : v :: \frac{E}{T} : \frac{e}{t}$. Donc $\frac{Vt}{t} = \frac{vE}{T}$. Faisant évanouir les fractions, pour la commodité des opérations suivantes; on aura cette expression générale $VeT = vEt$; d'où l'on déduira cette proportion $V : v :: Et : eT$. (41.)

En conservant toujours la précédente équation,

1°. Si $T = t$, on aura $Ve = vE$; ce qui donnera $V : v :: E : e$.

2°. Si $E = e$, on aura $VT = vt$; ce qui donnera $V : v :: t : T$.

3°. Si on avoit la proportion $E : e :: T : t$; on auroit $V = v$. Car par l'hypothèse $Et = eT$; donc en retranchant cette équation de la premiere, il restera $V = v$.

4°. Si on avoit au contraire $E : e :: t : T$; on auroit $V : v :: t^2 : T^2$, ou :: $E^2 : e^2$. Car par la supposition, on auroit $ET = et$. Donc en multipliant par ordre la premiere équation par cette derniere; on auroit $VeET^2 = vEet^2$; en simplifiant, il resteroit $VT^2 = vt^2$; d'où l'on tireroit la proportion suivante $V : v :: t^2 : T^2$.

Mais comme par l'hypothèse $ET = et$, on peut aussi multiplier le premier membre de la premiere équation par et, & le second par ET; ce qui donnera $Ve^2 Tt = vE^2 tT$ & en simplifiant, on aura $Ve^2 = vE^2$; d'où l'on déduira $V : v :: E^2 : e^2$.

2°. S'il s'agit des espaces, comme nous avons (42.) $E = VT$; nous aurons aussi $e = vt$, & conséquemment $E : e :: VT : vt$.

En supposant donc 1°. que $V = v$ il restera $E : e :: T : t$.

2°. En supposant que $T = t$; on aura $E : e :: V : v$.

3°. En supposant maintenant que $T : t :: V : v$; on aura $E : e :: T^2 : t^2$ ou $:: V^2 : v^2$. Puisque nous avons par la premiere expression $E : e :: VT : vt$, & que lorsqu'une raison composée résulte de deux raisons composantes égales; cette raison composante devient doublée de l'une ou de l'autre des raisons composantes.

4°. Si $T : t :: v : V$; on aura; $E = e$. Par la supposition $TV = tv$, donc $E = e$.

5°. S'il s'agit des temps, comme nous avons (42.) $T = \frac{E}{V}$; nous aurons aussi $t = \frac{e}{v}$, & conséquemment $T : t :: \frac{E}{V} : \frac{e}{v}$. En faisant le produit des extrêmes & celui des moyens, nous trouverons, en faisant évanouir les fractions, la même formule que nous avons déjà eue pour les vîtesses; sçavoir, $TeV = tEv$.

Si on ſuppoſe donc 1°. que $E = e$; on aura $TV = tv$; ce qui donnera $T : t :: v : V$.

2°. Si $V = v$; on aura $Te = tE$, & conſéquemment $T : t :: E : e$.

3°. Si on avoit $E : e :: V : v$; on auroit $Ev = eV$, & par conſéquent $T = t$.

4°. Mais ſi on avoit $E : e :: v : V$; on auroit $T : t :: v_2 : V_2$ ou $:: E^2 : e^2$. En effet, par la ſuppoſition $EV = ev$: multipliant donc par ordre la premiere équation, $TeV = tEv$; par cette derniere, nous aurons $TeEV^2 = tEev^2$. En ſimplifiant, il reſtera $TV^2 = tv^2$. Donc en ordonnant les termes de cette derniere équation; nous aurons $T : t :: v^2 : V^2$. Multipliant encore les termes de la premiere équation par ev & EV, l'équation ſubſiſtera, & nous aurons $Te_2Vv = tE^2vV$; en ſimplifiant, il reſtera $Te^2 = tE_2$; ce qui donnera $T : t :: E^2 : e^2$.

XLIV. La vîteſſe reſpective eſt celle par laquelle deux ou pluſieurs corps s'approchent, ou s'éloignent les uns des autres. En n'en conſidérant que deux, il peut ſe faire qu'ils ſoient tous les deux en repos, ou qu'un ſeul des deux ſe meuve. S'ils ſe meuvent tous les deux, ils peuvent ſe mouvoir dans le même ſens, ou en ſens contraire.

Dans ces trois hypothèſes, la vîteſſe reſpective eſt toujours meſurée par une perpendiculaire aux deux mobiles.

1°. Si deux corps parcourant la même ligne, viennent à la rencontre l'un de l'autre, ou s'éloignent; leur vîteſſe reſpective ſera égale à la ſomme de leurs vîteſſes abſolues; puiſque ces deux vîteſſes concourent enſemble à l'approximation, ou à l'éloignement des deux corps.

2°. Si deux corps parcourant une même ligne, dans le même ſens, ſe meuvent de façon que la vîteſſe de celui qui ſuit, ſoit plus grande que celle de celui qui précéde; leur vîteſſe reſpective ſera égale à la différence de leurs vîteſſes abſolues; car ils ne s'approchent l'un de l'autre que d'une quantité égale à cette différence.

3°. Lorſqu'un corps en mouvement ſe meut vers un autre qui eſt en repos; il peut ſe faire qu'il ſe meuve ſelon une perpendiculaire à ce corps, ou ſelon une ligne qui lui ſoit oblique. Dans le premier cas, la vîteſſe reſpective eſt égale à la vîteſſe abſolue du mobile : dans le ſecond cas, elle eſt égale à la perpendiculaire abaiſſée du centre de gravité du mobile, ſur le corps en repos. En effet, ſuppoſons que le mobile *A* (*fig.* 3.) vienne à la rencontre du plan *BC*, ſelon la direction oblique *AD* ; ce mobile décrit alors équivalemment les deux lignes *AE* & *AF* ; mais il ne s'approche aucunement de ce plan par la direction *AF*, qui lui eſt parallele ; il ne s'en approche donc que par ſon mouvement, ſelon la perpendiculaire *AE*. Sa vîteſſe reſpective ne doit donc s'exprimer que par cette perpendiculaire.

XLV. Quoiqu'on eſtime la vîteſſe d'un corps par l'eſpace qu'il parcourt dans un temps donné (41), & qu'on diſe aſſez communément qu'un corps a autant de mouvement qu'un autre, lorſqu'il parcourt le même eſpace, dans le même temps ; on conçoit aiſément que ces deux corps peuvent avoir des forces bien différentes.

Un corps en effet ne peut ſe mouvoir que chacune de ses parties ne parcourent en même temps le même espace : mais pour que chacune de ses parties parcourent le même espace, il faut qu'elles aient chacune la même vîtesse que le corps entier : or, comme la vîtesse n'est que l'effet d'une force imprimée au mobile, pour passer du repos au mouvement ; il faut donc imprimer à chacune de ses parties la même force qu'on imprimeroit à une seule, pour lui faire parcourir le même espace dans ce même temps.

D'où il suit que pour estimer la force qui réside dans un corps en mouvement, ce qu'on connoît en physique sous le nom de *quantité de mouvement* ; il faut avoir égard à la masse du mobile, & à la vîtesse avec laquelle il se meut.

Car plus un mobile aura de masse, toutes choses égales d'ailleurs, plus il aura de parties qui jouiront chacune de la même force : la somme des forces sera donc d'autant plus grande que la somme des parties, ou que la masse sera plus grande.

2°. La vîtesse du mobile est la même que celle de chacune de ses parties en particulier ; par conséquent plus le mobile aura de vîtesse, plus cette vîtesse sera grande pour chacune de ses parties ; mais plus la vîtesse de chaque partie sera grande, plus chaque partie aura de force pour se mouvoir ; la force du mobile augmentera donc comme sa vîtesse, toutes choses égales d'ailleurs.

XLVI. Quoiqu'il faille avoir égard à la masse du mobile pour évaluer sa quantité de mouvement, il ne s'ensuit pas pour cela, que la masse contribue à augmenter la force dont il jouit. Que cette masse augmente, ou qu'elle diminue, la puissance motrice restant la même, la force totale, ou la quantité de mouvement demeurera toujours la même. Il n'y aura de différence que dans la vîtesse, qui augmentera ou diminuera en raison réciproque de la masse ; puisque la force que le mobile reçoit, se distribuant uniformément à chacune de ses parties, devient d'autant plus foible dans chaque partie, & leur procure une vîtesse d'autant moindre, qu'elles sont en plus grand nombre (45.). La masse n'entre donc en considération dans l'estimation de la force d'un mobile, qu'autant que cette masse indique le nombre de parties de ce mobile, qui jouissent chacune d'une certaine quantité de force.

La quantité de mouvement d'un mobile doit donc être représentée par le produit de sa masse multipliée par sa vîtesse. En effet, supposons un corps *A*, dont la masse = 3 & la vîtesse = 2 : dans cette supposition, chacune des parties de ce corps aura 2 degrés de vîtesse, & conséquemment 2 degrés de force. La force totale du mobile sera donc égale à 2 degrés de force répétés 3 fois : ou ce qui revient au même, on aura la force totale, en multipliant la masse par la vîtesse.

XLVII. Il peut se faire qu'on considere la quantité de mouvement d'un seul corps en particulier; alors cette force est absolue : ou qu'on la compare avec celle d'un autre corps; dans ce cas, elle est relative.

La quantité de mouvement, ou la force absolue d'un corps étant exprimée par le produit de sa masse multipliée par sa vîtesse (46.), cette force peut être représentée par cette expression générale $F = MV$, d'où l'on déduit les deux expressions suivantes $V = \frac{F}{M}$ & $M = \frac{F}{V}$. Par conséquent de ces trois choses, la masse, la vîtesse & la force du mobile, deux étant connues, la troisième l'est aussi.

XLVIII. A l'aide de ces expressions, on peut déterminer aisément les forces de deux corps & les comparer ensemble; car l'expression de l'une étant $F = MV$, l'expression de l'autre sera $f = mv$, ce qui donne la proportion $F : f :: MV : mv$; d'où l'on tire les inductions suivantes.

1°. Si $M = m$, on aura $F : f :: V : v$.

2°. Si $V = v$, on aura $F : f :: M : m$.

3°. Si on avoit $M : m :: V : v$, on auroit $F : f :: M^2 : m^2$, ou $:: V^2 : v^2$; car par l'expression générale, on a $F : f :: MV : mv$; la raison de MV à mv seroit donc composée de raisons égales, & conséquemment elle seroit en raison doublée de l'une, ou de l'autre des raisons composantes, & on auroit $F : f :: M^2 : m^2$, ou $:: V^2 : v^2$.

4°. Mais si on avoit $M : m :: v : V$, on auroit alors $F = f$: car par la supposition on auroit, $MV = mv$: donc $F = f$.

XLIX. Il ne suffit pas de sçavoir estimer la vîtesse & la force d'un corps en mouvement, il faut encore déterminer les loix qu'il doit suivre dans son mouvement. Ces loix sont fondées sur un principe universellement reçu de tous les Physiciens ; sçavoir, que tout corps est un être passif indifférent à toutes sortes de modifications, & incapable de changer par lui-même celles qu'il reçoit. Ce principe donne naissance à la premiere loi du mouvement que voici :

Tout corps en mouvement tend constamment à se mouvoir en ligne droite.

Toute impression communiquée à un mobile, le dirige toujours en ligne droite ; puisqu'elle le détermine toujours à se porter d'un point à celui qui l'avoisine, & que d'un point donné à un autre, on ne peut tirer qu'une ligne droite ; par conséquent le mobile en vertu de son indifférence, doit toujours tendre à suivre la premiere direction qu'il a reçue ; & conséquemment doit

toujours

toujours tendre à ſe mouvoir en ligne droite.

L. La ſeconde loi du mouvement nous apprend, *qu'un corps en mouvement doit perſévérer dans cet état, ſuivant la même direction & avec la même vîteſſe, juſqu'à ce qu'une cauſe étrangere change ſa direction, ou altere la vîteſſe qu'il a reçue.*

Cette loi eſt encore fondée ſur le même principe (49); car tout mobile quelconque ne peut ſe mouvoir qu'en vertu d'une force qu'on lui imprime, & qui le détermine à paſſer de l'état du repos à celui du mouvement. Cette force non-ſeulement détermine le mobile à ſe mouvoir; mais elle le dirige encore vers un point quelconque : ainſi la même force qui fait mouvoir un mobile, lui imprime en même temps une direction particuliere; par conſéquent tant que cette force anime le mobile, elle doit produire le même effet. S'il ne ſe trouve donc aucun obſtacle étranger qui altere, ou qui change l'effet qu'elle produit dans le mobile, il continuera à ſe mouvoir avec la même vîteſſe, & ſelon la même direction; puiſqu'il ne peut par lui-même apporter aucun changement à la modification qu'il a reçue.

LI. Si un corps en mouvement ne rencontroit aucun obstacle, il est constant qu'il continueroit à se mouvoir pendant toute l'éternité avec la même vîtesse, & suivant la même direction qu'il auroit reçue dès l'instant qu'il a commencé à se mouvoir : mais il n'en arrive pas ainsi. Nous observons constamment qu'un corps en mouvement perd insensiblement de sa vîtesse, & qu'il parvient en peu de tems au repos d'où on l'a tiré. Nous observons pour l'ordinaire, qu'il change à chaque instant de direction. Quelles sont donc les causes qui nuisent ainsi à la vîtesse d'un corps en mouvement, & qui lui font changer de direction ?

LII. Dans l'état présent des choses, tout corps qui se meut, se meut dans un milieu qui lui résiste ; il ne peut donc continuer à se mouvoir qu'autant qu'il peut vaincre cette résistance : mais il ne peut la vaincre, qu'en divisant & en écartant les parties de ce milieu. Or il ne peut écarter ces parties, qu'en employant contre elles une portion de la force qu'il a reçue pour se mouvoir.

Cette force diminuant donc à chaque inſtant dans le mobile, ſa vîteſſe doit diminuer à proportion, & ſe réduire enfin à zéro.

Outre la réſiſtance qui vient de la part du milieu que le mobile eſt obligé de diviſer, il arrive quelquefois qu'il rencontre ſur ſon paſſage d'autres corps qui s'oppoſent à ſon mouvement : il ne peut donc continuer à ſe mouvoir qu'autant qu'il peut parvenir à les tranſporter avec lui : mais il ne peut les tranſporter qu'en leur communiquant une partie de la force qui l'anime ; ce qui diminue encore la vîteſſe avec laquelle il ſe meut.

Ajoutez à ces deux obſtacles le frottement qu'il éprouve lorſqu'il eſt obligé de ſe mouvoir ſur d'autres corps : obſtacle dont nous ne parlerons qu'en traitant de la Statique. Nous ne parlerons auſſi des cauſes qui changent la direction d'un mobile, qu'après avoir traité du mouvement compoſé.

LIII. La réſiſtance qu'un mobile éprouve de la part du milieu dans lequel il ſe meut, doit être conſidérée ſous quatre rapports différens, dont deux ſont relatifs au milieu, & les deux autres relatifs au mobile. Les deux premiers dépendent de la viscosité & de la densité du milieu : les deux autres dépendent de la surface du mobile, & de la vîtesse avec laquelle il se meut.

1°. Plus un milieu est visqueux, plus ses parties ont d'adhérence entre elles ; plus elles ont d'adhérence, plus il faut employer de force pour les écarter : elles font donc éprouver au mobile une plus grande résistance, & elles consomment une plus grande partie de sa force. Cette résistance qui vient de la viscosité du milieu, est constante & uniforme ; puisque toutes les parties d'un même milieu ayant la même adhérence les unes avec les autres, elles opposent chacune la même résistance au mobile, tant qu'il est plongé dans ce milieu, & que sa surface se trouve enveloppée de ces différentes parties. Cette résistance est donc proportionnelle au tems, pendant lequel le mobile se meut dans ce milieu.

2°. La densité du milieu apporte encore un grand obstacle au mouvement. *Newton* (*a*) a démontré que le

(*a*) Newton, princip.

mercure qui pese $13\frac{2}{3}$ de fois plus que l'eau, résiste précisément 13 fois $\frac{2}{3}$ plus qu'elle, à raison de sa densité seulement. Cette résistance suit donc la raison directe de la densité des milieux.

Pour déterminer d'une maniere générale que la résistance au mouvement vient en grande partie, de la densité du milieu, dans lequel un corps se meut; suspendez dans une caisse divisée en deux parties, par le moyen d'un diaphragme, & remplie d'eau d'un côté; suspendez-y deux pendules égaux en tout. Elevez l'un & l'autre par un arc de même nombre de degrés, & abandonnez-les à eux mêmes dans le même moment. Si l'un des deux se meut dans l'air & l'autre dans l'eau; ce dernier perdra son mouvement après avoir fait quelques vibrations; tandis que l'autre continuera à se mouvoir pendant un très-long-tems.

3°. Le volume du mobile doit encore entrer en considération, lorsqu'on veut déterminer la résistance des milieux; car plus un mobile a de surface, plus il rencontre de parties qui, toutes choses égales d'ailleurs, s'opposent également à son mouvement: or la résistance totale eſt égale à la ſomme des réſiſtances partielles : la premiere augmentera donc comme le nombre de ces dernieres.

On ſera convaincu de cette vérité, ſi on fait mouvoir avec la même force, dans un même milieu, deux eſpéces de petits moulinets égaux en maſſe & également ſuſpendus ſur leurs pivots ; de façon que l'un des deux préſente au milieu qu'il diviſe, toute l'étendue de la ſurface de ſes aîles ; tandis que l'autre ne préſente que le tranchant des ſiennes ; car ce dernier continuera encore à ſe mouvoir, tandis que le premier aura perdu tout ſon mouvement.

4°. La vîteſſe avec laquelle le mobile ſe meut, ne doit point être négligée en pareille circonſtance : car ſi un mobile qui préſente plus de ſurface, éprouve plus de réſiſtance ; parce qu'il tend à déplacer, dans le même tems, un plus grand nombre de parties ; un mobile qui ſe meut plus vîte, tend pareillement à en déplacer un plus grand nombre dans le même tems. La vîteſſe du mobile doit donc entrer en conſidération. Mais ſelon quel rapport augmente-t-elle cette réſiſtance ? *Deſaguil*-

liers (*a*) démontre d'une maniere très-convaincante, que cette résistance croît comme le quarré de la vîtesse. Voici l'idée de sa démonstration.

Supposons, dit-il, que le corps *A* (*fig.* 4) se meuve dans un milieu, à raison de deux pouces par seconde; sçavoir, de *A* en *B*, & que pendant ce tems, il écarte quatre particules de matiere, *H*, *E*, *F*, *G*; supposons que chacune de ces particules ait un pouce de diametre, & que chacune s'écarte d'un pouce par seconde, pour livrer passage au corps *A*: elles se porteront donc en *h*, *e*, *f*, *g*; or comme c'est la même chose de mouvoir toutes les particules de matiere, entassées les unes sur les autres, de *F* en *f*, ou de les mouvoir séparément & de les écarter d'un pouce en une seconde; il est constant que le pouce d'espace qu'elles parcourent en une seconde, doit être regardé comme leur vîtesse commune: par conséquent multipliant leur masse 4, par leur vîtesse commune 1; le produit 4 qui en résulte, nous indique la quantité de mouvement, ou l'effort que le mobile *A*, est obligé de faire, pour se transporter

(*a*) Cours de Physiq. expérim. Tom. 1.

de *A* en *B*, & conséquemment la force qu'il perd, pour déplacer les 4 particules de matiere qu'il rencontre, en parcourant 2 pouces par seconde.

Supposons maintenant que la vîtesse du corps *A* (*fig. 5.*) devienne double, & qu'il parcoure 4 pouces en une seconde : dans cette supposition, il aura 8 particules à déplacer, au lieu de 4; sçavoir, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*. Or comme il se meut deux fois plus vîte, il frappera chacune de ces particules avec une double force; par conséquent au lieu de leur faire parcourir à chacune un espace d'un pouce en une seconde, comme dans le premier cas, il leur en fera parcourir deux. Leur vîtesse commune sera donc = 2; laquelle étant multipliée par 8, somme des masses, donnera 16 pour produit: or cette force 16, qui indique celle que le mobile *A*, consomme pour vaincre la résistance du milieu, se trouve encore égale au quarré de sa vîtesse 4, comme dans le premier cas où sa vîtesse étant = 2, la force perdue étoit = 4. D'où l'on peut conclure, que la résistance qu'un milieu fait éprouver à un mobile, en vertu de la vîtesse selon laquelle ce dernier se meut, est comme le quarré de cette vîtesse.

LIII. Cette maniere d'estimer la résistance d'un milieu, ne peut être regardée comme exacte, que dans le cas, où le milieu est en repos; car s'il est en mouvement, cette évaluation deviendra bien différente. En effet, en supposant que le milieu soit en mouvement, il peut se faire qu'il se meuve selon la direction du mobile, ou selon une direction contraire à la sienne. Dans le premier cas, cette résistance devient beaucoup moindre, puisque le mouvement du milieu favorise celui du mobile: dans le second cas, la résistance du milieu est au-dessus de la proportion indiquée (52); puisque le mobile est obligé de vaincre la force avec laquelle ce milieu se meut; & qu'outre cela, il éprouve encore la même résistance qu'il éprouveroit, si le milieu étoit en repos. Il n'y a personne qui ne sache, par sa propre expérience, avec quelle facilité on marche, lorsqu'on suit la direction du vent, & combien il faut faire d'effort, lorsque le vent souffle selon une direction contraire à celle qu'on ſuit ; mais nous ne pouvons dans des leçons telles que les nôtres, entrer dans de ſi longs détails.

LIV. Outre l'obſtacle au mouvement qui vient de la part du milieu que le mobile eſt obligé de diviſer ; il peut ſe faire que ce mobile rencontre ſur ſon paſſage quelques corps qui lui apportent un nouvel obſtacle (51). Dans cette ſuppoſition, il peut encore ſe faire que le mobile puiſſe vaincre ce nouvel obſtacle, ou que cet obſtacle lui réſiſte invinciblement : dans l'un & dans l'autre cas, on obſerve différens phénomenes qui dépendent de certaines loix invariables dans la nature, dont la connoiſſance mérite toute l'attention du Phyſicien.

LV. Ces loix ſont connues en Phyſique ſous le nom des loix des colliſions : elles déterminent ce qui doit réſulter du choc des corps, & comment le mouvement ſe communique dans le choc.

On range ſous trois claſſes les corps dont on peut déterminer les loix du choc ; ſçavoir, les corps durs, les corps mous & les corps élaſtiques. Les premiers ſont ceux dont les parties ſont tellement unies entr'elles, qu'elles ne cédent point à l'effort qu'on peut faire pour les déplacer. Les corps moux sont ceux dont les parties cédent au moindre effort, se déplacent & ne reprennent point ensuite leur premiere situation. Les corps élastiques sont ceux dont les parties se prêtent à l'effort qu'elles éprouvent, se déplacent, mais reprennent ensuite leur premiere situation.

Il n'y a aucun corps dans la nature, qui soit parfaitement dur, mou ou élastique. Nous les considérerons néanmoins comme tels, & nous ferons abstraction de la résistance qu'ils auront à éprouver de la part du milieu qu'ils auront à traverser, & du frottement qu'ils auront à subir à leurs points de suspension; parce que nous ne nous proposons que d'établir les loix générales des collisions, & que ces loix ne peuvent être générales qu'autant que nous considérerons les choses dans leur plus éminent degré de perfection.

Les loix du choc sont les mêmes pour les corps durs & pour ceux qui sont moux: nous préférons ces derniers dans nos expériences, parce qu'ils approchent davantage du degré de perfection que nous supposons ; car s'ils ne sont point parfaitement mous, au moins ne sont-ils pas sensiblement élastiques, qualité qu'on ne trouve pas dans les corps durs ; ce qui occasionne de très-grandes différences dans les résultats.

LVI. Avant d'établir les loix des collisions, j'établis un principe général, nécessaire pour l'intelligence des résultats des expériences suivantes.

Tout corps élevé à une certaine hauteur au-dessus de la surface de la terre, & abandonné à lui même, retourne par la ligne la plus courte qu'il puisse décrire, accélere son mouvement en tombant, & acquiert par sa chûte, une quantité de mouvement suffisante pour remonter à la même hauteur, si rien ne s'oppose à cet effet.

Nous démontrerons la vérité de ce principe ; lorsque nous traiterons de la pesanteur : nous nous bornerons ici à en confirmer la derniere partie, qui est la seule dont la connoissance nous soit actuellement nécessaire.

Suspendez un corps pesant, une bille, par exemple, à un fil de soie;

tirez-la enſuite de ſon à plomb, en lui faiſant décrire un arc d'un certain nombre de degrés; cette bille ſera élevée de toute la hauteur de la fleche de cet arc : ſi vous l'abandonnez alors à elle même, vous obſerverez qu'elle décrira le même arc en deſcendant; & que parvenue au point le plus bas de ſa ſuſpenſion, elle remontera en ſens contraire, en décrivant un arc ſemblable au premier; elle s'élevera donc à la même hauteur, d'où elle ſera deſcendue : elle aura donc acquis en deſcendant une quantité de mouvement ſuffiſante pour remonter juſqu'à la même hauteur.

Si l'arc qu'elle décrit en remontant n'eſt pas rigoureuſement le même que celui qu'elle a décrit en deſcendant, la différence ne ſera pas fort ſenſible; & on devra l'attribuer à la réſiſtance qu'elle aura éprouvée, en traverſant le milieu dans lequel elle ſe ſera mue, & au frottement qu'elle aura eſſuyé à ſon point de ſuſpenſion : réſiſtances qu'on ne peut éviter, & dont nous ferons abſtraction dans les expériences ſuivantes, comme nous l'avons déja indiqué (55).

LVII. Le choc entre toute espéce de corps peut se faire entre des corps égaux ou inégaux en masse : dans l'un & dans l'autre cas, le corps choqué peut être en repos, ou en mouvement : dans cette derniere supposition, il peut se mouvoir selon la direction du corps choquant, ou selon une direction contraire à celle du corps choquant.

LVIII. En considérant le choc des corps mous sous tous ces différens rapports ; voici les loix générales qui déterminent ce qui doit arriver dans tous ces chocs.

1°. *La communication du mouvement oscasionnée par le choc entre des corps moux, ne se fait que successivement.*

Lorsqu'on considere ces sortes de corps après le choc, on remarque que leur figure est altérée : qu'il s'est fait un applatissement plus ou moins grand sur les parties de leurs surfaces qui ont été en contact, selon qu'ils se sont choqués plus ou moins rudement : or cet applatissement, cette altération de figure, est une preuve très-convaincante de la vérité de la règle que nous venons d'exposer.

Cet applatissement en effet indique que les parties antérieures de ces corps se sont portées vers leurs centres particuliers ; mais s'approcher d'un centre, c'est sans contredit parcourir un espace, & tout espace parcouru, exige nécessairement un tems fini & déterminé pour le parcourir : or quelque court qu'on suppose ce tems, il est nécessairement successif. L'altération de la figure des corps moux, se fait donc dans un tems successif, & comme cette altération de figure est l'effet immédiat de la communication du mouvement, qui doit nécessairement subsister, tant que cet effet a lieu ; on doit donc conclure que la communication du mouvement ne se fait que successivement dans le choc des corps moux.

Quoique les loix du choc soient les mêmes par rapport aux corps durs & aux corps moux ; la communication du mouvement est différente dans les uns & dans les autres. Elle ne se fait point successivement dans le choc des corps durs. Leurs parties en contact ne cédent point à l'impression du choc, elles ne se déplacent point, eu égard à l'extrême dureté de ces corps ; le corps choqué céde donc entierement à l'effort du corps choquant, & se déplace aussi tôt.

2°. *Lorsqu'un corps mou rencontre sur son passage un autre corps de même espéce, mais qui est en repos ; le corps choquant perd de sa vîtesse : il continue à en perdre tant qu'il se meut plus vîte que le corps choqué ; & après le choc, on les voit l'un & l'autre se mouvoir avec la même vîtesse.*

Lorsqu'un corps en mouvement en rencontre un autre qui lui fait obstacle; le premier ne peut continuer à se mouvoir, qu'il n'ait déplacé cet obstacle. Or il ne peut le déplacer qu'en lui communiquant un certain degré de force, pris aux dépens de celle qu'il a reçue : il doit donc perdre de sa force & conséquemment de sa vîtesse : & comme la communication du mouvement ne se fait que successivement entre les corps moux (N°. 10), il continue à lui communiquer de sa force & à perdre de sa vîtesse, jusqu'à ce qu'il l'ait déplacé ; mais dès que le corps choqué a acquis une vîtesse égale à celle du corps choquant, il cesse de lui faire obstacle : le choc cesse donc alors entre ces deux corps, & ils se meuvent, l'un avec la vîtesse acquise, & l'autre avec celle qu'il a conservée, & conséquemment avec la même vîtesse.

Il suit delà que la communication du mouvement doit se faire selon le rapport des masses, puisqu'il est constant que pour mouvoir également deux corps inégaux en masse, il faut employer une plus grande force pour mouvoir la plus grande masse, que pour mouvoir la plus petite, & que cet excès de force doit être proportionnel à l'excès de la plus grande masse sur la plus petite.

3°. *Si le corps choqué est en mouvement & qu'il se meuve selon la direction du corps choquant, la vîtesse du corps choqué augmentera par le choc : celle du corps choquant diminuera à proportion, & l'un & l'autre après le choc, se mouveront avec la même vîtesse.*

Ces deux corps se mouvant selon la même direction, ne peuvent se choquer qu'autant que la vîtesse de celui qui précéde, sera supposée moindre que celle du corps qui suit. Le corps choquant n'atteint donc & ne choque celui qu'il rencontre, que par son excès de vîtesse. On peut donc les considérer de la même maniere, quant au choc; que si le corps choqué étoit en repos, & que le corps choquant ne fut précisément muni que de son excès de vîtesse : ce qui retombe dans la loi précédente (N°. 2°.).

4°. *Si les deux corps qui se choquent, se meuvent en sens contraire ; ou leurs forces sont égales, ou elles sont inégales. Dans le premier cas, ils demeureront en repos. Dans le second cas, ils se mouveront l'un & l'autre selon la direction du plus fort, avec l'excès de force de ce dernier, distribuée selon le rapport des masses.*

Dans la premiere des deux suppositions que nous venons de faire, les forces sont égales & opposés : mais de telles forces se détruisent nécessairement; ils perdront donc l'un & l'autre la force qu'ils avoient pour se mouvoir, & conséquemment ils demeureront en repos.

Dans la seconde supposition, les forces égales se détruiront puisqu'elles sont opposées : l'un des deux sera donc réduit au repos, & l'autre agira contre lui par son excès de force ; ce qui retombe dans la premiere hypothèse (N°. 2°.).

5°. *Après le choc de deux corps, dont l'un eſt en repos, ou qui ſe meuvent tous les deux ſelon la même direction, on retrouve la même quantité de mouvement qu'ils avoient avant le choc : ou s'ils ſe mouvoient en ſens contraire, la quantité de mouvement après le choc, eſt égale à la différence des forces avant le choc.*

Dans le premier cas, la force que l'un des deux perd eſt acquiſe par l'autre (N° 2°.). Dans le ſecond cas, les forces égales ſe détruiſent de part & d'autre, & s'il en reſte dans l'un des deux, elle ſe diſtribue entr'eux, ſelon le rapport de leurs maſſes (N°. 4°).

LIX. Ces loix étant établies, on peut rendre raiſon de tous les phénomènes que le choc des corps moux nous offre à examiner.

Suppoſons 1°. que les maſſes ſoient égales, & que l'une des deux ſoit en repos.

Suſpendez à des fils très-déliés deux billes de terre glaiſe, de façon que leurs centres ſe trouvent dans la même ligne : élevez-en une par un arc de 6 degrés par exemple ; abandonnez-la enſuite à elle même ; elle deſcendra alors par le même arc qu'elle aura parcouru en montant ; elle rencontrera celle qui est en repos ; elle la choquera, & l'une & l'autre après le choc se mouveront dans la direction de la bille choquante, en mesurant un arc de 3 degrés.

Si la bille choquante n'eût point trouvé d'obstacle à son mouvement ; parvenue au point le plus bas de sa suspension, elle eût continué à se mouvoir, en parcourant en sens contraire un arc semblable à celui qu'on lui a fait décrire en montant (56) ; mais elle rencontre sur son chemin une masse égale à la sienne, qu'elle ne peut déplacer, pour continuer à se mouvoir, qu'en lui communiquant une vîtesse semblable à la sienne (58. N°. 2°.) ; il faut donc qu'elle lui communique la moitié de sa force : elles ne doivent donc plus parcourir après le choc qu'un arc soudouble de celui que la bille choquante eût parcouru, si cet obstacle eût été supprimé.

La quantité de mouvement est encore la même après le choc, qu'elle étoit avant le choc, puisque si la vîtesse devient soudouble, la masse devient double (46.).

Suppoſons 2°. que les maſſes demeurant égales, la bille choquante ſoit élevée par un arc de 6 degrés, & la bille choquée par un arc de 2 degrés. Ces deux billes étant ſuſpendues à des fils de même longueur, & étant égales en maſſe, repréſentent des pendules égaux en tout, dont les vibrations doivent être iſochrones, comme nous le démontrerons par la ſuite : elles ſe rencontreront donc dans le point le plus bas de leurs ſuſpenſions ; elles s'y choqueront, & elles parcourront après le choc un arc de 4 degrés, en ſuivant toujours la même direction.

Dans cette ſuppoſition, la bille choquante n'atteint celle qui la précéde & ne la choque que par ſon excès de vîteſſe = 4. Comme ces maſſes ſont égales, elle lui communique la moitié de la force avec laquelle elle la choque (N°. 10.); la bille choquée acquiert donc deux nouveaux degrés de vîteſſe, leſquels étant joints aux deux, dont elle jouiſſoit avant le choc, = 4 ; mais la bille choquante ne perdant par ce choc, que 2 degrés de force des 6 dont elle jouiſſoit, en conſerve encore 4 : elles ſe meuvent donc l'une & l'autre après le choc avec 4 degrés de vîteſſe.

La ſomme des forces avant le choc étoit $= 6 + 2 = 8$: elle ſe trouve après le choc $= 4 + 4 = 8$.

Suppoſons 3°. que ces deux billes ſe meuvent en ſens contraire, avec des vîteſſes égales, elles reſteront en repos après le choc; puiſque les vîteſſes & les maſſes étant égales, leurs forces ſeront égales de part & d'autre, & qu'elles ſe détruiront mutuellement.

Les forces étant égales avant le choc, leur différence étoit $= 0$. Les deux billes demeurent en repos après le choc; la ſomme des forces devient auſſi $= 0$.

Suppoſons 4°. que l'une des deux billes ſoit élevée par un arc de 6 degrés & l'autre en ſens contraire, par un arc de 2 degrés; elles meſureront l'une & l'autre après le choc, un arc de 2 degrés dans la direction de celle dont la vîteſſe étoit plus grande avant le choc.

Car par la premiere hypothèſe, les forces égales & oppoſées ſe détruiſent, la bille qui ne ſera animée que de 2 degrés de force, perdra toute ſa force dans le choc : celle qui jouit de 6 degrés, en perdra par conſéquent 2 ; elles ſe trouveront donc alors dans le même cas que ſi l'une des deux étoit en repos ; & que l'autre munie de 4 degres de force, vint choquer la bille en repos : comme les maſſes ſont égales, cette force = 4 ſe diviſera par la moitié (N° 10.) : elles parcourront donc l'une & l'autre un arc de 2 degrés, dans la direction de la plus forte.

Dans cette ſuppoſition, la différence des forces avant le choc, étoit = 4 ; la ſomme des forces après le choc = 2 + 2 = 4.

LX. Suppoſons maintenant que les maſſes ſoient inégales, que l'une par exemple ſoit ſoudouble de l'autre : pour la commodité de l'évaluation des forces, nous en conſidérerons une, comme le tiers d'un tout, dont l'autre fait les deux tiers.

Dans cette hypothèſe, il peut ſe faire que ce ſoit la plus groſſe ou la plus petite maſſe qui ſoit le corps choquant ; ce qui nous préſente pluſieurs cas à examiner.

Suppoſons donc 1°. que la maſſe double élevée par un arc de 6 degrés, vienne heurter la maſſe ſoudouble en repos. Les deux billes après le choc, meſureront un arc de 4 degrés, dans la direction du corps choquant.

Une maſſe = 2 animée de 6 degrés de vîteſſe, jouit de 12 degrés de force (46.). Or dans le choc des corps mous, le mouvement ſe communique ſelon le rapport des maſſes (58. N°. 2°.), la bille choquante doit donc communiquer 4 degrés de ſa force, & conſéquemment 4 degrés de vîteſſe à celle qu'elle choque, & en conſerver 8 des 12 dont elle jouiſſoit; mais 8 degrés de force appliqués à une maſſe = 2, ne produiſent que 4 degrés de vîteſſe, elles doivent donc ſe mouvoir après le choc, avec une vîteſſe commune = 4.

Suppoſons 2°. que ces deux billes ſoient en mouvement; que la petite qui précède, ait 3 degrés de vîteſſe, & que la groſſe la ſuive avec 6 degrés de vîteſſe; cette derniere, n'atteignant la petite que par ſon excès de vîteſſe, doit être conſidérée de même que ſi elle n'avoit que 3 degrés de vîteſſe, & conſéquemment 6 degrés de force, & que la petite fût en repos; ce qui retombe dans le cas précédent: le corps choqué acquerra donc 2 nouveaux degrés de force qui augmenteront ſa vîteſſe de 2 degrés: il meſurera donc, ſelon la même direction, un arc de 5 graduations

tions le corps choquant qui le suit, dont la masse = 2 parcourra aussi un arc de 5 degrés; puisque n'ayant perdu que 2 degrés de force, sa vîtesse ne sera ralentie que d'un seul degré.

Supposons 3°. que la bille dont la masse = 1, douée de 6 degrés de vîtesse, vienne heurter la bille dont la masse = 2, & qui soit en repos: l'une & l'autre après le choc parcourront un arc de 2 degrés.

En effet une masse = 1 animée de 6 degrés de vîtesse, ne jouit que de 6 degrés de force: or comme ces deux billes après le choc, doivent se mouvoir avec une vîtesse commune (58. N°. 2.); la bille choquante communiquera dans ce choc les $\frac{2}{3}$ de sa force; sçavoir, 4 degrés: or ces 4 degrés de force ayant à mouvoir une masse = 2, ne lui imprimeront que 2 degrés de vîtesse; la bille choquante n'en conservant aussi que 2, des 6 qu'elle a reçus; ces deux billes après le choc, ne mesureront qu'un arc de 2 degrés.

Supposons 4°. que la grosse soit élevée par un arc de 3 degrés, & la petite par un arc de 6; cette derniere n'atteignant celle qui précéde, que par son excès de vîteſſe=3, lui communiquera les $\frac{2}{3}$ de ſa force avec laquelle elle la choquera; ſçavoir, 2 degrés qui n'ajouteront à la bille choquée qu'un ſeul degré de vîteſſe. La bille choquée aura donc après le choc, 4 degrés de vîteſſe. La bille choquante ayant perdu dans le choc 2 degrés de force, & conſéquemment 2 degrés de vîteſſe, n'en conſervera plus que 4, & l'une & l'autre meſureront après le choc, un arc de 4 degrés.

Suppoſons 5°. que ces deux billes ſe meuvent en ſens contraire : dans cette ſuppoſition, elles peuvent ſe mouvoir avec des vîteſſes égales, ou avec des vîteſſes inégales.

Si les vîteſſes ſont égales, les forces ſeront entre elles comme les maſſes (48.), & conſéquemment l'une ſera double de l'autre : l'une des deux billes perdra donc toute ſa force (59. N°. 3.); tandis que l'autre conſervera la moitie de la ſienne : elles ſe mouveront donc l'une & l'autre après le choc, dans la direction de la plus forte, en vertu de la force que cette derniere conſervera, diſtribuée ſelon le rapport des maſſes.

Si on éleve donc ces deux billes en ſens contraire, par un arc de 6 degrés; la force de la petite bille sera = 6, & celle de la grosse = 12. Le choc fera perdre 6 degrés de force à ces billes. La petite sera donc réduite au repos, & la grosse conservera encore 6 degrés de sa force: elle en communiquera 2 à la petite, qui la feront mouvoir en sens contraire avec 2 degrés de vîtesse, & la grosse, ne conservant alors que 4 degrés de force, ne continuera à se mouvoir qu'avec 2 degrés de vîtesse.

Si ces deux billes se mouvoient avec des vîtesses inégales; en supposant que ces vîtesses fussent en raison réciproque des masses; elles resteroient en repos après le choc; puisque leurs forces seroient égales & opposées (48.).

LXI. On peut représenter tous les phénomènes que nous venons de développer, par 3 formules générales, dont l'application est fort aisée, & dans le détail desquelles nous ne pouvons point entrer, eu égard aux bornes que nous sommes obligés de nous prescrire.

1°. En supposant le corps choqué en repos, soit que le corps choquant lui soit égal, ou inégal en masse; on aura la vîtesse commune après le choc, en divisant la force du corps choquant par la ſomme des maſſes. Ainſi appellant X la vîteſſe commune qu'on cherche; M. & m. les maſſes, & V. & v. les vîteſſes, on aura $X = \frac{MV.}{M + m.}$

2°. Si les corps qui ſe choquent ſe meuvent dans le même ſens; on aura la vîteſſe commune après le choc, en diviſant la ſomme des forces par celle des maſſes; ce qui donne $X = \frac{MV + mv.}{M + m.}$

3°. Si les corps ſe meuvent en ſens contraire; on aura la vîteſſe commune, en diviſant la différence des forces par la ſomme des maſſes, ce qui donne $X = \frac{MV - mv.}{M + m.}$

LXII. Il nous reſte encore à traiter du choc des corps élaſtiques. On entend par élaſticité, cette propriété qui fait qu'un corps comprimé ou diſtendu ſe rétablit dans ſon premier état, ſitôt que la force compreſſive ou diſtenſive ceſſe d'agir contre lui. Nous ne conſidérerons ici que les effets de l'élaſticité excités par la force compreſſive. Nous traiterons de ceux qui ſont occaſionnés par la force diſtenſive, lorſque nous parlerons du ſon.

LXIII. Les corps élaſtiques, dont l'élaſticité eſt miſe en jeu par une force compreſſive, participent donc à la nature des corps mous, puiſque leurs parties cédent au choc qu'elles éprouvent, ſe déplacent & ſe rapprochent vers le centre; mais ils différent entr'eux, en ce que les parties des corps mous reſtent dans la ſituation que le choc leur a fait prendre, & que la figure de ces corps demeure altérée (58. N°. 10); ce qu'on n'obſerve point par rapport aux corps élaſtiques, dont les parties reprennent, après le choc, leur premiere ſituation, & rendent au corps choqué, la figure qu'il avoit avant le choc.

Quoiqu'on ne s'apperçoive point ordinairement de l'altération qu'éprouve dans le choc la figure d'un corps élaſtique, puiſqu'elle ſe rétablit auſſi-tôt; on peut néanmoins épier la nature, la ſaiſir ſur le fait, & démontrer, par expérience, que la figure de ce corps s'eſt altérée, quoiqu'elle paroiſſe encore la même qu'elle étoit avant le choc. Pour faire cette expérience, & l'expliquer d'une maniere moins compliquée, nous ferons abſtraction de l'élaſticité de l'obſtacle, contre lequel vient heurter un corps élastique. Nous supposerons donc un plan dur & poli, sur lequel repose une sphère que nous supposerons aussi parfaitement élastique & arrondie. Eu égard à la figure de ces deux surfaces, ces deux corps ne peuvent se toucher que par un seul point, comme on le démontre en Géométrie; mais si cette sphère vient à heurter contre ce plan, & que la figure de la sphère soit altérée par ce choc, ses parties antérieures se rapprocheront du centre, & formeront par leur déplacement un segment, dont la surface sera proportionnée au nombre des parties déplacées. Le contact entre la sphère & ce plan ne se fera donc plus par un point, mais par une surface d'une certaine étendue : or on connoîtra toute l'étendue de cette surface, & conséquemment tout ce que la surface sphérique aura souffert d'altération, si on ternit la surface du plan, en l'enduisant d'une matiere grasse; puisque les parties de la sphère, qui toucheront cette surface, enlevant les parties grasses qui leur répondront, découvriront la surface polie du plan : on verra donc sur ce plan un petit cercle poli, plus ou moins grand, ſuivant que la ſurface de la ſphère ſe ſera plus ou moins applatie par le choc.

Je prends ordinairement, pour répéter cette expérience, un marbre noir, plan & poli, que je ternis en pouſſant mon haleine contre ſa ſurface. Je laiſſe tomber deſſus une bille d'ivoire, & j'obſerve que le cercle poli qui naît dans le choc, eſt d'autant plus grand, que je laiſſe tomber la bille d'une plus grande hauteur ſur ce plan. La figure des corps élaſtiques ſouffre donc quelque changement, lorſqu'ils heurtent contre des corps durs qui leur réſiſtent; ce qui vient de la compreſſion qu'ils éprouvent alors : cette compreſſion étant l'effet de la réſiſtance que le corps choqué leur oppoſe, tout corps qui leur oppoſera de la réſiſtance, les comprimera & altérera leur figure : or, comme un corps élaſtique eſt lui-même réſiſtant, deux corps de cette eſpéce, qui ſe choqueront, s'oppoſeront une mutuelle réſiſtance, ſe comprimeront & changeront l'un & l'autre de figure.

LXIV. Nous avons obſervé (63) que la figure d'un corps élaſtique ne demeuroit point altérée après le choc;

parce que ses parties reprenoient leur premiere situation. *Un corps élastique doit donc se réfléchir, lorsque la force compressive cesse d'agir contre lui.*

Pendant la compression, son centre s'approche de l'obstacle ; pendant sa restitution, ce même centre s'éloigne du même obstacle : *il doit donc se réfléchir en sens contraire.* Par conséquent, si deux corps élastiques se choquent, leurs centres s'approcheront mutuellement, & ils s'éloigneront en sens contraire, pendant leur restitution.

LXV. Puisque les parties des corps élastiques qui se choquent, se compriment & se rapprochent mutuellement de leur centre, ainsi que celle des corps mous ; *la compression se fait successivement & de la même maniere dans ces deux especes de corps. La communication du mouvement qui est l'effet de la compression, doit donc se faire aussi de la même maniere ; & sans la vertu élastique qui les distingue, les effets du choc seroient parfaitement les mêmes.*

Par conséquent, pour saisir comme il faut les différens phénomènes que le choc des corps élastiques nous présente à examiner ; il faut distinguer deux tems dans le choc des corps à ressort; sçavoir, le tems de la compression & celui de la restitution. En considérant avec attention ce qui se passe dans ces deux tems, nous observons, 1°. que *pendant la compression, le corps choquant perd de sa force, & que le corps choqué en acquiert à proportion.* 2°. *Que le corps choquant perd encore de sa force par sa restitution; tandis que le corps choqué en reçoit de la sienne.*

En effet, la compression s'exécutant de la même maniere entre les corps à ressort, qu'entre les corps mous (63), elle doit produire le même effet sur les uns que sur les autres: or nous avons démontré (58. N°. 20.), que pendant la compression des corps mous, le corps choquant perdoit de sa force, & en communiquoit en même proportion au corps choqué; nous devons donc attribuer le même effet aux corps à ressort. Reste à démontrer maintenant que la restitution est encore contraire au mouvement du corps choquant, & qu'elle favorise celui du corps choqué.

La restitution de ces corps fait que leurs parties comprimées & poussées vers leurs centres particuliers, reprennent leur premiere situation. Ce mouvement fait que ces deux corps s'éloignent mutuellement (64). Or ils ne peuvent s'éloigner que le corps choquant ne soit porté selon une direction contraire à celle qu'il conservoit pour se mouvoir, indépendamment de la compression qu'il a subie dans le choc, & de la force qu'il a perdue, & que le corps choqué ne soit porté selon la même direction que celle qu'il a reçue par l'impulsion du corps choquant. La restitution de leur ressort favorise donc le mouvement du corps choqué, & s'oppose à celui du corps choquant.

LXVI. Comme on suppose ces corps parfaitement élastiques, *la restitution leur donne une force égale à celle que la compression communique dans le choc*; par conséquent le corps choquant perd par son ressort, une force égale à celle qu'il communique, & le corps choque en reçoit par sa restitution une qui est égale à celle qu'il reçoit par le choc.

LXVII. Ces principes établis, il est aisé de déterminer les différens phénomènes qui doivent résulter du choc de deux, ou de plusieurs corps à ressort, que nous allons considérer sous les différens rapports que nous avons exposés (57) par rapport aux corps mous.

1°. Il ne s'agit pour cela que de considérer la communication du mouvement dans le choc, de la même maniere que nous l'avons considérée par rapport aux corps mous (58).

2°. Comme on suppose ces corps parfaitement élastiques, & que la restitution favorise le mouvement du corps choqué (65), il ne s'agira que de doubler l'effet de la communication du mouvement par rapport à ce corps.

3°. Comme la restitution du corps choquant se fait au détriment de son mouvement (65), il n'y aura qu'à retrancher de la force qu'il conserve, indépendamment de la communication, une force égale à celle qu'il aura communiquée dans le choc.

LXVIII. Supposons donc, 1°. deux corps élastiques, égaux en masse, dont l'un étant élevé par un arc de six degrés, vienne heurter contre l'autre en repos. Dans cette hypothèse, le corps choqué, muni après le choc d'une force égale à celle du corps choquant, se mouvra dans la direction de ce dernier, en mesurant un arc de six degrés;

tandis que le corps choquant demeurera en repos après le choc.

Comme ces corps ſont égaux en maſſe, & que l'un des deux eſt en repos; le corps choquant communique à ce dernier la moitié de ſa force, & s'ils étoient dépourvus de reſſort, ils meſureroient l'un & l'autre, dans la même direction, un arc de trois degrés (59. N° 1.). Mais la reſtitution leur donne encore une force égale à celle qui ſe communique dans le choc (66). Le corps choqué reçoit donc, par ſon reſſort, trois nouveaux degrés de force qui le font avancer dans la direction du corps choquant, avec trois degrés de vîteſſe, ce qui fait en tout ſix degrés de vîteſſe; tandis que cette même reſtitution repouſſant le corps choquant, lui fait perdre les trois degrés de force qu'il avoit conſervés, pour continuer à ſe mouvoir ſelon la même direction, & le réduit au repos.

Suppoſons, 2°. qu'on diſpoſe, dans la même ligne, une file de billes qui ſoient toutes contiguës les unes aux autres & de même maſſe, par exemple, ſept: A, B, C, D, E, F, G; ſi on éléve la bille A, par un arc d'un certain nombre de degrés, & qu'on l'abandonne ensuite à elle-même; elle viendra choquer la bille B, & toutes ces billes demeureront en repos, à l'exception de la bille G, qui se détachera de la file, & parcourra un arc d'un même nombre de degrés que celui que la bille A aura parcouru.

La raison de ce phénomène suit nécessairement de celle que nous venons d'exposer pour le cas précédent: car la bille A choquant la bille B, qui lui est égale en masse, doit lui communiquer la moitié de la force qui l'animoit avant le choc: la restitution de son ressort, la reportant en sens contraire avec une force égale à celle qu'elle a communiquée à la bille B, la réduit nécessairement au repos; mais la bille B ayant reçu, dans le choc, la moitié de la force de la bille A, & une semblable quantité, par la restitution de son ressort, cette bille doit faire effort pour se mouvoir avec une force égale à celle qui animoit la bille A avant le choc; mais elle rencontre, sur son passage, la bille C, qui lui est égale en masse: il doit donc arriver, entre ces deux billes, la même chose que nous venons d'obſerver entre la bille A & la bille B. Par la même raiſon, la bille C & la bille D ſe comportent de la même maniere l'une par rapport à l'autre, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que la bille G, munie d'une force égale à celle qui maîtriſe la bille F, ne rencontrant aucun obſtacle, ſe détache des autres, & ſe meuve avec une force égale à celle de la bille A, avant le choc.

Suppoſons, 3°. qu'on éléve en même tems deux billes A & B, par un arc de même nombre de degrés, & qu'on les abandonne enſuite à elles-mêmes : dans cette ſuppoſition, on obſervera, après le choc, que les deux dernieres F & G, ſe détacheront des autres, & parcourront un arc ſemblable à celui que les deux premieres A & B auront parcouru.

Cet effet eſt préciſément le même que celui que nous venons d'expliquer : car il faut obſerver que quoique la bille F, & la bille G, paroiſſent ſe ſéparer en même tems de la ſérie qu'elles concourent à former, elles ne s'en détachent néanmoins que l'une après l'autre ; mais, comme cet effet s'exécute dans un tems extrêmement prompt, l'œil ne peut point le saisir tel qu'il est réellement. Voici donc ce qui arrive dans l'hypothèse présente.

La bille A & la bille B, munies d'une même vîtesse, ne se font aucun obstacle, lorsqu'elles parcourent, en descendant, l'arc par lequel on les a élevées; mais, dès que la bille B, qui précéde, a atteint & choqué la bille C, la premiere demeure en repos; tandis que la bille C tend à se mouvoir avec la force qu'elle vient de recevoir (68, N°. 1.). Or la bille B n'est pas plutôt en repos, qu'elle devient un obstacle pour la bille A, qui la suit. Cette derniere choque donc la bille B; tandis que la bille C choque la bille D. A & C demeurent en repos après ce choc; tandis que la bille B, ranimée par le mouvement qu'elle vient de recevoir en partie de la bille A, & en partie de son ressort, agit de nouveau contre la bille C, & que la bille D agit contre la bille E. B & D demeurent en repos; mais alors la bille C & la bille E, faisant effort pour se mouvoir, choquent en même tems, l'une la bille D, & l'autre la bille F, & demeurent en repos après ce choc. Les billes D & F, jouiſſant d'une force égale à celle des billes qui viennent de les choquer, agiſſent en même tems contre celles qui les ſuivent : la bille D choque la bille E, & reſte en repos ; la bille F choque auſſi la bille G, & demeure pareillement en repos ; mais la bille G ne rencontrant point d'obſtacle, ſe détache de la file ; tandis que la bille E choque la bille F, & reſte en repos : cette bille F ne rencontrant plus d'obſtacle, puiſque la bille G vient de ſe détacher, ſe ſépare de la file, & ſuit, avec la même vîteſſe, la bille qui la précéde.

On conçoit aiſément, par cette explication, que, ſi on élevoit les trois premieres billes *A*, *B*, *C*, les trois dernieres *E*, *F*, *G* ſe détacheroient & ſe mouveroient avec la même vîteſſe que les trois premieres.

Suppoſons 4°. que les maſſes demeurant égales, les deux premieres billes dont nous nous ſommes ſervis pour la premiere expérience (N°. 1.) ſoient en mouvement. Dans cette ſuppoſition, il peut ſe faire qu'elles ſe meuvent dans le même ſens, ou en ſens contraire. En les faiſant mouvoir dans le même ſens, élevons l'une des deux par un arc de 6 degrés, & l'autre par un arc de 2 degrés: on obſervera après le choc qu'elles feront échange de leurs vîteſſes: ainſi la bille choquée continuera à ſe mouvoir en meſurant un arc de 6 degrés, & la bille choquante ne meſurera qu'un arc de 2 degrés.

En effet, la bille choquante n'atteint celle qu'elle choque que par ſon excès de vîteſſe = 4 : comme elles ſont toutes deux égales en maſſe, la force avec laquelle elle la choque, ſe diſtribue par la moitié. Elle lui communique donc 2 degrés de force, & conſéquemment 2 degrés de vîteſſe : mais la reſtitution du reſſort ajoute à la bille choquée deux nouveaux degrés de vîteſſe : cette bille ſe meut donc après le choc, & avec les deux degrés de vîteſſe dont elle jouiſſoit avant le choc, & avec les 4 qu'elle acquiert par le choc & par ſon reſſort; ce qui fait qu'elle ſe meut avec une vîteſſe ſemblable à celle de la bille choquante avant le choc : cette derniere qui n'a communiqué dans ce choc, que 2 degrés des 6 dont elle jouiſſoit, en conſerve encore 4 après le choc; mais la reſtitution de ſon reſfort lui en imprimant 2, pour retourner en arriere, ces 2 degrés lui en font perdre 2 des 4 qu'elle avoit conservés ; elle ne continue donc à se mouvoir qu'avec 2 degrés de vîtesse.

Supposons 5°. que ces deux billes se meuvent en sens contraire : dans cette nouvelle hypothèse, il peut se faire qu'elles se meuvent avec des vîtesses égales, ou avec des vîtesses inégales.

Dans la premiere supposition, elles retourneront l'une & l'autre en arriere, en mesurant les mêmes arcs qu'elles auront parcourus pour se choquer.

Les masses & les vîtesses étant égales de part & d'autre, la force avec laquelle ces deux billes se choquent est égale (48.) & conséquemment se détruit : elles doivent donc perdre dans le choc leur mouvement direct ; mais comme on les suppose parfaitement élastiques, la compression qu'elles éprouvent dans le choc, bande leur ressort, avec une force égale à celle qui les animoit avant le choc, & la restitution les reporte en arriere avec la même force.

Supposons 6°. que leur vîtesse soit inégale ; élevons l'une par un arc de 4 degrés par exemple, & l'autre par un arc de 2 degrés. Après le choc, elles retourneront en arriere, ayant fait échange de leur vîtesse.

Les forces égales & opposées se détruisent. Delà, celle de ces deux billes qui est munie de deux degrés de force, les perd dans le choc, & en fait perdre 2 à celle qu'elle rencontre, & qui la choque avec 4 degrés de force. Cette derniere doit donc être considérée comme si elle n'avoit que 2 degrés de force, & qu'elle heurtât l'autre en repos. Dans cette supposition, eu égard à l'égalité des masses, la force de cette bille se distribue par la moitié; ainsi ces deux billes, en vertu du choc, ont chacune un degré de force & un degré de vîtesse: mais dans ce choc, le ressort de ces 2 billes est tendu avec une force comme 3; sçavoir, comme 2, par rapport aux degrés de forte qui se perdent de part & d'autre par l'opposition des forces, & comme 1, par rapport au degré de force que l'une communique à l'autre. La restitution du ressort reporte donc ces deux billes en sens contraire, avec une force = 3, & conséquemment avec 3 degrés de vîtesse. Delà, celle qui a perdu tout ſon mouvement dans le choc, doit s'en retourner avec une vîteſſe = 4; ſçavoir, avec un degré qu'elle reçoit de l'autre bille, & avec 3 que ſon reſſort lui communique; tandis que l'autre ne doit meſurer, en retournant ſur ſes pas, qu'un arc de 2 degrés; puiſque des 3 degrés de force que ſon reſſort lui communique, pour rétrogader; il y en a un qui ſe conſomme pour détruire le degré de force qu'elle avoit conſervé pour continuer à ſe mouvoir ſelon la même direction.

Le choc entre des corps élaſtiques inégaux en maſſe, nous offre pareillement des phénomènes qui participent, & de ce que nous avons déja expoſé, par rapport aux corps mous, & des principes que nous venons de développer ſur le reſſort. Ces phénomènes ne ſont, à proprement parler, que des corollaires de la théorie que nous venons d'établir. M. *Carré* (*a*) fut le premier qui expoſa cette théorie & qui la mit dans tout ſon jour: il imagina des formules générales, d'où on peut déduire non-ſeulement tous les phénomènes qui n'avoient point échappé à la pénétra-

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences 1706.

tion & aux recherches de M. *Hughens* ; mais encore tous les autres phénomènes possibles, qui peuvent dépendre d'un nombre infini de combinaisons différentes. Ces formules s'appliquent très-bien & confirment manifestement cette fameuse regle de mouvement, trouvée par M. *Hughens* ; (*a*) sçavoir, qu'un corps communique toujours plus de vîtesse à un autre, s'il le choque par l'entremise de quelque corps interposé, & dont la masse soit moyenne entre celle du corps choquant & celle du corps choqué : le tems ne nous permet pas d'entrer dans une plus longue discussion sur cette matiere, que nous avons suffisamment développée pour la mettre à la portée de tout le monde.

LXIX. Tout ce que nous venons de dire jusqu'à présent, sur le choc des corps, suppose que l'obstacle ou le corps choqué peut céder à l'impulsion du corps choquant. Il nous reste donc encore à déterminer ce qui arriveroit, si l'obstacle résistoit invinciblement à l'effort du corps choquant, & qu'il ne pût le déplacer. Dans cette nouvelle hypothèse, il peut se faire que le corps

(*a*) Oeuvres posthumes de Hughens.

choquant ſoit un corps mou, dur, ou élaſtique. Pour ſaiſir plus aiſément ce qui doit arriver dans ces trois cas différens, ſuppoſons que l'obſtacle ſoit un corps parfaitement dur, ou incapable de compreſſion.

LXX. Suppoſons 1°. qu'un corps mou vienne heurter, ſelon une direction quelconque, un corps parfaitement dur: alors le corps choquant s'applatira & perdra tout ſon mouvement après le choc. L'applatiſſement du corps choquant, eſt l'effet immédiat de l'effort qu'il fait pour déplacer l'obſtacle, & de la réſiſtance que ce dernier lui oppoſe. Il ſera donc proportionné à la force avec laquelle le corps choquant ſe mouvra. Auſſi voyons-nous que les dernieres balles que pouſſe un fuſil à vent, contre un obſtacle qu'elles ne peuvent vaincre, s'applatiſſent beaucoup moins que les premieres, comme nous aurons occaſion de l'obſerver en traitant du reſſort de l'air. Comme l'obſtacle réſiſte invinciblement au corps mou qui le choque, ce dernier conſomme toute ſa force pour le déplacer, & conſéquemment il demeure en repos.

Suppoſons 2°. que le corps choquant

ſoit un corps dur. Il perdra pareillement ſon mouvement puiſqu'il eſt ſoumis aux mêmes loix que le corps mou dont nous venons de parler; mais comme on le ſuppoſe parfaitement dur, ſes parties ne ſe déplaceront point, & ſa figure ne ſera point altérée.

Suppoſons 3°. que le corps choquant ſoit parfaitement élaſtique : ſa figure s'altérera dans le choc (63.), & il ſe portera en ſens contraire, avec une force égale à celle avec laquelle il ſera venu choquer l'obſtacle (66.).

LXXI. Tout corps parfaitement élaſtique qui vient heurter un corps parfaitement dur, qu'il ne peut déplacer, s'en retourne donc en arriere, avec une force égale à celle qui l'animoit avant le choc, & *forme, en s'en retournant, ſon angle de réflexion égal à ſon angle d'incidence.*

En effet le corps choquant frappe perpendiculairement ou obliquement l'obſtacle contre lequel il agit. Dans l'un & dans l'autre cas, la même loi a lieu.

1°. S'il le frappe perpendiculairement, la compreſſion qu'il éprouve ſe fait ſelon ſa ligne d'incidence : or comme la restitution du ressort se fait selon la même ligne que la compression; elle le reporte en sens contraire, selon la même perpendiculaire : il décrit donc en s'éloignant la même ligne qu'il a parcourue en s'approchant de l'obstacle, & forme dans ces deux cas avec l'obstacle, deux angles qui sont chacun droits.

2°. Si le mobile frappe l'obstacle obliquement, le même phénomène aura lieu. Nous avons vu (44. N°. 3.) que le mouvement d'un corps qui se meut selon une ligne oblique, se décompose en deux mouvemens, dont l'un est parallele, & l'autre perpendiculaire au plan où il se porte. Nous avons fait observer outre cela, que le mobile ne s'approchoit aucunement de ce plan, en vertu de son mouvement parallele; mais seulement en vertu de son mouvement perpendiculaire; (théorie que nous développerons plus amplement en parlant du mouvement composé) le corps contre lequel le mobile agit, ne s'oppose donc point à son mouvement parallele, mais seulement à son mouvement perpendiculaire : or comme nous considérons ce corps

corps comme un obſtacle invincible, ce mobile perd dans le choc tout ſon mouvement perpendiculaire, & conſerve tout ſon mouvement parallele, en vertu duquel il continueroit à ſe mouvoir, ſi ſon élaſticité que nous ſuppoſons parfaite, ne lui rendoit en ſens contraire, après le choc, tout le mouvement perpendiculaire qu'il a perdu dans le choc. Il ſe fait donc une nouvelle compoſition de mouvement perpendiculaire, oppoſé au premier, qui ſe combine avec le mouvement parellele, que le mobile a conſervé, & qui doit néceſſairement le porter en ſens contraire, en lui faiſant décrire une ligne ſemblablement inclinée, & conſéquemment qui lui fait faire ſon angle de réflexion égal à ſon angle d'incidence.

Pour confirmer par expérience la vérité de cette propoſition, diſpoſez obliquement une tablette de marbre *AB* (*fig.* 6.), ſous un angle connu *coB*, tracé ſur un plan *DCBE*, ſur lequel la tablette ſe meut; laiſſez tomber perpendiculairement ſur cette tablette une bille d'ivoire *R*; elle choquera le plan ſous l'angle que vous aufez fait prendre au marbre : dipoſez une eſpéce de caiſſe *S*, à l'extrêmité d'un angle *cos*, égal à l'angle *coB*, & qui lui ſoit oppoſé, & vous obſerverez que la bille ira ſe rendre dans la caiſſe *S*. On ſuppoſe ici que la machine eſt parallele à l'horiſon ; on parvient à l'y mettre, à l'aide de 3 vis qui lui ſervent de pieds, & par le moyen de l'à plomb *VD*.

LXXII. Outre l'obſtacle au mouvement que nous venons de conſidérer, qui détruit le mouvement d'un mobile & qui lui en communique un autre en ſens contraire ; il nous reſte encore à parler des obſtacles qui changent la premiere direction qu'on imprime à un mobile, & j'en remarque deux principaux ; ſçavoir, 1°. le paſſage d'un mobile d'un milieu dans un autre de différente denſité, ou de différente eſpéce, 2°. L'action de la peſanteur à laquelle tous les corps ſont ſoumis ; mais nous ne parlerons de ce dernier & des effets qu'il produit, que vers la fin de cette leçon.

LXXIII. Lorſqu'un mobile ſe meut dans différens milieux, il y éprouve différentes réſiſtances, où il eſt plus ou moins attiré par les uns, que par les autres : or soit que les résistances, ou que la force attractive de ces milieux varient, il en résulte souvent une variation dans la direction du mobile : c'est ce changement de direction qui est connu en physique, sous le nom de *réfraction*.

Cette réfraction n'a pas toujours lieu, parce qu'elle dépend d'une condition particuliere, relative au mouvement du mobile. En effet tout mobile qui traverse différens milieux peut se mouvoir selon une ligne perpendiculaire, ou selon une ligne oblique à ces milieux. Dans le premier cas, il ne souffre aucune réfraction ; il continue à se mouvoir selon la même direction ; ce qu'on peut aisément démontrer par l'expérience suivante. Établissez un vase de cristal *AB* (*fig.* 7.) sur un plan *CD*, parallele à l'horison ; garnissez le fond de ce vase, jusqu'environ 2 à 3 pouces d'épaisseur, de terre glaise fort amollie, & laissez tomber par un petit canal *F*, qui répond au centre du vase, une balle de plomb *E* ; cette balle se creusera une petite cavité, dans la partie de la terre glaise qui répond perpendiculairement au canal *F* : retirez cette balle, rempliſſez le vaſe d'eau ou de tout autre fluide ; répétez enſuite l'expérience, & vous obſerverez que la balle retombera dans la même cavité, après avoir traverſé la maſſe d'eau. Elle ne ſouffrira donc aucune déviation à ſon mouvement, quoiqu'elle ait traverſé des milieux de différente denſité.

Mais il n'en arrivera pas ainſi, ſi le mobile ſe mouvoit ſelon une ligne oblique aux milieux qu'il doit traverſer ; il éprouveroit alors une réfraction qui l'éloigneroit ou qui le rapprocheroit de la perpendiculaire, ſuivant que les différens milieux, qu'il auroit à traverſer, lui feroient éprouver plus ou moins de réſiſtance.

LXXIV. Si un mobile, par exemple, une ſphére ſolide, paſſe obliquement d'un milieu qui lui réſiſte moins, dans un autre milieu qui lui réſiſte davantage ; ſuppoſons de l'air dans l'eau ; ce mobile ſouffrira une déviation qui l'éloignera de la perpendiculaire, & qui l'en rapprocheroit au contraire, s'il paſſoit obliquement de l'eau dans l'air.

Suppoſons un mobile qui ſe meuve ſelon la ligne *aM*, oblique à la ſurface de l'eau *Bc* (*fig.* 8.); ce mobile satisfait en même-tems à deux directions, dont l'une le porteroit en *V* & l'autre en *A*. Lorsqu'il est parvenu au point *M*, & qu'il y rencontre la surface de l'eau; il éprouve une plus grande résistance de la part de ce second milieu, & eu égard à l'obliquité de son mouvement, cette plus grande résistance se fait sentir davantage à sa direction perpendiculaire, qu'à sa direction parallele à l'horison. Pour rendre cette derniere proposition plus sensible, supposons que tout l'hémisphere *K L X Z* du mobile soit plongé dans l'eau : dans cette supposition, toutes les colonnes d'eau qui répondent à cet hémisphere, s'opposent à sa direction perpendiculaire; tandis que les seules colonnes qui répondent à la moitié *XZ* de ce même hémisphere, s'opposent à sa direction horisontale. La force qui le détermine horisontalement, trouvant moins d'obstacle, doit donc prévaloir sur celle qui le détermine perpendiculairement : ce mobile doit donc s'avancer davantage selon la direction *Qc*, que selon la direction *MH*, & conséquemment au lieu de suivre la direction *ME*, suite de l'oblique *AM*, qu'il avoit décrit dans l'air ; il doit décrire la ligne *MD*, plus éloignée de la perpendiculaire *MH* : par la raison contraire, s'il se mouvoit de l'eau dans l'air en décrivant l'oblique *DM* ; au lieu de parvenir en *F*, extrêmité de l'oblique *DM*, il arriveroit en *a*, en s'approchant de la perpendiculaire *MA*.

Il est bon néanmoins d'observer, que quoiqu'un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre qui lui résiste différemment, s'éloigne ou s'approche de la perpendiculaire ; il ne s'en éloigne ni il ne s'en approche point constamment selon la même proportion, c'est-à-dire, qu'il ne décrit point une droite qui fasse angle avec l'oblique qu'il a décrit, avant de passer dans ce second milieu, mais une courbe, dont la courbure varie à proportion de son immersion, jusqu'à ce qu'étant entierement plongé dans le second milieu, il décrive une véritable droite (*a*).

LXXV. Lorsqu'un mobile passe obliquement d'un milieu dans un autre de différente densité, la réfraction qu'il y éprouve est-elle bien sensible, & me-

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences.

rite-t-elle quelque considération ? Est-il nécessaire, par exemple, que le chasseur qui veut tirer dans l'eau, dirige son coup au-dessous de l'endroit, où l'objet qu'il veut atteindre se présente à sa vue ? Plusieurs Physiciens tiennent pour l'affirmative, & ils en apportent même deux raisons ; l'une fondee sur la réfraction que la charge doit éprouver en passant de l'air dans l'eau, laquelle éloignant cette charge de la perpendiculaire, la portera au-dessus de la ligne de *mire*. L'autre fondée sur la réfraction que la lumiere éprouve en pareille circonstance, laquelle se faisant en sens contraire de celle des corps solides, comme nous l'observerons par la suite, nous fait voir l'objet au dessus de sa véritable situation. Quoique ces deux raisons paroissent bien fondées, & qu'à la rigueur géométrique, tout nous porte à croire qu'il fallut y avoir égard ; plusieurs habiles tireurs m'ont assuré que cette précaution étoit inutile dans la pratique.

Quoique ce sentiment paroisse s'éloigner de la théorie ; il est néanmoins établi sur des expériences décisives rapportées par M. *Carré*, qui nous apprend (*a*) qu'un de ses amis qu'il avoit chargé du soin de vérifier la réfraction que les balles de mousquet devoient éprouver en passant de l'air dans l'eau, ayant rempli d'eau un réservoir de dix pieds en quarré, dans lequel il avoit fixé deux ais paralleles entr'eux & à l'horison, à un pied de distance l'un de l'autre; & au-dessus à quelque distance, un morceau de carton disposé perpendiculairement à l'horison; il tira ensuite à cinq à six pas de distance, sous un angle de vingt degrés, un fusil chargé du poids de trois deniers vingt grains de poudre, & d'une balle de sept lignes de diametre, qui pesoit dix-sept deniers vingt grains, & qu'il remarqua que la balle s'étoit fixée dans le dernier ais, après avoir traversé le carton, le premier ais & la masse d'eau interposée.

Ayant vuidé l'eau du réservoir, il trouva que les 3 trous étoient directement alignés à l'ouverture du canon; d'où il paroît manifeste que les corps que nous lançons obliquement dans l'eau & avec beaucoup de vîtesse, ne

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences, 1705.

souffrent pas une réfraction sensible.

La suite des expériences rapportées dans ce Mémoire, nous apprend qu'il ne faut pas se servir d'une forte charge de poudre, lorsqu'on veut tirer dans l'eau ; car dans ce cas les balles s'applatissent ou se cassent, & refusent d'entrer profondément. L'expérience nous apprend aussi qu'il ne faut pas tirer trop obliquement à la surface de l'eau, à moins que la disposition du lieu ne nous laisse rien à craindre pour les endroits opposés à ceux d'où l'on tire ; car il arrive souvent que les balles, au lieu de plonger dans l'eau, réjaillissent & produisent de l'autre côté de l'eau des effets très-dangereux, & même à de grandes distances.

LXXVI. Les différens obstacles au mouvement que nous venons d'exposer, supposent en partie la connoissance du mouvement composé, dont nous allons parler actuellement. On entend par *mouvement composé*, celui qui est produit par l'action simultanée de plusieurs puissances qui tendent toutes à porter le mobile vers différens points, non cependant diamétralement opposés les uns aux autres. Les loix de cette espece de mouvement peuvent ſe réduire à une ſeule, qui eſt fondée ſur le principe général que nous avons déjà mis en avant, en parlant des loix du mouvement ſimple (49); ſçavoir, que tout corps eſt un être paſſif & indifférent pour toute modification quelconque. Tout corps ſoumis à l'action de pluſieurs puiſſances, doit donc néceſſairement ſe prêter à l'effort de chacune de ces puiſſances : mais comment peut-il ſe faire qu'un corps ſe prête en même temps à pluſieurs impreſſions différentes ? La loi ſuivante ſatisfait à cette queſtion.

LXXVII. *Tout corps ſollicité à ſe mouvoir par l'action ſimultanée de pluſieurs puiſſances, prend une direction moyenne entre celle que chacune de ces puiſſances tend à lui imprimer, & il ſe meut avec une vîteſſe proportionnée aux forces qui agiſſent efficacement ſur lui.*

En effet, étant également indifférent pour chacune de ces puiſſances; il n'y a point de raiſon de croire qu'il ſe prête à aucune par préférence : il doit donc ſe prêter à toutes, & prendre une direction qui participe de celles que chacune de ces puiſſances tend à lui imprimer. Il doit outre cela recevoir toute l'intensité de la force qui subsiste dans chacune de ces puissances, indépendamment de leurs oppositions ; car ces oppositions n'étant point diamétrales, elles se nuisent à la vérité ; mais elles ne perdent qu'une partie de la force avec laquelle elles font effort pour agir contre le mobile. L'expérience est d'accord avec cette théorie. Pour le démontrer d'une maniere plus commode à mettre en exécution, nous ne supposerons ici que deux puissances qui agissent en même temps à angle droit contre un mobile. Dans cette supposition, il peut se faire que ces deux puissances soient égales ou inégales.

Dans le premier cas, le mobile décrira la diagonale d'un quarré, dont deux côtés adjacens représenteront les directions & les forces de ces deux puissances, & il la décrira dans le même temps qu'il emploieroit à parcourir l'un ou l'autre de ces côtés, si l'une ou l'autre de ces puissances agissoit solitairement contre lui.

Supposons le corps *A* (*fig.* 9) sollicité à se mouvoir selon les directions *AB*, *AC*; je dis que ce mobile parcourra la diagonale *AD* du quarré *ABCD*, dans le même tems qu'il eût parcouru le côté *AB*, ou *Ac* du même quarré, si l'une de ces deux puissances eut agi solitairement contre lui. Supposons pour plus grande facilité, que les puissances qui le maîtrisent, agissent contre lui de façon à le porter en *B* ou en *c*, en un seul instant. Si la seule puissance qui le sollicite en *B*, agissoit contre lui, il parviendroit donc en *B*, à la fin du premier instant: mais tandis que cette puissance le détermine en *B*, celle qui le dirige vers *c*, s'oppose avec toute l'intensité de sa force à ce qu'il parvienne en *B* : pour que ce mobile satisfasse en même tems à cette seconde puissance, il faut donc qu'à la fin de cet instant, il soit éloigné du point *B*, autant que l'exige la puissance exprimée par *AC*: pareillement si cette derniere puissance agissoit seule contre le mobile *A*; à la fin du premier instant, il parviendroit en *C*; mais celle qui le sollicite en *B*, agit en même tems, & s'oppose aussi, avec toute l'intensité de sa force, à ce qu'il parvienne en *B*. Il doit donc encore, pour se prêter à cette derniere puissance, être à la fin de ce même instant, éloigné du point *c*, autant que l'exige la puissance qui le pousse en *B* : or la seule extrêmité *D*, de la diagonale *AD*, satisfait à ces deux conditions : car le mobile étant arrivé en *D*, est éloigné du point *B*, de la quantité *BD*=*AC*. Il est pareillement éloigné du point *C*, de la quantité *CD*=*AB*. Donc à la fin du premier instant, le mobile *A* se trouvera en *D* : or il ne peut parvenir en *D*, qu'il n'ait parcouru la diagonale *AD*. Donc, &c. Pour confirmer cette vérité par la voie de l'expérience, disposez parallelement au côté *AB* (*fig.* 9. & entr'eux, deux fils de métal, entre lesquels puisse glisser librement une poulie, sur la gorge de laquelle vous ferez passer un cordon fixé par une de ses extrêmités au point *B*, & à l'autre extrêmité duquel sera suspendu un poids quelconque. La poulie étant placée vers l'extrêmité *B* du quarré, & le cordon dont nous venons de parler, passant par dessus la circonférence de cette poulie, descendra le long du côté *BD*, & le poids qu'il soutient répondra au point *D* : cela posé, si vous faites avancer la poulie, selon la direction

BA; le poids dont nous venons de parler, recevra en même-tems deux impreſſions égales, l'une qui le déterminera en *B* & l'autre en *C*; puiſque le cordon auquel il eſt ſuſpendu, étant fixé en *B*, & paſſant ſur la gorge de la poulie, cette poulie ne peut avancer de *B* en *A*, que le cordon ne ſe raccourciſſe, & ne ſoit en même-tems porté ſelon la direction du mouvement de la poulie. Or vous obſerverez qu'en vertu de ces deux impreſſions, qui le maîtriſent, le poids parcourra la diagonale *DA*.

Dans cette expérience, les puiſſances qui déterminent le mobile à ſe mouvoir, ne l'abandonnent point, qu'il ne ſoit parvenu au lieu de ſa deſtination. Ce ſeroit encore la même choſe ſi ce mobile ſe mouvoit en vertu de deux impreſſions, ou de deux chocs imprimés par deux puiſſances égales & oppoſées à angle droit; ce qu'on peut exécuter aiſément, en établiſſant vers un des angles d'une eſpéce de billard, deux marteaux égaux en maſſe, & en les laiſſant tomber en même-tems d'une même hauteur, contre une bille placée dans cet angle; on obſervera alors que la bille déterminée à ſuivre par le choc de ces deux marteaux, les côtés adjacens de ce billard, prendra une direction moyenne entre ces deux directions, & parcourra la diagonale du quarré conſtruit ſur les deux directions que ces marteaux lui impriment.

LXXVIII. Mais ſi l'une des deux puiſſances dont il eſt ici queſtion, étoit ſupérieure à l'autre ; le mobile ſe prêteroit davantage à la premiere qu'à la ſeconde, & il s'y prêteroit à proportion de ſa ſupériorité ; ce qui lui feroit décrire la diagonale d'un parallélogramme, dont les deux côtés adjacens repréſentoient la direction & l'intenſité de chacune de ces puiſſances : ce qu'on peut confirmer à l'aide de la même machine dont nous venons de faire uſage ; avec cette différence, qu'on laiſſera tomber de plus haut l'un des deux marteaux, & qu'on le laiſſera tomber d'une hauteur d'autant plus grande, qu'on voudra que l'une des deux puiſſances l'emporte davantage ſur l'autre.

LXXIX. Après avoir traité du mouvement uniforme, conſidéré comme ſimple & comme compoſé, il nous reſte encore à traiter du mouvement non uniforme & du mouvement mixte. Le premier de ces deux mouvemens est de deux espéces, comme nous l'avons déja observé ; sçavoir, accéléré ou retardé. L'un & l'autre peut se faire perpendiculairement, ou obliquement à l'horison. Nous parlerons de l'une & de l'autre de ces deux modifications.

LXXX. Un corps mis en mouvement par une puissance quelconque qui cesse d'agir contre lui, se meut en vertu de la force qu'il a reçue, & continue à se mouvoir en parcourant des espaces égaux, dans des tems égaux, si rien ne s'oppose à son mouvement ; mais si la puissance qui anime ce mobile continue à le presser, son mouvement deviendra accéléré ; puisqu'il recevra à chaque instant de nouveaux degrés de force, qui se joindront à ceux qu'il aura déja reçus. Si la puissance qui continue à presser ce mobile, demeure constamment la même, & qu'elle agisse à chaque instant, de la même maniere contre lui ; le mouvement de ce mobile sera uniformément accéléré. Pareillement si un mobile est mis en mouvement en vertu d'une force qu'on lui imprime, & qu'à chaque instant qu'il se meut, il rencontre un obſtacle qui s'oppoſe toujours également à ſon mouvement ; le mouvement de ce mobile ſera uniformément retardé.

Nous avons un exemple dans la nature de ces deux eſpéces de mouvemens. Tous les corps qu'on abandonne à eux-mêmes, au-deſſus de la ſurface de la terre, retombent vers ce globe, & accélérent uniformément leur mouvement pendant leur chute. Pareillement tous ceux qu'on lance de bas en haut, ſe meuvent d'un mouvement uniformément retardé. La cauſe qui produit cet effet eſt connue ſous les noms de *peſanteur*, *gravité*, *&c.*

Pour développer autant qu'il eſt poſſible, dans des leçons telles que les nôtres, les propriétés de cette cauſe ; nous examinerons cinq queſtions ; ſçavoir, 1°. ſi tous les corps ſont ſoumis à la peſanteur. 2°. S'ils y ſont tous également ſoumis, ou pour mieux dire, s'ils y obéiſſent tous également & de la même maniere. 3°. Si l'action de la peſanteur eſt la même dans tous les endroits de notre globe. 4°. Quels ſont les effets qu'elle produit ſur les corps qu'elle maîtriſe. 5°. Quelle eſt la nature de cette cauſe.

LXXXI. La distinction qu'*Aristote* (a) & les anciens après lui, avoient établie entre les différens corps qui font partie de l'univers, qu'ils regardoient comme pesans ou comme légers, donne lieu à la premiere question que nous nous proposons de résoudre ; sçavoir, si tous les corps sont pesans. Si on s'en rapporte à la déposition de nos sens, il n'y a personne qui n'admette la distinction des anciens, & qui ne regarde comme légers, tous les corps qui paroissent fuir comme d'eux-mêmes, le centre des graves. Delà, le feu, la fumée, l'air, les vapeurs & plusieurs autres corps de cette espéce, seront regardés comme légers. Nous expliquerons dans l'Hydrostatique, pour quelle raison ces corps se comportent ainsi. Nous nous contenterons de démontrer ici que ces corps sont véritablement pesans.

Placez sur la platine de la machine pneumatique, une chandelle allumée dont la méche soit grosse, pour qu'elle produise plus de fumée : couvrez-la d'un récipient étroit, mais fort haut, & faites le vuide : lorsque vous aurez donné quelques coups de piston, la

(a) Lib. 4. cap. 1. p. 485.

lumiere s'éteindra & vous verrez la fumée retomber sur la platine par son propre poids, avant de s'être élevée jusqu'au haut du récipient.

Suspendez à l'un des bras d'une balance fort mobile, un vase plus large que profond rempli d'eau : mettez-le en équilibre avec un poids suffisant, placé dans le bassin opposé de la balance : laissez le tout en situation pendant quelque tems, & vous observerez que l'équilibre sera rompu en faveur du poids placé dans le bassin : le vase devient donc plus léger ; ce qui ne peut venir que de l'évaporation du liquide qu'il contient, & ce qui prouve manifestement que les vapeurs sont pesantes ; puisqu'elles contribuoient avant leur dissipation, à former un plus grand poids.

Ces deux expériences suffisent pour constater que les corps qu'on pourroit regarder comme légers, sont véritablement pesans.

LXXXII. Tous les corps sont donc pesans ; mais le sont-ils tous également ? Pour résoudre cette question, il est bon d'observer qu'il ne s'agit point ici du poids des corps, & qu'on ne demande point ici si tous les corps ont le même poids ; mais s'ils sont tous également soumis à l'action de la pesanteur, c'est-à-dire, si élevés à la même hauteur au-dessus de la surface de la terre, & abandonnés ensuite à eux-mêmes, la pesanteur les porte tous également vîte vers le centre des graves. Il faut encore être ici en garde contre le témoignage des sens ; car si nous considérons la chûte de plusieurs corps de différente espéce, nous n'en trouverons pas deux qui tombent également vîte, & nous serons portés à croire que la pesanteur agit différemment sur eux. Ce fut ce qui induisit nos ancêtres en erreur. Ils jugerent que la pesanteur des corps étoit en raison directe de leurs masses, & qu'un corps qui avoit deux fois plus de masse, avoit deux fois plus de pesanteur. *Epicure*, *Lucrece* (*a*) ne se laisserent point séduire par l'opinion commune ; ils soupçonnerent le contraire. *Galilée* fut de cet avis, en réfléchissant sur la chute de plusieurs balles de matiere différente, d'or, de plomb, de porphire, de cuivre, de cire, &c. Il remarqua qu'en laissant

(*a*) Lucrece, Lib. 2. v. 238.

tomber ces balles de la même hauteur; la balle de cire arrivoit presqu'aussitôt que les autres sur terre, & que la différence n'alloit qu'à quatre doigts (a). Le célébre *Desaguilliers* (b) confirma parfaitement cette idée par un grand nombre d'expériences qu'il fit, sur le haut de la coupole de la Tour de Saint Paul de Londres, d'où il laissa tomber des corps de différentes espéces. Dans le grand nombre d'expériences qu'il fit à ce sujet, je choisis celle-ci. Il laissa tomber deux boules, l'une de verre qui pesoit 2610 grains, & l'autre de vessie, enflée d'air, qui pesoit 13 grains $\frac{1}{2}$. La premiere frappa la terre en 6 m'' $\frac{1}{4}$, & la seconde en 18 m'' $\frac{3}{4}$. Le rapport de leur vîtesse étoit donc égal à celui de 3 : 1, & celui de leur masse à celui de 19 : 1 à peu de chose près. D'où il suit manifestement que la différence qu'on remarque dans la vîtesse des corps qui tombent, ne suit point la raison directe de leurs masses. C'étoit donc à tort que les anciens confondoient la masse avec la pesanteur; car la masse d'un corps n'est autre chose,

(a) Méchan. Dial. 1.

(b) Cours de Phys. Expérim. T. 1.

que la ſomme des parties peſantes qui le compoſent. La peſanteur au contraire eſt la tendance de ce corps vers le centre de la ſphere à laquelle il appartient. Chaque partie de ce corps a à la vérité une tendance vers ce centre ; mais la ſomme de toutes ces tendances n'augmente pas celle du corps entier. Il en eſt de même que de la vîteſſe qu'on communique à un mobile. Quoiqu'un corps, par exemple, ait un très-grand nombre de parties, qui jouiſſent chacune d'un degré de vîteſſe; la vîteſſe de la maſſe entiere ne differe pas de celle de ſes parties. La peſanteur eſt la même pour tous les corps, ſoit qu'ils ſoient compoſés d'un grand ou d'un petit nombre de parties peſantes. *Galilée* ne fit que ſoupçonner cette vérité. Ce fut *Newton* qui la démontra le premier (*a*). Pourquoi n'obéiſſent-ils donc pas tous de la même maniere, à une même force, & ne tombent-ils pas tous avec la même vîteſſe ?

Cela vient des différences qu'ils éprouvent dans la réſiſtance que les milieux, qu'ils ſont obligés de traverſer, oppoſent à leurs mouvemens : car ſup-

(*a*) Princip. Philoſ. pag. 481.

primez cette réſiſtance, & ils tomberont tous également vîte.

Renfermez dans un tube, des corps de même volume, mais inégaux en maſſe, par exemple, un morceau de plomb & un morceau de papier : ce tube étant exactement fermé par ſes deux extrêmités ; ſi vous le renverſez alternativement de haut en bas, vous obſerverez que le plomb tombera plus vîte que le papier ; mais ſi vous adaptez ce tube à la machine pneumatique, & que vous le purgiez d'air auſſi exactement qu'il eſt poſſible; vous n'obſerverez plus de différence dans leur chute, lorſque vous répéterez la même expérience.

Pour ſaiſir aiſément la raiſon de ce phénomène, ſuppoſons que le plomb peſe douze fois plus que le papier. On pourra donc dire que la maſſe du plomb eſt de douze degrés, & que celle du papier n'eſt que d'un degré : or chaque degré de maſſe jouit d'un degré de peſanteur, qui tend à le faire tomber avec le même degré de vîteſſe; mais le plomb muni de douze degrés de peſanteur, ne tombe pas plus vîte que le papier, qui n'a qu'un ſeul degré de peſanteur, lorſque rien ne fait obſtacle à leur mouvement; parce que les douze degrés de pesanteur du plomb sont employés à faire mouvoir douze degrés de masse; tandis que le seul degré de pesanteur qui réside dans le papier, n'a qu'un degré de masse à transporter; ce qui fait une compensation. Pourquoi n'observe-t-on donc pas la même chose dans l'air? En voici la raison.

Supposons que pour parcourir la longueur du tube, dont nous venons de parler, l'air que ces deux corps ont à diviser, leur oppose une résistance propre à consommer un demi-degré de force: dans cette supposition, le papier qui ne jouit que d'un seul degré de force, perdra la moitié de celle qui l'anime; tandis que le plomb qui a 12 degrés de pesanteur, & conséquemment 12 degrés de force, ne perdra que $\frac{1}{24}$ de la sienne; puisqu'il ne perdra qu'un demi-degré, pris aux dépens des 12 dont il jouit. Sa vîtesse sera donc beaucoup moins retardée, & conséquemment il se mouvra plus vîte que le papier.

LXXXIII. Il résulte de tout ce que nous venons de dire, que tous les corps sont pesans, & qu'ils le sont tous égalément;

lement; mais l'action de la pesanteur sur tous les corps qu'elle maîtrise, est-elle la même dans tous les endroits de la terre? Ce ne fut qu'en 1672 qu'on soupçonna que cette force n'agissoit pas de la même maniere, dans tous les endroits de notre globe. Voici ce qui fit naître ce soupçon. M. *Richer* (*a*) fut envoyé dans ce tems, à l'Isle de Cayenne, qui est à 5 degrés de latitude. Il y porta des pendules à secondes, faites à Paris avec toute l'exactitude possible; & il observa que ces pendules mesuroient des tems plus longs à la Cayenne, & il fut obligé de les raccourcir d'une ligne $\frac{1}{4}$, pour leur faire battre exactement des secondes. MM. *Dehayes*, *Varin*, *Halley* confirmerent ensuite cette observation (*b*): or comme le mouvement du pendule est l'effet de la pesanteur; on peut donc dire que cette force a moins d'activité vers l'Equateur qu'à Paris. Le célébre *Newton* poussa très-loin ses recherches à cet égard, & il parvint à calculer les différens degrés d'accroissance que l'effort de la pesanteur acquiert, en s'éloignant de l'Equateur, &

(*a*) Hist. de l'Acad. des Sciences, ann. 1679.
(*b* Hist. de l'Acad. des Sciences, ann. 1700.

il trouva que la pesanteur des corps qui sont sous les poles, est à celle de ceux qui sont sous l'Equateur : : 230 : 229. Ce fut d'après les calculs de cet habile Physicien, que nous apprîmes la longueur qu'il convient de donner aux pendules, pour battre exactement des secondes, relativement aux endroits pour lesquels on les destine. Ainsi suivant ces calculs, l'accroissance de la pesanteur, lorsqu'on va de l'Equateur aux poles, étant à très-peu de choses près, comme le quarré du sinus de latitude; si on donne à Paris 3 pieds 8 $\frac{5}{8}$ de ligne à un pendule à secondes; il ne faudra lui donner sous l'Equateur que 3 pieds 7 $\frac{393}{1107}$ de ligne.

LXXXIV. On a attribué cette différence, dont nous venons de parler, à la force centrifuge, qui doit être plus grande à l'Equateur que dans toute autre latitude; & comme l'effet de cette force est diamétralement opposé à celui de la pesanteur, on a cru que la force centrifuge augmentant des poles à l'Equateur, l'effet de la pesanteur devoit diminuer dans la même proportion des poles à l'Equateur. Toute ingénieuse que soit cette idée, elle est démentie par les obſervations de M. *Bouguer*. Cet habile Aſtronome a calculé avec toute l'exactitude poſſible, la valeur de la force centrifuge, à différentes latitudes. Il a même dreſſé des tables fort exactes, des réſultats de ſes opérations; & on y voit manifeſtement que les effets de la peſanteur n'y ſont point conformes. Je ne diſconviens cependant pas, que les différences qu'on remarque dans la force centrifuge à différentes latitudes, ne puiſſent contribuer en quelque choſe à celles qu'on obſerve dans les effets de la peſanteur; mais on ne peut diſconvenir que la peſanteur elle-même ne varie, de moins en plus, de l'Equateur aux poles; ce qui vient de la figure ovale de la terre, & des différentes diſtances à ſon centre, où ſe trouvent les corps ſublunaires.

LXXXV. Quels ſont les effets de la peſanteur? comment agit-elle ſur les corps qu'elle maîtriſe? C'eſt ce que nous allons examiner, le plus ſuccinctement qu'il ſera poſſible.

Tout le monde convient que la peſanteur eſt une force conſtante, qui agit continuellement ſur les corps. En faiſant donc abſtraction de tout obſtacle quelconque, qui pourroit s'oppoſer à l'action de cette force, on peut la conſidérer dans un tems fixe & déterminé, comme un nombre infini de petits degrés de force, accumulés les uns ſur les autres.

1°. Tout corps ſoumis à l'action de la peſanteur, doit donc accélérer ſon mouvement en tombant; puiſqu'à chaque inſtant infiniment petit, il reçoit une nouvelle impreſſion qui ſe joint à celle, ou à celles qu'il a déja reçues, & qu'on ſuppoſe tout obſtacle éloigné.

2°. Les degrés de vîteſſe qu'un mobile acquiert en tombant, ſont donc directement comme les inſtans infiniment petits, qui s'écoulent pendant ſa chute.

3°. On peut donc repréſenter ces degrés de vîteſſe par la ſuite des nombres naturels, 0, 1, 2, 3, 4, 5 ∞; puiſque ces degrés de vîteſſe ſont comme les inſtans dont nous venons de parler, & que ces inſtans croiſſent eux-mêmes, ſelon la même progreſſion.

4°. La ſomme des vîteſſes acquiſes pendant un inſtant fini & déterminé, peut donc être repréſentée par l'aire d'un triangle rectangle.

Soit en effet le triangle rectangle (*fig.*

10.) *BAD*, dont la hauteur *BA* ſoit diviſée en parties que nous ſuppoſerons infiniment petites & égales *B* 1, 2, 3, 4, &c. ſi de tous les points de diviſion, on mene des ordonnées, 11, 22, 33, 44.

1°. Chaque portion priſe dans la hauteur *BA*, exprimera les inſtans infiniment petits, du tems fini & déterminé par la hauteur *BA* de ce triangle.

2°. Chaque ordonnée repréſentera la vîteſſe acquiſe dans chaque inſtant infiniment petit : car de même qu'une vîteſſe accélérée croît uniformément ; de même chaque ordonnée croît uniformément ſelon la même progreſſion, 0, 1, 2, 3, 4, &c. ; car les triangles *B*11, *B*22, étant ſemblables, on a 11 : 22 :: *B*1 : *B*2. La ſomme des ordonnées, ou l'aire d'un triangle rectangle repréſentera donc parfaitement la ſomme des vîteſſes accélérées acquiſes pendant un tems fini & déterminé.

3°. Il ſuit delà qu'une vîteſſe acquiſe pendant un inſtant fini & déterminé, & qui demeure uniformément la même, pendant un ſecond inſtant ſemblable au premier, eſt le double d'une vîteſſe accélérée acquiſe pendant un même inſtant.

Nous venons de démontrer qu'une

vîteſſe accélérée, acquiſe pendant un inſtant fini, pouvoit être repréſentée par l'aire d'un triangle rectangle *BAD* (*fig.* 10), & que les différens degrés de vîteſſe acquis, pendant tous les initans infiniment petits, qui concourent à former cet inſtant fini, pouvoient être repréſentés par les ordonnées à ce triangle. Or le dernier degré de vîteſſe accélérée, acquis à la fin de cet inſtant fini, eſt repréſenté par la baſe *AD* du même triangle *BAD*, & eſt ſuppoſé demeurer conſtamment le même pendant un ſecond inſtant ſemblable au premier; c'eſt-à-dire, compoſé d'un même nombre d'inſtans infiniment petits; la vîteſſe de ce ſecond inſtant doit donc être repréſentée par les ordonnées d'un rectangle *ACDE*, de même baſe & de même hauteur que le triangle *BAD*: mais on démontre en géométrie, qu'un triangle quelconque n'eſt que la moitié d'un rectangle de même baſe & de même hauteur; par conſéquent une vîteſſe acquiſe pendant un inſtant fini & déterminé, & qui demeure uniforme, eſt double d'une vîteſſe accélérée, acquiſe pendant le même inſtant.

4°. L'eſpace qu'un mobile parcourt en vertu d'une vîteſſe acquiſe pendant un inſtant fini & déterminé, & qui demeure uniforme pendant cet inſtant, eſt donc double de l'eſpace que parcourroit ce même mobile, dans le même tems, en vertu d'une vîteſſe accélérée, qu'il n'acquerroit que ſucceſſivement.

Lorſque les tems ſont égaux, les eſpaces parcourus ſont entre eux comme les vîteſſes (43.); or dans l'hypotheſe préſente, les tems ſont égaux, les eſpaces doivent donc être comme les vîteſſes : mais nous venons de démontrer qu'une vîteſſe uniforme étoit double d'une vîteſſe accélérée acquiſe pendant le même tems; donc l'eſpace parcouru, en vertu d'une vîteſſe uniforme, ſera double de l'eſpace parcouru dans le même tems, en vertu d'une vîteſſe accélérée.

Il ſuit delà que ſi la peſanteur qui anime un mobile & qui le fait tomber, ceſſe d'agir contre lui, à la fin, par exemple, d'un premier inſtant fini & déterminé; ce mobile continuera à ſe mouvoir pendant un ſecond inſtant, ſemblable au premier, en vertu de la force qu'il aura acquiſe ſucceſſivement pendant le premier inſtant, & parcourra un eſpace double de celui qu'il aura parcouru pendant le premier inſtant.

6°. Tout corps qui ſe meut pendant pluſieurs inſtans, en vertu de la péſanteur qui le maîtriſe, ſe meut donc en vertu de deux forces, dont l'une eſt uniforme & l'autre accélérée ; car pendant le ſecond inſtant, il ſe meut, & en vertu de la force qu'il a acquiſe ſucceſſivement pendant le premier inſtant, laquelle eſt uniforme pendant le ſecond inſtant, & en vertu de celle qu'il acquiert ſucceſſivement pendant la durée de ce ſecond inſtant.

7°. Les eſpaces qu'un mobile parcourt dans ſa chute pendant pluſieurs inſtans conſécutifs, doivent donc croître, comme la ſuite directe des nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9, &c. c'eſt-à dire, que dans le ſecond inſtant il parcourra un eſpace triple, dans le troiſiéme, un eſpace quintuple, &c. de celui qu'il aura parcouru pendant le premier inſtant.

Pendant le ſecond inſtant, ce mobile ſe meut en vertu de la force acquiſe pendant le premier inſtant, & en vertu de celle qu'il acquiert pendant ce ſecond inſtant : or la force acquiſe pendant le premier inſtant, étant uniforme & permanente pendant toute la durée du ſecond inſtant, elle lui fait parcourir un eſpace double de celui qu'il a parcouru pendant le premier inſtant : mais pendant ce ſecond inſtant, il acquiert encore un degré de force ſemblable à celui qu'il a acquis pendant le premier inſtant : ce nouveau degré de force lui fait donc encore parcourir pendant le ſecond inſtant, un eſpace ſemblable à celui qu'il a parcouru pendant le premier inſtant; il parcourt donc pendant le ſecond inſtant un eſpace triple de celui du premier inſtant. Les forces acquiſes pendant le premier & le ſecond inſtant ſe joignant enſemble, font 2 degrés de force uniforme qui animent ce mobile pendant la durée du troiſiéme inſtant; or chacun de ces deux degrés de force lui faiſant parcourir un eſpace double de celui du premier inſtant; il parcourt donc en vertu de ces deux degrés de force uniforme, un eſpace quadruple de celui du premier inſtant; & comme il acquiert encore pendant ce troiſiéme inſtant un degré de force accélératrice qui lui fait parcourir un espace semblable à celui qu'il a parcouru pendant le premier instant, il parcourt donc pendant le troisiéme instant, un espace quintuple de celui du premier instant, & ainsi de suite.

8°. Les espaces parcourus d'un mouvement uniformément accéléré, à compter depuis le premier espace, sont entre eux comme les quarrés des tems que ce mobile emploie à les parcourir. *Galilée* fut le premier qui découvrit & qui démontra la vérité de cette proposition; *Grimaldy* & *Riccioli* la confirmerent par des expériences qu'ils imaginerent. Elle suit évidemment de ce que nous venons de démontrer. En effet un corps qui tombe d'un mouvement accéléré, parcourt des espaces qui sont entre eux, comme les nombres impairs 1, 3, 5, 7, &c; par conséquent à la fin du second instant, il aura parcouru un espace comme 4, quarré de 2. A la fin du troisiéme instant, il aura parcouru un espace, comme 9, quarré de 3, &c.

9°. Nous avons démontré ci dessus que les vîtesses acquises d'un mouvement uniformément accéléré, étoient entre elles, comme les tems employés à les acquérir. On peut donc dire aussi, que les espaces parcourus, à compter depuis le premier, sont entre eux comme les quarrés des vîtesses.

LXXXVI. Tout corps qui se meut en sens contraire de la direction de la pésanteur, retarde nécessairement son mouvement en montant, en vertu de la même cause qui fait accélérer tout corps qui descend & qui suit la direction de la pésanteur; puisque la même cause tendant à le diriger de haut en bas, s'oppose à son élevation avec toute la force qu'elle tend à lui imprimer en sens contraire : on pourra donc appliquer au mouvement retardé, tout ce que nous venons de dire sur le mouvement accéléré, avec cette différence, que les espaces parcourus en vertu d'un mouvement uniformément retardé, décroîtront selon la progression des nombres 9, 7, 5, 3, 1, &c.

LXXXVII. Nous avons observé (79.) que le mouvement non uniforme acceleré ou retardé, pouvoit s'exécuter de deux manieres, perpendiculairement, ou obliquement à l'horison. Nous n'avons parlé jusqu'à présent que de la premiere de ces deux modifications ; il nous reste donc encore à considérer le mouvement non uniforme qui se fait obliquement à l'horison. Cette espéce de mouvement peut fort bien se représenter par celui d'un corps qui descendroit selon la longueur *EG*, (*fig.* 11.) d'un plan incliné. On appelle *plan incliné*, tout plan qui fait un angle avec l'horison. Ce plan peut être plus ou moins incliné, suivant que l'angle qu'il forme avec l'horison, est plus ou moins aigu. On considére trois choses dans un plan incliné ; sçavoir, sa longueur *EG*, sa hauteur *EF*, & sa base *FG*.

LXXXVIII. Tout corps qui se meut selon la longueur d'un plan incliné, accélére son mouvement de la même maniere que s'il tomboit librement & perpendiculairement à l'horison ; puisqu'il est soumis à l'action de la pesanteur qui le détermine à descendre selon la longueur de ce plan.

On peut donc dire que les espaces parcourus à chaque instant, par un corps qui se meut selon la longueur d'un plan incliné, croissent comme les nombres impairs, 1, 3, 5, 7, &c. & que ces espaces, à compter depuis le premier, sont entre eux comme les quarrés des tems employés à les parcourir.

Il faut néanmoins observer que la vîtesse est moindre dans ce cas, que celle d'un corps qui se meut librement & perpendiculairement à l'horison.

Soit le corps *A* (*fig.* 11.) placé sur le plan incliné *EG* : l'effort de la pesanteur qui le sollicite à descendre, le détermine selon la direction *ARP*, perpendiculaire à l'horison, & selon laquelle il se mouvroit, s'il ne rencontroit point en *R* un obstacle invincible; sçavoir, le plan sur lequel il s'appuie.

Pour connoître ce que doit produire l'obstacle que le plan incliné oppose à ce mobile; de son centre de gravité *A*, je tire la ligne *AS*, perpendiculaire au plan *EG* : je tire ensuite la ligne *AX* parallele au même plan; j'acheve le parallélogramme *ASRX*, dont *AR* est la diagonale, & je raisonne ainsi. Si l'effort de la pesanteur fait parcourir au corps *A*, dans un tems donné, la ligne *AR*, portion de la ligne *ARP*; cet effort produit exactement la même chose contre ce mobile, que s'il étoit maîtrisé par l'action ſimultanée de deux puiſſances, dont l'une le détermineroit ſelon la direction *AS*, & l'autre ſelon *AX* : or de ces deux forces ſimultanées *AS* & *AX*, la force *AS* eſt totalement détruite par la réſiſtance invincible du plan *EG*, contre lequel elle agit perpendiculairement : il ne reſte donc plus au mobile que la ſeule force imprimée par *AX*, en vertu de laquelle il ne pourra parcourir dans le même tems qu'il parcourroit *AR*, qu'un eſpace $=AX$: mais les vîteſſes de deux corps qui ſe meuvent pendant des tems égaux, ſont entre elles comme les eſpaces parcourus (43); par conſéquent la vîteſſe du corps *A*, qui tomberoit librement, eſt à celle de ce même corps qui ſe mouvroit pendant le même tems ſur un plan incliné *EG*, comme $AR : AX$. Or $AR > AX$; puiſque *AR* eſt l'hypothéneuſe d'un triangle rectangle *AXR*, dont *AX* forme un côté. Donc l'eſpace parcouru par un mobile qui ſe meut ſur un plan incliné, eſt plus petit que celui qu'il parcourroit dans le même tems, s'il ſe mouvoit librement & perpendiculairement à l'horiſon.

LXXXIX. La vîteſſe avec laquelle

un corps tombe librement & perpendiculairement à l'horiſon, de la hauteur d'un plan incliné, eſt à la vîteſſe avec laquelle il ſe meut ſelon la longueur de ce plan; comme la longueur de ce plan, eſt à ſa hauteur.

Par la démonſtration précédente; nous avons la vîteſſe abſolue d'un corps, en vertu de laquelle il ſe meut librement, eſt à ſa vîteſſe relative par laquelle il ſe meut ſur un plan incliné, comme $AR : AX$. Prolongeant donc AR, juſqu'en P; nous aurons les triangles ſemblables ARX, RGP, qui nous donneront $AR : AX :: RG : RP$; mais les triangles GRP, GEF, ſont auſſi ſemblables; nous aurons donc encore $RG : RP :: EG : EF$; d'où l'on doit conclure $AR : AX :: EG : EF$. Or EG repréſente la longueur du plan, dont EF indique la hauteur. Donc la vîteſſe avec laquelle un corps tombe librement, ſelon la hauteur d'un plan incliné, eſt à celle avec laquelle il ſe meut, ſelon la longueur de ce plan; comme la longueur de ce plan, eſt à ſa hauteur. On peut donc dire en renverſant la proportion, que la vîteſſe avec laquelle il ſe meut ſelon la longueur de ce plan, eſt à celle avec laquelle il tombe librement ſelon ſa hauteur; comme la hauteur de ce plan eſt à ſa longueur.

On peut, à l'aide de cette proportion, aſſigner l'eſpace qu'un mobile parcourra ſur un plan incliné donné, dans le même tems qu'il parcourroit la hauteur de ce même plan, s'il tomboit librement par une ligne verticale.

Soit un plan incliné *AD* (*fig.* 12.), dont la hauteur ſoit repréſentée par la ligne *AB*. Nous venons de démontrer que la vîteſſe avec laquelle un mobile ſe meut, ſelon la longueur d'un plan incliné *AD*, eſt à celle ſelon laquelle il ſe meut librement ſelon ſa hauteur *AB*; comme cette hauteur *AB*, eſt à ſa longueur *AD*: or les tems étant égaux, les eſpaces parcourus ſont entr'eux, comme les vîteſſes (43.): donc les eſpaces parcourus, dans l'hypothèſe préſente, ſeront entr'eux; comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur.

Si on tire donc une perpendiculaire *BE* du pied de ce plan ſur ſa longueur *AD*, on trouvera qu'un mobile qui parcourroit la longueur *AD* du plan incliné, parviendroit en *E*, préciſément dans le meme tems qu'il parviendroit en *B*, s'il se mouvoit librement, selon la hauteur de ce même plan.

Par la démonstration précédente, la chute d'un mobile ou l'espace qu'il parcourt selon la longueur *AD*, est à celui qu'il parcourt librement, selon la hauteur *AB* :: *AB* : *AD*; or la perpendiculaire *BE*, nous donne deux triangles semblables, *ABE*, *ADB*; on a donc la proportion *AB* : *AD* :: *AE* : *AB*. Donc l'espace parcouru par un même mobile, selon la longueur *AD* du plan incliné *ADB*, est à l'espace qu'il percourt librement selon sa hauteur *AB* :: *AE* : *AB*. Donc ce mobile parviendra en *E*, en suivant la longueur de ce plan, dans le même tems qu'il parviendroit en *B*, s'il tomboit librement selon sa hauteur *AB*.

Si le même plan devenoit plus incliné, tel que *AC*, le mobile parcourroit la partie *AF* de sa longueur, dans le même tems qu'il parcourroit sa hauteur *AB*. A cause de la perpendiculaire *BF*, nous avons deux triangles semblables *ABF*, *ACB*. On aura donc *AB* : *AC* :: *AF* : *AB*. Donc, &c.

Donc si trois mobiles égaux en masse, partoient tous en même tems, du même point *A* (*fig.* 12.) l'un ſelon la direction *AB*; le ſecond ſelon la direction *AD*; & le troiſieme ſelon la direction *AC*; ils arriveroient tous les trois en même tems, le premier en *B*, le ſecond en *E*, & le troiſiéme en *F*.

Il ſuit delà que ſi ſur la hauteur commune des deux plans inclinés, dont nous venons de parler, on conſtruit un cercle dont cette hauteur *AB* ſoit le diametre (*fig.* 13); les points *E* & *F* des perpendiculaires *BE*, *BF*, ſe trouveront dans la circonférence de ce cercle, & conſéquemment les portions *AE*, *AF*, de ces deux plans ſeront deux cordes du même cercle, qui ſeront parcourues dans le même tems que le diametre *AB*. La même démonſtration a lieu pour toute autre corde quelconque du même cercle; d'où il ſuit que tout mobile qui ſe meut ſelon une des cordes quelconques d'un cercle, parcourt la longueur de cette corde, dans le même tems qu'il parcourroit librement le diametre perpendiculaire du même cercle.

XC. Un corps qui ſe meut ſelon la longueur d'un plan incliné, a acquis, lorſqu'il eſt parvenu à l'extrêmité de ce plan, une vîteſſe égale à celle qu'il eût acquiſe, s'il fût tombé librement ſelon la hauteur perpendiculaire de ce plan.

Soit le plan incliné *ACB* (*fig.* 14.) qui soit tel que sa longueur *AC*, soit double de sa hauteur *AB*; soit menée la perpendiculaire *BD*. Nous avons démontré (89.) qu'un mobile parcouroit la portion *AD* d'un plan incliné *ACB*, dans le même tems qu'il parcouroit sa hauteur perpendiculaire *AB*. Les tems étant donc égaux de part & d'autre, les vîtesses acquises en *B* & en *D*, seront entr'elles comme les espaces parcourus (43), c'est-à dire ; comme *AB* : *AD*; mais *AB* est double de *AD* ; car par la construction, on a fait *AC* double de *AB*, & à cause des triangles semblables *ACB*, *ABD*, on a *AC* : *AB* : : *AB* : *AD*. Or la vîtesse acquise par un mobile qui parcourroit *AC*, seroit double de celle qu'il acquerroit en parcourant *AD*; car nous avons trouvé (85 N°. 11.) que les vîtesses des corps qui se meuvent perpendiculairement à l'horison, sont en raison, soudoublées des espaces parcourus. Nous avons observé outre cela (88.), qu'on remarquoit les mêmes effets par rapport aux corps qui se mouvoient sur des plans inclinés. Cela posé, l'espace *AC*, par la construction, étant quadruple de l'espace *AD*; la vîtesse acquise, en parcourant *AC*, doit être double de celle qu'il acquiert en parcourant *AD*. La vîtesse qu'il acquiert en parcourant *AC*, doit donc être égale â celle qu'il acquiert en tombant librement selon la hauteur *AB*. Donc, &c.

XCI. Si un corps se meut & descend le long de plusieurs plans différemment inclinés à l'horison, mais contigus les uns aux autres, il aura acquis à la fin de sa chute une vîtesse égale à celle qu'il eût acquise, s'il fût tombé librement & perpendiculairement d'une hauteur égale à celle de tous ces plans.

Supposons un corps qui se meut sur les plans inclinés & contigus *AB*, *BC*, *CD* (*fig.* 15.). Par la démonstration précédente, ce mobile en parcourant le plan *AB*, acquiert une vîtesse égale à celle qu'il acquerroit s'il tomboit verticalement selon la hauteur *AE* de ce plan. Pareillement en parcourant le plan *BC*, sa vîtesse acquise est la même que s'il avoit parcouru la hauteur *BF* $=$ *EH* de ce plan. Enfin en parcourant le plan *CD*, il acquiert encore une vîtesse égale à celle qu'il acquerroit en parcourant *CG* $=$ *HI*. Donc les vîtesses acquises en parcourant les trois plans indiqués, sont égales à celles qu'il eût acquiſes, en parcourant librement les hauteurs $AE+EH+HI$, leſquelles priſes enſemble, donnent la hauteur de tous ces plans. Donc, &c.

Il ſuit delà que ſi un corps ſe meut & deſcênd dans une circonférence de cercle, il acquerra à la fin de ſa chute une vîteſſe égale à celle qu'il eût acquiſe, s'il fût tombé de la même hauteur perpendiculaire ; puiſque la circonférence du cercle eſt un poligone infinitaire, qu'on peut regarder comme une infinité de petites lignes droites, contiguës les unes aux autres, & repréſentant autant de petits plans inclinés.

Il ſuit delà qu'un corps ſuſpendu à l'extrêmité d'un fil, attaché à un point fixe par ſon autre extrêmité, & qui décrit des arcs de cercle, peut être conſidéré comme un corps, qui, d'une part, deſcend le long de pluſieurs plans inclinés, contigus, & d'une autre part, monte ſur des plans ſemblablement inclinés. Ce corps acquiert donc en parcourant l'arc de cercle, ſuivant lequel il deſcend, la même vîteſſe qu'il eût acquiſe, s'il fût tombé d'une même hauteur perpendiculaire ; il acquiert donc pendant ſa chute une force ſuffiſante pour remonter en ſens contraire à une hauteur double de celle d'où il eſt deſcendu (85. N°. 5.). Ce corps néanmoins ne pourra remonter qu'à la même hauteur, en parcourant en ſens contraire un arc ſemblable à celui qu'il a parcouru en deſcendant; puiſqu'étant encore ſoumis à l'action de la peſanteur, abſtraction faite de tout autre obſtacle, il ne peut parcourir ce ſecond arc que par un mouvement uniformément retardé (86.).

XCII. On donne le nom de *pendule* à tout corps qui eſt ainſi ſuſpendu à l'extrêmité d'un fil, ou d'une verge de métal; ſur l'autre extrêmité de laquelle il peut ſe mouvoir comme autour d'un centre. On appelle *mouvement oſcillatoire*, ou *d'oſcillation* le mouvement d'un tel corps. On donne le nom de *vibration*, au mouvement par lequel un pendule décrit un arc de cercle, ou de toute autre courbe, ſoit en montant, ſoit en deſcendant.

XCIII. Toutes les vibrations d'un même pendule, ſoit qu'il décrive de petits ou de plus grands arcs, pourvu néanmoins que ces arcs ne ſoient point trop grands; toutes ces vibrations, dis-je, sont sensiblement *isochrones*; c'est-à-dire, qu'elles s'exécutent toutes sensiblement dans le même tems.

Nous avons démontré (89.) que toutes les cordes d'un même cercle étoient parcourues dans le même tems : or les petits arcs de cercle différent très-peu des cordes qui les sous tendent. Par conséquent toutes les vibrations d'un pendule qui décrit de petits arcs, sont sensiblement isochrones.

Suspendez à deux fils de même longueur, deux billes d'ivoire, ou de toute autre matiere, vous aurez alors deux pendules égaux. Elevez chacune de ces billes en sens contraire ; l'une par un arc de 6 degrés, l'autre par un arc de 3 degrés : abandonnez-les en même tems à elles-mêmes ; & vous observerez qu'elles se rencontreront & qu'elles se choqueront dans le point le plus bas de leur suspension.

XCIV. La matiere du pendule ne contribue en rien à la longueur du tems qu'il emploie à faire ses vibrations. Car si un pendule fait d'une matiere spécifiquement moins pesante que celle d'un autre pendule, éprouve un plus grand déchet dans son mouvement, de la part du milieu qu'il eſt obligé de traverſer ; il s'enſuit ſeulement que ſa vîteſſe ſera plus ralentie, & qu'il parcourra de plus petits arcs, que l'amplitude de ſes vibrations ſera plus petite ; mais il employera toujours le même tems à exécuter chacune de ſes vibrations, que s'il étoit fait d'une matiere plus peſante.

Suſpendez à des fils de même longueur deux billes de même diametre, mais dont l'une peſe beaucoup plus que l'autre : vous aurez deux pendules de même longueur : ces pendules étant diſpoſés parallelement l'un à l'autre, élevez chacune des billes par des arcs ſemblables, & abandonnez-les en même tems à elles-mêmes : vous obſerverez que leurs vibrations ſe feront une pour une ; c'eſt-à-dire, dans le même tems, quoique l'amplitude des vibrations de l'une devienne en peu de tems, beaucoup plus petite que celle des vibrations de l'autre.

XCV. Les vibrations des pendules ſont donc iſochrones, lorſque ces pendules ſont de même longueur ; mais ſi les longueurs des pendules ſont différentes ; alors la durée de leurs vibrations

tions devient différente ; car les vibrations de plusieurs pendules de différentes longueurs, sont entr'elles, quant à leur durée, comme les racines quarrées de la longueur de ces pendules.

Le rayon *AB* du grand cercle (*fig.* 16.) est quadruple du rayon *DB*, du petit cercle. Donc un corps quelconque qui tombera perpendiculairement & librement, en un instant, de la hauteur du rayon *DB* du petit cercle, employera deux instans, à tomber librement de la hauteur *AB* du rayon du grand cercle; puisque ces tems sont entr'eux en raison soudoublée des espaces parcourus (85.) ; mais nous avons démontré (89.) qu'un corps qui parcouroit la corde d'un cercle, la parcouroit dans le même tems qu'il employeroit à tomber verticalement de la hauteur de son diametre; donc un mobile qui parcourra la corde *GB* du grand cercle, mettra deux fois plus de tems à la parcourir, que la corde *FB* du petit cercle. Or comme les petits arcs ne différent point sensiblement de leurs cordes, un pendule qui parcourra un arc dans un cercle dont le diametre sera quadruple de celui d'un autre, mettra une fois plus de tems à parcourir cet arc. Mais les longueurs des pendules sont entr'elles comme les diametres des cercles dans lesquels ils se meuvent : donc les vibrations des pendules de différentes longueurs, sont entr'elles, quant à leur durée, comme les racines quarrées de leurs longueurs.

Il reste encore bien des choses à observer sur cette matiere, relatives surtout aux imperfections des pendules & aux différentes méthodes qu'on a imaginées, en différens tems, pour y remédier ; mais ce détail nous conduiroit trop loin. On pourra consulter à cet égard, ce que MM. *Hughens*, *Leroi*, & quelques autres ont écrit dans les Mém. de l'Acad. des Sciences.

XCVI. Après avoir développé les différens phénomènes de la pesanteur, il nous reste encore à parler de la nature de cette force. C'est la cinquiéme question que nous nous sommes proposée (80.). Les Physiciens ne sont point d'accord entr'eux sur cela : les uns la regardent comme l'effet de l'impulsion d'une matiere fluide qui circule autour de notre globe. Les autres la regardent comme une loi constante

Le nombre des vibrations est en raison inverse de la racine quarrée des longueurs des pendules; par conséquent connoissant le nombre des vibrations que feroient dans le même temps deux pendules différens en longueur, il est aisé de connoître la longueur d'un des deux, celle de l'autre étant connue de la nature, qui ne reconnoît d'autre méchanisme que la volonté suprême du Créateur.

En examinant cette question de près, il ne paroît pas possible de faire dépendre les effets de la pesanteur de l'impulsion d'un fluide qui circule autour de notre globe, & qui est interposé entre le soleil & la terre; car comme le remarque très-bien M. *Bouguer* (a), les effets de la gravité demeurent constamment les mêmes, dans les mêmes endroits, soit que la terre soit aphélie ou périhélie, soit qu'elle soit dans les équinoxes ou dans les solstices : or si les effets de la gravité dépendoient d'un fluide ambiant interposé entre le soleil & la terre; ces effets seroient nécessairement plus grands, lorsque la terre seroit périhélie, que lorsqu'elle seroit aphélie.

Ce sentiment néanmoins trouve encore de célébres défenseurs qui se fondent, d'après *Descartes*, sur un principe incontestable à la vérité, & que nous démontrerons plus bas; sçavoir, que si plusieurs corps circulent dans un même

(a) Bouguer, figur. de la terre, pag. 336.

espace, d'où ils ne puissent s'échapper, l'excès de force centrifuge des uns, occasionnera la force centripéte des autres.

D'après ce principe, *Descartes* (*a*) admet un tourbillon de matiere fluide qui circule autour de notre globe, dans la direction de l'équateur. Il prétend que ce fluide jouit d'une vîtesse beaucoup plus grande que celle qui emporte avec la terre tous les corps qui appartiennent à sa surface, ou qui s'élevent à quelque hauteur au-dessus de cette surface, & que cet excès de vîtesse lui donnant plus de force centrifuge, occasionne la force centripéte de ces corps.

Cet habile Physicien étoit si persuadé de la vérité de son systême, qu'il osa même défier l'expérience de le démentir. Ce fut lui qui proposa de remplir d'eau, ou de tout autre fluide un globe creux de cristal, & d'introduire dans ce globe quelques corps spécifiquement moins pesans que ce fluide. Il prétendit que si on faisoit tourner ce globe rapidement sur son axe, le fluide ayant

(*a*) Princip. de la Phys. part. 4.

plus de masse, acquerroit plus de force centrifuge dans sa rotation, & qu'il porteroit au centre du globe les corps legers qu'on feroit mouvoir avec lui.

Le célébre *Hughens* démontra la fausseté de cette idée, même avant d'avoir répété l'expérience. Cet habile Physicien comprenoit très-bien que ces différens corps légers devoient tomber dans l'axe & non au centre, comme nous allons le démontrer.

Concevez une sphére creuse *ABCD*, (*fig.* 17.) remplie d'eau, & dans laquelle on ait laissé une petite masse d'air; ce fluide, comme plus léger, se tiendra vers la partie supérieure de la sphére établie entre les deux poupées d'un tour, & occupera un petit segment de sphere *B*. Si on fait tourner ce globe rapidement sur son axe *EC*, la petite masse d'air se divisera en plusieurs petits globules, par rapport aux chocs que lui feront éprouver les parties du liquide qui seront mises en mouvement par la rotation de la sphére : ces petits globules se distribueront dans toute l'étendue de la masse d'eau, en supposant l'axe du globe parallele à l'horison : mais cette masse d'eau peut être considérée comme un assemblage de cercles paralleles à l'Equateur, & enfilés sur le même axe; par conséquent les globules qui se trouveront dans ces différens cercles, maîtrisés par l'excès de la force centrifuge de ces cercles liquides, seront portés au centre de leur rotation particuliere : ils tomberont donc tous dans l'axe, & non au centre de la sphere.

XCVII. L'idée de *Descartes* étoit trop ingénieuse pour qu'on pût se résoudre à l'abandonner aisément, quoiqu'on fût persuadé de sa fausseté. M. *Hughens* lui-même embrassa cette hypothése avec complaisance : il imagina plusieurs tourbillons au lieu d'un seul, & il les fit mouvoir en différens sens, suivant qu'il le crut nécessaire, pour rendre raison de tous les phénomènes qui devoient en dépendre. Son hypothese trop compliquée & exposée à des contradictions manifestes, ne fut point long-tems en crédit : elle ne découragea pas néanmoins les Physiciens, & on n'abandonna pas pour cela le parti de *Descartes*; car l'Acad. des Scien. proposa pour prix de 1728 la maniere d'expliquer les effets de la pesanteur, dans l'hypothèse de *Descartes*. Parmi les différens mémoires qu'on envoya à l'Académie, celui de M. *de Bulfinger* fut couronné, non pas comme satisfaisant à la question, mais comme extrêmement ingénieux. Cet habile Physicien ne suppose que deux tourbillons autour de la terre; l'un desquels se meut d'Occident en Orient, & l'autre du Midi au Septentrion. Dans cette hypothèse, les corps qui sont élevés & abandonnés à eux-mêmes au-dessus de la surface de la terre, étant maîtrisés par deux puissances, dont l'une; sçavoir, le tourbillon qui se meut d'Occident en Orient, les dirige vers l'axe de la terre, & l'autre; sçavoir, le tourbillon qui se meut du Midi au Septentrion, les dirige vers l'Equateur; ces corps, dis-je, sollicités à se mouvoir selon deux directions disparates, ne peuvent se prêter à l'action de ces deux puissances, qu'en suivant une direction moyenne, entre celles que les deux tourbillons tendent à leur imprimer (77.), laquelle les porte au centre de la terre.

Pour rendre cette idée plus sensible, soit le cercle *ABCD* (*fig.* 18.), repréſentant le globe terreſtre : que la ligne *BD*, tienne lieu de l'axe de ce globe, & que la ligne *AC*, repréſente ſon Equateur : enfin que la ligne *RS*, ſoit conſidérée comme un de ſes tropiques : cela poſé, ſi un corps eſt abandonné à lui-même au point *R* ; en vertu de l'action du tourbillon qui circule du Midi au Septentrion, il ſera porté au point *I* de l'Equateur *AC* : pareillement en vertu de l'action de tourbillon qui ſe meut d'Occident en Orient, ce mobile ſera porté au point *G* de l'axe *BD* : il ſuivra donc une ligne moyenne *RZ*, entre ces deux directions, & il ira par une perpendiculaire au centre *Z* de la terre (*a*).

La fauſſeté de cette hypothèſe ſe ſaiſit aiſément ; car il n'y a perſonne qui ne conçoive que deux tourbillons de matiere fluide, dont les mouvemens ſe croiſent à angle droit, ſe nuiſent néceſſairement & ſe détruiſent mutuellement, après une certaine durée de tems, s'ils agiſſent à forces égales : ſi on ſuppoſe qu'ils agiſſent avec des forces inégales, il paroît évidemment

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences, an. 1741.

que celui des deux dont la force sera supérieure, détruira totalement son antagoniste, & que le premier ne se mouvra plus ensuite, qu'avec son excès de force, & conséquemment l'effet que nous venons d'indiquer ne pourra plus avoir lieu.

Toutes les corrections qu'on a faites jusqu'à présent à l'hypothese de *Descartes*, ne sont donc point suffisantes, pour qu'on puisse raisonnablement rapporter les phénomènes de la pesanteur à la pression d'un fluide qui circuleroit autour de notre globe.

XCVIII. Ceux qui ont recours à l'attraction pour rendre raison de ces phénomènes, n'expliquent point à la vérité la nature de cette cause. Ils avouent ingénument leur ignorance à cet égard. Ils supposent seulement que c'est une loi universelle, puisqu'elle se décele dans tous les phénomènes que nous observons; supposition qui n'exige rien qu'on ne puisse admettre, jusqu'à ce que nous ayons reculé assez loin les bornes de notre ignorance, pour dévoiler un secret qui a échappé jusqu'à présent aux recherches les plus exactes des plus célèbres Physiciens, & à l'aide de laquelle on peut pousser très-loin les découvertes physiques ; puisqu'on parvient, par son moyen, à déterminer non-seulement l'intensité de cette cause; mais encore les loix selon lesquelles elle agit, & que tous les phénomènes viennent ensuite se ranger comme d'eux mêmes, selon l'ordre & l'enchaînement qui leur convient, & qu'outre cela, les difficultés inséparables de tout autre systême, s'évanouissent aussi-tôt.

XCIX. Quoique nous ne connoissions point encore la nature de la cause dont il est ici question, nous ne pouvons disconvenir néanmoins que tous les corps exercent une attraction mutuelle les uns contre les autres. Outre ce que nous avons déja fait remarquer à cet égard (5.), voici encore une observation que firent ensemble MM. *de la Condamine* & *Bouguer* (*a*), qui manifeste l'existence de cette cause. Ces deux célébres Académiciens ayant placé un pendule auprès de la montagne Chimboraco au Pérou, remarquerent que ce pendule s'éloignoit de la perpendicu-

(*d*) Figur. de la terre, sect. 7.

laire, & faisoit avec elle un angle de 7 à 8 m″; preuve sensible que ce pendule étoit maîtrisé par la force attractive de la montagne.

Nous en tenant seulement à l'existence de cette cause, voici la loi générale selon laquelle elle agit sur les corps qu'elle maîtrise à quelque distance. *Cette force est en raison directe des masses, & en raison inverse du quarré des distances.*

Le célèbre Chancelier *Bacon* (*a*), dont tout le monde connoît l'esprit industrieux pour la perfection des sciences & des arts, soupçonnant cette force attractive, & que son intensité devoit augmenter à proportion qu'on approche davantage de son centre d'activité, vouloit qu'on plaçât des pendules sur les endroits les plus élevés & dans les lieux les plus profonds, & qu'on examinât avec soin, le nombre de vibrations que ces pendules feroient dans un tems donné, & dans des endroits aussi éloignés les uns que les autres. C'est ce que firent, dans une autre vue cependant, MM. *de la Condamine* & *Bouguer*. Le

(*a*) *Novum scientiarum organum.*

premier ayant porté un pendule à différentes hauteurs, compta le nombre de vibrations que ce pendule faisoit en 24 heures. Le second considéra les différentes longueurs qu'il falloit donner à un pendule dans toutes ces situations différentes, & si les résultats ne furent pas rigoureusement conformes à la loi que nous venons d'établir ; ils s'en éloignerent très-peu, & on doit rapporter ces différences à l'irrégularité de la figure de la terre, & au défaut d'uniformité dans sa solidité : peut-être même que la température de l'air, si différente dans de tels endroits, contribuoit à ce défaut d'exactitude.

C. Le mouvement de la lune autour de la terre, son approximation vers ce globe, dans un tems donné, comparée à l'espace que parcourent en s'approchant de ce globe, les corps qui sont à sa surface, est encore une nouvelle preuve de la loi dont il est ici question.

On sçait que la distance moyenne de la lune au centre de la terre, est de 60 demi-diametres du globe terrestre, & que les corps qui sont à sa surface, ne sont éloignés de ce même centre que d'un seul demi-diametre. Leurs diſtances à ce centre ſont donc entr'elles, dans le rapport de 60 à 1, dont les quarrés ſont 3600 & 1. Or la lune s'approche dans un tems donné 3600 fois moins du centre de la terre, qu'un corps qui eſt élevé à une petite diſtance au-deſſus de ſa ſurface.

En effet ſuivant les obſervations de M. *Hughens*, on ſçait que dans notre climat, les corps ne s'approchent que de 15 pieds du centre de la terre, pendant la premiere ſeconde de leur chûte. On ſçait auſſi par un calcul aſſez aiſé à faire, que la lune emploie une minute ou 60″ pour s'approcher de 15 pieds du centre de notre globe; mais comme les eſpaces parcourus en vertu de la peſanteur, ſont entr'eux comme les quarrés des tems employés à les parcourir (86. N°. 10.); un corps qui parcourt 15 pieds dans la premiere ſeconde de ſa chûte, en parcourt 54000 en 60″ = 1′. Car en faiſant une proportion d'après ce principe, on trouve $1'' \times 1'' : 60'' \times 60'' :: 15 : x$, & en mettant les valeurs, on a $1 : 3600 :: 15 : 54000$. Un eſpace de 54000 pieds eſt donc 3600 fois plus grand qu'un eſpace de 15 pieds. La lune s'approche donc 3600 fois moins, dans un tems donné du centre de la terre, qu'un corps qui tombe librement vers la surface de ce globe. Donc la force de la pesanteur qui maîtrise ces deux corps, suit quant à son intensité, la raison inverse du quarré de leurs distances, à son centre d'activité.

CI. Pour terminer ce que nous nous sommes proposés de dire sur la Dynamique, il nous reste encore à parler du mouvement mixte. Ce mouvement est celui qui participe du mouvement uniforme & non uniforme, soit accéléré, soit retardé. Cette espéce de mouvement se remarque dans tous les corps qu'on lance dans une direction parallele, ou oblique à l'horison, & dans tous ceux qui se meuvent dans une courbe quelconque. Nous parlerons ici des corps qui se trouvent dans ces deux espéces de situations.

CII. Nous remarquons constamment qu'un corps lancé dans une direction parallele à l'horison, ne conserve point la direction qu'on lui a imprimée. Il en est de même de ceux qu'on lance obliquement à l'horison : ce qui vient de ce que ces corps sont alors soumis à l'action de la pesanteur, qui tend constamment à les ramener vers le centre de la terre. La force qu'on leur imprime pour se mouvoir, est connue sous le nom de *force projectile*.

Il suit de-là, qu'un corps mis en mouvement en vertu d'une force projectile, qui le détermine selon une direction parallele, ou oblique à l'horison, décrit nécessairement une courbe; puisqu'à chaque instant qu'il se meut, il est obligé de se prêter à deux impressions différentes, dont l'une le détermine à se mouvoir uniformément, (abstraction faite de la résistance des milieux,) selon une direction parallele, ou oblique à l'horison; & l'autre d'un mouvement non uniforme, selon une direction perpendiculaire à l'horison.

Supposons en effet qu'un mobile quelconque soit déterminé à se mouvoir en vertu d'une force projectile, selon la direction *AB* (*fig.* 19.) de façon qu'à chaque instant, il doive parcourir des espaces égaux, *AC*, *CP*, *PQ*; dès l'instant que ce mobile sera abandonné à lui-même, il sera soumis à l'action de la pesanteur, qui le déterminera selon la perpendiculaire *A Z*, au centre de la terre. Supposons que cette derniere force tende à lui faire parcourir la ligne *A D*, dans le premier instant; il sera donc alors soumis à deux forces, dont l'une le sollicitera en *C*, & l'autre en *D* : il composera donc son mouvement, & il décrira la diagonale *A E*, du parallélogramme construit sur les deux directions *AC*, *AD*. Si lorsqu'il est parvenu en *E*, la pesanteur cessoit d'agir sur lui, il continueroit à se mouvoir selon la même direction, & il parcourroit la ligne *EH*=*AE* : mais parvenu en *E*, à la fin du premier instant, la force de la pesanteur se fait encore sentir pendant le second instant, & le détermine à se mouvoir d'*E* en *F*= 3 *AD* (85.). Le mouvement de ce mobile devient donc encore composé des deux directions *E G* = *CP* = *A C*., en vertu de la force projectile, & *E F* en vertu de la pesanteur : il doit donc décrire, pendant ce second instant, la diagonale *E I*. Parvenu au point *I*, si l'action de la pesanteur devenoit nulle, il suivroit la même direction, & il parcourroit, pendant le troisieme instant, la ligne

IM=*EI* : mais comme la pesanteur le maîtrise encore, & le sollicite à se mouvoir d'*I* en *N*=5 *AD*, son mouvement doit encore se composer des deux directions *IL*=*PQ*=*PC*=*CA*, selon la projectile, & *IN*; il doit donc pendant ce troisieme instant, parcourir la diagonale *IO*, &c.

Les diagonales *AE*, *EI*, *IO*, sont toutes inclinées les unes aux autres, & représentent chacune le mouvement du mobile, pendant un tems fini & déterminé, en vertu des deux forces qui le maîtrisent, & qui se combinent ensemble : mais chaque instant fini & déterminé, est composé d'un nombre infini d'instans infiniment petits, pendant lesquels les deux forces se combinent continuellement ensemble. Le mouvement de ce mobile doit donc être représenté par un nombre infini de petites diagonales infiniment petites, contiguës & inclinées les unes aux autres : or une telle sorte de diagonales infiniment petites, forme une courbe. Donc le mobile qui obéit en même-tems à l'impulsion d'une force projectile, & à celle de la pesanteur, décrit une courbe.

CIII. Presque tous les Mathématiciens prétendent que la courbe que décrit un mobile, en pareille circonstance, est une véritable parabole. Ils démontrent que les quarrés des ordonnées à l'axe de cette courbe, sont entr'eux, comme les abscisses correspondantes.

En effet, en considérant *AS* comme l'axe de cette courbe, *AD*, *AR*, *AS*, en seront les abscisses, & *DE*, *RI*, *SO*, seront les ordonnées : or par la construction on a $AD : AR : AS :: DE^2 : RI^2 : SO^2$. Donc, &c.

CIV. Mais cette propriété convient-elle rigoureusement à la courbe que décrivent les corps qu'on lance, soit parallelement, soit obliquement à l'horison. C'est ce dont on ne convient pas unanimement.

1°. Il faudroit pour cela que les lignes *AD*, *BF*, *IN*, qui représentent les directions de la force accélératrice, fussent paralleles entr'elles ; ce qui est contre la nature de cette force, qui détermine les corps au centre des graves ; ce qui fait que ces lignes sont nécessairement convergentes vers le centre de réunion.

2°. Il faudroit que les espaces parcourus, en vertu de la force projectile, fussent égaux ; ce qui ne peut être rigoureusement vrai, eu égard à la résistance que tout milieu oppose au mouvement d'un mobile.

3°. Il faudroit que les espaces parcourus, en vertu de la force accélératrice, fussent entr'eux comme les quarrés des tems ; condition à laquelle s'oppose encore davantage la résistance des milieux.

Aussi le célebre *Newton* observe-t-il que la courbe que décrivent les corps, soumis aux deux impulsions dont il est ici question, approche davantage de l'hyperbole, que de la parabole (*a*).

Néanmoins lorsque la chute des corps ne se fait pas d'une trop grande hauteur, ces trois obstacles se réduisent à bien peu de choses. Le centre de la terre étant éloigné de 1500 lieues de la surface de ce globe, le défaut de parallélisme des lignes *AD*, *EF*, *IN*, n'est point assez sensible pour mériter quelque considération dans la Pratique. M. *Blondel* (*b*), ayant calculé cette irré-

(*a*) Princip. L. 1.

(*b*) Mém. de l'Acad. an. 1618.

gularité, trouva qu'elle n'occasionnoit qu'une erreur de 5 pouces $\frac{1}{2}$, sur 2500 toises, que doit faire parcourir à un mobile, une bouche à feu pointée horisontalement, sur le sommet d'une montagne élevée de 100 toises. Les deux autres erreurs occasionnées par la résistance des milieux, vont encore à très-peu de choses dans des chûtes, telles que celles que peuvent occasionner toutes les bouches à feu, dont on peut faire usage.

Si on répete cette expérience en petit, en laissant tomber une balle de métal, d'une goutiere dont l'extrémité inférieure aboutira au point *A* (*fig.* 19.), on verra que cette balle décrira dans sa chûte une véritable parabole.

CV. Quoique la force projectile, combinée avec la force accélératrice, fasse décrire des paraboles aux corps qui sont soumis à nos différentes opérations; il peut se faire que ces deux forces soient tellement combinées entr'elles, qu'elles fassent décrire à ces corps une courbe toute différente. C'est ce que nous remarquons dans les corps qui se meuvent circulairement autour d'un centre. C'est ce que nous obser-vous dans les corps céleſtes, qui décrivent des ellipſes autour du ſoleil, &c. Nous ne conſidérerons ici, que le mouvement des corps qui ſe meuvent ſelon des circonférences de cercle.

CVI. Tout corps qui parcourt le périmètre d'un polygone quelconque, change autant de fois, moins une, de direction, que le polygone a de côtés.

Suppoſons qu'un mobile ſoit déterminé à ſe mouvoir ſelon le côté *AB* d'un pentagone *ABCDE* (*fig.* 20.) : il eſt conſtant que lorſque ce mobile ſera parvenu au point *B*, il continuera à ſe mouvoir ſelon la direction *Bb*; puiſque tout corps tend conſtamment à ſe mouvoir en ligne droite (49.). Il ne peut donc prendre la direction *BC*, du ſecond côté, qu'il n'y ſoit déterminé par une cauſe étrangere, qui le détourne de la direction *Bb* : ce même mobile parvenu au point *C*, continuera à ſe mouvoir ſelon la direction *Cc*, s'il ne ſe rencontre une ſeconde cauſe, qui le dirige ſelon le côté *CD*, & ainſi de ſuite : il ne pourra donc parcourir le périmètre de ce polygone, qu'il ne change quatre fois de direction ; par conſéquent un corps ne peut décrire le périmètre d'un polygone, qu'il ne change autant de fois, moins une, de direction, que le polygone a de côtés. Il ſuit de-là :

1°. Qu'un corps ne peut parcourir le périmètre d'un polygone quelconque, qu'il ne ſoit détourné à l'extrêmité de chaque côté, de la direction qu'il tend à ſuivre.

2°. Qu'un corps ne peut parcourir la circonférence d'un cercle, qu'il ne ſoit détourné, à chaque inſtant, de la ligne droite qu'il tend à ſuivre ; puiſque le cercle eſt un polygone infinitaire, dont tous les côtés adjacens ſont infiniment petits.

3°. Tout corps qui ſe meut circulairement autour d'un centre, tend donc à chaque inſtant à s'éloigner du centre de ſa rotation par une tangente à chacun des points du cercle qu'il décrit ; puiſqu'il tend conſtamment à ſuivre la direction de chacun des côtés infiniment petits de ce cercle.

CVII. On nomme *force centrifuge* ; cette force qui détermine un corps, qui ſe meut circulairement, à s'éloigner par une tangente. Cette force eſt opposée à celle qui tend constamment à ramener le mobile vers le centre de sa rotation, & qu'on appelle à cause de cela, *force centripete.* Ces deux forces opposées subsistent néanmoins ensemble dans les corps qui se meuvent circulairement, ou dans toute autre courbe rentrante quelconque. Ce sont elles qui entretiennent, par leur opposition, l'harmonie des spheres célestes, & qui conservent chaque planete dans l'orbe qu'elle doit décrire.

CVIII. Nous démontrons par plusieurs expériences que tous les corps qui se meuvent circulairement, tendent à s'échapper du centre de leur rotation, par une tangente à chacun des points du cercle qu'ils décrivent.

1°. Si on fait mouvoir à l'extrêmité d'une fronde, un vase ouvert & rempli d'eau; quoique l'ouverture de ce vase se trouve renversée perpendiculairement à l'horison, lorsqu'il est parvenu au zénith de sa rotation, & que l'eau tende, en vertu de son poids, à tomber par cette ouverture; la force centrifuge qu'elle acquiert, par la circulation du vase, l'y retiendra fortement, & l'appliquera contre le fond de ce vase.

2°. Si on enfile deux billes d'ivoire *A*, *B* (*fig.* 21.) sur un fil de métal, bandé entre les deux extrêmités *C* & *D*, d'un portant *EF*, établi sur une poulie *G*; & qu'après avoir placé ces deux billes de chaque côté, au de-là du centre *H* de la poulie; on fasse mouvoir circulairement ce portant par le moyen d'une roue *I*, disposée de maniere à le faire mouvoir horisontalement : ces deux billes participeront au mouvement circulaire de cette machine : en vertu de la force centrifuge qu'elles acquerront dans ce mouvement, elles s'échapperont l'une & l'autre du centre *H* de leur mouvement, & elles iront frapper les deux extrêmités *C* & *D* du portant.

3°. Si on établit sur un semblable portant une espéce de réservoir *A*, (*fig.* 22.) aux parties latérales *B* & *C* duquel sont adaptés deux tubes communicans *BD*, *CE*, renflés vers leurs extrêmités *D*, *E*, & qu'après avoir rempli d'eau le réservoir *A*, on le fasse mouvoir circulairement; l'eau qu'il contient acquérant par sa rotation une force centrifuge, s'échappera par les ouvertures latérales, & se portera dans les boules *D*, *E*, qui terminent les tubes communicans.

Il n'y a donc aucun corps ſolide ou liquide, qui n'acquiére une force centrifuge, lorſqu'on le fait mouvoir circulairement.

CIX. Cette force cèntrifuge eſt toujours proportionnelle à la maſſe du corps qui circule : elle augmente auſſi lorſque ſa vîteſſe augmente.

Enfilez ſur un fil de métal deux billes d'ivoire (*fig.* 21.), dont les maſſes ſoient différentes : attachez ces deux billes enſemble, à l'aide d'un fil de ſoie, ou de lin : écartez-les l'une & l'autre à la même diſtance du centre de leur mouvement, afin que placées aux extrêmitez de rayons égaux, elles acquiérent la même vîteſſe, & vous obſerverez que la force centrifuge de la plus groſſe maſſe, ſera plus grande que celle de la petite, puiſqu'elle vaincra la tendance de cette derniere, à ſe porter vers l'extrêmité de ſon rayon vecteur, & qu'elle l'entraînera avec elle.

Réitérez la même expérience en plaçant la plus groſſe bille à une très petite diſtance du centre du mouvement, & la plus petite à une diſtance beaucoup plus éloignée : ces deux billes acquerront des vîteſſes qui ſeront entr'elles, comme leurs diſtances au centre de leur rotation, & vous obſerverez que la plus petite bille entraînera la plus groſſe ; ce qui prouve l'excès de ſa force centrifuge, & conſéquemment que cette force augmente, lorſque la vîteſſe du corps qui circule augmente.

CX. Mais ſelon quel rapport la maſſe & la vîteſſe concourent-elles à augmenter la force centrifuge ? C'eſt ce que nous allons examiner le plus ſuccinctement qu'il ſera poſſible.

La force centrifuge d'un corps qui ſe meut circulairement, croît directement comme ſa maſſe, c'eſt-à-dire, que ſi deux ou pluſieurs corps ſe meuvent circulairement, & qu'ils ne différent entr'eux que par leurs maſſes, leurs forces centrifuges ſeront entr'elles comme leurs maſſes. Donc les forces centrifuges de deux corps qui auront même vîteſſe & même maſſe, ſeront égales. La démonſtration de ce corollaire emporte avec elle celle de la propoſition générale, d'où il eſt tiré ; & je ne préfére ici celle du corollaire, que parce qu'elle se prête plus aisément à l'expérience.

Enfilez sur un même fil de métal (*fig.* 21.) deux billes de même masse ; liez les ensemble, à l'aide d'un fil un peu long : placez-les l'une & l'autre à la même distance du centre du mouvement, & vous observerez qu'en faisant tourner le portant, ces deux billes feront effort pour s'échapper vers les deux extrémités de ce portant, & que le fil qui les unit étant bandé entr elles deux, elles demeureront fixes à des distances égales du centre du mouvement.

Si la force centrifuge d'un corps qui se meut circulairement, croît directement comme sa masse, toutes choses égales d'ailleurs ; elle ne suit pas la même proportion, quant à sa vîtesse ; car cette force est comme le quarré de la vîtesse divisée par le diametre du cercle que décrit le mobile.

Pour démontrer la vérité de cette proposition, il faut établir comme principe, que la force centrifuge d'un corps qui parcourt la circonférence d'un cercle, est égale à sa force centripete.

En effet, la courbure du cercle eſt uniforme dans toute ſon étendue : un mobile qui parcourt une circonférence de cercle, ne s'approche donc, ni ne s'éloigne pas davantage du centre de ce cercle, dans aucun des points de ſa circonférence : il y a donc toujours équilibre entre la force centrifuge & la force centripete : ces deux forces ſont donc égales : or la force centripete eſt égale au quarré de la vîteſſe, diviſée par le diametre du cercle.

Conſidérons pour un moment la peſanteur comme une force uniforme, quoique de ſa nature elle ſoit accélératrice : or en la conſidérant comme uniforme, on trouve qu'elle eſt égale au quarré de la vîteſſe diviſée par le rayon. Cette force étant de ſa nature accélératrice, ne ſera donc réellement que ſoudouble, & conſéquemment égale au quarré de la vîteſſe diviſée par le diametre.

Repréſentons en effet la circonférence du cercle par l'octogone *BCEGHIK* (*fig.* 23.) ſoient tirés les rayons *AE*, *AC*; ſoit prolongé le côté *BC* juſqu'en *D*; de façon que *CD*=*BC*; ſoit abaiſſée de l'extrêmité *D*, la ligne *DE*, parallele au rayon *CA*; ſoit enfin tirée du point E, la ligne EF, parallele à CD.

Cela posé, la force centripete du mobile qui parcourt la circonférence du cercle représenté par l'octogone indiqué, étant exprimée par $CF = DE$, & la vîtesse du même mobile étant désignée par le côté CE; on aura $CF = \frac{CE^2}{CA}$ car les triangles isocelés ACE, CDE, sont semblables. Leurs côtés homologues sont donc proportionnels. On aura donc $CA : CE :: CE : DE$; mais par la construction $DE = CF$. Donc en substituant, on aura $CA : CE :: CE : CF$. Donc $CF = \frac{CE^2}{CA}$. Mais, comme nous l'avons déjà observé, la force centripete est une force accélératrice, & qui conséquemment n'étant que soudouble de la valeur que nous venons de trouver; son expression sera $CF = \frac{CE^2}{2CA}$. La force centrifuge étant égale à la force centripete dans le cercle, la même expression suffira pour désigner ces deux forces.

CXI. On connoîtra la vîtesse d'un mobile qui parcourt la circonférence d'un cercle, fi on connoît le diametre de ce cercle : car *Hughens* a démontré que la vîteffe d'un mobile qui parcourt la circonférence d'un cercle, eft égale à celle qu'il auroit acquife, s'il fût tombé d'une hauteur égale au quart du diametre de ce cercle.

Pour l'intelligence de cette démonftration, défignons le rayon du cercle par la lettre initiale R.

La vîteffe par V.

La force accélératrice par F.

Le tems par T.

1°. L'efpace parcouru en vertu d'une force accélératrice, eft en raifon compofée de la force accélératrice & du quarré du tems, c'eft-à-dire, qu'on a, $\frac{1}{2} R = FTT$, ou $R = 2FTT$.

2°. La vîteffe acquife à la fin du tems défigné par T, ou à la fin de l'efpace exprimé par $\frac{1}{2} R$, eft double de la vîteffe, en vertu de laquelle le mobile parcourt $\frac{1}{2} R$ dans le même tems. On a donc $V = \frac{R}{T}$. Donc en fubftituant, on aura $V = 2FT$. Donc $T = \frac{V}{2F}$, & conféquemment $TT = \frac{VV}{4FF}$; par conféquent fi dans l'équation $R = 2FTT$, on fubftitue la valeur de TT, on aura $\frac{1}{2} R = \frac{FVV}{4FF}$ En ſimplifiant, on aura $\frac{1}{2} R = \frac{VV}{4F}$. Donc $VV = {}^2FR$; par conſéquent V, ou la vîteſſe acquiſe à la fin de l'eſpace exprimé par $\frac{1}{2} R = \sqrt{{}^2FR}$. Reſte à démontrer qu'un mobile qui décrit la circonférence d'un cercle, jouit d'une vîteſſe qui doit être exprimée par $\sqrt{{}^2FR}$. Or la force centripete qui retient un mobile dans la circonférence d'un cercle, ou $F = \frac{VV}{2R}$ (110.). Donc $VV = {}^2FR$. Donc $V = \sqrt{{}^2FR}$.

D'où il ſuit que la vîteſſe d'un mobile qui parcourt la circonférence d'un cercle, eſt égale à celle qu'il eût acquiſe, s'il fût tombé de la hauteur d'un demi-rayon de ce cercle.

CXII. L'expreſſion de la force centrifuge dans le cercle, étant $F = \frac{VV}{2R}$; ſi deux corps ſe meuvent dans deux cercles inégaux & avec des vîteſſes inégales, on exprimera la force centrifuge de l'un par $F = \frac{VV}{2R}$, & la force centrifuge de l'autre par $f = \frac{vv}{2r}$, & le rapport de leurs forces sera comme celui de leurs expressions. On aura donc $F : f : : \frac{VV}{2R} : \frac{vv}{2r}$. Mais comme $2R$ représente le diametre, nous nous servirons de D pour rendre le calcul plus commode.

Il suit de ce que nous venons de dire, 1°. que si on compare les forces centrales de deux corps qui se meuvent dans des cercles, & qu'on ait $D=d$; on aura $F : f : : VV : vv$.

2°. Si on a $V=v$, on aura $F : f : : d : D$; puisque les quotiens de deux grandeurs égales sont entr'eux réciproquement comme les diviseurs.

3°. Si $VV : vv : : D : d$; on aura $F=f$; car on aura alors *alternando*; $VV : D : : vv : d$; ou $\frac{VV}{D}=\frac{vv}{d}$. Donc $F =f$.

4°. Si $VV : vv : : d : D$, on aura $F : f : : d^2 : D^2$. Par l'hypothèse, la raison de VV à vv, est égale à celle de d à D. On peut donc les substituer l'une pour l'autre dans l'expression générale, ce qui donnera $F : f : : \frac{d}{D} : \frac{D}{d}$

En faisant évanouir les fractions, on aura $FDd : fDd : : d^2, D^2$. En simplifiant, on aura $F : f : : d^2 : D^2$.

5°. Si $V : v :: d . D$; on aura $F : f ::$ $d^3 : D^3$. Par l'hypothèse $V : v :: d : D$. Donc $VV : vv :: d^2 : D^2$. En substituant cette derniere raison à la premiere, dans l'expression générale; on aura $F : f ::$ $\frac{d^2}{D} : \frac{D^2}{d}$; & en faisant évanouir les fractions, & en simplifiant, on aura $F :$ $f :: d^3 : D^3$.

6°. Si $V : v :: \sqrt{d} : \sqrt{D}$; on aura $F : f :: d^2 : D^2$; par l'hypothèse $V : v ::$ $\sqrt{d} : \sqrt{D}$; donc $VV : vv :: d : D$; ce qui retombe dans le cas exposé (N°. 4.). On pourroit encore tirer quantité d'analogies fort utiles, pour la connoissance des mouvemens des corps célestes; mais dans le détail desquelles nous ne pouvons point nous permettre d'entrer.

CXIII. Nous allons terminer ce que nous nous sommes proposés de faire observer sur les forces centrales, par une expérience qui constate la vérité du principe fondamental de la théorie de *Descartes* sur la pesanteur, & que nous nous sommes contentés d'exposer (96); sçavoir, que si plusieurs corps circulent en même tems, dans un espace d'où ils ne peuvent s'échapper, l'excès de la force centrifuge des uns, occa-

K v

sionnera la force centripete des autres.

Disposez sur un même portant 4 tubes inclinés, *AB*, *CD*, *EF*, *GH* (*fig.* 24.), remplissez le tube *AB* avec parties égales d'esprit de vin coloré & d'huile de tartre par défaillance : le tube *CD*, avec parties égales d'eau & d'huile de térébenthine. Remplissez les deux autres *EF*, *GH* avec de l'eau, & introduisez dans l'un une petite boule de liége, & une boule de cuivre dans l'autre ; établissez ce portant comme les précédens (*fig.* 21, 22.). Comme l'huile de térébenthine est moins pesante que l'eau & que l'esprit de vin l'est aussi moins que l'huile de tartre ; l'esprit de vin & l'huile de térérébenthine occuperont les parties supérieures des tubes *AB*, *CD*. Pareillement eu égard à la différence de leur pesanteur spécifique, la boule de liége se tiendra vers la partie supérieure de son tube, & celle de cuivre se précipitera vers la partie inférieure du sien. Les choses étant ainsi disposées, si vous faites mouvoir circulairement le portant, vous observerez que l'esprit de vin & l'huile de térébenthine seront précipités vers la partie inférieure de leurs tubes ; que la boule de cuivre se portera au haut du sien ; tandis que la boule de liége sera précipitée vers le bas de celui dans lequel elle sera placée.

Si on réfléchit sur cette expérience, on verra aisément que la force centripete, qu'on remarque dans plusieurs de ces corps, n'est occasionnée que par l'excès de force centrifuge de ceux avec lesquels ils sont renfermés.

Considérant en effet ce qui se passe dans le tube rempli d'esprit-de-vin & d'huile de tartre ; on voit que la derniere surface de l'esprit-de vin est en contact avec la premiere surface de l'huile de tartre, & conséquemment que dans le mouvement de rotation qu'on leur imprime, ces deux surfaces acquierent, à peu de choses près, la même vîtesse : mais la densité de l'huile de tartre étant beaucoup plus grande que celle de l'esprit-de-vin, & la force centrifuge des corps qui circulent, étant directement comme leurs masses, toutes choses égales d'ailleurs ; la force centrifuge que la premiere couche de l'huile de tartre acquiert, est de beaucoup supérieure à celle qu'acquiert par la même rotation, la derniere couche de l'esprit-de vin. Cette premiere couche d'huile de tartre a donc une tendance plus forte, pour se porter au haut du tube, & pour s'éloigner du centre de sa rotation. Elle précipite donc la derniere couche d'esprit-de-vin avec laquelle elle est en contact: par la même raison, elle précipite celle qui suit; de sorte que toute la masse de l'huile de tartre se porte au haut du tube, & détermine toute la masse de l'esprit de-vin à se porter au bas du même tube, & à s'approcher du centre commun de leur rotation. C'est au même méchanisme qu'il faut rapporter ce qui se passe dans l'autre tube, rempli d'huile de térébenthine & d'eau.

C'est encore la même cause qui détermine la boule de cuivre à s'élever au haut du tube, & la boule de liége à se précipiter; puisque la densité du cuivre est de beaucoup plus grande que celle d'un pareil volume d'eau, & que celle de ce liquide l'emporte aussi de beaucoup sur celle du liége.

LEÇON III.

DE LA GEOSTATIQUE.

CXIV. Nous avons diviſé la Méchanique en deux parties (38) ; ſçavoir, en Dynamique & en Statique. Cette derniere partie dont il nous reſte à parler, ſe ſubdiviſe elle-même en trois autres parties ; ſçavoir, en *Géoſtatique*, *Hydroſtatique*, & *Aréoſtatique*. Nous ne conſidérerons dans cette Leçon, que la premiere de ces trois parties.

CXV. La *Géoſtatique* eſt une partie de la Statique qui s'applique à la conſidération des loix de l'équilibre entre différentes forces appliquées les unes contre les autres, par le moyen de quelques machines, auxquelles on donne le nom de *forces mouvantes* ; parce qu'elles ſervent à mouvoir, à tranſporter, ou à ſoutenir des corps, qu'on ne pourroit mouvoir, tranſporter, ou ſoutenir, ſans leur ſecours. On diſtingue les machines en deux eſpéces, en ſimples & en compoſées. On peut réduire toutes les machines ſimples à deux; ſçavoir, au *levier*, & au *plan* incliné. Le D. *Deſaguilliers* démontre même (*a*) qu'on peut les réduire toutes au ſeul levier. Les machines compoſées réſultent de l'aſſemblage plus ou moins multiplié des machines ſimples.

CXVI. On diſtingue ſix choſes dans une machine; la *puiſſance*, la *réſiſtance*, le *point d'appui*, autrement dit *hyppomoclion*, la *vîteſſe*, la *ligne de direction*, & le *centre de gravité*.

CXVII. La *puiſſance* eſt la force qu'on employe pour ſoutenir, contrebalancer, ou vaincre la réſiſtance.

La *réſiſtance* eſt l'obſtacle contre lequel une puiſſance agit, par le moyen d'une machine.

Le *point d'appui* eſt un point autour duquel la puiſſance & la réſiſtance ſe meuvent, ou font effort pour ſe mouvoir.

La *vîteſſe* ſe meſure par l'eſpace que parcourent en même tems la puiſſance & la réſiſtance, ou par celui qu'elles

(*a*) Cours de Phyſiq. expérim. Tom. 1.

parcourroient, si elles étoient en mouvement.

La ligne de direction est une ligne abaissée du centre de gravité de la puissance & de la résistance au centre des graves. On suppose ici que la puissance est inanimée ; car lorsqu'elle est animée, la ligne de direction est toujours celle selon laquelle elle agit.

Le centre de gravité est un point autour duquel toutes les parties d'un corps ou d'un système de corps sont en équilibre, ou auquel se réunit tout l'effort de la pesanteur de ce corps.

CXVIII. Si tous les corps étoient réguliers & homogenes, leur centre de gravité se trouveroit confondu avec leur centre de figure ; c'est-à-dire, avec le point qui indiqueroit le milieu de leur solidité : mais il s'en faut de beaucoup que tous les corps soient réguliers, & même ceux qui le sont, ne sont point homogènes pour cela : ainsi, le centre de gravité se trouve toujours différemment placé dans tous les corps : or comme il est important de connoître la situation du centre de gravité d'un corps, ou d'un système de corps, nous allons indiquer quelques méthodes propres à le faire connoître.

CXIX. On peut employer deux méthodes pour trouver le centre de gravité d'un corps, ou d'un systême de corps; sçavoir, une méthode mathématique, ou une méthode méchanique. Je préfere ici cette derniere, comme plus analogue à la Physique expérimentale.

S'il s'agit donc de trouver le centre de gravité d'un corps, percez le en un des points de son contour; faites passer un axe dans ce trou, de façon que ce corps puisse se mouvoir librement autour de cet axe: le centre de gravité étant un point où toute la pesanteur du corps est réunie, (117) fera effort pour descendre, autant qu'il lui sera possible. Ce centre se trouvera donc placé dans un point, qui répondra perpendiculairement au-dessous de l'axe. Par conséquent, si du centre de cet axe on fait tomber un à plomb devant la surface du corps, cet à plomb tracera la ligne à laquelle répondra le centre de gravité situé dans l'épaisseur du corps. Mais il ne suffit pas de connoître cette ligne, il faut, outre cela, connoître le point de cette ligne, auquel répond le centre de gravité. Pour le trouver, percez le même corps par un autre point de son contour, qui ne soit cependant pas diamétralement opposé au premier; réitérez la même opération, & l'à plomb vous donnera une seconde ligne, qui coupera la premiere en un point : or ce point d'intersection étant commun aux deux lignes, sera le véritable point auquel le centre de gravité répondra.

CXX. S'il s'agit de trouver le centre de gravité d'un systême de corps, placez ce systême de corps sur une planche, que vous poserez selon sa longueur sur l'angle d'un prisme sur lequel vous la ferez mouvoir, jusqu'à ce qu'elle s'y tienne en équilibre : la charge étant égale de part & d'autre, le centre de gravité de ce systême de corps, se trouvera dans la ligne qui répondra à l'angle du prisme : tracez cette ligne, & disposez cette planche de la même manière sur l'angle du prisme, ayant soin de la placer, dans ce second cas, suivant sa largeur; si vous la faites encore mouvoir, vous trouverez une situation dans laquelle la planche sera encore en équilibre, & le centre de gravité se trouvera dans la ligne qui répondra à l'angle de ce prisme : tracez cette derniere ligne, elle croisera la premiere à angle droit, & le point d'intersection sera celui auquel le centre de gravité du systême de corps répondra. C'est par un semblable procédé qu'on s'est assuré que le centre de gravité d'un homme, se trouve ordinairement dans le bassin.

CXXI. Ayant déterminé la maniere de connoître le centre de gravité d'un corps & d'un systême de corps, il ne me paroît pas hors de propos d'exposer en peu de mots, les propriétés de ce centre de gravité.

Ce centre, comme nous l'avons déja fait observer (117), est un point auquel se réunit l'effort de la pesanteur de toutes les parties d'un corps. Sa tendance naturelle est donc de déterminer le corps auquel il appartient, vers le centre des graves. Il tend donc constamment à descendre, & il descend effectivement, lorsqu'il ne rencontre aucun obstacle qui s'oppose à sa chute.

On a sçu tirer parti de cette propriété du centre de gravité, pour construire quantité de machines, dont les unes ſont de quelqu'utilité, & les autres de pur amuſement. Nous dirons un mot des unes & des autres.

CXXII. 1°. On attache entre deux des rayons d'une roue de carroſſe un rouage, dont le premier mobile eſt une plaque de cuivre aſſez épaiſſe, fixée au-deſſus de ſon centre de gravité à un arbre qui tourne librement dans une cage. La roue de la voiture ne peut donc ſe mouvoir ſur elle-même, qu'elle ne faſſe tourner circulairement la machine, & conſéquemment la plaque de cuivre dont nous venons de parler; mais cette plaque ne peut ſe mouvoir circulairement, que ſon centre de gravité ne la ramene dans le point le plus bas où elle puiſſe ſe trouver. La révolution de cette plaque fait donc tourner l'arbre ſur lequel elle eſt fixée. Cet arbre porte à ſon autre extrémité un pignon qui engrène dans une roue fixée ſur un autre arbre qui traverſe un cadran, tracé ſur une des platines de la cage. Sur l'extrémité de ce ſecond arbre eſt attachée une aiguille; de ſorte que la chûte continuelle du centre de gravité du premier mobile, fait tourner l'arbre qui le porte & ſon pignon;

ce pignon mene la roue, & cette derniere conduit le ſecond arbre, & conſéquemment l'aiguille : or les aîles du pignon, comparées aux dents de cette roue, ſont dans le rapport de 1 : 4. Le pignon fait donc quatre tours, tandis que la roue n'en fait qu'un. L'aiguille ne fait donc qu'un quart de ſa révolution, tandis que la machine fait un tour.

Mais l'arbre de la premiere roue porte auſſi un pignon qui ëngrène dans une ſeconde roue fixée ſur un troiſieme arbre, qui traverſe pareillement le cadran, & qui porte une aiguille. Ce pignon eſt dans le même rapport avec la roue qu'il mene, que le premier pignon avec la premiere roue; de ſorte que la ſeconde aiguille ne fait qu'un quart de ſa révolution, tandis que la premiere acheve la ſienne, & conſéquemment lorſque la machine a fait quatre tours. Il faut concevoir la même méchanique par rapport aux autres aiguilles de cette machine, qui ſont au nombre de ſept, & qu'on peut néanmoins plus ou moins multiplier; de ſorte que dans l'hypothèſe préſente, la ſeptième aiguille ne finit ſa révolution que lorſque la machine entiere, ou la roue de carrosse qui la porte a fait 16384 tours.

Une roue de carrosse a ordinairement six pieds de diametre, & conséquemment dix-huit pieds, à peu de choses près, de circonférence : par conséquent chaque tour de roue mesure dix-huit pieds de terrein : 16384 tours en mesurent donc 294912 pieds, lequel nombre étant divisé par 6, pour avoir des toises = 49152. Si on divise ce dernier nombre par 2000, qui exprime le nombre de toises que contient une lieue commune de France, on aura pour quotient 24 $\frac{1}{2}$, & quelque chose en sus.

Comme chaque aiguille est placée sur un repair, on peut voir aisément laquelle des aiguilles s'est déplacée la derniere ; & les nombres qui expriment les tours de roue de la voiture, étant gravés sur le cadran, on peut voir à chaque instant, combien les roues de la voiture ont fait de tours, & par un calcul fort aisé, on peut juger du chemin qu'on a fait.

2°. On se sert encore de cette même propriété de centre de gravité, pour conserver de la lumiere dans un vaisseau exposé aux vagues de la mer. On a imaginé pour cela une lampe qui forme environ les $\frac{2}{3}$ d'une sphere fort pesante vers son fond, suspendue par deux pivots attachés au-dessus de son centre de gravité, & mobiles dans un demi-cercle de métal, qui est lui-même également mobile dans un autre demi-cercle, qui coupe le premier à angles droits. Ce second demi-cercle porte une douille, au moyen de laquelle on peut fixer cette lampe sur son pied. Quelque mouvement qu'on imprime à cette machine, le centre de gravité de la lampe la ramene toujours dans une situation perpendiculaire à l'horison, & empêche l'huile de se renverser, & la lumiere se conserve.

3°. Cette même tendance du centre de gravité a produit plusieurs machines amusantes.

Les Chinois ont imaginé une petite figure mobile, dont le centre de gravité varie à chaque instant, par le moyen d'une petite quantité de mercure, renfermée dans un canal tortueux, qui est caché dans l'intérieur de la figure. Cette figure placée sur le haut d'un plan incliné, divisé en plusieurs gradins, s'incline d'arriere en avant, & tombe sur le gradin qui est immédiatement au-dessous, d'où elle se releve pour tomber sur le gradin suivant, en imitant ces tours de force que nous voyons faire aux sauteurs. *Mussenbroeck* nous a donné la construction de cette machine (*a*).

4°. Si on prend une portion de cylindre *AB* (*figure* 25.) dont la base ait environ trois pouces de rayon, & qu'on recule le centre de gravité *a* de ce corps vers sa circonférence, en y incrustant un petit cylindre de plomb *o*; ce cylindre étant placé vers la partie inferieure d'un plan incliné *CD*, roulera sur ce plan, & s'élevera jusque vers sa partie supérieure *D*.

Quoique ce corps pris en totalité monte & s'éleve verticalement vers le haut du plan incliné; son centre de gravité descend réellement; car ce centre, eu égard au cylindre de plomb, est situé en *a*: sa tendance vers le centre de la terre est donc déterminée par

(*a*) Introd. ad Phil. nat. Tom. I. §. 508.

la perpendiculaire *ap* : mais ce corps ne touchant alors le plan incliné qu'en *f*, ce plan n'apporte aucun obſtacle à la chûte de ſon centre de gravité *a* : il deſcend donc de la quantité *ai* en décrivant l'arc *aa*, & le mobile pris en totalité, s'éleve de *f* en *g*, de-la quantité $gr = ai$. Lorſque ce corps eſt arrivé en *g*, le plan n'oppoſe pareillement aucun obſtacle à la chûte du centre de gravité, qui tend à ſe mouvoir, ſelon la perpendiculaire *aq* ; il continue donc à deſcendre, tandis que le corps continue à monter.

5°. Un ſolide fait de deux cônes joints par une baſe commune *AB* (*figure* 26) poſé ſur deux régles *CD*, *ED*, qui ſont angle, & qui ſont un peu élevées vers leurs extrémités *CE*, roule le long de ces régles, & s'éleve juſque vers leur partie ſupérieure.

Pour rendre raiſon de ce phénomene, ne conſidérons que le plan *ABb* (*figure* 27), où ſe trouve le centre de gravité *a* du ſolide. Ce centre eſt élevé au-deſſus de l'horiſon de la quantité $ab = pF$: or, eu égard à l'inclinaiſon de ces regles, ce corps ne porte ſur l'appui qu'elles lui préſentent qu'au point

point *r*, qui eſt au-delà de l'extrémité *b*, de la perpendiculaire *ab*, qui exprime la tendance du centre de gravité *a*, rien ne s'oppoſe donc à la chûte de ce centre : il tombe, & en tombant, le ſolide roule ſur les régles *DC*, *DE*, (*figure 26*) : comme ces régles ſont inclinées, & qu'elles s'écartent continuellement l'une de l'autre, ce corps s'appuie par des points qui s'approchent de plus en plus de l'axe *mn*; le centre de gravité deſcend donc continuellement entre les deux régles, à proportion que le ſolide s'éleve vers le point *c* (*figure 27*) ; de ſorte que lorſqu'il eſt arrivé en *c*, ſon centre de gravité eſt deſcendu de la quantité *p C*.

CXXII. Il ſuit de ce que nous venons d'expoſer, que pour qu'un corps demeure ſtable, il faut que ſon centre de gravité ſoit ſoutenu : or il le ſera chaque fois que ſa ligne de direction paſſera par la baſe de ce corps.

C'eſt par une application de ce principe, que ces fameuſes tours de Piſe & de Boulogne ſont très ſtables, quoiqu'elles ſoient inclinées à l'horiſon. Celle de Piſe eſt une tour ronde de 138 pieds d'élévation : elle eſt inclinée de 15 pieds. Celle de Boulogne est une tour quarrée de 130 pieds de hauteur : elle panche de 9 pieds. L'architecte a si bien dirigé leur construction, qu'indépendamment de cette inclinaison, la ligne de direction passe par la base de ces tours.

CXXIII S'il est indispensablement nécessaire à la stabilité d'un corps que la ligne de direction passe par sa base; cette condition peut néanmoins souffrir quelque restriction par rapport aux corps animés. La ligne de direction du corps de l'homme est une perpendiculaire abaissée d'un point pris dans son bassin, & qui passe par l'appui de ses pieds. Or cette ligne peut tomber au-delà des pieds de l'homme, sans entraîner sa chute; parce que la flexibilité de son corps peut suppléer à ce qui manque à cette condition : mais il ne faut pas à la vérité que cette ligne tombe à une distance bien sensible au-delà. Aussi voyons-nous que ceux qui portent de gros fardeaux sur le dos, ont soin de se baisser & de se courber sous le fardeau : car l'homme & le fardeau font conjointement un systême de corps, dont le centre de gravité se trouve postérieurement au-delà du bassin : c'est donc pour ramener la ligne de direction dans l'appui des pieds, que le crocheteur se courbe. C'est par la raison contraire qu'une femme enceinte, ou que toute personne qui embrasse un fardeau, ou qui le porte, se redresse & jette son corps en arriere. C'est encore pour la même raison que les Danseurs de corde se servent d'un balancier ; c'est-à-dire d'une longue perche, chargée de plomb à ses deux extrêmités. La flexibilité de la corde sur laquelle ils marchent, fait faire au corps du Danseur des inflexions, qui portent de momens à autres le centre de gravité au-delà de la corde qui lui sert d'appui. Aussi lorsqu'il sent que le poids de son corps tend à l'entraîner d'un côté, il jette & il allonge le balancier du côté opposé, pour contrebalancer l'effort qui se fait en sens contraire.

CXXIV. Il est bon d'observer ici, que quoique le centre de gravité de toutes sortes de corps tende constamment à descendre, & qu'il descende réellement, lorsqu'il n'est pas soutenu, il peut se faire néanmoins qu'un corps demeure ſtable, quoique ſon centre de gravité ne paroiſſe point ſoutenu. Cet effet a lieu chaque fois qu'un corps eſt ſitué de maniére qu'il ne peut tomber, ſans que ſon centre de gravité ne s'éleve.

C'eſt pour cette raiſon que ſi on fixe un bâton *AB* (*fig.* 28.) dans un ſeau *CD*, rempli d'eau, de maniére que ce bâton ſoit appuié d'une part, contre le fond du ſeau en *B*, & de l'autre part en *A*, contre l'anſe *FD*; ſi on fait paſſer la lame d'un couteau *HI*, entre le bâton & l'anſe, le ſeau demeurera ſtable, ſi on poſe le manche de ce couteau ſur une table. Suppoſant que le centre de gravité de ce ſyſtême de corps ſoit en *K*, pour que le ſeau tombe, il faut que le couteau décrive l'arc *HL*, & conſéquemment que le centre de gravité *K* décrive l'arc *KM*; or il ne peut décrire cet arc ſans s'élever; le ſeau demeurera donc ſtable dans cette poſition, & ne tombera point.

C'eſt encore en vertu du même principe, qu'on voit de petites figures d'y-voire ſe tenir ſur un pied, & faire différens mouvemens ſur l'appui qui les porte. On passe un fil de fer dans le corps de ces figures : à chaque extrêmité de ce fil recourbé de haut en bas, on adapte une balle de plomb ; ce qui porte le centre de gravité de ce systême de corps au-dessous du point d'appui : la figure ne peut donc tomber sans décrire un arc, & conséquemment sans que le centre de gravité en décrive un autre en sens contraire ; ce qui l'obligeroit à monter.

CXXV. Après avoir considéré les differentes choses qu'on remarque dans une machine en général, il est naturel de passer à la considération des machines simples ; & aux avantages qu'on en peut tirer. Nous avons réduit ces sortes de machines à deux espéces ; sçavoir, au levier & au plan incliné : (115.) mais il y en a plusieurs également simples qui se rapportent à l'une ou à l'autre de ces deux espéces. On rapporte au levier : la balance, la poulie, le tour, autrement dit *axis in peritrochio*. Au plan incliné : le coin & la vis. Nous parlerons des unes & des autres.

Du Levier.

CXXVI. *Le levier* eſt une puiſſance méchanique, qu'on conçoit comme une ligne inflexible & ſans peſanteur : mais dans la pratique, c'eſt un ſolide à la peſanteur duquel il faut faire attention. Nous en ferons ici abſtraction pour la commodité des démonſtrations. On conſidere trois choſes dans le levier ; la puiſſance, le point d'appui, & la réſiſtance, dont nous avons déja parlé (116.)

Le levier prend différens noms, ſuivant que ces trois choſes ſont différemment combinées entr'elles. On appelle *levier du premier genre*, celui qui eſt diſpoſé de maniére, que le point d'appui eſt placé entre la puiſſance & la réſiſtance. On regarde comme un *levier du ſecond genre*, celui dans lequel le point d'appui étant ſitué à une extrêmité, la puiſſance eſt placée à l'autre, & la réſiſtance entre l'un & l'autre. On le nomme du *troiſieme genre*, lorſque le point d'appui ſe trouve à l'une de ſes extrêmités, la réſiſtance à l'autre, & la puiſſance entre l'un & l'autre.

CXXVII. De quelque genre que ſoit le levier, ſon uſage le plus ordinaire eſt de procurer à la puiſſance l'avantage de vaincre une réſiſtance donnée. On atteint à ce but, lorſque l'effort de la puiſſance devient ſupérieur à celui de la réſiſtance. Pour juger de l'avantage que la puiſſance peut avoir ſur la réſiſtance par le moyen d'un levier, il ne s'agit que de ſçavoir déterminer le cas d'équilibre entre l'une & l'autre. Or *il y aura toujours équilibre entre une puiſſance & une réſiſtance qui agiront l'une contre l'autre, par le moyen d'un levier; lorſque leurs maſſes ſeront en raiſon réciproque de leurs diſtances, au point d'appui.*

Il y a toujours équilibre entre des forces égales & oppoſées : or dans la ſuppoſition que nous venons de faire, la puiſſance & la réſiſtance appliquées au même levier, agiſſent l'une contre l'autre avec des forces égales : car la force d'un corps eſt toujours égale au produit de ſa maſſe multipliée par ſa vîteſſe (46), ou par la vîteſſe qu'il auroit, s'il étoit en mouvement. Mais les diſtances au point d'appui expriment les vîteſſes que la puiſſance & la réſiſtance auroient, ſi elles étoient en mouvement : car ces diſtances doivent être regardées comme les rayons des arcs qu'elles décriroient en même-tems, & les arcs étant entr'eux comme leurs rayons, ces diſtances expriment leurs vîteſſes. Or dans la ſuppoſition préſente, les vîteſſes ſont en raiſon réciproque des maſſes; les forces ſont donc égales de part & d'autre (48), & conſéquemment elles doivent être en équilibre.

CXXVIII. Nous allons développer maintenant cette théorie, & l'appliquer aux différens cas qui peuvent ſe préſenter.

1°. Soit le levier *AB* (*figure* 29.) du premier genre, dont le point d'appui *C* ſoit également diſtant des extrémités *A* & *B*, auxquelles ſoient ſuſpendues la puiſſance & la réſiſtance *P*, *R*; pour qu'il y ait équilibre entre ces deux maſſes, il faut qu'elles ſoient égales entre elles.

Ces deux maſſes étant ſuſpendues aux extrémités *A* & *B* du levier, leurs diſtances au point d'appui *C*, ſe meſurent par les longueurs des bras *CA*, *CB* du levier; c'eſt-à-dire, par les perpendiculaires conduites du point d'appui C, sur les lignes de directions AP, BR. Or par la construction $CA = CB$; donc P doit être $= R$; ce qui donnera $P : R :: CB : CA$, & on aura $P \times CA = R \times CB$, & conséquemment équilibre.

2°. Supposons que le levier AB (*figure* 30) soit disposé de maniere que son point d'appui C, soit une fois plus éloigné de l'extrémité A, que de l'extrémité B ; les poids P & R seront en équilibre entr'eux, si $R = 2P$; par la construction $CA = 2CB$; par conséquent si $R = 2P$; on aura $P : R :: CB : CA$, donc $P \times CA = R \times CB$.

3°. Supposons que plusieurs personnes se réunissent pour soutenir un fardeau, par le moyen d'un levier AB, (*figure* 31), dont le point d'appui C soit placé à une distance de A, quadruple de celle de B. En supposant que chacune de ces personnes agisse avec la même force intrinséque, la somme des forces contre la résistance sera égale à la somme des produits de chaque force intrinséque, multipliée par la distance au point d'appui, à laquelle chacune de ces personnes agira.

En repréſentant ici la force intrinſéque de chaque puiſſance par une maſſe ; nous pourrons dire d'après les démonſtrations précédentes, que l'effort de chaque puiſſance contre la réſiſtance eſt égal au produit de ſa maſſe, multipliée par ſa diſtance au point d'appui : or chaque maſſe étant ſuppoſée placée ſur différens points du levier, chaque puiſſance agit différemment contre la réſiſtance ; on aura donc la force totale, en prenant la ſomme de toutes les forces partielles. Cela poſé, ſi on ſuppoſe que le bras du levier *CA* étant quadruple de *CB*, ſoit diviſé en quatre parties, chacune égale à *CB*, & qu'une maſſe = 10 livres, ſoit placée ſur chacun des points de diviſion : la partie *C* 1 étant = *CB*, la force du poids *P*, appliquée à la premiere diviſion, ſera = 10 livres × 1 = 10 livres, la force du poids *P*, appliquée à la ſeconde diviſion, ſera = 10 livres × 2 = 20 livres : celle du poids *P*, appliquée à la troiſième diviſion, ſera = 10 liv. × 3 = 30 liv. enfin celle du poids *P*, appliquée à la quatrième diviſion, ſera = 10 liv. × 4 = 40 liv. La ſomme des forces ſera donc = 10 + 20 + 30 + 40 = 100 livres, & conſéquemment fera équilibre à une masse comme 100, appliquée à l'extrémité *B* de ce levier.

Il suit de-là, que si un homme placé à l'extrémité d'un levier, & agissant avec toute sa force, peut contrebalancer un poids de 1000 livres, appliqué à l'autre extrémité du même levier; quatre hommes qui auront chacun la même force, ne pourront point pour cela, contrebalancer un poids = 4000 livres, s'ils agissent tous ensemble sur le même bras de levier; parce qu'ils ne pourront point agir tous les quatre à la même distance du point d'appui.

CXXIX. On peut appliquer les mêmes démonstrations aux leviers du second & du troisième genre. Soit en effet le levier *AB* du second genre, (*figure* 32) dont le point d'appui *C* est placé à l'extrémité *A*, la puissance *P*, à l'autre extrémité *B*, & la résistance *R* entre le point d'appui *C*, & la puissance *P*: il y aura pareillement équilibre entre la puissance & la résistance, si leurs masses sont en raison réciproque de leurs distances au point d'appui. Supposons donc que la distance *CB*, selon laquelle la puissance est éloignée du point d'appui, soit quadruple de la diſtance C_1, à laquelle la réſiſtance R agit ; ſi la puiſſance & la réſiſtance viennent à ſe mouvoir, la puiſſance décrira dans le même tems, un arc quadruple de celui que décrira la réſiſtance. La maſſe de la réſiſtance doit donc être quadruple de celle de la puiſſance, pour que leur effort ſoit égal de part & d'autre, & conſéquemment les maſſes doivent être en raiſon réciproque des diſtances au point d'appui, pour que la puiſſance & la réſiſtance ſoient en équilibre.

Ce que nous diſons du levier du ſecond genre, doit s'entendre également du levier du troiſième genre ; il ne s'agit pour cela que d'appeller la puiſſance, ce que nous nommons la réſiſtance, & réciproquement.

Il faut obſerver ici, que le levier du troiſième genre ne favoriſe que la réſiſtance ; puiſque de ſa nature la réſiſtance doit être placée à une diſtance du point d'appui plus grande que celle à laquelle on puiſſe placer la puiſſance. Par la raiſon contraire tout l'avantage du levier de ſecond genre eſt en faveur de la puiſſance. Le levier du premier genre participe des deux autres, en ce qu'il peut favoriser indifféremment la puissance, ou la résistance, en supposant ses bras inégaux.

CXXX. On peut, à l'aide de cette théorie, connoître la charge que portent deux personnes qui soutiennent un fardeau placé sur la longueur d'un levier, dont chacune de ces deux personnes soutiendroit une extrémité. Supposons le levier *AB* (*figure 33*), au milieu *C* duquel soit suspendu un fardeau *R*. Dans cette supposition, les deux puissances appliquées en *A* & en *B*, n'ont à supporter que la moitié de ce fardeau; car on peut considérer ce levier, comme un double levier du second genre, dont les deux points d'appui sont placés en *A* & en *B*. Considérant donc que la puissance appliquée en *B*, fait l'office d'un point d'appui; la puissance qui agit en *A*, ne doit porter que la moitié du fardeau $= \frac{1}{2} R$; puisque par la construction, la distance de *A* en *B* est double de celle de *R* au même point d'appui. Il ne peut donc y avoir équilibre qu'autant qu'on aura la proportion $P : R :: CB : AB$, mais par la supposition $CB = \frac{1}{2} AB$: donc P doit être $= \frac{1}{2} R$.

Par la même raiſon, conſidérant *A* comme un ſecond point d'appui, on trouvera la même analogie entre *P* & *R*; donc chaque puiſſance ne porte que la moitié du fardeau dans l'hypothèſe préſente.

Mais ſi le fardeau *R* étoit plus proche de *A* que de *B*, ou de *B* que de *A*, on trouveroit que chaque puiſſance porteroit une portion du fardeau, qui ſeroit en raiſon réciproque de la diſtance de chacune de ces puiſſances au point d'appui, comparée à la diſtance du fardeau au point d'appui correſpondant. Suppoſons, par exemple, que le fardeau *R* ſoit placé en *D*, de façon que *AB* ſoit quadruple de *AD*; la puiſſance appliquée en *B* ne portera que $\frac{1}{4}$ de *R* : car pour qu'il y ait équilibre, en conſidérant le point *A* comme le point d'appui, il faut qu'on ait $P : R :: AD : AB$. Or par la conſtruction $AD = \frac{1}{4}$ de AB. Donc $P = \frac{1}{4}$ de *R*. La puiſſance *p* porte donc alors les $\frac{3}{4}$ de *R* : car prenant *B* pour point d'appui, on aura $p : R :: BD : BA$; or par la conſtruction $BD = \frac{3}{4}$ de BA, donc $p = \frac{3}{4}$ de *R*.

Le D. *Desaguilliers* (*a*) remarque à cet égard, que c'est d'après ce principe qu'on peut faire tirer également deux chevaux inégaux en force, en distribuant la volée de maniere que le plus fort des deux soit appliqué à l'extrémité de la plus courte volée, & que ce raccourcissement compense l'excès de sa force.

CXXXI. Nous avons fait abstraction jusqu'ici de la pesanteur & de la flexibilité du levier; mais lorsqu'il s'agit de confirmer par expérience la théorie que nous venons d'exposer; il faut absolument avoir égard au poids & à la flexibilité du levier. Pour obvier au premier inconvénient, il faut avoir soin de mettre le levier en équilibre avec lui-même, soit lorsqu'un de ses deux bras est plus long que l'autre, soit lorsque les puissances servent mutuellement de point d'appui au levier, comme dans le dernier cas que nous venons d'exposer. Pour obvier au second inconvénient *, il ne faut employer que de petits poids pour faire les expériences, & avoir soin que le

(*a*) Cours de Phys. Expérim. T. 1. p. 104.

levier dont on se sert soit de bon acier, & trempé jusqu'à un certain point.

CXXXII. S'il faut avoir attention dans la pratique à la pesanteur & à la flexibilité du levier; il faut aussi faire attention à ce que le levier ne touche le point d'appui que par une très-petite surface, lorsque le levier se pose sur le point d'appui. Pour cela il faut faire ensorte que ce point forme un angle très-aigu: sans cela la puissance & la résistance changeroient de rapport de distance au point d'appui, lorsque le levier seroit en mouvement, ce qui paroîtra évidemment par l'hypothèse suivante.

Supposons que le point d'appui soit un cylindre *A* (*figure* 34), & que le levier *BC* du premier genre, s'appuie en *D* sur un des points de la circonférence du cylindre: la résistance étant placée au point *B*, & la puissance au point *C*; on aura pour le cas d'équilibre, la puissance est à la résistance, comme *BD* : *DC*. Mais ~~si la~~ puissance abaisse le levier de *C* en *G*, le point d'appui se trouvera en *F*, la résistance en *E*, & la puissance en *G*: le rapport de la puissance à la résistance sera donc alors comme celui de *EF* à *FG*: or

FE eſt plus grand que *DB*, de toute la quantité *DH*; la réſiſtance dans ce cas, agit donc à une plus grande diſtance du point d'appui, & conſéquemment la puiſſance à une moindre diſtance; ce qui lui fait perdre une partie de l'avantage qu'elle avoit contre la réſiſtance.

On peut appliquer la même démonſtration dans la ſuppoſition où le levier ayant un axe, cet axe rouleroit dans les yeux d'une chaſſe; comme il eſt d'uſage lorſque le levier fait l'office de balance. Auſſi a-t-on le ſoin alors de tailler l'axe en couteau, au lieu de lui donner une forme cylindrique.

De la Balance.

CXXXIII. *La Balance* peut ſe rapporter au levier. Cette machine eſt de deux eſpéces. Elle conſerve le nom de *Balance*, lorſque ſon point d'appui eſt placé à égale diſtance de ſes deux extrêmités : on l'appelle *Romaine*, lorſque ſon point d'appui eſt à une plus grande diſtance de l'une de ſes extrêmités, que de l'autre.

Dans la balance ordinaire, on donne le nom de *fléau* à la partie qui représente le levier : on appelle *les bras* de la balance, les deux portions du fléau qui sont comprises depuis l'axe, jusqu'aux extrêmités du fléau, qu'on appelle les points de suspension. *L'axe* divise la balance en deux parties égales. Cet axe roule dans deux cavités qu'on appelle *les yeux*. Ces yeux sont creusés dans une espéce de support, qui soutient toute la machine, & qu'on appelle *la chasse* de *la balance*. Aux deux points de suspension, sont suspendus deux plateaux qu'on nomme les *bassins de la balance*. On remarque au-dessus de l'axe une espéce de languette, qu'on appelle l'*aiguille de la balance*; elle sert à indiquer si le fléau est dans une situation horisontale ou non.

Je ne dirai rien ici de la construction de cet instrument qui exige beaucoup d'attentions & de soins. On peut consulter à cet égard presque tous les Auteurs qui ont écrit sur la méchanique; mais sur-tout le D. *Desaguilliers* (*a*).

(*a*) Cours de Phys. Expérim. Tom. 1.

CXXXIV. On voit par l'exposé que nous venons de faire, que la balance n'est qu'un levier de premier genre, & que tout ce que nous venons de dire sur l'équilibre, entre une puissance & une résistance qui agissent l'une contre l'autre, par le moyen d'un levier, doit s'appliquer à la balance. Je ne parlerai donc ici que de l'usage de cet instrument.

CXXXV. La longueur des chaînes ou des cordons, auxquels les bassins sont suspendus, n'influe en rien sur l'équilibre qu'on se propose de trouver entre les corps qu'on place dans les bassins. Si le corps *D* (*fig.* 35), par exemple, placé dans le bassin *d*, à la distance *d A* du point de suspension, est en équilibre avec le corps *E*, placé dans le bassin *e*, à la distance *e B*, de l'autre point de suspension; ces deux corps seront encore en équilibre, en supposant que la longueur des cordons venant à augmenter, les bassins soient suspendus à de plus grandes distances des points de suspension, telles que *FA*, & *GB*.

L'effort de ces corps l'un contre l'autre dépend de leur masse & de leur distance au point d'appui *C* ; par conséquent les masses demeurant les mêmes, leurs efforts sont entr'eux comme leurs distances au point d'appui. Or ces distances ne varient point, soit qu'ils soient suspendus plus ou moins loin, au-dessous des points de suspension ; puisque ces distances se mesurent par les perpendiculaires *CA*, *CB*, tirées du point d'appui sur les lignes de direction (128.), soit que ces dernieres soient plus longues ou plus courtes : ce qu'on peut démontrer par expérience, en plaçant le même poids à différentes hauteurs au-dessous de son point de suspension.

CXXXVI. Il faut avoir soin que les cordons auxquels les bassins sont suspendus, soient disposés parallelement entr'eux ; sans cette condition, l'un des deux poids, quoiqu'égal en masse à l'autre, & placé dans un bassin, dont la suspension seroit à égale distance de l'axe, que celle de l'autre bassin, n'agira néanmoins qu'obliquement contre le fléau, & ne sera point en état d'équilibrer le poids opposé.

Supposons en effet que les poids

P,*p*, (*fig.* 36) soient de même masse & en équilibre, étant placés dans les bassins *c*, *d*, suspendus parallelement entr'eux aux points de suspension *A* & *B* de la balance *ACB*, dont l'axe *C* est également distant de ces points de suspension; si on dispose une poulie *r*, de maniere que le cordon du bassin *d*, passant sur la circonférence de cette poulie, fasse que la ligne de traction devienne *Br*; alors l'équilibre sera rompu entre les poids *P*, *p*; de façon que le poids *P* deviendra préponderant. Pareillement si le cordon du même bassin passe sur la circonférence de la poulie *S*, l'équilibre sera encore rompu, en faveur du poids *P*; en voici la raison. Soit prolongée indéfiniment la ligne de traction, de façon qu'elle devienne *rBF*, le poids *p* agit donc alors contre le fléau de la balance, selon la direction *rF*: or nous avons démontré (128) que la véritable distance au point d'appui, d'un poids appliqué à un bras de levier, se mesure par une perpendiculaire menée du point d'appui sur la direction de ce poids: soit donc menée la perpendiculaire *CE*; elle nous donnera la véritable diſtance à l'axe, ou au point d'appui à laquelle agit le poids p_1 : maintenant pour comparer cette diſtance avec celle ſelon laquelle il agiſſoit, lorſqu'il étoit ſuſpendu perpendiculairement au-deſſous du point B : du point C, comme centre, & d'une ouverture de compas $= CE$, décrivez l'axe Eb, & vous aurez $Cb = CE$, comme rayon de même cercle ; la diſtance du poids p_1 à l'axe, n'eſt donc plus que $Cb < CB$: le poids P, doit donc être prépondérant. Si on veut connoître ce que le poids P perd de ſa force en agiſſant ſelon la direction Br ; il faut faire l'analogie ſuivante : $p_1 : P :: CA : Cb$.

Pareillement ſi on mene une perpendiculaire CD de l'axe C, ſur la direction du poids p_1, & que du point C, comme centre, & de l'intervalle CD, on décrive l'arc Da ; Ca ſera la diſtance à laquelle le poids p_1 agit ſur le fléau de la balance. On aura donc le rapport de p_1 à P, par l'analogie ſuivante : $p_1 : P :: CA : Ca$.

CXXXVII. Quoique les baſſins ſoient ſuſpendus à des diſtances égales de l'axe de la balance & parallélement entr'eux ; il peut encore ſe faire que des poids égaux ne ſoient point en équilibre entr'eux. C'eſt ce qui peut arriver, lorſque les baſſins ne ſont point ſuſpendus librement, & qu'ils éprouvent un trop grand frottement dans les points de ſuſpenſion. Dans ce cas les deux poids égaux placés dans chaque baſſin, ne pourront être en équilibre, que lorſque le fléau ſera dans une ſituation parallele à l'horiſon; mais pour peu que la balance trébuche, l'équilibre ſera rompu en faveur de l'un ou de l'autre poids, ſuivant les circonſtances que nous allons développer.

Pour rendre cette démonſtration plus claire, ſuppoſons que l'un des baſſins ſoit libre, & imaginons un poids fixé au-deſſous du bras oppoſé de la balance, pour repréſenter le baſſin qui ne ſeroit pas libre. Cela poſé, le fléau étant ſitué parallélement à l'horiſon, on aura d'après la ſuppoſition deux maſſes égales, qui agiront à même diſtance de l'axe de la balance, & qui conſéquemment ſeront en équilibre entre elles. Suppoſons maintenant que le fléau de la balance (*fig.* 37) change de ſituation, & qu'il s'incline de façon que *AB* devienne *EG*, le baſſin libre prendra la direction *Ed*, & le poids *d* agira contre le fléau, de même que s'il étoit ſuſpendu en *e*, à la diſtance *Ce* de l'axe ; tandis que le poids fixe *P*, dont le centre de gravité eſt en *a*, dirigeant ſon action ſelon la perpendiculaire *ac*, agira contre le fléau, de même que s'il étoit placé en *c*, à la diſtance *Cc* de l'axe : les poids *P* & *d* agiront donc l'un contre l'autre, avec des forces qui ſeront entr'elles, ſuivant le rapport de *cC* à *Ce*; or $Cc > Ce$: donc le poids *P* deviendra prépondérant.

Mais ſi le fléau changeant de direction, s'inclinoit ſelon *HI*, le même poids *P*, qui étoit en équilibre en *B* & prépondérant en *G*, deviendroit plus foible en *I*; car ſon centre de gravité *a*, agiſſant contre le fléau de la balance, ſelon la perpendiculaire *af*, agiroit de même que s'il étoit appliqué au point *f*, à la diſtance *Cf* de l'axe; tandis que le baſſin *r*, agiſſant contre le même fléau, ſelon la direction *Hr*, agiroit contre ce même fléau, de même que s'il étoit ſuſpendu en *g*, à la diſtance *Cg* de l'axe ; les poids *P* & *r* agiroient donc l'un contre l'autre avec des

des forces qui feroient entr'elles, comme $Cf : Cg$. Or $Cf < Cg$; par conséquent le poids P deviendroit plus foible.

On peut appliquer la même démonstration à l'action d'une puissance animée ; ou d'un poids qu'on appliqueroit sur l'extrêmité d'un levier, qu'on voudroit faire mouvoir ; avec cette différence néanmoins, que la puissance deviendroit prépondérante, lorsque l'extrêmité du levier sur lequel cette puissance seroit appliquée, seroit portée au-dessous de la ligne horisontale, & qu'elle deviendroit plus foible, lorsque cette même extrêmité seroit au dessus de la même ligne horisontale.

Supposons en effet que la résistance R, & la puissance P, soient appliquées l'une & l'autre sur les extrémités du levier AB (*fig.* 38) dont le point d'appui est en C; de façon que le centre de gravité a, de la puissance & de la résistance, en soit également éloigné. Si les masses de la puissance & de la résistance sont égales, le tout demeurera en équilibre, tant que le levier conservera cette même situation ; mais si la puiſſance acquiert aſſez de force pour rompre l'équilibre, & pour faire deſcendre le bras de levier, ſur lequel elle s'appuie; elle éprouvera une réſiſtance d'autant plus foible, que ce bras de levier s'abaiſſera davantage. Suppoſons par exemple qu'il parvienne en *G*, & qu'il prenne la ſituation *FG*; dans cette ſuppoſition, le centre de gravité de la puiſſance répondra au point *b*, plus rapproché à la vérité du point d'appui *C*; mais auſſi le centre de gravité *a* de la réſiſtance *R*, répondra au point *e*, qui eſt encore plus rapproché de *C*: la puiſſance agira donc à une diſtance du point d'appui reſpectivement plus grande que celle à laquelle elle agiſſoit auparavant. On éprouveroit le contraire, ſi le levier prenoit la ſituation *DE*; car alors le centre de gravité de la puiſſance ſe dirigeroit en *d*, & celui de la réſiſtance répondroit au point *e*; or la diſtance $eC > Cd$: la réſiſtance acquerroit donc de l'avantage contre la puiſſance. Toutes ces ſuppoſitions, ainſi que les précédentes, ſe démontrent très-bien par expérience.

De la Poulie.

CXXXVIII. *La poulie* eſt encore une machine ſimple, qui peut ſe rapporter au levier. C'eſt un plan circulaire qu'on peut conſidérer comme un aſſemblage de pluſieurs leviers du premier genre, dont le point d'appui commun eſt l'axe ſur lequel ce plan fait ſa révolution.

Cette machine, ainſi conſidérée, ne doit point, à proprement parler, être rangée parmi les puiſſances méchaniques; car elle ne contribue en rien à diminuer l'effort de la puiſſance contre la réſiſtance; puiſqu'elles agiſſent toujours l'une & l'autre à la même diſtance du point d'appui.

Soit en effet la poulie fixe à *ADB* (*fig.* 39.), embraſſée par la corde *abc*, aux extrêmités *a* & *c*, de laquelle ſont ſuſpendus les poids *P*, *R*, qu'on veut faire agir l'un contre l'autre. Cette poulie étant un plan circulaire, tous les points de ſa circonférence ſont également diſtans du centre *C*, ou de l'axe: toutes les parties de la corde qui s'appliquent ſur cette circonférence, ſont donc toutes également éloignées de ſon axe : mais ne conſidérons ici que les points *A* & *B*, ſur leſquels cette corde s'appuie. Les poids *P* & *R* ſuſpendus aux extrêmités de cette corde, agiſſent donc l'un contre l'autre de la même maniere, que s'ils étoient ſuſpendus directement en *A* & en *B* : or *CA*=*CB* : ils agiſſent donc l'un & l'autre à la même diſtance du point d'appui, & conſéquemment ils doivent être de même maſſe, pour ſe faire équilibre.

Le ſeul avantage qu'on retire de cette eſpéce de poulie, eſt de changer la direction de la puiſſance & de la faire agir d'une maniere plus commode. Un homme en effet qui auroit un fardeau à ſoulever de terre, n'agiroit point d'une maniere avantageuſe, s'il étoit obligé de l'élever de bas en haut. Il ne jouiroit point alors de toute la force qu'il peut employer contre cette réſiſtance : car agiſſant ſelon une direction contraire à celle de la gravité, une partie du poids de ſon corps ſe joindroit au fardeau qu'il auroit à ſoulever, & en ſuppoſant que ce fardeau fut placé entre ſes jambes, il ne pourroit employer contre lui, que l'effort des muscles lombaires, qui, selon les observations de M. *de la Hire* (*a*), ne peuvent soulever qu'un poids =170 liv. : or eu égard à la situation de cet homme, il doit alors porter la moitié du poids de son corps, qui équivaut à un poids =70 liv., il ne peut donc agir contre le fardeau, qu'avec une force de 100 liv.; mais si ce même homme agissoit de haut en bas, comme il arrive, lorsqu'il agit par le moyen d'une poulie fixe, il pourroit, & en vertu du poids de son corps = 140 liv. qui le favoriseroit alors, & en vertu de l'effort des muscles de ses bras & de ses épaules, contrebalancer un poids = 160 liv., il gagne donc 60 liv. d'effort, à agir de haut en bas, & il doit cet avantage à la poulie fixe.

Non seulement les puissances animées trouvent un avantage dans la poulie fixe; mais on peut encore employer des puissances inanimées pour élever des fardeaux, à l'aide de cette espéce de poulie; puisque la direction de la puissance devient alors conforme

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences, an. 1699.

à celle de la pesanteur ; ce qu'on ne pourroit point faire, si la puissance étoit obligée d'agir de bas en haut.

CXXXIX. Nous avons considéré la poulie fixe comme un assemblage de leviers du premier genre, qui ont tous un point d'appui commun. Les propriétés de ce levier doivent donc aussi convenir à cette espéce de poulie, & c'est ce dont on peut s'assurer par l'expérience suivante.

Faites creuser sur un plan circulaire *ABD* (*fig.* 40.) trois gorges de poulies, de maniere que leur distance à l'axe *C*, qui leur sert de point d'appui commun, croisse comme la suite directe des nombres 1, 2, 3, ou selon toute autre proportion (*a*) ; fixez des cordons sur un des points de la circonférence de chacune de ces poulies, de façon que chaque cordon embrasse le quart de la poulie à laquelle il appartient. Si le poids *R* est suspendu à l'extrêmité du cordon, qui embrasse la gorge de la petite poulie ; sa distance au centre du mouvement, ou à l'axe sera *Ca*, & celle du poids *P*, suspen-

(*a*) Nollet, Leçons de Phys. T. 3. pag. 83.

du à l'extrêmité du cordon, qui embrasse la seconde poulie, sera *Cb* : mais par la construction, $Cb = 2Ca$. Donc leur distance au centre sera dans le rapport de 1 à 2 ; pour qu'il y ait donc équilibre entre ces deux poids, si une telle poulie fait l'office de levier du premier genre, il faut que leurs masses soient en raison réciproque de leurs distances à l'axe, & qu'on ait $P : R :: 1 : 2$. Or l'expérience démontre que si le poids $R = 6$ onces, le poids *P* qui lui fait équilibre $= 3$ onces. L'expérience démontre encore que le poids *p* suspendu à l'extrêmité du cordon qui embrasse la grande poulie, étant $= 2$ onces, tient en équilibre le poids $R = 6$ onces : or les distances de ces deux derniers poids au point d'appui *C*, sont dans le rapport de 3 : 1. Ces poids sont donc en équilibre, lorsque leurs masses sont entr'elles, en raison réciproque de leurs distances au point d'appui.

CXL. On peut, en combinant ensemble plusieurs poulies, dont les unes seroient mobiles & les autres fixes, construire de véritables puissances méchaniques, qui diminueroient l'effort que la puissance est obligée de faire contre la réſiſtance ; mais ces poulies, ainſi combinées, peuvent devenir des machines compoſées, dont nous parlerons ici néanmoins, pour renfermer ſous un même point de vue, tout l'avantage qu'on peut attendre des poulies.

CXLI. En ne conſidérant d'abord que deux poulies, dont l'une ſeroit fixe & l'autre mobile ; ſyſtême de poulies qu'on connoît en méchanique, ſous le nom de *mouffles*, ou de *poulies mouf-flées* ; on doit alors conſidérer la poulie mobile comme un levier du ſecond genre, dont le point d'appui eſt une fois plus éloigné de la réſiſtance, que de la puiſſance. Suppoſons en effet deux poulies *C*, *c* (*fig.* 41.), dont la premiere étant fixée au point *A*, la ſeconde ſoit mobile avec le fardeau *R*, ſuſpendu perpendiculairement au-deſſous de ſon axe *c*. La puiſſance appliquée à l'extrêmité de la corde qui embraſſe la poulie fixe *C*, agit de la même maniere, que ſi elle étoit appliquée directement au point *G*, extrêmité du diametre *GH* ; mais comme la poulie fixe ne ſert qu'à changer la direction de la puiſſance, cette puiſſance n'a pas plus d'avantage à agir ſur ce point *G*, que ſi elle étoit appliquée au point *H*, autre extrêmité du même diametre, & qu'elle tirât de bas en haut le fardeau *R*, qu'elle veut faire monter. Suppoſons donc que la puiſſance agiſſe de cette derniere maniere; ſon action ſe portera ſur le point *D*, extrêmité du diametre *DE* de la poulie mobile *c*: le point d'appui qui eſt ſitué en *F*, où l'autre extrêmité de la corde eſt attachée, peut être rapporté au point *E*, autre extrêmité du diametre *DE*: enfin on peut concevoir que le centre de gravité du fardeau *R* & de la poulie mobile, qui fait partie de ce fardeau, ſe trouve réuni au point *c*, centre de cette poulie. Cela poſé, conſidérant le diametre *DE*, comme un levier, le point d'appui ſera placé à l'une de ſes extrêmités, la puiſſance à l'autre, & la réſiſtance entre les deux. Cette poulie mobile fera donc l'effet d'un levier du ſecond genre: mais par ſa conſtruction, la réſiſtance ſera éloignée du point d'appui de la longueur du rayon de cette poulie, & la puiſſance en ſera éloignée de la longueur d'un diametre; elles ſeront donc en équilibre entr'elles, si on a l'analogie suivante $P : R :: cE : DE$. Or par la construction $cE = \frac{1}{2} DE$. Donc P doit être $= \frac{1}{2} R$. L'expérience démontre cette vérité ; car un poids de 4 onces, faisant l'office de la puissance, tient en équilibre un poids de 8 onces, en y comprenant le poids de la poulie mobile & de sa chasse.

On peut encore étendre l'avantage des poulies, en les combinant de maniere qu'il y ait un plus grand nombre de poulies mobiles. Soit, par exemple, le systême de poulies représenté par la figure 42. où la seule poulie *A* est fixe, & les trois autres *B*, *C*, *D*, sont mobiles & attachées les unes aux autres. Le fardeau *R*, étant appliqué à la chasse de la derniere poulie *B*, si la puissance qui tend à faire monter ce fardeau, étoit appliquée en *a*, elle n'auroit que la moitié de ce poids à supporter, comme nous venons de le démontrer. Ainsi si le poids *R* & celui de la poulie *B* = 100 liv., la puissance appliquée en *a*, seroit en équilibre à l'aide de 50 liv. d'effort. L'axe de la seconde poulie *C*, n'est donc chargé que d'un poids = 50 liv. ; mais comme cette poulie *C*, comparée à la pousie D, est combinée de la même maniere que la poulie B, par rapport à la poulie C; la puissance étant appliquée en b, n'aura à supporter que la moitié des 50 liv. = 25 liv., auquel poids il faudra joindre la moitié du poids de la poulie C, qui fait partie de ce fardeau : en supposant donc que cette poulie pese 6 liv., une puissance = 28 liv., sera en équilibre en b. Le fardeau R, ainsi que le poids des poulies B & C, ne font donc porter au point b, qu'une charge = 28 liv. Donc une puissance appliquée en c = 14 liv. abstraction faite du poids de la poulie D, tiendra le fardeau en équilibre; & si on suppose que la poulie D pese 6 liv., une puissance appliquée en c = 17 liv., tiendra le tout en équilibre. Or comme le poids P appliqué à l'extrêmité de la corde qui embrasse la poulie fixe, agit de la même maniere contre la résistance, que s'il étoit appliqué en c ce poids étant = 17 liv., soutiendra le poids R, & les poulies mobiles = 112 liv.

Nous faisons ici abstraction du frottement des poulies sur leurs axes, & de la roideur des cordes; résistances qui vont très loin, mais dont nous parlerons ailleurs.

CXLII. Plusieurs Méchaniciens apportent une raison très-naturelle des avantages que procurent les poulies mobiles, sans faire attention à l'espéce de levier que forment ces sortes de poulies. Voici comment ils raisonnent. La poulie *c* de la figure 41, & le fardeau dont son axe est chargé, sont soutenus par deux puissances, dont l'une est celle que nous avons indiquée (140.); sçavoir, la puissance *P*, appliquée à l'extrêmité de la corde qui embrasse la poulie fixe *C*, & l'autre est le point d'appui *F* : or comme on peut rapporter l'action de ces deux puissances en *D* & en *E*, elles sont également éloignées de la charge qu'elles soutiennent ; elles en portent donc chacune la moitié (130.).

Cette façon d'expliquer l'avantage qu'une puissance trouve dans une poulie mobile, a donné lieu d'estimer le rapport de la puissance à la résistance, en pareille circonstance, & de le regarder comme l'unité, comparée au nombre des cordes qui embrassent les poulies mobiles. Ainsi dans la fig.

41, la poulie mobile *C*, eſt embraſſée par deux cordes; ſçavoir, *HD* & *FE*: la puiſſance eſt donc à la réſiſtance, dans le cas d'équilibre :: 1 : 2.

Il ſuit delà, que ſi on multiplie le nombre des poulies fixes & celui des poulies mobiles, comme on le pratique aſſez ordinairement; on trouvera tout-à-coup l'avantage que cette puiſſance retire de cette multiplication de poulies. Suppoſons, par exemple, trois poulies fixes & trois poulies mobiles, fixées dans deux chaſſes *A* & *B* (*fig.* 43.). On aura le rapport de la puiſſance *P*, à la réſiſtance *R*; ſi on fait la proportion *P* : *R* :: 1 : 6, nombre des cordes qui embraſſent les poulies mobiles, établies dans la chaſſe *B*; ce qui eſt conforme à l'expérience.

Il y a encore pluſieurs autres manieres de diſpoſer les poulies moufflées qu'on trouvera dans les différens Auteurs qui ont traité de la méchanique.

CXLIII. Nous avons conſidéré juſqu'à préſent que les cordes dont on fait uſage dans ces ſortes de machines, étoient appliquées aux extrêmités d'un même diametre de chaque poulie; mais il arrive très-rarement que cette disposition ait lieu dans la pratique. Personne que M. *Wallis* (*a*) n'avoit fait cette remarque avant M. *Varignon* : ce qui détermina ce dernier à chercher une méthode générale pour tous les cas, soit que les cordes fussent paralleles, ou non. Voici la solution qu'il a trouvée (*b*).

Joignez les points *M* & *N*, (*fig.* 44, 45.) où les cordes *MP* & *NR* touchent la poulie *A*, & du point *M*, faites *MK* perpendiculaire sur *NH*; cela fait, il est clair, & même suivant les principes ordinaires, que la charge *D* & la puissance *R* demeurent en équilibre en cet état; de même que si elles étoient appliquées l'une & l'autre à un même levier *MN*, dont l'appui fût *M*; sçavoir, la charge *D* en *O*, suivant *OH*, & la puissance *R* en *N*, suivant *NR*, & par conséquent elles sont l'une à l'autre en raison réciproque des lignes *MK* & *MO*, qui tombent perpendiculairement du point *M*, sur leurs lignes de directions *NH* & *HA*. Or à cause que la ligne de direction du poids *D* passe, comme on vient de le voir,

(*a*) Propos. 2. ch. 8, part. 3.
(*b*) Républiq. des Lett. Mai 1687.

par le point *H*, où concourent les cordes *PM* & *RN*, prolongées de ce côté là ; les lignes *MK* & *MO* sont les sinus des angles *MHN*, *MHO*. Donc le poids *D* est à la puissance *R*, en raison réciproque de ces mêmes sinus ; c'est-à-dire, à cause que *MH* & *NH* sont tangentes, comme le sinus de l'angle qu'elles font entr'elles, au sinus de sa moitié.

On a fait graver ici deux figures, pour faire voir que cette démonstration a lieu, soit que les lignes de traction forment un angle obtus, ou un angle aigu. Si on consulte l'endroit cité, on y trouvera des corollaires qui déduisent de cette regle générale, une application pour tous les cas possibles, & pour ceux où on feroit usage de plusieurs poulies.

On peut donc regarder comme un principe général, que dans les poulies mobiles, quelqu'angle que fassent entr'elles les cordes qui y sont appliquées, si on les prolonge jusqu'à ce qu'elles concourent en un point, le fardeau sera à la puissance, comme le sinus de l'angle formé par ces cordes, est au sinus de sa moitié.

CXLIV. Toute générale que soit la méthode ordinaire d'évaluer le rapport de la puissance à la résistance, dans un système de poulies mouflées, lorsque les cordes sont paralleles ; on ne peut en faire usage, comme le remarque très-bien le D. *Desaguilliers* (*a*), que lorsque les poulies mobiles sont fixées dans la même chasse, & qu'elles montent toutes ensemble : car l'avantage que la puissance gagne sur la résistance, lorsque les poulies mobiles sont autrement disposées, comme dans la figure 42, augmente selon une plus haute raison ; puisque l'avantage de la puissance est continuellement doublé par chaque poulie consécutive. On peut donc dire dans ce cas, que la puissance est à la résistance, comme l'unité est au nombre 2 élevé à une puissance, dont l'exposant égale le nombre des poulies mobiles. Ainsi dans la figure 42 les poulies mobiles étant au nombre de 3, la puissance est à la résistance comme $1 : 2^3 :: 1 : 8$. En effet, en faisant abstraction du poids des poulies mobiles, nous

(*a*) Cours de Phys. Expérim. Tom. 1. p. 107.

trouverons que R étant $=100$ liv. la puissance n'aura que 50 liv. à supporter en *a*, 25 en *b*, $12\frac{1}{2}$ en *c* : or $12\frac{1}{2} \times 8 = 100$.

CXLV. Avant de terminer ce que je me suis proposé de dire sur les poulies, il ne sera pas hors de propos de résoudre une difficulté qui peut se présenter à l'esprit de ceux qui verront les deux méthodes que je viens de rapporter, pour rendre raison du rapport de la puissance à la résistance, dans les deux différens systêmes de poulies, représentées par les *fig.* 42, 43. Voici en quoi elle consiste.

Tout le monde convient que si les poulies sont indépendantes les unes des autres, (*fig.* 42.) ce sont autant de leviers du second genre qui se succedent les uns aux autres, & qui, eu égard à leur disposition, doublent continuellement l'avantage de la puissance. Mais on demande pourquoi ce même effet n'a pas lieu dans la *fig* 43, où les poulies mobiles sont fixées dans la même chasse ; puisqu'elles font chacune l'effet d'un levier du second genre, & qu'en ne supposant que 2 poulies *a* & *b*, la premiere mobile, & l'autre fixe, la puissance n'auroit que la moitié du fardeau à supporter (141 *fig* 41.) & que les autres poulies *c*, *d*, *e*, *f*, prises deux à deux, étant disposées de la même maniere que les deux premieres, devroient produire deux à deux le même avantage, ce qui donneroit *P* : *R* : : 1 : 8, & non : : 1 : 6 ; différence qu'on doit remarquer avec d'autant plus d'attention, qu'elle va très-loin, si on augmente de part & d'autre le nombre des poulies : car si dans la figure 43 les poulies mobiles étoient au nombre de 5 ; on auroit, suivant la maniere d'évaluer le rapport de la puissance à la résistance ; *P* : *R* : : 1 : 10, au lieu que dans la fig. 42, on auroit *P* : *R* : : 1 : 32.

Cette difficulté qui paroît très-spécieuse, se résout aisément, si on fait attention que dans la fig. 43, toutes les cordes sont également tirées par le fardeau & par le poids des poulies mobiles : par conséquent la résistance se distribuant également sur chacune de ces cordes, chacune doit porter la même portion du fardeau : or comme dans cette hypothèse il y a six cordes qui représentent six puissances, chacune porte $\frac{1}{6}$ du fardeau : on doit donc avoir $P : R :: 1 : 6$.

Au contraire, dans la fig. 42 les cordes qui représentent les puissances sont differemment chargées : les cordes *ad*, *de*, ne portent chacune que la moitié du poids *R* & de la poulie *B* : il ne se fait donc sur l'axe *C* de la seconde poulie mobile que la moitié de l'effort qui se fait sur la premiere ; les cordes *ba* & *af*, n'ayant chacune à porter que la moitié de cet effort, ne portent chacune que $\frac{1}{4}$ de l'effort total qui se fait en *B*, & ainsi de suite.

Du Tour.

CXLVI. *Le tour*, autrement dit, *axis in peritrochio*, est encore une machine simple, qui doit se rapporter au levier.

Cet instrument est un cylindre mobile sur les deux extrêmités de son axe, dont chaque point fait l'office de point d'appui.

Il prend différens noms, suivant les dispositions dont il est susceptible : lorsqu'il est posé parallelement à l'horison, il conserve le nom de tour, ou il prend celui de *treuil*. Lorſqu'il eſt diſpoſé perpendiculairement à l'horiſon, on le nomme *vindas*, ou *cabeſtan*. Dans le premier cas, il ſert à élever des fardeaux; dans le ſecond, on l'emploie pour les faire avancer, ſoit parallelement, ſoit obliquement à l'horiſon.

De quelque maniere que cet inſtrument ſoit ſitué, la puiſſance y trouve le même avantage, toutes choſes égales d'ailleurs.

CXLVII. On doit, à proprement parler, conſidérer le tour *AB* (*fig*.46.) quelque ſituation qu'on lui donne, comme un aſſemblage de pluſieurs poulies, enfilées ſur le même axe. Delà, ſi une corde à l'une des extrêmités de laquelle ſeroit attachée la réſiſtance *R*, paſſoit ſur la circonférence du tour, & que la puiſſance *P* fût appliquée à l'autre extrêmité de la même corde, on auroit alors la même analogie, que par rapport à la poulie fixe. La puiſſance devroit donc être égale à la réſiſtance pour la tenir en équilibre; puiſque l'une & l'autre agiſſant ſur la circonférence du tour, dont les points ſont également diſtans de l'axe; la puiſſance

& la résistance agiroient à la même distance du point d'appui.

Pour favoriser la puissance qui fait usage de cet instrument, on adapte assez souvent une manivelle à l'une des extrêmités de l'axe du tour : on en adapte même quelquefois aux deux extrêmités. Dans ces deux cas, la corde est attachée sur un des points de la circonférence du tour, & la puissance est appliquée en *d* à la manivelle : or comme le rayon *cd* de la manivelle, est plus grand que le rayon *ab* du tour, la puissance gagne quelqu'avantage sur la résistance, & pour le cas d'équilibre, on a $P:R::ab:cd$.

Mais lorsqu'on destine cet instrument à faire monter de gros fardeaux, le secours que la puissance tireroit d'une manivelle, ou même de deux, ne seroit pas suffisant : un homme appliqué à chaque manivelle ne pourroit point vaincre l'effort de la résistance : dans ce cas, on adapte sur la circonférence du tour, des leviers croisés *ef*, *eg*, *eh*, *ei*, dont la longueur excéde de beaucoup le rayon *ab* de cette machine. La puissance appliquée à l'extrêmité de ces leviers agit donc à une plus grande distance du point d'appui, & pour le cas d'équilibre, on a l'analogie *P* : *R* : : *ab* : *ef* : *eg* : *eh* : *ei*.

Si les fardeaux qu'on veut élever par le secours d'une telle machine, étoient encore plus lourds, tels que ces grosses pierres qu'on tire du fond des carrieres; ces leviers ne suffiroient point; parce que si on les prolongeoit autant qu'il seroit nécessaire, pour procurer à la puissance tout l'avantage qu'elle doit avoir en pareille circonstance, ils deviendroient trop écartés les uns des autres, pour que la même personne qui en auroit abaissé un, pût saisir celui qui suit. Il faut donc nécessairement avoir recours à un autre expédient pour parvenir au même but. Pour cela, les leviers *ef*, *eg*, *eh*, *ei*, étant prolongés autant qu'il convient, on les entoure d'une roue, sur la circonférence de laquelle on implante des chevilles. Quoique cette roue ne soit point différente d'un treuil, on lui donne le nom de *roue de carrieres*, eu égard à l'usage qu'on en fait spécialement, pour tirer des pierres des carrieres, & on a la même analogie pour le cas d'équilibre, $P : R$: : le rayon du treuil eſt au rayon de la roue.

CXLVIII. Nous ſuppoſons ici que la puiſſance eſt appliquée perpendiculairement à l'extrêmité du rayon de la roue ſur lequel elle agit ; car ſans cette condition, on n'auroit pas la proportion que nous venons d'indiquer. Suppoſons en effet que le cercle ABC (*fig.* 47.) repréſente la roue d'un tour & le petit cercle DEF, le tour & le cylindre. Si la puiſſance P qui agit en H, extrêmité du rayon OH, eſt dirigée ſelon HP, perpendiculaire à ce rayon ; elle jouira complettement de toute l'intenſité de ſa force, & on aura $P : R :: OE : OH$. Mais ſi la direction de la puiſſance vient à changer, & que de perpendiculaire elle devienne oblique à ce rayon, ſoit qu'elle forme avec lui un angle aigu ou obtus; alors l'intenſité de la puiſſance diminuera. Suppoſons 1°. qu'elle forme avec le rayon OH, l'angle aigu OHG, en prenant la direction GH ; dans cette ſuppoſition, la puiſſance qui agit ſelon HG, eſt à la précédente, qui agiſſoit ſelon la perpendiculaire HP ; comme le ſinus de l'angle de direction eſt au rayon, ou au ſinus total ; car une force appliquée au point *H*, & dont la direction eſt exprimée par *HG*, eſt préciſément la même choſe que ſi elle étoit appliquée au point *G*, ſelon la direction *GH*, tandis que celle qui agit contre ce même point *H*, ſelon la direction *HP*, peut être conſidérée comme appliquée perpendiculairement au point *I*, ſelon la direction *IP* ; puiſque $OI = OH$. Suppoſons donc pour un inſtant que la force appliquée perpendiculairement en *H*, ſoit appliquée perpendiculairement en *I*, ſelon la direction *Ip*, & que celle qui eſt appliquée obliquement en *H*, ſoit appliquée perpendiculairement en *G*, ſelon la direction *GH*. Dans cette ſuppoſition, on aura la force appliquée en *G*, eſt à celle qui eſt appliquée en *I*, comme $OG : OI$: or *OG* eſt le ſinus de l'angle de direction *GHO*, & *OI* eſt le rayon ou le ſinus total. Ces deux forces ſont donc entr'elles comme le ſinus de l'angle de direction, eſt au ſinus total.

Cette même démonſtration aura encore lieu dans la ſeconde ſuppoſition, où la puiſſance formeroit un angle obtus avec le rayon, ſur l'extrêmité du-

quel

quel elle agiroit. Soit la puiſſance *P*, appliquée au point *H* (*fig.* 48.) ſelon la direction *HP*; de façon qu'elle forme avec le rayon *OH*, l'angle obtus *PHO*. Si on prolonge indéfiniment la ligne de direction *PH*, & que de l'axe du treuil on conduiſe la perpendiculaire *OA*; cette perpendiculaire rencontrera en *A*, le prolongement de la ligne de direction. Si du centre *O*, & d'un intervalle égal à la perpendiculaire *OA*, on décrit un arc de cercle; il coupera en *B* le rayon *OH*, & on aura (136) la puiſſance appliquée au point *H*, ſelon la direction *HP* = la même puiſſance appliquée perpendiculairement au point *B* : on aura donc la puiſſance appliquée au point *H*, ſelon la direction *HP*, eſt à la même puiſſance appliquée perpendiculairement en *H*, comme *OB* = *OA* : *OH*. Cela poſé, conſidérant *O H*, hypothéneuſe du triangle rectangle *HAO*, comme le ſinus total; on aura *OA*, ſinus de l'angle de direction *PHO*; puiſqu'il eſt le ſinus de ſon angle de ſupplément *OHA*. Par conſéquent la puiſſance appliquée obliquement au point *H*, ſelon la direction *HP*, eſt à la même puissance appliquée perpendiculairement au même point, comme le sinus de l'angle de direction, est au sinus total.

Du plan incliné.

CXLIX. On appelle *plan incliné*, celui qui fait un angle avec l'horison (87). Nous avons déjà fait observer (88) que l'action de la pesanteur contre un corps qui se meut sur un plan incliné, étoit ralentie par l'inclinaison de ce plan; & c'est dans ce ralentissement que la puissance trouve l'avantage qu'un pareil plan lui procure pour faire monter, ou descendre des fardeaux: car s'il s'agit, par exemple, d'élever un corps à une certaine hauteur, sans le secours d'aucune machine; il faut que la puissance soit propre à vaincre l'effet de la pesanteur qui détermine ce corps selon une direction contraire. Or cet effet étant égal à la somme des parties de ce corps; il faut que la puissance soit en état de vaincre le poids de ce corps; mais la force de ce corps vers le centre des graves, étant diminuée par l'inclinaison d'un plan, la puissance qui agit alors contre lui, peut donc produire le même effet avec une force moindre que le poids de ce corps. Reste à déterminer la force qu'elle doit employer pour produire cet effet. On trouvera cette force si on peut déterminer le cas d'équilibre entre la puissance & la résistance qui agissent l'une contre l'autre, par le moyen d'un plan incliné.

Pour trouver cet équilibre, il faut distinguer deux forces dans la résistance : sa force absolue & sa force relative. La premiere est celle dont elle jouiroit si on supprimoit le plan. La seconde est celle qui subsiste indépendamment de l'inclinaison du plan : or c'est contre cette derniere seule que la puissance agit dans l'hypothèse présente. Il y aura donc équilibre entre la puissance & la résistance, si la puissance est à la résistance, comme la force relative est à la force absolue. mais ces deux forces étant entr'elles comme le produit de la même masse multiplié par les vîtesses qu'elle auroit dans l'un & dans l'autre cas ; ces deux forces seront entr'elles comme les vîtesses. Or nous avons démontré (89) que la vîtesse relative étoit à la vîtesse absolue, comme la hauteur du plan est à sa longueur. La force relative eſt donc à la force abſolue, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur. Et conſéquemment pour qu'il y ait équilibre, il faut que la puiſſance ſoit à la réſiſtance, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur.

CL. Pour démontrer par expérience la vérité de cette propoſition, ſoit conſtruit un plan incliné *AB* (*fig.* 49.) mobile ſur l'arc *yx*, & fixé de maniere que ſa hauteur *Bd*, ſoit ſoudouble de ſa longueur *BA*; ſi le fardeau *R*, eſt placé ſur la longueur de ce plan, & qu'il y ſoit retenu par des poids *P*, *P*, attachés aux extrêmités de deux cordons, dont les deux autres extrêmités ſont fixées à la chaſſe dans laquelle roule le fardeau *R*; en ſuppoſant que ces cordons ſoient dirigés parallelement au plan incliné *AB*, pour embraſſer les poulies *a*, *b*, attachées aux parties latérales de l'arc *yx*, on aura alors équilibre; ſi la maſſe des deux poids *P*, *P*, eſt ſoudouble de celle du fardeau *R*; parce qu'on aura alors $P+P : R :: Bd : BA$.

Mais ſi l'inclinaiſon du plan vient à varier, & qu'il prenne la direction

AC; alors la hauteur du plan augmentant, sa longueur restant la même, la force relative de *R* deviendra plus grande. Les deux poids *P*, *P*, ne seront donc plus en état de contrebalancer le fardeau *R*, il tombera donc de haut en bas sur le plan, & il entraînera les deux poids avec lui.

Si au contraire la hauteur du plan diminue, & devient moins que soudouble de sa longueur; de façon, par exemple, qu'il prenne l'inclinaison *AD*; la force relative du fardeau sera moins que soudouble de sa force absolue, & les deux mêmes poids *P* & *P*, l'entraîneront & le feront monter sur la longueur du plan.

Du Coin.

CLI. Le *Coin* est une machine simple qui représente un double plan incliné, qu'on peut considerer comme une espéce de prisme, dont les bases opposées sont deux triangles isoceles. La hauteur commune de ces deux triangles représente la hauteur du coin. Ainsi dans la *figure* 50, *DC* indique la hauteur de cette machine. La base *AB* désigne l'épaisseur du coin : *c e* représente le tranchant de cet instrument. Cette ligne joint les deux sommets des deux triangles isoceles qui forment les faces du coin. Enfin le parallélogramme *a A B b*, représente la tête du coin.

L'usage de cette machine paroît assez naturellement indiqué par sa figure ; & on conçoît aisément qu'il peut être propre, surtout à fendre du bois, ou à séparer des corps fortement unis entr'eux, & même à élever quelques fardeaux à une certaine hauteur.

CLII. Les méchaniciens ne sont point d'accord entr'eux sur la maniere d'estimer la force du coin. Nous n'entreprendrons point dans des leçons telles que celles-ci, de discuter ce point de controverse ; ce qui nous rejetteroit beaucoup au delà des bornes que nous impose la maniere selon laquelle nous traitons la Géostatique. Nous ferons néanmoins observer la différence des sentimens sur la question présente.

Descartes, & plusieurs après lui, ont cru que pour estimer la force de cet instrument, il falloit précisement avoir égard à l'espace que la puissance & la réſiſtance parcourent dans le même temps. De là, conſidérant qu'un coin quelconque, enfoncé juſqu'à ſa tête, entre les parties qu'il doit ſéparer, ou ſous le corps qu'il doit ſoulever, avoit parcouru un eſpace égal à ſa longueur, c'eſt-à-dire $= DC$; tandis que la réſiſtance n'avoit parcouru, dans le même tems, qu'un eſpace égal à ſa baſe, c'eſt-à-dire $= AB$; ils ont établi l'équilibre entre la puiſſance & la réſiſtance qui agiſſent l'une contre l'autre, par le moyen d'un tel inſtrument, lorſqu'on avoit la proportion $P : R :: AD : DC$.

D'autres ont cru que le coin devant être conſidéré comme un double plan incliné, il ne pouvoit y avoir d'équilibre entre la puiſſance & la réſiſtance, que lorſque la puiſſance étoit à la réſiſtance, comme la moitié de la baſe du coin eſt à la longueur, ou comme la baſe entiere eſt à la ſomme de ſes deux côtés.

Ce dernier ſentiment trouve un plus grand nombre de défenſeurs, & paroît aſſez ſolidement démontré. Soit en effet le coin repréſenté par le triangle ACD (*fig.* 51.); du ſommet C de l'angle ACD, ſoit menée la perpendiculaire *CB*, ſur la baſe *AD*, elle coupera l'angle *C*, en deux parties égales: ſi du point *B*, on tire *BE* perpendiculaire ſur le côté *DC*, cette perpendiculaire ſera le ſinus de la moitié de l'angle *C*: or il y aura équilibre entre la puiſſance & la réſiſtance; ſi la puiſſance eſt à la réſiſtance, comme le ſinus de la moitié de l'angle du ſommet *C*, eſt à la hauteur du coin, c'eſt-à-dire, ſi on a la proportion *P* : *R* : : *BE* : *BC*.

En effet, le coin *ACD* ayant parcouru l'eſpace *BC* a agi contre la réſiſtance, ſelon la ligne *BC*, qui lui eſt oblique: ſon action a donc dû ſe décompoſer, & n'a pu être efficace contre elle, que ſelon la perpendiculaire; mais cette perpendiculaire eſt *BE*, ſinus de la moitié de l'angle du ſommet; & comme nous ſuppoſons équilibre entre la puiſſance & la réſiſtance, on peut repréſenter cette derniere force par la même ligne *BE*, qui déſigne l'action efficace de la puiſſance; il y aura donc équilibre dans cette hypothèſe, ſi on a *P* : *R* : : *BE* : *BC*; c'eſt-à-dire, comme le ſinus de la moitié de l'angle du ſommet eſt à la hauteur du coin : mais les triangles *BCE*, *DCB*, ſont ſemblables ; on aura donc *BE* : *BC* : : *BD* : *DC* ; donc ſubſtituant on aura *P* : *R* : : *BD* : *DC*.

Mais n'ayant conſidéré ici que la moitié de la réſiſtance ; ſçavoir, celle qui ſe fait ſentir au point *E*, que nous avons exprimé par *BE* ; puiſque l'effort de la puiſſance déſigné par *BC*, ne ſe décompoſe pas ſeulement en *BE*, perpendiculaire ſur le côté *DC*, mais encore en *BF*, perpendiculaire ſur le côté *AC* ; il s'enſuit que pour évaluer exactement l'équilibre entre la puiſſance & la réſiſtance, il faut doubler le rapport énoncé ci deſſus, ce qui donne *P* : *R* : : *BE* + *BF* : 2 *BC*, ou *P* : *R* : : *BD* + *BA* : *DC* + *AC*. La puiſſance eſt donc à la réſiſtance, comme la baſe du coin eſt à la ſomme de ſes deux côtés.

De la Vis.

CLIII. La *vis* eſt un cylindre ſur lequel tourne en forme de ſpirale un plan également incliné à toute la longueur de l'axe de ce cylindre. Il y a donc deux choſes à conſiderer dans une vis ; ſon *filet* & ſon *pas*. Le filet de la vis eſt une révolution du plan autour du cylindre. Le pas eſt la diſtance qui ſépare un filet de celui qui l'avoiſine.

En conſiderant la vis comme un plan incliné mené autour d'un cylindre; chaque révolution du plan, ou chaque filet de la vis, détermine la longueur du plan incliné, & le pas détermine la hauteur du même plan.

Nous démontrons cela en développant un filet de vis fait avec du vélin, que nous tournons ſur un cylindre. On voit alors que la ligne qui meſure le pourtour, repréſente le filet de la vis, & que celle qui eſt parallele à l'axe du cylindre repréſente le pas, & le développement donne un plan incliné.

Un cylindre enveloppé d'un plan ſpiral conſerve le nom de vis; on l'appelle écrou, lorſque ce plan ſpiral eſt renfermé dans le contour d'un trou, de façon que les pas de la vis puiſſent s'engager ſucceſſivement entre les plans qui ſont creuſés dans le contour du trou.

CLIV. Ces ſortes de machines ſont d'un fréquent uſage, lorſqu'il s'agit de preſſer fortement contre une réſiſtance, ou lorſqu'il s'agit de pouſſer & de faire avancer un fardeau selon une direction quelconque. Dans tous ces cas, la tête de la vis est armée d'un levier, à l'extrémité duquel on applique la puissance, & il y a équilibre entre la puissance & la résistance, lorsque la puissance est à la résistance, comme la hauteur du pas de la vis, est à la circonférence que décrit l'extrémité du levier, à laquelle la puissance est appliquée.

En effet tandis que la puissance appliquée à l'extrémité du levier qu'elle conduit, décrit une circonférence de cercle, dont le rayon est égal à la longueur du levier, prise depuis le centre du cylindre de la vis; la résistance parcourt un espace égal à la hauteur du pas de la vis. Les vîtesses de la puissance & de la résistance sont donc entr'elles, comme la circonférence du cercle que nous venons d'indiquer, est au pas de la vis. Il faut donc pour qu'il y ait équilibre, que leurs masses soient en raison réciproque de leurs vîtesses, & conséquemment que la puissance soit à la résistance, comme la circonférence du cercle qu'elle décrit, est à la hauteur du pas de la vis qu'elle fait agir.

CLV. Quoique dans l'idée métaphyſique qu'on ſe forme des machines, une force très-petite ſoit capable de rompre l'équilibre entre la puiſſance & la réſiſtance, il n'en arrive pas ainſi dans l'uſage de la vis. Il faut néceſſairement employer une force aſſez conſidérable, au-delà de celle qui eſt indiquée pour le cas d'équilibre, pour que la puiſſance ſurmonte la réſiſtance; ce qui ſuit naturellement de la conſtruction de la vis, qui eſt telle, qu'elle ne peut ſe mouvoir dans ſon écrou, ſans qu'elle y éprouve un très-grand frottement, qui fait perdre à la puiſſance une partie de la force qu'elle pouvoit employer contre la réſiſtance.

Si ce frottement occaſionne quelque déſavantage à la puiſſance, elle y gagne d'un autre côté; puiſqu'à l'aide de ce frottement, la vis eſt en état de ſoutenir tout l'effort de la réſiſtance, lorſque la puiſſance ceſſe d'agir; ce que l'expérience confirme journellement: car ayant employé un effort ſuffiſant pour faire avancer, à l'aide d'une vis, un obſtacle donné, ſi la puiſſance ceſſe d'agir, la vis ſe contient dans le pas où la puiſſance l'a portée: avantage qu'on ne peut trouver auſſi complettement que dans cette eſpéce de machine.

CLVI. La vis que nous venons de conſiderer comme un plan incliné, mené autour d'un cylindre, peut auſſi être regardée comme un coin ſimple, mené autour d'un cylindre; puiſque cette eſpéce de coin ne differe en rien d'un plan incliné : or de même que l'effet du coin peut être augmenté par la percuſſion, comme on peut s'en convaincre lorſqu'on l'emploie à fendre du bois, de même l'effet de la vis peut être augmenté par une eſpéce de percuſſion. C'eſt ce qu'on remarque dans les arts, ſurtout dans le balancier qui ſert à frapper la monnoie.

Sans expoſer ici la deſcription de cet inſtrument, que nous mettrons ſous les yeux de nos auditeurs, je ferai ſeulement remarquer que la tête de la vis qui ſert à frapper la piéce qu'on veut monnoyer, eſt conduite par un volant chargé de poids à ſes extrémités. » Le » poids de ce volant, comme l'obſerve » très-bien le D. *Deſaguilliers* (*a*) deſ» cend par un mouvement accéléré ; » mais ſur un plan ſpiral incliné; &

(*a*) Cours de Phyſ. Expérim. Tom. 1. p. 124.

» par ce moyen, ayant ſurmonté le
» frottement des filets de la vis à me-
» ſure qu'elle deſcend, il pouſſe ſon
» extrémité avec une grande force con-
» tre les corps qui doivent être preſ-
» ſés ».

CLVII. Nous ne pouvons paſſer ici ſous ſilence une eſpéce de vis dont la celébrité eſt connue depuis ſi long-tems en Phyſique ; ſçavoir la vis d'*Archimede*, ainſi nommée du nom de ſon inventeur. Cette vis n'eſt, à proprement parler, qu'un tuyau flexible conduit autour d'un cylindre, qu'on diſpoſe obliquement ſur ſon axe, de maniere qu'une de ſes extrémités plonge dans l'eau. Lorſqu'on fait tourner cette machine, l'eau pénétrant dans l'intérieur du tuyau s'éleve ſucceſſivement ſur tous les pas de la vis, & vient ſe dégorger par l'autre extrémité du tuyau, d'où elle s'écoule dans un réſervoir placé au haut de la machine.

On fait un fréquent uſage de cette vis en Hollande ; elle ſert à deſſécher des marais. On ne pourroit point l'appliquer commodément dans tout autre endroit, où il faudroit élever l'eau à une grande hauteur ; parce que, eu égard à l'inclinaison qu'on est obligé de lui donner, il faudroit qu'elle fût très-longue, & elle pourroit ployer sous son propre poids, joint à celui de l'eau qu'elle porte.

Pour représenter d'une maniere commode l'élevation de l'eau par le moyen d'une telle machine ; on peut laisser à jour les différentes hélices que cette vis forme sur son cylindre, & faire monter un corps solide, tel qu'une balle de métal, & on voit par sa révolution que ce corps, en s'élevant de bas en haut, descend continuellement sur des plans inclinés qui se succedent les uns aux autres.

Des Machines composées.

CLVIII. Les machines composées, comme nous l'avons déja observé (115), résultent de l'assemblage plus ou moins multiplié des machines simples. Le nombre de ces sortes de machines se multiplie tous les jours ; mais la connoissance des machines simples suffit pour juger sainement de l'avantage qu'on peut attendre de celles qui sont composées. Nous nous bornerons ici à en donner une légere idée.

Je choisis parmi ces dernieres la multiplication des leviers & la vis sans fin.

CLIX. Soit donc une combinaison de leviers du premier genre, représentée par la *fig.* 52. Ces leviers sont combinés de maniere que le fardeau *R* agissant à l'extrémité *A* du levier *A a*, ne peut se mouvoir qu'il ne fasse mouvoir en même tems les deux autres leviers, & conséquemment qu'il ne souleve le poids *P*, qui représente la puissance : or comme la disposition de ces leviers est telle, que la longueur de leurs bras est dans le rapport de 1 à 8 ; il suffit que la masse de la puissance soit $\frac{1}{512}$ de celle de la résistance ; parce que ces leviers sont en équilibre avec eux mêmes à l'aide des petites masses, *o*, *o*, *o*, dont leur extrémité la plus courte est chargée.

Supposons en effet que la résistance restant en *R*, la puissance soit appliquée en *a* ; nous n'aurons plus qu'un levier simple, & eu égard au rapport de ce levier, une force comme 1 appliquée en *a* tiendroit en équilibre une force = 8 (127). L'effort de la résistance contre le point *a*, n'est donc plus que $\frac{1}{8}$ de la force totale ; & conséquemment une puiſſance $= \frac{1}{64}$ appliquée en *b*, agiſſant encore à une diſtance du point d'appui huit fois plus grande, que celle à laquelle la réſiſtance agiroit, tiendroit en équilibre cette réſiſtance : ſon effort contre le point *b* n'equivaut donc qu'à $\frac{1}{64}$ de la force totale ; & comme il y a le même rapport entre les bras du dernier levier, une puiſſance $= \frac{1}{512}$ de *R*, ſuffira pour faire équilibre.

En général il y a toujours équilibre entre une puiſſance & une réſiſtance qui agiſſent l'une contre l'autre, à l'aide d'une machine composée ; lorſque la puiſſance eſt à la réſiſtance en raiſon composée de tous les rapports qu'il doit y avoir entre l'une & l'autre, dans chacune des machines ſimples, qui conſtituent une machine composée.

Des Roues dentées.

CLX. On peut encore regarder les *roues dentées* comme une combinaiſon de leviers du premier genre. Suppoſons les trois roues repréſentées par la *fig.* 53, munies de leurs lanternes ou pignons, dont les diametres comparés à ceux des roues, ſoient dans le rapport de 1 : 4. Le fardeau *R* étant ſuſpendu à l'extrémité de la corde qui embrasse une partie de la circonférence du treuil *TB*, sera en équilibre avec la puissance *P*, suspendue à l'extrémité de la corde qui embrasse la troisiéme roue, ou le tambour *SV*, si $P = \frac{1}{64}$ de *R*.

Pour saisir commodément la combinaison de cette machine, & l'avantage qu'elle procure à la puissance, ne considerons d'abord que la premiere roue *CD* & le treuil *TB*, qui est fixé sur son axe. Supposons pour un instant que la puissance *P* soit appliquée à l'une des dents *C* de cette roue. Cette premiere machine ne sera point différente de la roue de carriere, dont nous avons parlé (147). Il y aura donc équilibre entre la puissance & la résistance, si elles sont entre elles, en raison réciproque de leurs distances au point d'appui *A*, & conséquemment si $P : R :: AB : AC$. Mais par la construction $AB = \frac{1}{4}$ de *AC*, donc *P* doit être $= \frac{1}{4}$ de *R*. Chaque dent de la premiere roue *CD*, n'a donc à supporter que $\frac{1}{4}$ de *R* : or les dents de cette roue engrénant avec les aîles du pignon, ou de la lanterne *be*, qui est fixée sur le même arbre que la seconde roue *fe*; c'est précisement la même chose, que si $\frac{1}{4}$ de R représentant la résistance, étoit suspendu à l'une des aîles de ce pignon, ou à l'une des chevilles de cette lanterne. Si on transporte donc la puissance en c sur l'une des dents de la seconde roue, on aura équilibre, si $P : R :: ad : ac$. or par la construction, $ad = \frac{1}{4}$ de ac, donc P doit égaler $\frac{1}{4}$ de R. Mais R est reduit à $\frac{1}{4}$, donc P dans cette seconde hypothèse $= \frac{1}{16}$. Chaque dent de la seconde roue fc ne porte donc que $\frac{1}{16}$ du fardeau, & comme cette seconde roue mene le pignon, ou la lanterne gh du tambour SV; cette lanterne n'est chargée que d'un poids $= \frac{1}{16}$ de R, suspendu en B, sur le treuil TB. La puissance P attachée à l'extrémité de la corde qui embrasse le tambour, produisant le même effet que si elle étoit fixée en L, extrémité du rayon Li, on aura équilibre, si $P : R :: ig : il$: or $ig = \frac{1}{4}$ de il; donc P doit égaler $\frac{1}{4}$ de R, & comme par la supposition $R = \frac{1}{16}$, P doit égaler $\frac{1}{64}$. Donc dans la construction donnée, une masse $= \frac{1}{64}$ de R, suspendue en L, au tambour VS, tiendra en équilibre le fardeau $R = 1$, suspendu à l'extrémité de la corde qui passe sur la circonférence du treuil *TB*.

En appliquant ici la régle générale que nous venons de donner (159), on peut dire que dans une combinaison de roues dentées on aura équilibre, lorsque la puissance sera à la résistance, comme le produit du diametre des pignons, ou lanternes est au produit du diametre des roues. Ainsi dans la supposition précédente on aura $P : R ::$ $1 \times 1 \times 1 : 4 \times 4 \times 4 :: 1 : 64$.

De la vis sans fin.

CLXI. La vis sans fin est une espéce de vis, dont l'arbre *BC* (*fig.* 54) tourne continuellement dans le même sens, sur deux pivots *a*, *b* : cette vis engraine dans les dents d'une roue *DEF*; sur l'axe *A* de cette roue est enarbré un treuil *GH*, sur la circonférence duquel s'enveloppe une corde, qui soutient le fardeau *R*. La puissance qui fait agir cette machine étant appliquée à la manivelle *bd*, jouit d'un avantage d'autant plus grand, que la roue *DEF* est plus grande ; & quoiqu'on pût déterminer le rapport de la puissance à la résistance, par la regle générale que nous avons donnée (159), nous allons le déterminer d'une maniere qui sera plus à la portée de tout le monde. Dans toute machine il y a équilibre entre la puissance & la résistance, lorsque leurs masses sont en raison réciproque de leurs vîtesses; mais leurs vîtesses sont entre elles en raison directe des espaces qu'elles parcourent, dans le même tems; ainsi pour juger ici du rapport de la puissance à la résistance, examinons les espaces qu'elles parcourent dans le même tems. Supposons, par exemple, que le treuil *GH* ait un pouce de diametre; sa circonférence sera, à peu de choses près, de trois pouces. Le fardeau s'élevera donc de trois pouces à chaque révolution du treuil; mais comme il a le même arbre que la roue *DEF*, il ne pourra faire une révolution, que la roue n'en fasse une; or cette roue étant menée par une vis sans fin; chaque tour que fera cette vis, ne fera désengrainer qu'une seule dent de la roue, & conséquemment si cette roue porte 100 dents; il faudra 100 tours de vis, pour que la roue & le treuil puissent faire une seule révolution, & conséquemment pour que le fardeau s'éleve de trois pouces. Examinons donc l'espace que parcourra la puissance, tandis que la résistance s'élevera de trois pouces. Supposons que le bras *b d* de la manivelle ait six pouces de longueur; la puissance à chaque tour de manivelle décrira donc un cercle d'un pied de diametre, & parcourra un espace de trois pieds, à peu de choses près : donc cette même puissance parcourra 300 pieds d'espace, tandis que la résistance ne s'élevera que de trois pouces. L'espace que parcourra la puissance, sera donc à celui qui parcourra la résistance, comme 3600 : 3, ou comme 1200 : 1, donc à l'aide de cette machine, une masse d'une livre pourra faire équilibre à une masse de 1200 livres.

Des Frottemens.

CLXII. Nous avons considéré jusqu'à présent les machines dans un degré de perfection auquel on ne peut les porter. Les frottemens qui sont indispensables dans toute machine que ce soit, font perdre à la puissance une partie de l'effet qu'elle doit produire, conformément à la théorie que nous venons d'expofer. Il faut donc de toute néceffité avoir égard à cet inconvénient, lorfqu'il s'agit de mettre une machine en pratique. Les frottemens qui naiffent de l'application de fes différentes parties varient, fuivant que les furfaces frottantes font plus ou moins inégales, raboteufes, fuivant qu'elles font plus grandes, mais furtout plus chargées.

Les réfultats des expériences qu'on a faites à cet égard, ne s'accordent point affez entr'eux, pour qu'on puiffe donner une théorie bien exacte des frottemens, ainfi que plufieurs célebres Mathématiciens fe l'étoient propofé. Lorfqu'ils tenterent de remplir un projet auffi utile au progrès des arts & au bien de la fociété, ils ne firent point attention que les frottemens varient, même entre deux corps de même efpéce égaux en furfaces, & également chargés, comme il arrive tous les jours, eu égard aux irrégularités des furfaces femblables, lefquelles étant pour l'ordinaire compofées des parties hétérogenes, font plus ou moins polies les unes que les autres. Nous nous reſtreindrons donc à donner des principes généraux ſur cette matiere, ſuffiſans néanmoins, pour qu'on puiſſe calculer, à peu de choſes près, la force qu'il faut employer pour vaincre la réſiſtance qui vient de la part des frottemens.

CLXIII. Pour procéder avec ordre, nous diſtinguerons deux eſpéces de frottemens, que nous appellerons de la premiere & de la ſeconde eſpéce. La premiere eſpéce naît de l'application de deux ſurfaces qui gliſſent l'une ſur l'autre, ou dont l'une gliſſe ſur l'autre qui eſt en repos. La ſeconde eſpéce eſt celle qu'on remarque, lorſque les différens points d'un même corps s'appliquent ſucceſſivement ſur les différens points d'un autre corps. Tel eſt le frottement d'une roue qui développe ſucceſſivement ſa circonférence ſur le plan qu'elle parcourt.

CLXIV. Ce dernier frottement nuit moins au mouvement que celui de la premiere eſpéce, & fait perdre au mobile une moindre quantité de la force qu'il a reçue pour ſe mouvoir. Tout le monde eſt perſuadé de cette vérité : le payſan lui-même le moins inſtruit, la met mer tous les jours en pratique; nous lui voyons enrayer les roues de sa voiture & changer le frottement de la seconde espéce, pour un frottement de la premiere; lorsqu'il craint que sa voiture ne soit entraînée par la déclivité d'une montagne. Pour démontrer néanmoins cette vérité d'une maniere satisfa sante, nous avons recours à l'expérience suivante. *AB*, *AB* (*fig.* 55) sont 4 rouleaux, deux de chaque côté, très-mobiles sur leurs pivots *a*, *b*; ces rouleaux servent de supports, lorsqu'on le juge à propos, à l'axe *de*, d'un grand rouleau *C*, qui est mis en mouvement par un ressort spiral *D*, fixé d'une part sur l'axe du grand rouleau, & d'autre part à une potence qui tient à un des montants des 4 rouleaux *AB*. *E* est une détente qui tombe sur l'un des croisillons du grand rouleau. *FG* est une bascule composée de trois tiges, *f*, *g*, *h*, parfaitement semblables entr'elles, disposées de maniere qu'à l'aide de la vis *I*, on peut faire porter une seule tige *g*, ou les deux tiges *f*, *h*, sur l'axe du grand rouleau. Cette construction étant connue, on aura un frottement de la premiere eſpéce, ſi on engrène les deux pivots *d* & *e*, dans les cavités creuſées dans les vis *r*, *ſ*, qui traverſent les montants extérieurs des 4 rouleaux *AB*; puiſqu'alors ces deux pivots s'appliqueront conſtamment pendant leur mouvement ſur la demi-circonférence inférieure de la cavité de ces vis; mais on n'aura qu'un frottement de la ſeconde eſpéce, ſi, après avoir retiré ces vis, les pivots ceſſoient de ſe mouvoir dans leurs cavités, & qu'ils tombaſſent ſur l'interſection des 4 rouleaux *AB*; puiſque ces rouleaux étant eux-mêmes mis en mouvement par celui des pivots, differens points de ces rouleaux toucheroient continuellement differens points de ces pivots.

Donc, en diſpoſant ſucceſſivement l'axe du grand rouleau *C*, de ces deux façons différentes, & en bandant le reſſort ſpiral également; dans l'un & dans l'autre cas, on pourra juger de la grandeur du frottement, en comptant le nombre de vibrations que fera le rouleau *C*, lorſque le frottement ſera de la premiere, & lorſqu'il ſera de la ſeconde eſpéce.

Pour faire cette expérience avec toute l'attention requise, il faut placer la détente *E*, sur un des croisillons du rouleau *C*; cette détente formant une espéce de bascule, permet à ce rouleau de se mouvoir dans le sens qui est nécessaire pour bander le ressort. On mesurera alors la tension qu'on donnera à ce ressort, en comptant les tours qu'on fera faire au rouleau *C*; parce qu'il est fixé sur l'arbre de ce rouleau, & le tout demeurera en situation, parce que la détente ne permet point au rouleau de retourner en arriere. Les choses étant ainsi disposées, si on renverse la détente, le ressort en se débandant, fera plusieurs vibrations, & communiquera le même mouvement au rouleau *C*: on comptera donc le nombre de vibrations de ce rouleau, par celles qu'on remarquera plus sensiblement dans le ressort. L'exactitude de ma machine est telle, que si le ressort bandé de 3 tours fait 72 vibrations, lorsque le frottement est de la premiere espéce; ce même ressort en fait 560, lorsque le frottement est de la seconde espéce. D'où je conclus que le frottement de la seconde espéce nuit beaucoup moins au mouvement, que celui de la premiere.

CLXV. C'est pour l'ordinaire au frottement de la premiere espéce, que nous avons affaire dans la pratique. C'est donc sur-tout celui là qui mérite toute l'attention du Méchanicien.

1 La surface des corps les plus polis est inégale & raboteuse. Celle d'une glace, par exemple, quelque doucie qu'elle soit, quelque polie qu'elle nous paroisse, est remplie de petites aspérités qui échappent à la foiblesse de notre vue; mais qu'on découvre aisément, à l'aide d'un microscope, ou d'une forte loupe. Les corps ne peuvent donc glisser les uns sur les autres, que leurs parties saillantes ne s'engagent les unes entre les autres; ce qui forme de petits engrènages entre les surfaces frottantes. Pour qu'un corps se meuve sur un autre, il faut donc de toute nécessité de trois choses l'une; sçavoir, que la force qui anime le mobile & qui le fait mouvoir, soit propre à ployer les petites éminences engrènées, ou à les rompre, ou enfin qu'elle puisse soulever la masse du corps qui se meut,

Ces aſpérités ploieront, ſi elles ſont d'une certaine longueur & fort adhérentes à la ſurface, à laquelle elles appartiennent ; c'eſt ce qui arrive aux crins d'une broſſe qu'on fait gliſſer ſur une table.

Ces petites éminences ſe rompront ſi leur adhérence eſt peu conſidérable ; c'eſt ce qu'on remarque, par exemple, lorſqu'on frotte deux morceaux de ſucre, l'un contre l'autre. Il en naît une pouſſiere fine, qui provient de la rupture des parties ſaillantes de chaque ſurface.

Enfin il faudra ſoulever le corps pour le faire mouvoir, ſi les parties qui s'engagent ſont peu ſaillantes & inflexibles : c'eſt ce qui arrive, lorſqu'on fait gliſſer, par exemple, une ſurface métallique, ou tout autre corps ſolide, ſur un autre corps également ſolide. Or chacun de ces trois effets exige une force qui le produiſe. Cette force doit néceſſairement être priſe aux dépens de celle qui anime le mobile : on ne peut donc faire mouvoir un corps ſur un autre corps, qu'il ne conſomme une partie de ſa force, à vaincre le frottement qu'il y éprouve.

CLXVI. Pour déterminer quelque chose de général sur cette matiere, j'établis pour premier principe, que plus la surface des corps frottans sera raboteuse, plus le frottement sera grand; puisqu'il y aura alors un plus grand nombre de parties engagées les unes entre les autres, qui s'opposeront chacune au mouvement du mobile, & conséquemment qu'il faudra employer une plus grande force, pour produire l'un des trois effets que nous venons d'exposer.

C'est pour obvier à cet inconvénient, autant qu'il est possible, que les Artistes ont grand soin de polir, jusqu'à un certain point, les surfaces qui doivent glisser, ou rouler les unes sur les autres. C'est pour cette même raison qu'on graisse, ou qu'on enduit d'huile, ou de toute autre matiere de cette espéce, les surfaces des corps qui sont susceptibles d'éprouver de grands frottemens; parce que ces matieres se moulant, pour ainsi dire, dans les cavités des surfaces, elles les remplissent, & elles diminuent en partie leurs aspérités.

CLXVII. J'établis pour second principe, que plus la surface du corps frottant sera grande, & plus, toutes choses égales d'ailleurs, le frottement sera considérable, quoique non proportionné à cette surface. Ce principe est directement contraire à la théorie de M. *Amontons* (a), & de plusieurs autres Méchaniciens qui prétendent que les surfaces n'entrent pour rien dans le frottement des corps Un corps, suivant eux, qui a plus d'épaisseur que de largeur, ne doit point éprouver une plus grande résistance à se mouvoir sur sa plus grande que sur sa plus petite surface; parce que la pression qui vient de son poids, étant la même dans l'une & dans l'autre circonstance, il y a à la vérité un plus grand nombre de parties engagées, lorsqu'il frotte par sa plus grande surface, mais elles le sont moins profondément (b). Ce raisonnement spécieux, établi sur l'expérience de M. *de la Hire*, a engagé jusqu'à présent plusieurs célébres Phy-

(a) Hist. de l'Acad. des Sciences, ann. 1699 & 1703.

(b) Hist. de l'Acad. des Sciences, ann. 1699.

ficiens à négliger la confidération des surfaces : mais comme l'autorité d'un grand homme n'eft point une preuve fuffifante en matiere de phyfique, j'ai cru devoir répéter cette expérience, avec toute l'attention qu'elle demande. J'ai donc fait dreffer & polir une planche de 6 pouces de longueur, fur 4 pouces de largeur & un pouce d'épaiffeur. Au milieu de l'épaiffeur d'un des petits côtés de ce parallélépipede, j'ai attaché une foie : le tout étant ainfi difpofé, j'ai placé cette planche par fa pétite furface, fur une autre planche de même bois également travaillée, longue de 15 pouces & large de 6, j'ai fait paffer le fil de foie fur la circonférence d'une poulie, adaptée à l'une des extrêmités de la longue planche ; de maniere qu'elle pouvoit fe hauffer & fe baiffer à volonté, afin que la foie fût toujours parallele à la furface du plan fur lequel la petite planche gliffoit. J'ai fufpendu à l'extrêmité de cette foie, une efpéce de baffin, dans lequel j'ai mis des grains de plomb, jufqu'à ce que cette charge ait été fuffifante pour faire mouvoir & entraîner la petite planche. Cette premiere expérience étant faite, j'ai placé la petite planche de façon qu'elle touchât le plan ſelon ſa grande ſurface ; j'ai deſcendu la poulie, afin que la ligne de traction fût parallele ; & j'ai obſervé que le même poids, à la vérité, entraînoit la planche, mais qu'elle ſe mouvoit moins vîte dans ce ſecond cas, que dans le premier. J'ai répété pluſieurs fois cette expérience ; je l'ai faite dans mes cours, & perſonne n'a pu révoquer en doute la vérité de ce fait. Il y a donc plus de difficulté à faire mouvoir & à vaincre le frottement de la grande ſurface, que celui de la petite ; & ceux qui ont regardé ce frottement comme le même, n'ont conſidéré que le poids qui étoit néceſſaire pour entraîner ces ſurfaces, & n'ont point fait attention au mouvement qu'il leur communiquoit.

On peut encore démontrer cette vérité, à l'aide de la machine à rouleaux que nous avons décrite (164). Diſpoſez cette machine de maniere que l'axe du rouleau *C*, porte dans les deux vis *r*, *ſ*, bandez le reſſort de deux tours seulement : laissez tomber ensuite sur l'axe du rouleau la bascule *FG*, de façon qu'il n'y ait que la surface *g*, qui touche & qui frotte sur cet axe : lâchez la détente, & comptez le nombre de vibrations. Cette expérience étant faite, bandez une seconde fois le ressort de deux tours, & faites que la bascule *FG* touche l'axe du rouleau, par les deux surfaces *f* & *h*. La surface frottante sera double dans ce second cas. Lâchez la détente, & vous compterez une, ou une & demie vibration de moins que dans la premiere expérience. Le frottement est donc plus grand, lorsque la surface frottante est plus grande : à la vérité l'augmentation du frottement qui naît de l'augmentation des surfaces, va à trop peu de choses pour qu'on ne puisse point la négliger dans la pratique.

CLXVIII. Mais il n'en est pas ainsi de l'augmentation des frottemens, qui naît de l'augmentation des poids. Quoiqu'on ne puisse point la déterminer à la rigueur ; toutes les expériences s'accordent assez pour nous faire voir que cette augmentation de frottement ſuit la raiſon directe des charges.

Si on bande donc de deux tours le reſſort de la machine dont nous venons de faire uſage, l'axe du rouleau *C*, étant toujours engagé dans les cavités des vis *r*, *ſ*, & qu'on faſſe porter ſur l'axe une des branches *g*, de la baſcule *FG* : ſi on leve la détente, on comptera 24 vibrations : mais ſi on répéte cette expérience de la même maniere, en ajoutant un poids à l'extrêmité de la branche *g*, qui double ſur l'axe le poids de la baſcule ; on ne comptera plus que 12 ou 12 $\frac{1}{2}$ vibrations.

CLXIX. Il faut encore avoir égard à la vîteſſe avec laquelle le corps frottant ſe meut, lorſqu'on veut apprétier, autant qu'il eſt poſſible, la valeur du frottement : car plus le corps frottant aura de vîteſſe, & plus la force qui le fera mouvoir, aura de parties engrénées à dégager dans le même tems ; puiſque le mobile parcourant un plus grand eſpace dans le même tems, ſes parties ſaillantes s'engageront dans un plus grand nombre de cavités que lui préſentera l'eſpace ſur lequel il frottera.

CLXX. On peut donc dire en général que les frottemens ſont en raiſon compoſée des aſpérités des ſurfaces, de leurs grandeurs, de leurs poids & de la vîteſſe avec laquelle elles ſe meuvent les unes ſur les autres.

LEÇON IV.

DE L'HYDROSTATIQUE.

CLXXI. La seconde partie de la Statique qui va faire l'objet de cette Leçon, est connue sous le nom d'*Hydrostatique*. Cette science traite de la pression & de l'équilibre des liquides. Les liquides sont de deux espéces. Les uns sont homogenes, ou de même densité. Les autres sont hétérogenes, ou de différente densité.

La pression des liquides hétérogenes est soumise aux mêmes loix que celle des liquides homogenes : mais elle est soumise outre cela à quelques loix particulieres, relatives à l'hétérogénéïté de leurs parties. Quant à ce qui concerne l'équilibre, chaque espéce de liquide a ses loix particulieres.

CLXXII. Pour mettre quelqu'ordre dans ce que nous nous proposons de dire sur cette matiere; nous traiterons 1°. des loix communes de la pression des liquides. 2°. Des loix de l'équilibre des liqueurs homogenes. 3°. Des loix de la pression & de l'équilibre des liqueurs hétérogenes. 4°. De la pression & de l'équilibre des solides plongés dans les liquides.

CLXXIII. Nous avons déjà observé (81) que tous les corps sublunaires étoient maîtrisés par une force qui les porteroit au centre de la terre, si aucun obstacle ne s'opposoit à cet effet. Les liquides sont-ils soumis à la même loi ? On n'imagine pas aisément comment on peut former aucun soupçon à cet égard. Cependant les anciens pensoient le contraire, & imaginoient que les liquides cessoient d'être pesans, lorsqu'ils étoient renfermés dans une masse de même liquide. Delà cette fameuse proposition chez les anciens; *les liquides ne pesent point dans leur propre élément.* Ce qui avoit donné lieu à cette opinion, c'est qu'ils avoient observé qu'un solide plongé dans un liquide, ne faisoit point sentir son poids à la puissance qui tendoit à l'en retirer. La main, par exemple, ne fait aucun effort sensible, pour retirer de l'eau un ſeau, tandis qu'il demeure plongé dans ce liquide : elle ne commence à ſentir ſon poids, que lorſqu'il s'éleve au-deſſus de la ſurface de l'eau.

La raiſon de ce phénomène qui dépend de l'équilibre du ſeau, avec les colonnes d'eau qui lui répondent, deviendra plus ſenſible, lorſque nous parlerons des ſolides plongés dans les liquides : nous nous bornerons donc ici à démontrer la fauſſeté de cette opinion par une expérience, qui fait voir manifeſtement que les liquides peſent dans leur propre élement.

Suſpendez à l'un des bras d'une balance, un flacon leſté de plomb & vuide d'air. Faites plonger ce flacon dans une maſſe d'eau, & mettez-le en équilibre avec un poids convenable, placé dans le baſſin oppoſé de la balance. Si vous le débouchez alors, l'eau qui pénétrera dans l'intérieur de ce flacon, le rendra plus peſant ; & pour rétablir l'équilibre, vous ſerez obligé d'ajouter un nouveau poids dans le baſſin oppoſé, égal à celui de l'eau qui ſe ſera introduite dans le flacon ; or ce nouveau poids, nécessaire au rétablissement de l'équilibre, ne sert qu'à contrebalancer le poids de l'eau, qui a pénétré dans le flacon : cette eau exerce donc son poids, lors même qu'elle est renfermée dans une masse de même liquide : d'où nous devons conclure que les liquides pesent dans leur propre élement.

CLXXIV. Les liquides sont donc soumis aux mêmes loix que les solides : mais leur état de liquidité les expose à des particularités qu'il est important de remarquer. Toutes les parties des solides sont intimément unies les unes aux autres, elles ne font qu'un même tout; leur effort se concentre, pour ainsi dire, en un seul point, que nous avons appellé le centre commun de gravité : aussi lorsqu'il s'agit de soutenir un solide quelconque; il suffit de soutenir son centre de gravité. Il n'en est pas ainsi des liquides : toutes leurs parties sont indépendantes les unes des autres : elles sont extrêmement mobiles, & elles cédent au moindre effort qu'on fait pour les séparer. Or de ce que les parties des liquides ſont extrêmement mobiles, & qu'elles n'ont aucun lien qui les uniſſe intimément les unes aux autres; il s'enſuit manifeſtement qu'elles n'ont point un centre commun de gravité par lequel elles agiſſent; mais qu'elles exercent leur action indépendamment les unes des autres.

Cette concluſion qui ſuit immédiatement de la conſtitution des liquides, ſe démontre très-bien par l'expérience ſuivante.

Soit un grand vaſe cylindrique de criſtal *AB* (*fig.* 56), percé à ſon fond d'un trou d'un pouce de diametre, auquel eſt ſoudée une douille *C*, bien calibrée intérieurement: dans la partie ſupérieure de cette douille, & dans l'intérieur du vaſe, ſe monte à vis, un. tube de criſtal *DE*; ces deux pieces s'adaptent exactement, à l'aide d'un cuir gras interpoſé. Les choſes étant ainſi diſpoſées, on ferme l'ouverture *C* de la douille, avec une eſpéce de piſton *F*, dont le diametre eſt égal au diametre intérieur du tube *DE* : on verſe après cela de l'eau dans le tube, en la laiſſant couler le long de ſes parois, & on en verſe juſqu'à ce qu'il y en ait aſſez pour vaincre le frottement du piſton & pour le pouſſer au dehors. On remarque alors juſqu'à quelle hauteur l'eau eſt parvenue dans ce tube, pour produire cet effet. Suppoſons que cette hauteur = *FG* : on la marque ſur la circonférence du grand vaſe, on retire le tube *DE*, & après avoir replacé le piſton dans la même ſituation, on obſerve qu'il faut verſer de l'eau dans le grand vaſe, juſqu'à la même hauteur, pour produire le même effet.

Si les parties des liquides agiſſoient en commun & de la même maniere que celles des ſolides ; il eſt conſtant qu'une quantité d'eau beaucoup moindre que celle qu'on emploie dans ce ſecond cas, pouſſeroit le piſton audehors ; puiſque l'effort de toutes les parties du liquide ſe réuniſſant contre ce piſton, il ſuffiroit qu'il y en eût dans le grand vaſe la même quantité que celle qu'on a verſée en premier lieu dans le tube *DE*. S'il faut donc remplir le grand vaſe juſqu'à la même hauteur *G*, c'eſt une preuve inconteſtable que la ſeule colonne qui repoſe ſur le piston, & qui est de même diametre que celle qui étoit contenue dans le tube *DE*, agit contre ce piston; tandis que les autres colonnes déploient leur pression sur les autres parties du fond du vase *AB*. Les parties d'un même liquide exercent donc leur pression indépendamment les unes des autres.

CLXXV. Cette différence n'est pas la seule qu'on remarque entre la pression des liquides & celle des solides: ceux ci n'agissent & ne font effort que selon la direction de la pesanteur: au contraire l'effort des liquides se développe en toutes sortes de sens; cet effet dépend néanmoins de la gravité qui les détermine ainsi que tout autre corps, à se mouvoir de haut en bas. L'expérience suivante mettra cette vérité dans tout son jour.

Prenez un tube recourbé *ABCD*, (*fig* 57.) d'une ligne de diametre, ouvert à ses deux extrêmités. Fermez avec le pouce l'ouverture *A*, & plongez dans une masse d'eau la petite branche *CD*. Il est constant que l'eau ne pourra point pénétrer dans cette branche, eu égard à la masse d'air qui est en possession de la capacité de ce tube, & qui est impénétrable. Retirez le pouce, & débouchez l'ouverture *A*; l'eau pénétrera alors dans le tube & s'élevera même dans la longue branche, jusqu'au niveau de la masse d'eau. Or si on considere attentivement cet effet, on y remarquera une preuve incontestable de la pression de l'eau en toutes sortes de sens, & on remarquera que cette pression est l'effet de sa tendance à se mouvoir de haut en bas.

En effet, la colonne d'eau *ab*, qui se présente à l'orifice *D* du tube, faisant effort pour descendre, par son propre poids, pousse devant elle la colonne d'air *DC*. La place que cette colonne abandonne en descendant dans la petite branche du tube, se trouve aussi-tôt remplie par l'affluence des colonnes collatérales, qui n'étant plus soutenues alors, cédent à la pression qu'elles éprouvent de la part des colonnes ambientes, & s'écroulent dans cet espace. Cette nouvelle colonne *ab*, presse donc sur celle qui s'est emparée de l'espace *DC*; cette derniere étant extrêmement mobile, & éprouvant moins de réſiſtance de la part de la maſſe d'air, qui remplit la partie *CB* du tube, pouſſe devant elle cette maſſe d'air, & s'empare de ſa place. Elle déploie donc ſa preſſion latéralement, & la partie *DCB* du tube, ſe trouve alors remplie. La chûte de la ſeconde colonne *ab*, forme encore un nouveau vuide, qui ſe remplit par les colonnes collatérales: la colonne d'eau *CB* eſt donc auſſi ſoumiſe à la preſſion de haut en bas de la colonne *aDC*, qui l'oblige à s'élever dans la longue branche du tube, & à pouſſer devant elle de bas en haut, la colonne d'air qui s'y trouve, juſqu'à ce que le poids de la colonne d'eau élevée, ſoit en équilibre avec le poids de la colonne *aDC* qui la preſſe.

CLXXVI. On peut conſtater par des expériences particulieres, la preſſion des liquides en différens ſens.

1°. Faites percer un trou de 3 lignes de diametre, ou environ, ſur la circonférence d'un flacon; rempliſſez-le d'eau, & fermez exactement avec le bouchon. L'eau ſéjournera dans ce flacon, tant qu'il sera fermé; parce que la colonne d'air qui répond extérieurement à l'ouverture de ce vase, est plus que suffisante pour vaincre la pression latérale que l'eau exerce contre les parois du flacon, ainsi que nous le démontrerons dans l'Aréostatique. Mais si on le débouche, la résistance de cette colonne d'air sera détruite en partie, par la pression de celle qui s'introduira par le col du flacon; l'excès de la pression latérale de l'eau aura donc alors son effet, & on la verra jaillir par l'ouverture pratiquée à la circonférence de ce vase.

2°. Prenez un vase cylindrique de cristal *AB*, (*fig.* 58.) ouvert à ses deux extrêmités : fermez l'ouverture inférieure, en y appliquant un plateau de cuivre épais *ab*, couvert d'un cuir mouillé : retenez ce plateau à l'aide d'un fil *cd*, attaché à son centre; faites descendre ce vase dans une masse d'eau, comprise dans un grand vase *CD*, & faites-le reposer sur les bords de ce dernier, par le moyen de deux oreilles, *f*, *e*, attachées à la circonférence du vase *AB* : abandonnez alors le fil, &

le plateau de cuivre demeurera attaché contre le fond de ce cylindre.

Pour saisir aisément la raison de ce phénomène, concevons qu'une masse d'eau comprise dans un vase cylindrique *AB*, (*fig.* 59.) soit divisée en plusieurs plans paralleles au fond de ce vase : *ab*, *cd*, *ef*, *gh*. Dans cette supposition, le plan *ab*, pressé du poids de la portion de l'atmosphere qui repose dessus, portera sur le plan *cd*, qui est immédiatement au-dessous, la pression qui vient de son propre poids, & celle qu'il reçoit de la part de l'air qui s'appuie sur sa surface : le plan *ef* est donc chargé & du poids de l'atmosphere, & de celui des deux plans *ab*, *cd*, & ainsi de suite. Le fond du vase est donc chargé du poids de tous les plans imaginaires qui reposent dessus & du poids de l'atmosphere. Toutes les parties d'un même plan sont donc également pressées par les parties supérieures qui leur répondent.

Concevons maintenant cette même masse d'eau divisée en plusieurs colonnes paralleles entr'elles, & perpendiculaires au fond du vase 1, 1; 2, 2; 3, 3; 4, 4; 5, 5; 6, 6; 7, 7; chaque partie prise dans la hauteur de chacune de ces colonnes, sera également pressée, que chaque partie correspondante qui se trouvera dans le même plan, dans les colonnes circonvoisines. Imaginons donc pour un instant, qu'une partie de l'eau qui compose la colonne 4, 4; soit supprimée depuis sa surface supérieure jusqu'en *R*; le reste de cette colonne depuis *R*, jusqu'au fond du vase, sera donc moins pressé que les parties correspondantes des colonnes collatérales, qui seront dans les mêmes plans Ces dernieres étant extrêmement mobiles & cédant à l'excès de pression qu'elles éprouveront, se porteront dans la petite colonne *R*, & l'éleveront, jusqu'à ce qu'étant parvenue à une hauteur égale à la leur, elle soit également pressée dans toutes ses parties, que toutes les parties des colonnes correspondantes qui se trouveront dans les mêmes plans correspondans.

Cela posé, lorsqu'on plonge dans une masse d'eau le cylindrique *AB* (*fig* 58) à l'orifice inférieur duquel on a appliqué le plateau de cuivre *ab*, on raccourcit la colonne d'eau qui répond

pond à la ſurface de ce plateau. Les colonnes collatérales qui embraſſent les parois de ce cylindre, devenant plus longues, tendent à élever celle qui répond à la ſurface du plateau, & à lui faire prendre une hauteur égale à la leur. Cette colonne ſollicitée à s'élever, pouſſe de bas en haut le plateau, ſurmonte ſa tendance naturelle, qui le ſollicite à deſcendre, l'applique & le retient contre l'orifice du vaſe.

Cet effet qui démontre manifeſtement la preſſion que les liquides exercent de bas en haut, ne peut avoir lieu, que la force avec laquelle la colonne qui tend à s'élever, ne ſoit au moins égale à celle avec laquelle le plateau de cuivre tend à deſcendre. Or comme la force de cette colonne pour s'élever, vient de l'excès de preſſion des colonnes ambiantes; il faut que cet excès de preſſion ſoit au moins égal à la tendance du plateau de cuivre pour tomber. On obtiendra cet effet ſi l'excès de longueur des colonnes collatérales égale neuf fois l'épaiſſeur du plateau de cuivre; parce que la peſanteur du cuivre eſt à celle de l'eau : : 9 :

1. Mais nous expoſerons cette théorie lorſque nous parlerons de l'équilibre des liqueurs hétérogènes.

CLXXVII. Les liquides exercent donc leur preſſion en toutes ſortes de ſens. Leurs parties agiſſent mutuellement les unes contre les autres, & chaque molécule d'une maſſe de liquide quelconque, ſupporte de toutes parts une égale preſſion; ſinon elles ſe porteroient du côté où elles éprouveroient moins de réſiſtance, juſqu'à ce qu'elles euſſent acquis le même degré de tenſion.

C'eſt en conſéquence de cette égalité de preſſion en toutes ſortes de ſens, comme le remarque très bien *Muſſenbroek* (*a*), qu'un enfant eſt à l'abri de toute compreſſion extérieure, tant qu'il eſt renfermé dans le ſein de ſa mere, où il eſt entouré d'eaux de toutes parts; ce qu'il démontre en renfermant un œuf dans une veſſie remplie d'eau, & à laquelle il fait ſupporter un très grand poids, ſans préjudicier à l'œuf.

CLXXVIII. Ce que nous venons

(*a*) Tom. 2, ſect. 1259.

d'obſerver ſur la maniere ſelon laquelle les liquides exercent leur preſſion, nous met à portée de juger de celle qu'ils exercent contre le fond & les parois des vaſes qui les contiennent.

Stevin (*a*) fut le premier qui démontra que la preſſion étoit la même contre le fond de deux vaſes, différens en figure & en capacité, le diametre de leur fond étant le même, ainſi que la hauteur perpendiculaire du liquide au-deſſus de ces mêmes fonds. M. *Volder* fut auſſi le premier qui confirma par expérience la démonſtration de *Stevin*. *Paſchal* (*b*) confirma cette même vérité, & fit voir en répétant cette expérience, avec 5 vaſes différens, que la preſſion étoit toujours la même, quelque figure, quelque capacité qu'on donnât à ces vaſes; pourvu que la baſe & la hauteur du liquide fuſſent les mêmes; ce qui donna lieu à cette propoſition générale; *la preſſion d'un liquide contre le fond d'un vaſe quelconque, eſt en raiſon compoſée de la baſe & de la hauteur du liquide.*

(*a*) Parad. Hydr. l. 2.

(*b*) Traité de l'équil. des liqueurs, pag. 1

Lorſqu'il s'agira donc d'eſtimer la preſſion d'un liquide contre le fond d'un vaſe dans lequel il ſera contenu; il faudra, 1°. avoir égard à la hauteur du liquide ; car nous avons remarqué (176) que le fond d'un vaſe ſupportoit non-ſeulement la preſſion des parties du liquide qui repoſoient immédiatement deſſus ; mais encore celle des parties ſupérieures. Cette preſſion doit donc être en raiſon directe de la hauteur du liquide, toutes choſes égales d'ailleurs. Auſſi remarquons nous que la preſſion d'un liquide contre un corps, devient d'autant plus grande, qu'il eſt plongé plus profondément dans ce liquide. Le bouchon qui ferme exactement une bouteille portée à 30 braſſes en mer, ſupporte cette preſſion, & on retire la bouteille dans le même état ; mais ſi on la porte juſqu'à 40 braſſes, le bouchon céde à la preſſion de l'eau, rentre en dedans, & on retire la bouteille remplie d'eau (*a*). Cette expérience fut répetée en 1740 ſur un Vaiſſeau marchand nommé *la Sageſſe* (*b*) ;

(*a*) Hiſt. de l'Acad. des Sciences, an. 1737.
(*b*) Journ. de Trévoux, Mai 1742.

mais on avoit assujetti le bouchon avec du fil de fer, de la même maniere qu'on ficelle les bouteilles de cidre & de bierre à l'angloise : on porta cette bouteille jusqu'à 40 brasses de profondeur : le bouchon resta dans le même état : mais la pression fut si forte, que l'eau de la mer se fit jour à travers le bouchon, & remplit la bouteille jusqu'à 4 doigts au-dessous du goulot.

La hauteur du liquide ne peut donc augmenter, que la pression qu'il déploie contre le fond du vase qui le contient, ne devienne plus grande à proportion. Suspendez au bras *C*, d'une balance *CD* (*fig.* 60) un vase *AB* rempli d'eau jusqu'à une certaine hauteur, par exemple *ab*; mettez-le en équilibre avec un poids suffisant *P*, suspendu à l'autre bras de la balance : faites ensuite descendre dans l'eau un vase *E*, attaché fixement à une potence *F*; la masse d'eau dont ce vase occupera la place, refluera dans les colonnes collatérales, & la surface de l'eau s'élevera, supposons jusqu'en *cd*, la quantité d'eau demeurant la même. Or vous observerez alors, que le vase *AB* deviendra prépondérant & fera trébucher la balance.

Cet effet ne peut venir, comme quelques-uns me l'ont objecté, du poids du vase *E*; puisqu'étant attaché fixement à la potence *F*, qui est elle-même appuyée sur une table, tout l'effort de sa pesanteur est soutenu : mais pour lever toute difficulté à cet égard; voici l'expérience que j'ai imaginée. Ajoutez un nouveau poids à *P*, pour rétablir l'équilibre : si la prépondérance du vase *AB*, vient du poids du vase *E*; ce vase ne pourra devenir plus pesant, que le vase *AB*, portant un nouveau poids, ne fasse encore trébucher la balance. Or si on remplit de menu plomb le vase *E*, quoique son poids en soit considérablement augmenté, la balance demeurera en équilibre : ainsi la prépondérance du vase *AB* dans la premiere expérience, ne doit donc être attribuée qu'à la hauteur perpendiculaire de l'eau qui devient plus grande, par l'immersion du vase *E*.

2°. S'il faut avoir égard à la hauteur du liquide, pour estimer la pression qu'il fait supporter au fond d'un vase; il faut aussi avoir égard à la base de ce liquide,ou du vase : car de même que nous avons conçu une masse de liquide divisée en plusieurs lames paralleles à la base ; de même nous pouvons concevoir cette masse divisée en plusieurs colonnes paralleles entr'elles, & perpendiculaires sur le fond du vase. Chacune de ces colonnes imaginaires étant égale, elle exerce une même pression contre la partie du fond qui la soutient : ainsi, plus le fond du vase sera grand, plus le nombre de ces colonnes augmentera, & conséquemment la somme des pressions contre le fond du vase augmentera à proportion.

Si l'on veut donc apprétier la somme des pressions que ces colonnes imaginaires exercent contre le fond du vase qui les contient, il faut multiplier la hauteur du liquide par sa base, & le produit donnera la somme cherchée.

La hauteur nous fait connoître avec quelle force chaque colonne agit contre la partie du fond qui lui répond. La base nous indique le nombre des colonnes qui agissent contre ce fond : ainsi la pression totale étant égale à la somme des pressions partielles ; il faut répéter la pression partielle, c'est-à-dire, la pression d'une colonne, autant de fois qu'il y a de colonnes sur la base; ou ce qui revient au même, multiplier la hauteur par la base.

CLXXIX. Il doit donc y avoir la même pression sur le fond de différens vases, quelque figure & quelque capacité qu'on leur suppose, si la surface de leur fond est la même, & si le liquide est à la même hauteur perpendiculaire dans les uns & les autres. Pour démontrer cette vérité par la voie de l'expérience, nous nous servirons de trois différens vases. Le premier *A* (*fig.* 61.) est cylindrique. Le second *B*, est considérablement évasé. Le troisiéme *C*, est un tube non capillaire; mais ils sont terminés tous les trois par des viroles de même diametre, qui se vissent successivement sur la douille *ND*, fixée solidement par le moyen d'un trépied dans le bassin *F*. La douille *ND* est calibrée intérieurement, & reçoit un piston *E*, qui y glisse librement sans laisser couler l'eau autant que faire se peut; ce piston est attaché à une queue *GH*, qui s'accroche à deux fils suspendus aux extrêmités *I*, *K*, de deux espéces de balances aux deux autres bras desquelles sont suspendus deux bassins *P*, *P*. Le vase cylindrique *A* étant adapté sur la douille, & leur jonction étant solidement établie, à l'aide d'un cuir gras interposé, afin que l'eau ne puisse s'échapper au-dehors; on verse de l'eau dans ce vase jusqu'à une hauteur, par exemple, *a*, indiquée sur la queue du piston. On met ensuite dans les bassins *P*, *P*, des poids qui varient en plus ou en moins, suivant que le piston *E* frotte plus ou moins; on y met, dis-je, des poids suffisans, pour enlever le piston, & la masse d'eau qui repose dessus. Cette premiere expérience étant faite, on déviffe le vase *A*, & on substitue à sa place le vase *B*. Le piston étant dans la même situation que précédemment, on verse de l'eau dans ce second vase, jusqu'à la même hauteur *a*, & on remarque que les poids précédens étant mis dans les bassins, ils suffisent encore pour enlever le piston, quoique la quantité d'eau comprise dans ce vase, soit plus que quadruple de celle qui étoit contenue dans le vase *A*. On détache encore ce second vase, & on substitue à sa place le vase *C*; on remet le piston en situation, & on verse de l'eau dans ce vase jusqu'à la même hauteur *a*. Quoiqu'il n'y ait dans ce vase qu'une quantité d'eau beaucoup plus petite que celle qui étoit comprise dans le vase cylindrique; on remarque qu'il ne faut pas moins que les poids précédens pour enlever le piston : la pression est donc la même sur le fond de ces trois différens vases, lorsque la hauteur du liquide est la même.

CLXXX. Si on veut maintenant joindre le raisonnement à l'expérience, il ne sera pas difficile de concevoir comment il peut se faire qu'une quantité d'eau aussi grande que celle qui est contenue dans le vase *B*, ne produise pas plus d'effet contre le piston, que la masse d'eau cylindrique, comprise dans le vase *A*; & comment la petite quantité d'eau comprise dans le vase *C*, produit autant d'effet que les deux autres masses de même liquide. Pour satisfaire à la premiere question, imaginons que la masse d'eau comprise dans le vaſe *B* (*fig. 6*[illegible].), ſoit diviſée en pluſieurs colonnes paralleles les unes aux autres. Rappellons-nous en ſecond lieu que les parties des liquides exercent leur preſſion indépendamment les unes des autres (174.), & conſéquemment qu'il n'y a que les ſeules colonnes *aa* , *bb* , *cc* , *dd* , *ee* , perpendiculaires au piſton, ou au fond du vaſe, qui agiſſent contre lui : or comme le diametre de ce piſton eſt le même, pour le premier & pour le ſecond vaſe ; il y a donc dans l'un & dans l'autre cas, un même nombre de colonnes de même hauteur, qui agiſſent & exercent leur preſſion contre le fond de ces vaſes, & conſéquemment cette preſſion doit être la même. Les colonnes collatérales qui embraſſent les colonnes perpendiculaires au fond, s'appuyant ſur les parois du vaſe *B* (*fig. 6*[illegible]), déploient leur preſſion contre ces parois, & ne font que contenir les colonnes perpendiculaires, & elles font par rapport à ces dernieres, l'office du vaſe cylindrique *A*.

Quant à ce qui concerne le vaſe *C*, voici comment il faut concevoir l'action du fluide, qu'il contient. Imaginons que ce fluide soit divisé en plusieurs colonnes de même diametre, perpendiculaires au fond du vase ; mais dont la seule colonne *IK* (*fig.* 61) soit de même longueur que les colonnes du vase cylindrique ; tandis que les colonnes collatérales *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, sont plus courtes : la base de ce vase étant la même que celle des vases précédens, il y aura dans ce vase un même nombre de colonnes perpendiculaires, que dans le vase cylindrique. Par conséquent, si on démontre que chacune des colonnes collatérales *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, exerce contre les parties du fond, qui leur répondent, une pression égale à celle que la colonne *IK* exerce contre la partie du fond qui la porte ; il sera démontré que la pression doit être égale contre le fond du vase *A*, & contre celui du vase *C* (*fig.* 61). Or la pression de chacune de ces colonnes est la même : car la colonne du milieu *IK* en tant que liquide, exerce sa pression en toutes sortes de sens (175) : elle presse donc également le fond du vase & les colonnes collatérales qui l'entourent. La pression qu'elle exerce contre les colonnes collatérales, tend à les élever & à les faire monter à une hauteur égale à la sienne (176). Chacune de ces petites colonnes fait donc effort pour s'élever jusqu'à une hauteur égale à celle de la colonne du milieu; & elles s'y éleveroient effectivement, si le plan *r s* (*fig.* 61), n'opposoit un obstacle invincible à l'élévation de ces colonnes. Cet obstacle fait que ces petites colonnes acquierent un degré de tension égal à la pression de la colonne *IK*; sans cela, cette derniere continueroit à les presser davantage. Or comme elles agissent en toutes sortes de sens, elles réagissent contre le fond du vase, en vertu de la tension qu'elles éprouvent. L'action de chacune de ces colonnes, contre les parties du fond qui leur répondent, est donc égale à celle que la colonne du milieu *IK* exerce contre la partie du fond qui la porte. Il y a donc dans le vase *C* un même nombre de colonnes, que dans le vase *A*, & chacune des colonnes du vase *C*, agit contre le fond du vase avec une force égale à celle de chacune des colonnes du vase *A*. La pression contre le fond doit donc être la même dans l'un & dans l'autre vase.

CLXXXI. Il nous reste encore à parler de la pression des liquides, contre les parois des vases qui les contiennent. Nous en donnerons seulement une idée suffisante, pour qu'on puisse calculer cette pression dans toutes sortes de circonstances, & qu'on puisse éviter l'erreur de quelques Physiciens qui pensent que cette pression est la même, à surfaces égales, que celle qui se porte contre le fond des vases.

Supposons, par exemple, un vase cubique *ABCDEF* (*fig.* 62), rempli d'eau, & disposé perpendiculairement à l'horison; la pression de l'eau contre chacun des côtés de ce vase, n'est que soudouble de celle que ce même liquide exerce contre le fond de ce vase.

Si on tire sur un des côtés la diagonale *AE*, on divisera ce côté en deux triangles isoceles égaux : si on mene ensuite différentes perpendiculaires sur le côté *AF*, & qui aboutissent toutes à cette diagonale, chacune de ces perpendiculaires ſera égale à la hauteur à laquelle elle répondra. On aura donc $ad = Aa$, $be = Ab$, $cf = Ac$, & $FE = AF$. Or la preſſion d'un liquide contre un point donné, étant comme la hauteur du liquide, les différens points *a*, *b*, *c*, *F*, ſeront preſſés avec des forces repréſentées par les perpendiculaires *ad*, *be*, *cf*, *FE*. Mais toutes les parties d'un liquide qui ſont rangées dans un même plan, ſont également preſſées (176). Toutes ces parties preſſent donc également tous les points des ſurfaces ſolides qui leur répondent. Par conſéquent, ſi on ſuppoſe que les perpendiculaires *ad*, *be*, *cf*, &c. ſoient prolongées juſqu'au côté *KE*, tous les points de cette ſurface, par leſquels ces perpendiculaires paſſeront, ſeront également preſſés que les points *a*, *b*, *c*, *F*. Cela poſé, ſi on mene des perpendiculaires ſur tous les points du côté *AF*, ces perpendiculaires rempliront l'aire du triangle *AFE*, & repréſenteront la ſomme des preſſions contre le côté *AFEK*. Pareillement, ſi on éleve des perpendiculaires ſur le côté

FE, telles que *Gg*, *Hh*, *Ii*, &c. chacune de ces perpendiculaires représentera la pression de ce même liquide, contre les points *G*, *H*, *I*, & conséquemment contre tous les points correspondans du fond du vase; & si on éleve des perpendiculaires sur tous les points de la ligne *FE*, la somme de ces perpendiculaires représentera la somme des pressions contre le fond de ce vase. Or ces perpendiculaires remplissent l'aire du quarré *AFEK*. La pression contre le fond de ce vase, peut donc être représentée par la surface d'un quarré; tandis que celle de ce même liquide contre le côté, est représentée par l'aire du triangle *AFE*: mais la surface de ce triangle est soudouble de celle du quarré *AFEK*. Donc la pression contre le côté de ce vase, est soudouble de celle que le même liquide déploye contre son fond.

CLXXXII. En démontrant que les petites colonnes collatérales du vase *C*, (*fig.* 61) exerçoient contre le fond du vase une pression égale à celle de la colonne du milieu, nous avons dit

(180) que l'action de cette derniere contre les colonnes collatérales, tendoit à les élever à une hauteur égale à la sienne. L'expérience constateroit cette proposition, si ayant percé un trou sur le fond *r s*, on y adaptoit un tube de communication; on verroit alors la colonne, qui répondroit à cet orifice, s'élever dans ce tube, & s'y élever jusqu'à une hauteur égale à celle de la colonne du milieu.

Cet effet dépend de la tendance continuelle qui détermine les colonnes d'un liquide à se mettre en équilibre les unes avec les autres. Cet équilibre exige que les colonnes d'un même liquide aient une même hauteur perpendiculaire; puisqu'étant composées de parties de même densité, elles ne peuvent se contrebalancer, que le nombre des parties qui agissent les unes contre les autres, ne soit égal de part & d'autre, & conséquemment que la hauteur ne soit la même. Aussi remarquons-nous constamment, que toutes les colonnes d'un même liquide, comprises dans un même vase, sont en mouvement, jusqu'à ce que leur surface supérieure soit de niveau, & que toutes ces colonnes soient également longues.

Nous remarquons aussi que si on verse un liquide dans un tube, qui communique avec un autre, ce liquide s'éleve dans le second tube, & s'y balance, jusqu'à ce que sa hauteur soit la même dans les deux tubes.

Ce phénomene a encore lieu, lorsqu'on répéte cette expérience avec des vases communiquans de différente capacité, de différentes figures & situations ; ce qu'on peut vérifier par l'expérience suivante.

Soit le vase *A* (*fig.* 63) d'une très-grande capacité, percé à son fond d'un trou, dans lequel on adapte & on mastique solidement le tube de communication *BC*, muni de deux robinets *D*, *E* ; l'un *D*, pour intercepter, ou ouvrir à volonté, une communication entre le grand vase *A*, & le tube cylindrique droit, monté à vis sur une espece d'ajutage ; l'autre *E*, pour évacuer l'eau du tube, tandis que le robinet *D* est fermé : si on remplit d'eau le grand vase *A*, jusqu'à une certaine hauteur, telle que *a*, & qu'on ouvre le robinet *D*, l'eau coulant par le canal *BC*, s'élevera dans le tube cylindrique *F*, & y demeurera fixement à la hauteur *b*. Si après avoir fermé le robinet *D*, on évacue l'eau du tube cylindrique *F*, & qu'on ſubſtitue à ſa place un autre tube cylindrique *G*, mais incliné à l'horiſon ; le robinet *D* étant ouvert, l'eau s'élevera dans ce ſecond tube, juſqu'en *c*. Si on ſubſtitue enfin à ce ſecond tube le canal tortueux *H*, & qu'on ouvre encore le robinet *D*, l'eau s'y élevera juſqu'en *d* ; de ſorte qu'elle prendra dans ces trois tubes la même hauteur perpendiculaire, que dans le grand vaſe *A*.

On peut concevoir aiſément la raiſon de ce phénomene, en ſe rappellant ce que nous avons dit (174) ; ſçavoir, que les parties des liquides agiſſent indépendamment les unes des autres, & conſéquemment qu'il n'y a que la colonne *ef*, priſe dans la maſſe totale du liquide contenu dans le vaſe *A*, qui agiſſe contre les colonnes qui s'élevent dans les trois tubes dont nous venons de parler. Cette colonne *ef* étant de même diametre que chacune de ces colonnes, elles ne peuvent être en équilibre, que leur hauteur ne soit égale de part & d'autre.

CLXXXIII. On doit donc regarder comme un principe général, que les liquides de même densité, qui communiquent ensemble, par le moyen de plusieurs vases, doivent s'y élever jusqu'à une même hauteur. Ce phénomène s'observe constamment dans la nature; & si on remarque quelques exceptions à cette loi générale; ces exceptions dépendent de quelques autres loix particulieres, qui ne concernent point la classe des phénomènes, dont il est ici question. Ces exceptions n'ont lieu, que lorsqu'on répéte ces expériences avec des tubes capillaires.

CLXXXIV. On entend par *tubes capillaires*, des tubes dont le diametre intérieur est quelquefois si petit, qu'on peut à peine y introduire un cheveu. Dans ce cas, si un tube de cette espéce communique avec un vase, ou un autre tube d'un grand diametre, on remarque que la liqueur s'éleve au-dessus du niveau dans le tube capillaire.

Il n'est pas facile de sçavoir à qui nous sommes redevables de la découverte des phénomènes des tubes capillaires. Nous n'ignorons point à la vérité que *Boyle* fut le premier qui les divulgua en Angleterre, & qu'il attribue la gloire de cette découverte à quelques Physiciens de France. Le P. *Fabry* reclame cet avantage pour les Physiciens de Florence (*a*).

Quoiqu'il en soit de l'Auteur de cette découverte, il est constant qu'elle doit être regardée comme très-intéressante, eu égard à la multiplicité des effets qu'elle embrasse, ainsi que le remarque très-bien *Sigorne* (*b*) : si les liqueurs, dit-il, qui sont en petite quantité ne se mettent pas de niveau ; si elles s'attachent aux bords de certains corps & en fuient d'autres ; si leurs surfaces au lieu d'être planes, affectent dans certains cas, des figures particulieres ; si elles s'élevent jusqu'aux extrêmités supérieures d'une éponge,

(*a*) Honor. Fabry, tract. v.

(*b*) Instit. Newton. pag. 415.

d'une méche, d'un morceau de drap, d'une terre séche & argilleuse, des montagnes mêmes & des plantes; c'est évidemment en vertu du même principe.

L'Abbé Nollet (*a*) qui a embrassé la même idée, pense bien que l'élevation de la séve dans les plantes, dépend de petits tubes capillaires, qui régnent le long de leurs fibres ligneuses; mais la hauteur prodigieuse à laquelle elle s'éleve dans un grand arbre, tel qu'un chêne, lui fait soupçonner, & avec raison, que cet effet dépend outre cela d'une organisation particuliere.

Sigorne porte encore ses vues plus loin: il étend davantage le district des tubes capillaires. Il pense d'après plusieurs, que c'est en vertu de semblables tubes que les secrétions se font dans les glandes des animaux. Il soupçonne même que c'est à ce méchanisme, qu'on doit rapporter le passage du sang dans les artères capillaires. Il est probable que ces habiles Physiciens n'ont point fait assez d'attention

(*a*) Leçons de Phys. Tom. 2. p. 437.

aux loix de la circulation & à la vertu contractile des vaisseaux qui suffisent pour expliquer ces fonctions ; comme je le démontrerai dans mes Leçons sur l'œconomie animale.

CLXXXV. Il résulte néanmoins de tout ce que nous venons de dire, que le principe qui éleve les liqueurs au-dessus du niveau dans les tubes capillaires, est fort étendu dans la nature, & qu'il mérite par là toute l'attention des Physiciens. Aussi depuis l'origine de cette découverte, presque tous les Physiciens paroissent s'en être occupés sérieusement. Ce qui a donné naissance à un très grand nombre d'hypothèses, dont nous ne pouvons juger sainement qu'après avoir examiné les principaux phénomènes que cette matiere offre à nos recherches.

CLXXXVI. 1°. L'eau s'éleve au-dessus du niveau dans tout espace capillaire ; car il est bon d'observer que cet effet ne se manifeste pas seulement dans des tubes d'un très-petit diametre ; mais qu'il a encore lieu, lorsqu'on fait cette expérience, avec tout autre corps qui laisse entre ses parties des espaces capillaires.

Prenez deux lames de verre, de glace ; ſeparez l'une de l'autre par un petit morceau de papier, ou de carte interpoſé ; plongez une partie de ces lames dans de l'eau fortement colorée, & vous obſerverez que cette liqueur s'élevera entre ces lames au-deſſus de la ſurface de l eau. On remarque même que cette liqueur affecte une courbe en s'élevant ainſi au-deſſus du niveau. Ce fut le D. *Taylor* qui fit cette découverte (*a*). M. *Hauxbée* l'examina après lui avec beaucoup de ſoin, & crut que cette courbe étoit hyperbolique (*b*). M. *Mazeas* a répété différentes expériences à cet égard, & en a donné un Mémoire fort curieux (*c*).

Ce phénomène ne ſe manifeſte donc pas ſeulement dans des tubes capillaires, que nous préférerons ici pour faire nos expériences, comme plus faciles à manier, & en même tems plus commodes, pour qu'on puiſſe ſaiſir les réſultats des expériences que nous allons rapporter.

(*a*) Tranſ. Philoſ. an. 1712. n. 336. art. 9.
(*b*) Expér. Phyſ. méch. Tom. 2.
(*c*) Mém. préſentés à l'Acad.

2°.

2°. Si on plonge un tube capillaire dans un liquide coloré, la liqueur s'élevera dans ce tube au-dessus du niveau de la surface du liquide.

3°. La liqueur s'élevera d'autant plus haut au-dessus du niveau, que le tube sera plus capillaire. Joignez parallélement entr'eux plusieurs tubes capillaires de différens diametres; plongez-les ensemble dans une même masse d'eau colorée, & vous observerez que la colonne d'eau sera d'autant plus élevée, qu'elle sera plus grêle, ou que le diametre intérieur du tube sera plus petit.

En examinant cette expérience avec attention, on a observé que les liqueurs s'élevoient au-dessus du niveau, dans des tubes capillaires, en raison inverse du diametre des tubes; c'est-à-dire, qu'elles s'élevoient une fois davantage au-dessus du niveau, dans un tube dont le diametre étoit soudouble. Cette loi souffre néanmoins quelques exceptions, ainsi que quelques Physiciens l'ont observé avant moi.

4°. Quoique les liquides s'élevent constamment au-dessus du niveau dans des espaces capillaires ; il n'en est pas ainsi du mercure ; il s'y tient au-dessous du niveau, & même il s'y tient d'autant plus bas, que l'espace capillaire dans lequel il s'éleve, est plus petit.

Pour répéter cette expérience avec plus de précision, prenez deux tubes communicans, dont l'un soit capillaire ; versez du mercure dans celui qui sera d'un plus grand diametre, & vous observerez que ce liquide s'élevera dans le tube capillaire, sans néanmoins atteindre le niveau, & cette différence sera d'autant plus grande, que le tube capillaire sera d'un plus petit diametre.

CLXXXVII. Malgré la multitude des hypothèses qu'on a imaginées, pour rendre raison de ces phénomènes, on peut les réduire à trois principales, ou les ranger sous trois classes, comme l'a fait avant moi l'Editeur d'*Hauxbée* (*a*). La premiere classe comprendra les hypothèses dans lesquelles on attribue cet effet à l'inégale pression d'un fluide,

(*a*) Expér. Phys. méch. T. 2. p. 170.

qui agissant plus efficacement sur la surface du liquide dans lequel on plonge un tube capillaire, que sur la colonne de liquide qui s'éleve dans l'intérieur de ce tube, fait que les colonnes extérieures & ambiantes deviennent prépondérantes.

Nous rangerons dans la seconde classe, les hypothèses de ceux qui admettent une certaine adhérence entre la colonne de liquide, qui s'éleve dans un tube capillaire, & les parois de ce tube; ce qui fait que cette colonne pressant moins la partie du fond qui lui répond, les colonnes extérieures & ambiantes deviennent prépondérantes.

La troisiéme classe comprendra les hypothèses des attractionnaires; de ceux qui font dépendre ces phénomènes de la supériorité de la force attractive des tubes, sur celle que les molécules des liquides exercent les unes contre les autres.

CLXXXVIII. Le P. *Fabry* (a) & plusieurs autres Physiciens, regardant les parties de l'air comme rameuses &

(a) Tract. v, Lib. III. Digress. I.

crochues, imaginerent que ces parties devoient s'embarrasser mutuellement & pénétrer difficilement dans la cavité des tubes capillaires, & même que cette difficulté devoit augmenter à proportion que le diamétre de ces tubes étoit plus petit. D'où il suivoit que la colonne d'air qui pénétroit dans un tube capillaire, étant soutenue en partie par les parois de ce tube, pressoit moins fortement la colonne de liquide qui s'y élevoit, que les colonnes extérieures & ambiantes qui étoient soumises à toute l'efficacité de la pression d'un air libre. Cela posé, ces dernieres colonnes doivent devenir prépondérantes, & ne peuvent être en équilibre avec celle qui s'éleve dans le tube capillaire, qu'autant que cette derniere compense par son excès d'élevation, ce qui manque à son poids contre la partie du fond du vase qui lui répond.

CLXXXIX. Tout ingénieux & naturel que parût ce systême, il ne fut point long-tems en crédit : car outre qu'il étoit fondé sur une hypothèse gratuite ; sçavoir, la figure rameuse & branchue qu'on attribuoit aux molécules de l'air ; l'expérience lui fut tout-à-fait contraire ; car on obſerva que les phénomènes des tubes capillaires avoient lieu auſſi completrement dans le vuide, que dans le plein.

Etabliſſez un tube capillaire ſur une petite planchette de cuivre graduée, qui ſe monte à vis ſur une tige de métal, qui paſſe à travers pluſieurs colliers de cuir gras ; de façon qu'on la puiſſe faire mouvoir de haut en bas, dans la capacité d'un récipient : placez ſur la platine de la machine pneumatique un vaſe en partie rempli d'eau colorée ; couvrez-le du récipient dont nous venons de parler : faites enſuite deſcendre ce tube dans ce liquide juſqu'à une profondeur que vous remarquerez : examinez, à l'aide de ſa graduation, juſqu'à quelle hauteur la liqueur s'éleve dans ce tube. Retirez le enſuite & faites le vuide, pour le replonger de nouveau juſqu'à la même profondeur, & vous obſerverez que la liqueur s'élevera encore juſqu'à la même hauteur.

Pour qu'on ne puiſſe rien objecter contre cette expérience, il faut avoir soin que l'eau soit purgée d'air dans l'un & dans l'autre cas.

CXC. Les partisans du systême que nous réfutons, ont allégué que le vuide de *Boyle* n'étoit pas assez parfait, & que ce qui restoit d'air sous le récipient pouvoit soutenir une colonne d'eau d'environ 28 lignes d'hauteur; ce qui étoit suffisant pour produire l'effet que nous venons d'observer.

Cette objection qui ne paroît pas dépourvue de vraisemblance, est totalement détruite par l'expérience de *Boyle*, qui prit un tube capillaire fermé hermétiquement d'un côté; il le plongea dans une liqueur colorée, & il vit que la masse d'air comprise dans le tube, s'opposa à l'élevation du liquide. Il attacha ce tube à une tige de cuivre, mobile sous un récipient, qu'il posa sur la platine de la machine pneumatique; il fit le vuide, & il fit ensuite descendre ce tube dans une masse de liquide coloré, & il vit la liqueur s'élever au-dessus du niveau. M. *Desmarest* qui rapporte cette expérience (*a*),

(*a*) Hauxbée, Expér. Phys. méch. Tom. 2.

remarque fort judicieusement que si l'air raréfié qui reste sous le récipient de la machine pneumatique produisoit par son inégale pression, l'élevation des liquides dans des tubes capillaires, ouverts des deux côtés; son action devroit être assez sensible dans un tuyau fermé supérieurement, & empêcher que l'eau ne s'y élevât; puisque cet air raréfié doit agir, suivant l'hypothèse, également dans la partie supérieure du tuyau & dans le récipient, & puisqu'avant d'être raréfié, il s'opppofoit à l'élevation de l'eau dans le tube, après la raréfaction, il doit encore y mettre obstacle.

CXCI. Tout faux que parut donc le système du P. *Fabry*, il étoit trop ingénieux pour l'abandonner sans regret, & sans tâcher de le modifier de maniere à le soustraire aux difficultés qui le détruisoient de fond en combie. C'est ce que firent plusieurs grands Physiciens, parmi lesquels nous comptons, *Jacques & Daniel Bernouilli*, *Hartsoeker*, *Dufay*, & plusieurs autres.

Jacques Bernouilli (a) ne fit qu'ex-

(a) Dissert. sur la pesanteur de l'air.

pliquer d'une autre maniere, comment l'air agiſſoit moins puiſſamment ſur la colonne du liquide qui s'éleve dans un tube capillaire, que ſur la ſurface des colonnes extérieures & ambiantes. Son ſyſtême ſe trouve donc expoſé aux mêmes difficultés que celui du P. *Fabry*.

Ce fut ce qui détermina *Daniel Bernouilli* (*a*) à ſubſtituer à l'inégale preſſion de l'air, celle des balons de la matiere éthérée. Il ſuppoſe que ces balons ſe font jour à travers les pores du récipient, & que chacun de ces balons étant plus gros que les molécules de l'eau, ne rempliſſent pas exactement la capacité d'un tube capillaire, & conſéquemment preſſent inégalement la ſurface intérieure de l'eau, & celle de la colonne d'eau, qui s'éleve dans un tube capillaire.

Les grands hommes donnent ſouvent dans les erreurs les plus groſſieres, lorſqu'ils ne veulent pas ſe départir d'une idée qu'ils ont accueillie: car comment peut-on ſuppoſer que des

(*a*) *Acta* Léipſic, v. 5.

parties plus grossieres que celles de l'eau, puissent passer à travers les pores d'un récipient, qui refusent passage à l'eau, & à d'autres parties plus subtiles encore.

Hartsoeker (*a*) tombe dans la même erreur que le P. *Fabry* : mais il donne plus de vraisemblance à son hypothèse. Il suppose que la colonne d'air qui pénétre dans un tube capillaire, frottant contre les parois de ce tube, presse plus fortement le milieu de cette colonne que ses bords ; par conséquent que le liquide s'éleve vers les bords, & qu'il retombe ensuite sur le centre de cette colonne ; parce que rien ne soutient les parties qui se sont élevées au-dessus du niveau ; ce qui donne à cette colonne une plus grande hauteur que celle des colonnes extérieures & ambiantes.

Si l'expérience du vuide qui réfute l'hypothèse du P. *Fabry*, ne réfutoit en même tems celle d'*Hartsoeker*, on pourroit attaquer directement le méchanisme qu'il expose, qui ne paroît

(*a*) Physique.

pas tout à-fait confoime aux loix de l'Hydroſtatique.

L'hypothèſe de *Dufay* (*a*) a trop d'analogie avec celle que nous venons de rapporter, pour mériter un article à part. Je paſſe donc à l'examen des ſyſtêmes de la ſeconde claſſe.

CXCII. Nous avons rangé dans cette claſſe les hypothèſes dans leſquelles on fait dépendre les phénomènes dont il eſt queſtion, de deux cauſes ; l'une occaſionnelle & l'autre immédiate ; ſçavoir, la premiere, l'adhérence que les liquides contractent avec les parois des tubes, dans leſquels ils s'élevent. La ſeconde, la prépondérance des colonnes extérieures & ambiantes.

Le premier des Phyſiciens qui imagina cette hypothèſe, fut *Iſaac Voſſius* : mais il ne la porta point au degré de perfection qu'elle acquit enſuite. Il n'admit que l'adhérence comme ſeule cauſe méchanique de l'élevation des liquides au-deſſus du niveau.

Borelli adopta l'idée de *Voſſius* : ce fut lui qui joignit à l'adhérence le ſe-

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences.

cours des colonnes prépondérantes : mais il ne développa pas assez cette idée, & ce système ingénieux ne reçut toute sa forme que du célébre *Carré* (*a*). Voici en peu de mots l'analyse de ce système.

CXCIII. Lorsqu'on plonge un tube capillaire dans une masse de liquide ; les molécules de ce liquide contractent une certaine adhérence avec les parois de ce tube. Cette adhérence diminue la pression que cette colonne exerceroit sans cela, contre la partie du fond du vase sur laquelle elle repose : les colonnes collatérales & extérieures deviennent donc prépondérantes ; & par leur excès de pression, elles élevent au dessus du niveau la colonne qui pénétre le tube, jusqu'à ce qu'elle compense par l'excès de sa hauteur, ce qui manque à son poids, pour être en équilibre avec les colonnes extérieures.

Il suit delà que plus la colonne qui s'éleve dans le tube, contractera d'adhérence contre les parois de ce tube, plus elle sera élevée au-dessus du ni-

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences, 1705.

veau. Cette adhérence dépend du plus, ou du moins de díſpoſitions que les parties des différens corps ont à s'appliquer intímément les unes contre les autres, & cette diſpoſition dépend elle-même de leur figure. Or comme la configuration des parties de différens corps, peut être plus ou moins avantageuſe, pour procurer à ces corps la facilité de s'attacher les uns aux autres; il s'enſuit qu'on peut rendre raiſon, dans cette hypothèſe, de quantité de phénomènes qu'on ne peut point expliquer dans les hypothèſes de la premiere claſſe.

Si on demande donc à M. *Carré*, pourquoi, par exemple, l'eau plus peſante que l'eſprit de vin, s'éleve néanmoins, toutes choſes égales d'ailleurs, plus haut au-deſſus du niveau que ce dernier liquide; la réponſe ſe préſente tout à coup à l'eſprit.

Les ſurfaces des molécules de l'eau touchent en un plus grand nombre de points celle du verre, ou de tout autre corps poli; tandis que les parties de l'eſprit de vin, quoique plus légeres, n'ont point une diſpoſition ſi avantageuſe pour s'y appliquer. Ces dernieres sont donc moins maîtrisées par la force de l'adhérence, & conséquemment moins soutenues. Les colonnes collatérales n'acquiérent donc point une si grande prépondérance, & conséquemment la colonne qui s'éleve dans le tube, ne doit point être élevée à une si grande hauteur au-dessus du niveau, pour être en équilibre avec les colonnes ambiantes.

Pour prouver que l'adhérence joue le principal rôle dans les phénomènes des tubes capillaires, M. *Carré* enduisit l'intérieur de plusieurs tubes avec des matieres grasses, telles que de la cire fondue, du suif, de l'huile, & il remarqua que l'eau ne s'élevoit point au-dessus du niveau de ces tubes. Il observa encore que lorsqu'il n'enduisoit que la moitié de la circonférence du canal de ces tubes, les liqueurs ne s'élevoient point au-dessus du niveau du côté que ces tubes étoient enduits; mais qu'elle s'y élevoit du côté opposé.

Il observa bien plus, que lorsqu'il plongeoit ces tubes dans une masse d'eau, de maniere que la portion du tube qui étoit enduite de matiere grasse, fut au-dessous de la surface de l'eau, dans laquelle il faisoit cette immersion; l'eau montoit alors au-dessus du niveau dans la partie non induite des tubes, & qu'elle s'y élevoit selon la loi ordinaire; c'est-à-dire, en raison inverse des diametres de ces tubes.

Cette loi doit avoir son effet dans l'hypothèse de M. *Carré*; puisque toutes choses égales d'ailleurs, un tube d'un plus petit diametre présente plus de surface à la liqueur qui adhére à ses parois, proportionnellement à la masse du liquide qui s'y éleve, & conséquemment l'adhérence doit être plus grande dans les tubes d'un plus petit diametre.

CXCIV. Rien ne paroît plus exact que l'hypothèse de M. *Carré* : mais on en découvre aisément le faux, dès qu'on entre dans le détail des phénomènes.

En effet si on doit l'élevation des liqueurs au dessus de leur niveau, à la prépondérance des colonnes extérieures & ambiantes, & que la prépondérance de ces dernieres soit occasionnée par l'adhérence que contracte avec les parois du tube, la liqueur qui s'y éleve ; il est constant que cette adhérence ne peut augmenter que la prépondérance, & conséquemment l'élevation des liqueurs au-dessus du niveau, n'augmente à proportion. Or l'expérience prouve manifestement le contraire. Car si on plonge un tube capillaire superficiellement dans une masse d'eau, ou si on l'y plonge très-profondément, l'élevation de la liqueur au-dessus du niveau, demeure constamment la même : ainsi qu'on peut s'en convaincre, en plaçant des fils sur la longueur d'un tube capillaire, qui marquent & la profondeur de l'immersion, & la hauteur à laquelle le liquide s'éleve au-dessus du niveau.

Mais l'adhérence du liquide contre les parois du tube, doit nécessairement augmenter, lorsqu'on plonge un tube plus profondément; puisque le nombre de molécules qui s'élevent alors dans le tube étant plus grand, il y a un plus grand nombre de parties qui adhérent à ses parois, & conséquemment la somme ou la totalité de l'adhérence doit être plus grande.

CXCV. Quand on pourroit éluder la force de cet argument, qui réfute suffisamment l'hypothèse de M. *Carré*; la suspension du mercure au dessous du niveau, seroit au moins un phénomene important, qui seroit inexplicable dans une telle hypothèse. Diroit-on que ce liquide, ne contractant aucune adhérence avec les parois du tube, n'est aucunement soutenu; dans ce cas, il devroit donc s'élever jusqu'au niveau; puisqu'une colonne de liquide quelconque ne peut être en équilibre avec toute autre colonne de même liquide, qu'autant qu'elles ont l'une & l'autre une même hauteur perpendiculaire.

CXCVI. En comparant ensemble les deux sentimens que nous venons d'exposer, ils ne différent l'un de l'autre que par la cause occasionnelle & déterminante; car la cause méchanique & immédiate de l'élévation des liquides est la même dans les deux hypothèses: c'est la prépondérance des colonnes extérieures & ambiantes qui sont déterminées à agir dans la premiere hypothèse, par l'inégale pression de l'air; & dans la seconde, par l'adhérence que les liqueurs contractent avec les parois des tubes dans lesquelles elles s'élevent.

Une expérience faite autrefois par M. *Rohault*, suffiroit seule pour les réfuter l'une & l'autre. Voici en quoi elle consiste. Si on fait couler quelques gouttes de liqueur sur la surface extérieure d'un tube capillaire disposé obliquement à l'horison : ce liquide étant parvenu vers le bord inférieur du tube, s'élancera dans sa cavité, s'y élevera, & y demeurera suspendu à une hauteur égale à celle qu'il eût acquise au-dessus du niveau, si on eût plongé ce tube dans une masse de même liquide. Or on ne peut point attribuer ici l'élévation de ce liquide à la prépondérance des colonnes collatérales. Reste donc à indiquer une autre cause différente des deux premieres que nous venons d'exposer.

CXCVII. *Hauxbée* (*a*) fut le premier qui eut recours à l'attraction pour expliquer les phénomenes dont il est ici question ; & voici en peu de mots les principes sur lesquels il établit son systême.

(*a*) Expér. Physs. méchan. Tom. 2.

Toutes les molécules des corps exercent les unes contre les autres une force attractive ; qui se décele dans presque tous les phénomenes de la nature. Cette force, toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnelle à la densité des corps. Le verre, par exemple, attire plus fortement les molécules de l'eau, ou de tout autre liquide, à l'exception du mercure, que les molécules de ces liquides ne s'attirent entr'elles. Car lorsqu'on renverse un verre, en partie rempli d'eau, quelqu'adhérence que les dernieres parties de l'eau qui s'écoule, aient avec celles qui restent dans le verre, ces dernieres plus maîtrisées par l'attraction des parois du verre, avec lesquelles elles sont en contact, restent dans le verre, & ne peuvent s'écouler avec celles qui tendent à les entraîner.

Cela posé, lorsqu'on plonge un tube capillaire dans une masse d'eau, la colonne d'eau qui se présente à l'orifice de ce tube, s'y éleve, selon les loix que nous avons exposées (186); mais les parties de cette colonne qui sont en contact avec les parois du tube, sont attirées avec une force supérieure à celle avec laquelle elles s'attirent elles-mêmes. Cet excès de force attractive soutient une partie du poids de cette colonne. Les colonnes ambiantes & extérieures deviennent donc prépondérantes, & elles poussent dans le tube une quantité suffisante de liquide, pour que l'excès de son élévation au-dessus du niveau, compense le poids de la colonne qui se trouve soutenu par la force attractive des parois intérieures du tube. Or les tubes d'un plus petit diametre, présentant proportionnellement plus de surface que ceux dont le diametre est plus grand; la force attractive des premiers est supérieure à celle de ces derniers: la colonne qui s'y éleve perd donc une plus grande partie de son poids, & conséquemment s'éleve davantage au dessus du niveau.

Ce système ne differe point essentiellement de celui que nous venons de réfuter; car la cause immédiate de l'élévation des liqueurs au-dessus du niveau, est la même dans l'un & dans l'autre; sçavoir, la prépondérance des colonnes collatérales. Quant à la cause occasionelle, je ne vois pas qu'elle differe essentiellement, & j'imagine que c'est bien la même chose de dire, que les parties de la colonne qui sont en contact avec les parois intérieures du tube, adhérent à ces parois, & sont soutenues en partie, en vertu de cette adhérence, ou qu'elles sont attirées par ces parois, & qu'elles sont soutenues en partie; puisque nous ne pouvons disconvenir que l'expression *être attiré*, ne désigne qu'un effet qui se décele entre toutes les parties de la matiere, & dont nous ne connoissons point la cause & le méchanisme.

L'expérience rapportée (196) suffiroit donc pour réfuter suffisamment l hypothèse de M. *Hauxbée :* mais il ne me paroît pas hors de propos d'exposer encore ici une objection sans réplique, que le D. *Jurin* fit autrefois contre ce systême (*a*). La suspension des liqueurs au dessus du niveau, suivant, quant à son élévation, la raison inverse du diametre des tubes; une liqueur s'élevera une fois davantage, dans un tube

(*a*) Transf. Philosf. v. 255, art. 2.

dont le diametre sera soudouble de celui d'un autre tube : mais la masse d'eau comprise au-dessus du niveau, dans ce dernier tube, est plus grande que celle qui est contenue dans l'autre, où elle occupe plus d'étendue en longueur. Or la surface du plus petit tube étant proportionnellement plus grande que celle de l'autre tube, la somme des forces attractives que chacun des points de ces surfaces exerce contre le liquide, doit être plus grande dans le petit, que dans le plus grand des deux tubes. Cette force agissant avec plus d'activité, devroit donc élever & soutenir une plus grande quantité d'eau ; ce qui est contraire à l'expérience.

CXCVIII. Ce fut cette difficulté qui obligea le D. *Jurin* à avoir recours à une autre façon d'agir de la part de l'attraction ; comme on peut le voir dans deux Mémoires qu'il lut à la Société Royale, & qu'on trouve imprimés dans les Transf. Philosf.

Cet habile Physicien attribue l'élévation des liqueurs au-dessus du niveau dans les tubes capillaires, à l'attraction qu'il appelle de *Périphérie* ; c'est-à-dire, qui vient de la portion annulaire du tube, qui touche immédiatement la surface de la liqueur. L'expérience lui fit connoître que l'élevation des liquides suit exactement la raison inverse de la circonférence de cet anneau; puisque si on plonge dans une masse de liquide un tube capillaire de différens diamétres; la liqueur demeurera suspendue à une hauteur proportionnée à la circonférence du dernier anneau de ce tube, avec lequel elle sera en contact; ce qu'on peut vérifier par les expériences suivantes.

Si on prend un tube *ac* (*fig.* 64.) de différens diametres dans sa longueur & qu'on le pose sur la surface de l'eau par son plus grand diametre; l'eau s'élevera dans ce tube à une hauteur proportionnée au diametre de ce tube; supposons jusqu'en *b*: si on retire ce tube, & qu'après l'avoir bien essuyé & bien séché, on le pose ensuite par son plus petit diametre sur la surface du même liquide; l'eau s'élevera plus haut à proportion que ce diametre sera plus petit que le précédent; supposons jusqu'en *d*. Ce tube étant bien calibré depuis *c*, jufqu'en *e* ; la hauteur de l'eau au-deffus du niveau dans toute la longueur de ce tube, fera toujours $=cd$, fi on continue à faire defcendre le tube dans la maffe de liquide : mais fi l'immerfion de ce tube devient telle que la commiffure *e* des deux diametres, fe trouve plongée dans l'eau ; on verra auffi-tôt la hauteur de l'eau au-deffus du niveau, fe réduire à la hauteur $ef=ab$. Pareillement fi on retire ce tube de l'eau, & qu'après l'avoir bien effuyé, on le replonge dans l'eau par fon autre extrêmité, tant qu'une des parties de la longueur *ae*, fera plongée dans l'eau ; l'élevation de ce liquide au-deffus du niveau, demeurera conftamment $=ab$; mais lorfqu'il fera plongé de façon que la commiffure *e*, des deux diametres, fera au-deffous de la furface de l'eau ; on verra alors la liqueur s'élancer & s'élever à la hauteur $eg=cd$. Ce qui prouve manifeftement que ce n'eft que l'attraction de périphérie, qui maîtrife la liqueur, & qui l'oblige à s'élever au-deffus du niveau.

Outre cette force attractive proportionnelle au diametre du tube, M. *Jurin* ne néglige point pour cela, le secours des colonnes collatérales & extérieures. Voici comment il explique le méchanisme de l'élevation & de la suspension des liqueurs dans les tubes capillaires. La petite quantité d'eau qui s'éleve dans un tube capillaire, plongé dans une masse de ce liquide, perd une partie de sa pesanteur proportionnée à l'attraction qu'exerce contr'elle la portion annulaire du tube, avec laquelle elle est en contact. Cette petite quantité d'eau est donc alors déterminée à s'élever plus haut, soit par l'attraction des anneaux successifs, soit par la pression des colonnes extérieures.

On voit par cet exposé que M. *Jurin* regarde la prépondérance des colonnes extérieures, comme le complément de l'attraction de périphérie ; & c'est en cela, que son hypothèse se trouve réfutée par l'expérience rapportée (196).

CXCIX. M. *Veitbrecht* sentant parfaitement le défaut de l'hypothèse du D. *Jurin*, fit de nouvelles expériences qui le conduisirent à une connoissance plus parfaite des forces attractives. Ces expériences

expériences servent de base à l'hypothèse ingénieuse qu'il nous a donnée sur l'élevation des liqueurs dans les espaces capillaires (*a*). Ce systême se trouve développé avec beaucoup de méthode & d'exactitude dans différens ouvrages (*b*). Je n'en donnerai ici qu'une idée suffisante.

1°. *Veitbrecht* a trouvé que l'attraction du verre, comparée à celle des liquides, est plus forte que celle que chacunes des molécules des liquides exerçent les unes contre les autres, à l'exception du mercure. En cela, il est d'accord avec tous les partisans des forces attractives.

2°. L'expérience lui a démontré que le rayon d'activité des forces attractives du verre, s'étend à une très-petite distance, & que celui des forces attractives des molécules des liqueurs s'étend beaucoup plus loin.

Il prouve la premiere partie, par l'observation suivante; sçavoir, que les liqueurs ne se portent vers un mor-

(*a*) Mém. de l'Acad. de Pétersbourg. Tom. 8.

(*b*) Expér. Phys. méch. d'Hauxbée, Tom. 2. p. 234. Sigorne instit. Newton. p. 426.

ceau de verre, que lorsqu'elles se trouvent très proches du point de contact, & qu'à une petite distance de ce point, on n'apperçoit aucun effet de la force attractive. Il prouve la seconde partie par cette autre observation ; sçavoir, que deux gouttes d'eau s'attirent sensiblement à une distance assez grande, & se réunissent.

3°. Le rayon d'activité des forces attractives du verre étant extrêmement petit, la force attractive du verre n'agit que sur une partie de la petite colonne de liquide qui s'éleve dans l'intérieur d'un tube capillaire ; sçavoir, sur la surface extérieure de cette colonne qui se trouve en contact avec le verre. *Veitbrecht* donne à cette portion de liquide, attirée par le verre, le nom de *canalicule*, & il appelle *cylindre intérieur*, le cylindre d'eau qui forme la colonne de liquide élevée dans le tube, & enveloppée par la canalicule.

4°. L'épaisseur de la canalicule est toujours proportionnée à l'étendue du rayon d'activité des forces attractives du verre; & on peut dire conséquemment, que cette épaisseur est très-mince.

Ainſi lorſqu'on poſe un tube capillaire ſur la ſurface d'un liquide telle que de l'eau, les forces attractives de l'anneau inférieur du tube qui touche la ſurface de l'eau, attirent à elles, une petite portion de ce liquide. Pour que ce liquide puiſſe s'élever dans ce tube, il faut vaincre 1°. la peſanteur du liquide. 2°. La force attractive avec laquelle cette portiō de liquide adhére aux autres parties de la maſſe totale. Cette goutte ne s'éleve donc dans le tube, que par la ſupériorité de la force attractive du verre, ſur celle que les molécules de l'eau exercent entr'elles, & par l'excès de cette même force ſur la peſanteur du liquide élevé. Or comme le rayon d'activité du verre s'étend à une diſtance infiniment petite, la force attractive du verre n'éleve & ne ſoutient que la petite circonférence d'eau, qui forme la canalicule; mais le rayon d'activité de la force attractive des molécules de liquide s'étendant plus loin; cette canalicule éleve & ſoutient la petite maſſe d'eau qui forme ſon cylindre intérieur. La couche d'eau que forme cette partie de liquide élevée, étant alors maîtrisée par l'anneau supérieur qui est immédiatement au-dessus, la force attractive du précédent anneau se déploie en deux sens : elle agit de haut en bas, contre le liquide que l'anneau supérieur attire, & de bas en haut, contre la nouvelle goutte de liqueur qui se présente à son orifice. L'action de l'anneau supérieur devient donc victorieuse, & la premiere couche s'éleve jusqu'au second anneau, où elle se trouve alors maîtrisée par l'attraction du troisiéme anneau ; parce que l'action du second se distribuant aussi, & contre l'attraction du troisiéme & contre la nouvelle quantité d'eau que le premier anneau vient d'élever, l'action que le premier & le second anneau exercent l'un contre l'autre, en sens contraire, se détruit. L'attraction du troisiéme anneau doit donc l'emporter sur la force avec laquelle le second agit contre lui, & ainsi de suite, par rapport aux autres anneaux consécutifs. Mais à proportion que ce liquide s'éleve dans le tube, & que la canalicule se trouve attirée & soutenue par les parois du tube ; cette canalicule attire & soutient un petit cylindre de liqueur, dont le poids augmente continuellement ; & comme les forces attractives des anneaux inférieurs se détruisent mutuellement les unes & les autres, l'anneau supérieur doit soutenir tout le poids de la colonne de liquide élevée : ce poids devient donc tel qu'il se trouve en équilibre avec la force attractive de l'anneau supérieur, & alors la liqueur cesse de monter.

A l'aide de ce système, on peut rendre aisément raison de tous les phénomènes des tubes capillaires, & il ne me paroît pas exposé à des difficultés insolubles.

CC. Nous avons examiné jusqu'à présent les loix générales de la pression des liqueurs homogènes & hétérogènes. Nous avons parlé des loix de l'équilibre des liqueurs homogènes ; ce qui nous a conduit à l'examen des phénomènes des tubes capillaires. Nous allons traiter maintenant des loix particulieres de la pression & de l'équilibre des liqueurs hétérogènes.

CCI. Si plusieurs liqueurs de différente densité, sont renfermées dans un même vase, la différence de leur densité suffira pour les séparer les unes des autres, si rien ne s'oppose trop fortement à leur séparation, & chacune de ces liqueurs se distribuera dans ce vase; de facon que la plus légere en occupera la partie supérieure, & ainsi de suite. L'expérience suivante prouve cette proposition.

Renfermez dans un même vase cylindrique, du mercure, de l'huile de tartre par défaillance, de l'esprit-de-vin coloré sur de l'orseille, & de l'huile de pétrole. Secouez fortement ce vase, afin de mêler ces différens liquides: placez le ensuite sur une table, & vous observerez que le mercure se précipitera au fond du vase; que l'huile de tartre se reposera sur le mercure; l'esprit-de-vin occupera la troisiéme place, & l'huile de pétrole, comme plus légere, se tiendra au-dessus des autres liquides.

La raison de ce phénomène se déduit de la pesanteur respective de ces liquides: le mercure ayant plus de densité, fait conséquemment plus d'effort pour atteindre au fond du vase & se precipite : la densité des autres liquides, suivant le rang que nous venons de leur assigner, les place les uns au-dessus des autres : mais cette cause seule ne suffiroit pas pour les séparer, lorsqu'on les a mêlés au point de les confondre ; si ce n'étoit que ces différens liquides n'ayant aucune affinité pour se combiner & s'assimiler ensemble, ils ne peuvent demeurer confondus, & chacun reprend la place qui est dûe à sa pesanteur respective : car quoique l'eau pese ordinairement plus que le vin, si on secouoit fortement un vase qui contiendroit de l'eau & du vin, ils se combineroient de maniere qu'ils ne pourroient plus se séparer l'un de l'autre, par la seule différence de leur densité ; ce qui vient de l'affinité que ces deux liquides ont pour se mêler ensemble. On parvient néanmoins à les séparer & à leur faire prendre la place qui est dûe à leur densité, lorsqu'on les renferme dans des vases construits de maniere qu'ils ne se touchent que par de petites surfaces, & conséquemment dans lesquels leur mêlange ne se peut point faire brusquement.

Si on remplit donc de vin l'ampoule *A*, du vase *AB* (*fig.* 65.), & qu'on remplisse d'eau la coupe *B* du même vase ; ces deux liquides ne communiqueront ensemble que par le tube intermédiaire *C* ; une partie de la colonne d'eau qui répondra à l'orifice de ce tube, tendra à descendre dans l'ampoule *A*.; & comme sa tendance vers le fond de cette ampoule, est supérieure à celle d'une semblable colonne de vin, qui occupe cette place ; la colonne d'eau descendra & élevera par sa chute, une semblable colonne de vin, qui se tamisera, pour ainsi dire, à travers la masse d'eau, & viendra s'étendre sur la surface de ce liquide, pour y occuper la place dûe à sa légereté respective. Cet effet aura lieu tant qu'il y aura de l'eau dans la coupe *B*, & du vin dans l'ampoule *A* ; de sorte que si ces deux capacités sont égales, toute l'eau descendra dans l'ampoule *A*, & tout le vin s'élevera dans la coupe *B*.

CCII. Quoique des liquides plus légers, mêlés avec d'autres liquides plus pesans, se séparent & s'élevent au-dessus de ces derniers; ils n'en conservent pas moins leur tendance vers le fond du vase, dans lequel s'opére cette séparation : ils exercent néanmoins leur pression contre les liquides plus pesans qui se trouvent au dessous, & ils augmentent conséquemment la pression que ces derniers font éprouver au fond du vase qui les porte.

Plongez un tube capillaire dans une masse d'eau colorée; la liqueur s'élevera au dessus du niveau : marquez avec un fil, la hauteur à laquelle cette liqueur s'éleve, & versez sur cette masse d'eau une liqueur moins pesante, telle que de l'esprit-de-vin, ou de l'huile de térébenthine, & vous verrez alors la liqueur colorée s'élever à proportion dans le tube capillaire : ce qui prouve très-sensiblement que le poids de l'eau est augmenté de celui de l'esprit-de-vin, ou de l'huile de térébenthine qu'on a versée dessus (*a*). Telles sont les loix particulieres de la pression des liquides hétérogènes : mais quelles sont

(*a*) Boyle parad. Hydrost.

celles de leur équilibre ? C'eſt ce que nous allons déterminer par la propoſition ſuivante.

CCIII. Deux liqueurs hétérogènes qui agiſſent l'une contre l'autre par le moyen d'un tube communiquant, ſont en équilibre entr'elles, lorſque leur hauteur perpendiculaire eſt en raiſon inverſe de leurs denſités. On ſçait que le mercure peſe environ 14 fois plus que l'eau, à volume égal : il y aura donc équilibre entre une colonne d'eau & une colonne de mercure, lorſque la colonne d'eau ſera près de 14 fois plus longue que celle du mercure, leur baſe étant la même.

Prenez un tube recourbé *ABC* (*fig.* 66.), dont la branche *AB*, ait environ 15 à 16 pouces de longueur, & la branche *Bc* 2 pouces. Appliquez ce tube ſur une planche graduée de pouce en pouce, les deux premiers de part & d'autre, à commencer au niveau *ab* de la croſſe, étant diviſés en lignes. Verſez du mercure dans ce tube, de façon qu'il y en ait dans les deux branches, juſqu'à un demi-pouce au deſſus de la ligne de niveau *ab*; verſez après cela de l'eau dans la longue branche, jusqu'à ce que la colonne d'eau soit élevée jusqu'à la quatorziéme graduation, & vous observerez que la colonne de mercure se sera élevée dans le petit tube, jusqu'à la hauteur d'un pouce, & que ces deux liquides seront en équilibre.

La pression des liquides est en raison composée de leurs bases, & de leurs hauteurs (178). Les bases étant supposées les mêmes, ou communes, les pressions sont donc entr'elles, en raison directe des hauteurs: mais ces liquides étant de différente densité, la pression doit être la même, si la plus grande élevation d'un liquide au-dessus de la base qu'il presse, est exactement compensée par la plus grande densité d'un autre liquide, qui agit contre la même base, & c'est ce qui arrive lorsque les hauteurs perpendiculaires de deux liquides hétérogènes, sont en raison réciproque de leurs densités.

CCIV. Il nous reste encore à considérer la pression & l'équilibre des solides plongés dans les liquides. Un solide plongé dans un liquide, peut être considéré sous trois différens rapports. Il peut se faire 1°. que ce solide soit plus pesant qu'un pareil volume de liquide. 2°. Qu'il soit également pesant que le volume de liquide, dont il occupe la place. 3°. Il peut se faire qu'il pese moins qu'un pareil volume de liquide. Dans le premier cas, il se précipite au fond du vase. Dans le second, il demeure en équilibre, dans quelqu'endroit de la masse de liquide qu'on le place. Dans le troisiéme cas, il surnage.

1°. Un solide plus pesant se précipite au fond du vase; parce que la colonne de liquide qui le porte, devenant plus pesante par l'addition du poids du solide, acquiert une plus grande tendance vers le fond du vase, que les colonnes collatérales. Cette colonne s'abaisse donc, ainsi que le solide qu'elle porte: mais en s'abaissant, elle éprouve une résistance invincible de la part du fond du vase: elle réflue donc dans les colonnes collatérales, dont elle augmente la hauteur; le solide par ce moyen, parvient au fond du vase, & l'espace vuide qu'il laisse pendant sa chute, se remplit aux dépens des colonnes collatérales ; parce que ces colonnes étant extrêmement mobiles & n'étant pas soutenues, s'épanchent nécessairement.

2°. Si le solide est de même poids que le volume de liquide dont il tient la place, il demeure en repos, dans quelqu'endroit de la masse de liquide où on le place ; parce qu'étant égal en poids au volume de liquide qu'il déplace ; il produit sur les colonnes circonvoisines, le même effet que produisoit auparavant le volume de liquide déplacé.

3°. Si le solide pese moins qu'un pareil volume de liquide, il surnage en partie plus ou moins, suivant qu'il approche plus ou moins du poids d'un semblable volume de liquide : car quoique ce corps soit moins pesant, il jouit néanmoins d'une certaine pesanteur, en vertu de laquelle il déplace une partie du liquide dans lequel il est plongé.

On peut aisément représenter ces trois phénomènes par l'expérience suivante. *A* (*fig.* 67.) est une petite figure d'émail, au col de laquelle on attache une ampoule de verre *B*, en partie remplie d'eau, qui y eſt entrée par un petit trou *C* d'environ $\frac{1}{2}$ de ligne de diametre, pratiqué à la queue de l'ampoule : or la figure, l'ampoule & l'eau ſont moins peſans qu'un pareil volume d'eau. On fait entrer cette figure dans une bouteille cylindrique *DE*, remplie d'eau, & elle ſe tient au haut de la bouteille, comme moins peſante : mais ſi on preſſe le bouchon *F* de la bouteille, on preſſe par ce moyen la maſſe d'eau, qui ſe trouve au deſſous. La colonne d'eau qui répond à l'orifice *C*, étant alors plus preſſée, ſe porte en partie dans l'ampoule, où elle éprouve une moindre réſiſtance ; le poids de l'ampoule augmente à proportion ; la figure devient plus peſante qu'un pareil volume d'eau, & deſcend au fond de la bouteille. Si on ceſſe alors de preſſer le bouchon, ou qu'on le retire un peu, la maſſe d'eau ſera moins preſſée, la colonne de liquide qui répond à l'orifice *C*, ne ſera plus en état de contrebalancer l'effort, que l'eau compriſe dans l'ampoule, fait conſtamment pour en ſortir ; eu égard au reſſort de la petite maſſe d'air qui y eſt comprimée & qui tend à se dilater : une partie de cette eau s'échappe donc alors par l'ouverture *C*, la figure devient moins pesante qu'un pareil volume d'eau, & elle remonte. Ceux qui ont habitude de répéter cette expérience, peuvent presser le bouchon de maniere que la quantité d'eau qui pénétre dans l'ampoule, suffise pour faire prendre à la figure un poids égal à celui d'un semblable volume d'eau, & on la voit alors se tenir en équilibre, dans l'endroit de la phiole où elle se trouve placée.

CCV. Il ne suffit pas de sçavoir qu'un corps plus pesant qu'un pareil volume d'eau, tombe au fond de ce liquide, & qu'un corps moins pesant surnage : il est encore nécessaire de considérer comment & avec quelle force, un corps plus pesant tombe au fond d'un liquide, & de quelle maniere surnage un corps plus léger.

CCVI. Un corps plus pesant qu'un pareil volume de liquide s'y enfonce, & parvient au fond de cette masse de liquide (204.) ; mais il ne s'y enfonce pas avec toute sa pesanteur ; parce qu'une partie de son poids est soutenue par la colonne de liquide ſur laquelle il repoſe.

Suſpendez aux deux bras d'une balance deux corps parfaitement égaux en maſſe; ils ſeront en équilibre entr'eux (128), faites que l'un de ces deux corps plonge dans une maſſe de liquide, telle que de l'eau, par exemple; alors la balance trébuchera, & le corps ſuſpendu au bras oppoſé, deviendra prépondérant : or ce dernier ne peut devenir prépondérant, qu'autant que l'autre corps aura perdu une partie de ſon poids, mais il ne peut perdre de ſon poids qu'autant qu'il ſera ſoutenu par le liquide dans lequel il eſt plongé : un corps plus peſant qu'un pareil volume de liquide, eſt donc ſoutenu en partie par le liquide dans lequel il eſt plongé. Il ne tombe donc point au fond de ce liquide avec tout l'effort de ſon poids.

CCVII. Tout corps plongé dans un liquide, y perd donc une partie de ſon poids : mais combien en perd il? L'expérience d'accord avec le raiſonnement, nous apprend qu'il en perd une partie égale à celle du poids du volume de liquide qu'il déplace.

Soit en effet un cylindre creux *A* (*fig.* 68.), dont la cavité eſt exactement remplie par le cylindre ſolide *B*. Si on ſuſpend le cylindre creux à l'un des bras d'une balance, & qu'on ſuſpende au-deſſous de ce dernier le cylindre ſolide *B*, & qu'après les avoir mis en équilibre avec un poids ſuffiſant, ſuſpendu au bras oppoſé de la même balance, on faſſe plonger dans l'eau le cylindre *B* ; ce cylindre étant en partie ſoutenu par ce liquide, deviendra moins peſant, & le poids oppoſé fera trébucher la balance. Or pour démontrer que le cylindre *B* perd dans cette occaſion une partie de ſon poids égale à celui du volume d'eau dont il tient la place ; il ne s'agit que de faire porter au bras de la balance le poids d'un ſemblable volume d'eau ; ce qu'on fera en rempliſſant de la même eau, le cylindre creux *A*, & on verra alors renaître l'équilibre.

Le volume d'eau que le cylindre *B* déplace par ſon immerſion, étoit en équilibre avec les autres colonnes, & ſon poids étoit nul par rapport à toute puiſſance qui auroit eu à le ſoutenir :

par conféquent la partie du poids du cylindre *B*, qui eft égale à celle de ce volume d'eau, doit donc être en équilibre avec les autres colonnes, & ne produire aucun effet contre le bras de la balance qui le foutient : ainfi ce cylindre plongé dans l'eau ne doit faire porter au bras de la balance, que l'excès de fon poids, fur celui du volume d'eau qu'il déplace.

CCVIII. J'infére delà deux corollaires. 1°. Plus un corps plongé dans un liquide quelconque aura de volume, toutes chofes égales d'ailleurs, plus il perdra de fon poids. 2°. Le même corps plongé dans différens liquides, y perdra d'autant plus de fon poids, que ces liquides auront plus de denfité.

CCIX. Plus un corps aura de volume, toutes chofes égales d'ailleurs, plus le volume de liquide qu'il déplacera, fera grand : mais plus ce volume de liquide fera grand, plus il pefera, & conféquemment le folide plongé perdra une plus grande partie de fon poids.

Sufpendez fous chacun des baffins

d'une balance, deux corps de même poids & de même volume; ils seront en équilibre dans l'air: faites-les plonger l'un & l'autre dans un même liquide; l'équilibre subsistera; parce que leur volume étant égal, ils déplaceront des volumes égaux, & ils perdront également de leur poids.

Substituez à l'un de ces corps un autre corps de même poids, mais d'un moindre volume; de façon qu'ils soient en équilibre dans l'air: si vous les faites ensuite plonger dans l'eau, celui des deux qui aura moins de volume, deviendra prépondérant; parce que déplaçant un moindre volume d'eau, il perdra moins de son poids que celui qui en déplacera un plus grand. Rétablissez l'équilibre en ajoutant un poids suffisant dans le bassin au-dessous duquel le plus volumineux des deux corps sera suspendu, & substituez à l'autre corps un autre de même poids; mais dont le volume soit encore moindre; laissez le tout plongé dans l'eau, & l'équilibre sera encore rompu en faveur de ce dernier. Donc les corps plongés dans un liquide, y perdent d'autant plus de leur poids, qu'ils ont plus de volume, toutes choses égales d'ailleurs.

CCX. Plus le liquide dans lequel un corps sera plongé, sera dense, plus le même volume de ce liquide sera pesant : or la perte du poids du corps plongé est égale au poids du volume déplacé (207). Par conséquent plus le liquide dans lequel un corps sera plongé, sera dense; plus ce corps perdra de son poids.

Suspendez sous les deux bassins d'une balance deux corps égaux en masse & en volume. Ces deux corps seront en équilibre dans l'air ; faites en plonger un dans l'eau ; il y perdra une certaine partie de son poids (206); rétablissez l'équilibre, en mettant dans le bassin opposé de la balance un poids suffisant, & remarquez le poids que vous serez obligé d'ajouter, pour cet effet. Réitérez cette même expérience en faisant plonger ce corps dans différens liquides, dont les densités seront différentes, & vous observerez que vous serez obligé d'augmenter ce poids, à proportion que les liquides, dont vous ferez uſage, ſeront plus denſes que l'eau, & que vous diminuerez ce même poids, ſi les denſités des liquides ſont moindres que celle de l'eau, dont vous aurez fait uſage dans la premiere expérience.

CCXI. Le premier des deux corollaires que nous venons de démontrer, nous fournit un moyen auſſi commode qu'exact, pour déterminer la peſanteur ſpécifique des ſolides, & le ſecond nous en fournit un autre, pour déterminer celle des liquides.

La peſanteur ſpécifique d'un corps eſt le poids de ce corps, comparé à celui d'un autre corps de même volume : ainſi la peſanteur ſpécifique n'eſt autre choſe que la différence qui ſe trouve entre le poids de deux corps, dont les volumes ſont égaux. Différence qui vient de celle de leurs denſités : car il eſt conſtant qu'un corps ne peut être plus peſant qu'un autre de même volume, que le premier ne contienne une plus grande quantité de matiere ; puiſque le poids d'un corps n'eſt autre choſe, que la ſomme du poids de ſes différentes parties.

On connoîtroit donc aisément la pesanteur spécifique des corps, si on les réduisoit tous à un même volume, & si on les pesoit séparément : mais cette méthode n'est pas pratiquable jusqu'à un certain point ; d'ailleurs nous en avons d'autres qui sont plus commodes à mettre en exécution. Parmi celles qu'on a imaginées jusqu'à présent, je n'en vois pas de plus exacte que celle qui est établie sur la perte que les solides font d'une partie de leurs poids, lorsqu'ils sont plongés dans l'eau.

CCXII. Nous avons démontré (207), qu'un corps plongé dans un liquide, y perdoit une partie de son poids égal à celui du volume de liquide, dont il prenoit la place : on peut donc dire que la gravité spécifique de ce liquide, est à celle du solide plongé, comme le poids du volume de liquide déplacé, est au poids de ce solide avant son immersion : d'où il suit que si on exprime la gravité spécifique du liquide par l'unité ; on aura la gravité spécifique du solide, en divisant le poids qu'il pese dans l'air, par la différence qu'on trouve à ce même poids, lorsqu'on pese ce solide dans le liquide.

Supposons, par exemple, qu'un morceau de cuivre pesé dans l'air, pese 36 grains, & qu'il n'en pese que 32 lorsqu'il est plongé dans l'eau : on aura donc la pesanteur spécifique de ce morceau de cuivre, si on divise son poids dans l'air = 36 par la différence 4, qu'on trouve lorsqu'on le pese dans l'eau : or $\frac{36}{4} = 9$. La pesanteur spécifique du cuivre est donc à celle de l'eau : : 9 : 1. C'est en suivant cette méthode qu'on a dressé les tables des gravités spécifiques des corps, qu'on pourra consulter. (*a*). On peut par une méthode à peu près semblable, trouver la pesanteur spécifique des corps qui sont moins pesans qu'un pareil volume d'eau (*b*). Mais nous ne pouvons pas nous permettre d'entrer dans un plus long détail sur cette matiere.

CCXIII. On a imaginé aussi quantité de méthodes différentes, pour déterminer la pesanteur spécifique des

(*a*) Leçons de Phys. Expérim. de Côtes, p. 447. Mussenbroek, sect. 1417.

(*b*) Leçons de Phys. Expérim de Côtes, p. 93.

liquides. M. *Homberg* (*a*) vouloit qu'on fît uſage d'un petit vaſe de criſtal, à la partie latérale duquel communiquoit un tube capillaire, afin qu'on pût toujours remplir ce vaſe juſqu'à la même hauteur, pour avoir exactement le même volume de liquide, & qu'on le peſât lorſqu'il ſeroit également rempli des liquides, dont on voudroit déterminer la peſanteur ſpécifique, dont on jugeroit, abſtraction faite du poids du vaſe, par la différence des poids qui le tiendroient en équilibre. Mais cet habile Phyſicien ne fit point attention que les liquides s'élevant dans le même tube capillaire, à différentes hauteurs au deſſus du niveau; il ne ſeroit pas poſſible de juger exactement du volume de liquide renfermé dans le vaſe.

Il eſt donc plus naturel, & en même tems plus exact de déterminer leur peſanteur ſpécifique, par le moyen de la balance hydroſtatique: or nous avons trouvé (210.) qu'un même ſolide plongé dans des liquides de différente

(*a*) Mém. de l'Acad. des Sciences.

denſité,

densité, y perdoit d'autant plus de son poids, que le liquide dans lequel on le plongeoit, étoit plus dense. Cela posé, si on prend un solide dont on connoisse le volume, & qu'après l'avoir pesé dans l'air, on le pese successivement dans différens liquides ; on aura la pesanteur spécifique de ces liquides ; si on compare les différens poids qu'il faudra employer pour rétablir l'équilibre. Cette méthode est la plus exacte de toutes celles que je connois.

CCXIV. On peut néanmoins objecter contre les deux méthodes que nous venons de donner (212 & 213), qu'on ne peut point connoître exactement le véritable poids d'un corps; puisque ce corps étant pesé dans l'air, y perd nécessairement une partie de son poids.

Si on suspend en effet à l'un des bras d'une balance très-mobile, un globe creux de cuivre mince, & un poids de plomb à l'autre; de façon que ces deux corps soient en équilibre dans l'air : vous observerez que le globe deviendra prépondérant, si vous placez la balance sous un récipient dont vous évacuerez l'air. Le globe & le poids qui le tenoit en équilibre dans l'air, perdoient donc l'un & l'autre une partie de leur poids; mais le globe en perdoit davantage, puisque son volume est plus grand. On ne peut donc pas juger exactement du poids d'un corps pesé dans l'air.

On ne peut nier, à la vérité, que les corps perdent une partie de leur poids, lorsqu'on les pese dans l'air: ils en perdent même encore dans le vuide de *Boyle*; puisqu'il y reste toujours un fluide, quelque raréfié qu'on le suppose: mais cette perte, qu'on ne peut éviter, n'est point assez considérable, pour causer une erreur bien sensible, puisque l'air est un fluide très-leger: car le poids d'un pouce cubique d'air, n'équivaut tout au plus qu'à $5\frac{1}{2}$ grains ou environ, & que d'ailleurs le déchet qu'éprouvent de leur poids les corps dont on veut connoître la pesanteur, est compensé en partie, par la perte que font aussi de leur poids les contre-poids dont on fait usage en pareille circonstance.

CCXV. On fait encore fréquemment

usage d'un instrument connu sous le nom d'*Hygrometre*, pour connoître la gravité respective des liquides. On attribue l'invention de cet instrument à *Hypathie*, fille de Théon (*a*). En voici la construction.

Il est composé d'un globe creux de verre A (*fig.* 69) qui se termine par une petite boule creuse, dans laquelle on met une certaine quantité de mercure, afin que le centre de gravité de cet instrument étant placé vers sa partie inférieure, il se tienne constamment dans une situation perpendiculaire à l'horison, & qu'il puisse s'enfoncer dans un liquide un peu pesant. Le globe *A* est surmonté d'un tube *C B*, gradué selon toute sa longueur.

Si on suppose que cet instrument plongé dans de l'eau de la mer, s'enfonce jusqu'à la cinquiéme graduation, il s'enfoncera ensuite d'autant plus profondément dans tout autre liquide, qu'il sera spécifiquement moins pesant que l'eau de la mer, & on jugera de la gravité spécifique des différens liquides qu'on éprouvera, par les différens dégrés

(*a*) Sinesius. Cirenée. Lett. 15.

d'enfoncemens de cet instrument ; mais son usage n'est pas ordinairement fort étendu : il est outre cela sujet à quelques inconvéniens qui dépendent des changemens qu'il peut subir en plus ou en moins dans ses dimensions, qui sont susceptibles des impressions du chaud & du froid. Cet inconvénient auquel on ne peut parer, & qui rend cet instrument défectueux, n'a pas empêché plusieurs Sçavans de s'occuper du soin d'étendre son usage : on peut consulter à cet égard la Physique de *Mussenbroek* (*a*).

CCXVI. Il nous reste encore à parler de l'équilibre des solides plongés dans des liquides, dont la pesanteur spécifique est plus grande que celle de ces solides. Une proposition suffira pour terminer ce que nous nous proposons de faire observer à cet égard.

Si un corps spécifiquement moins pesant que l'eau, par exemple, est plongé dans ce liquide, il s'y enfoncera en partie, & il s'y enfoncera jusqu'à ce que sa partie plongée ait déplacé un

(*a*) T. 2, sect. 1384.

volume d'eau, dont le poids égale celui de tout le corps plongé.

Pour démontrer cette vérité par une expérience décisive, prenez un vase cylindique *A B.* (*fig.* 70), muni d'un tube communiquant *C D*, qui ne soit point capillaire, & d'un robinet *E*, propre à évacuer à volonté l'eau du vase. Remplissez d'eau ce vase jusqu'à une certaine hauteur que vous marquerez à l'aide d'un fil sur le tube communiquant. Plongez ensuite dans cette eau une boule creuse de cuivre mince : elle s'y enfoncera en partie, & elle élevera les colonnes collatérales, ainsi que la petite colonne qui se trouve comprise dans le tube communiquant. Ouvrez alors le robinet & évacuez une partie de l'eau, jusqu'à ce que sa hauteur soit la même que précédemment. Retirez la boule, essuyez la, & pesez-la contre la quantité d'eau que vous aurez retirée, & vous trouverez qu'il y aura équilibre entre ces deux corps. Ce qui prouve manifestement que la quantité d'eau déplacée par l'immersion d'un corps spécifiquement moins pesant, pese autant que le corps plongé.

FIN

TABLE
DES MATIERES
Contenues dans ce premier volume.

LEÇON I.

De la porosité des corps. 20

De la divisibilité des corps. 50

LEÇON II.

Seconde

LEÇON III.

LEÇON IV.

Fin de la Table.

un pied cylindrique d'eau, c'a-d un cylindre d'eau qui a un pied de hauteur et un pied de diametre pese environ 55 Livres, tandis qu'un pied cube d'eau en pese environ 70. ——— ou 2 marcs, Dans une Livre, il y a 16 onces, dans une once 8 gros, Dans un gros 72 grains

FAUTES

à corriger dans le premier volume.

Page 3. *lig.* 4. dessinent, *lisez* dessine
Pag. 42. *lig.* 27. leur donna, *lisez* lui donna
Pag. 48. *lig.* 13. remarquons, *lis.* remarquerons
lig. 14. du corps, *lisez* des corps
Pag. 53. *lig.* 6. un tiré, *lisez* une tirée
Pag. 87. *lig.* 27. $:: E^2 : e$, *lisez* $:: E^2 : e^2$
Pag. 88. *lig.* 22. $T : t :: \frac{E}{V}$, *lisez* $T : t :: \frac{E}{V} : \frac{e}{v}$
Pag. 89. *lig.* 3. $:: v V$, *lisez* $:: v : V$
Pag. 90. lig. 2. en repos, *lisez* en mouvement
Pag. 101. *lig.* 28. exactes, *lisez* égales
Pag. 106. *lig.* 28. moux, *lisez* ici & par-tout ailleurs mous
Pag. 141. *lig.* 24. déterminecer qui, *lisez* déterminer ce qui
Pag. 148. *lig. dern.* lon la ligne, *lisez* selon la ligne
Pag. 150. *lig.* 1. *AM*, *lisez* *aM*.
Pag. 185. *lig.* 25. *A* cause de *B*, *lisez* à cause de la
Pag. 196. *lig. dern.* de la Physique, *lisez* de la Philosophie.
Pag. 203. *lig.* 2. à 8m', *lisez* à 8m''.
Pag. 210. *lig.* 22. *IF*, *lisez* *EF*.
Pag. 211. *lig.* 24. *IF*, *lisez* *EF*.
Pag. 213. *lig.* 26. *cD*, *lisez* *CD*.
Pag. 240. *lig.* 28. cercles, *lisez* regles
Pag. 266. *lig.* 14. au point *C*, *lisez* au point *c*
Pag. 273. *lig.* 17. au point *C*, *lisez* au point *c*

Pag. 275. *lig.* 24. en *e*, *lisez* en *é*
Pag. 288. *lig.* 6. *GI*, *lisez* $G\pi$
Pag. 295. *lig.* 7. *DC*, ajoutez *fig.* 51.
Pag. 336. *lig.* 25. le cylindrique, *lisez* le vase cylindrique
Pag 344. *lig.* 22. *CD*, *lisez* *ND*
Pag. 364. *lig.* 19. qn'autant, *lisez* qu'autant
Pag. 398. *lig.* 3. de ligne, *lisez* ligne.

Les pesanteurs specifiques de toutes les matieres énoncées dans cette table alphabetique, sont comparées à celle de l'eau commune; & l'on prend pour eau commune celle de la pluie dans une temperature moyenne

Acier flexible ou non trempé.	7,738
acier trempé	7,704
agathe d'angleterre	2,512
air	0,001 1/4
albâtre	1,872
alun	1,714
ambre	1,040
amiante	2,913
antimoine d'almagne	4,000
antimoine de hongrie . . .	4,700
ardoise bleue . . .	3,500
argent de coupelle . . .	11,091
Bismuth	9,700
Bois de Bresil	1,030

— Cèdre 0,613

— Orme 0,600

— Gayac . . . 1,337

— Ebène . . . 1,177

— Erable . . . 0,755

— frêne . . . 0,845

— Bois . . . 1,030

Borax . . . 1,720

Caillou . . 2,542

Camphre . . 0,995

Charbon de terre . . 1,240

Cinabre naturel . . 7,300

— artificiel . . 8,200

Cire jaune . . . 0,995

Corail rouge . . 2,689

— blanc . . . 2,500

Corne de boeuf . . . 1,840

— cerf . . . 1,875

Crystal de roche . 2,650

— D'islande . 2,720

Cuivre de Suède . 8,785

— jetté en fontenade 8,000

Diamant 3,400

écailles d'huitres . 2,092

Etain 1,041
Eau commune ou de pluie . . . 1,000
—— distillée 0,993
—— de rivière 1,009
Esprit de vin rectifié . . . 0,866
—— de térébenthine . . 0,874
Etain pur 7,320
— allié d'angleterre . . 7,471
Fer 7,645
Gomme arabique 1,375
Grenat de Bohême . . . 4,360
— de suede 3,978
Huile de lin 0,932
— d'olive 0,913
— de vitriol 1,700
Karabé ou ambre jaune . 1,065
Lait de vache 1,030
Litarge d'or 6,000
— d'argent 6,044
Maganèse 3,530
Marbre noir d'italie . . 2,704
—— blanc d'italie . . . 2,707
Mercure 13,593
Noix de galles 1,034
La pesanteur resp. de la glace : à celle de l'eau : :
8 : 9 à peu près

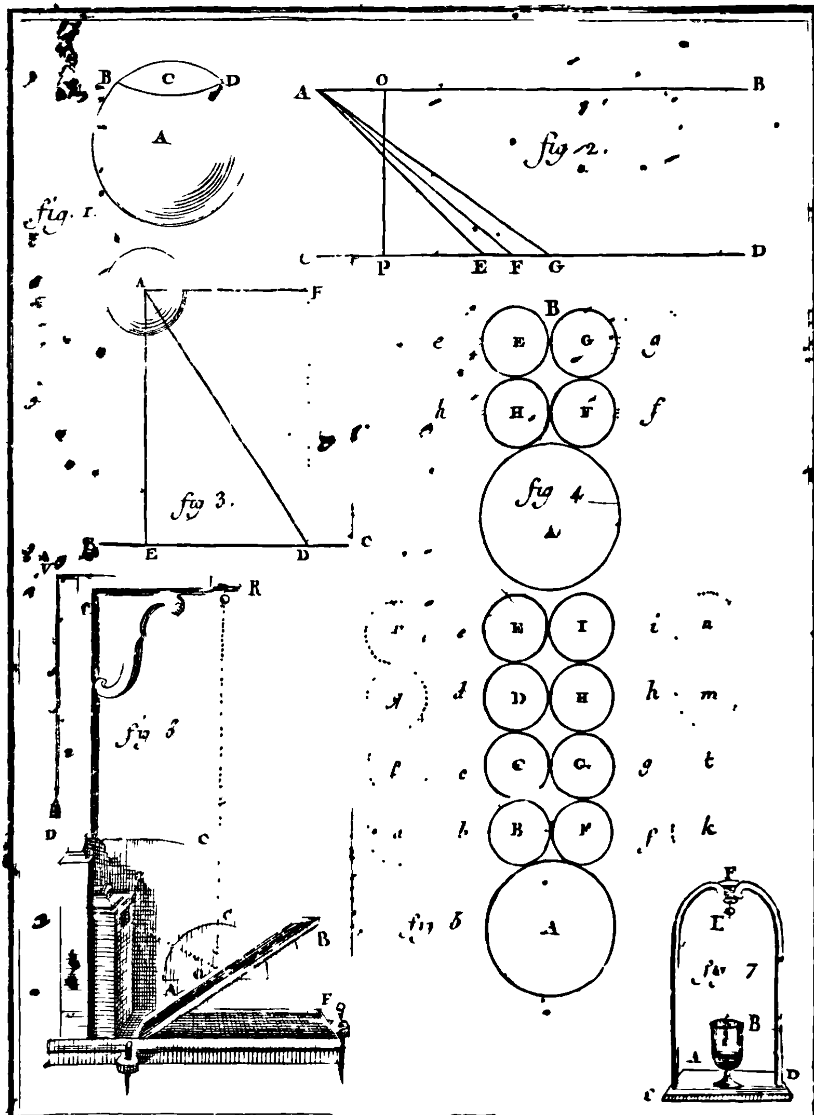


fig. 1.
fig 2.
fig 3.
fig 4
fig 5
fig 6
fig 7

Problêmes

On suppose qu'un homme est parti, il y a six heures, & qu'il fait une lieue & demie par heure, tandis qu'un autre qui veut le joindre en fait deux dans le même temps. Combien le dernier sera-t-il obligé de faire de lieues ? il faut faire la proportion suivante : 2 l. − 1 l. & $\frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ l. : 2 l. :: 9 l. espace qu'a fait le 1er en 6 h. : x = 36 l. c.-à-d. que celui qui veut attraper l'autre sera obligé de faire 36 l. L'autre au contraire n'en fera que 27, comme on le voit en disant : $2 - 1\frac{1}{2} = \frac{1}{2} : 1\frac{1}{2} :: 9 : x = 27$, car $1\frac{1}{2} \times 9$ donne $13\frac{1}{2}$ qui divisé par $\frac{1}{2}$ donne $26 + \frac{2}{2} = 27$

Si l'on demandoit à 10 heures le point précis où l'aiguille des minutes d'un cadran joindra celle des heures, on auroit cette proportion : 12 vitesse de l'aig. des minutes − 1 v. de l'aig. des h. = 11 v. respective : 12 v. abs. :: 10 espace interposé : $x = 10 + \frac{10}{11}$ c.-à-d. que l'aig. des minutes feroit 10 graduations & de plus 10 fois l'onzième partie de la graduation suivante.

Un voleur fait une lieue & demie par h. il y a six h. qu'il est parti : quel chemin sera obligé de faire pour le joindre un homme qui fait deux lieues par heure ? on le trouve en faisant cette proportion. 2 l. c.-à-d. le chemin que fait par h. l'homme qui veut arrêter le voleur − le chemin que fait le voleur dans le même temps = $\frac{1}{2}$ qui est − $1 + \frac{1}{2}$ chemin que fait le voleur pendant les 10 h. : x. La différence : 2 :: 15 espace parcouru par le voleur pendant les 10 h. : x.

3 hommes ~~entrent~~ dans ~~une auberge & demandent à dîner. On n'a qu'un~~ ~~œuf~~ certain nombre d'œufs à leur donner tel qu'on donn. au 1er la moitié ~~plus la moitié d'un œuf~~, au 2d la moitié du reste + la moitié d'un œuf au 3me des œufs la moitié du dernier reste + la moitié d'un œuf, le nomb. se trouve ainsi distribué sans casser aucun œuf ; quel est le nomb. ? je fais cette prop. & opérant suivant les règles, je trouve 7.

$\frac{x}{2} + \frac{1}{2}$, $1 + \frac{x}{4} + \frac{1}{4}$, $1 + \frac{x}{8} + \frac{1}{8} = x$ nomb. ch.

Or de essai ou de coupelle	19,640
— d'une guinée	18,888
os de bœuf	1,656
pierre sanguine	4,360
— calaminaire	5,000
pierre à fusil opaque	2,542
— transparente	2,641
plomb	11,325
poix	1,150
sang humain	2,040
sapin	0,550
sel de glaubert	2,246
— ammoniac	1,453
— gemme	2,143
— polycreste	2,148
souffre commun	1,800
talc de venise	2,780
tartre	1,849
turquoise	2,508
vert de gris	1,714
verre blanc	3,150
verre commun	2,620
vin de Bourgogne	0,953
vinaigre de vin	1,011
— distillé	1,030
vitriol d'angleterre	1,880
yvoire	1,825

fini

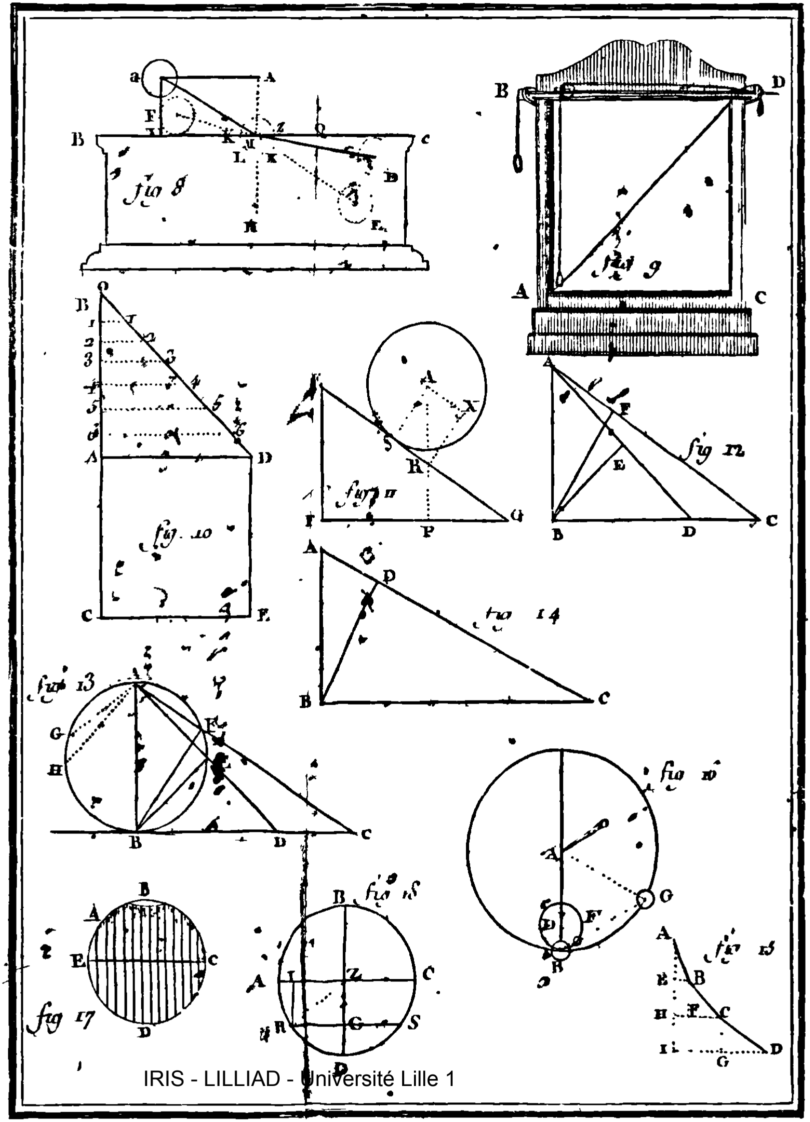
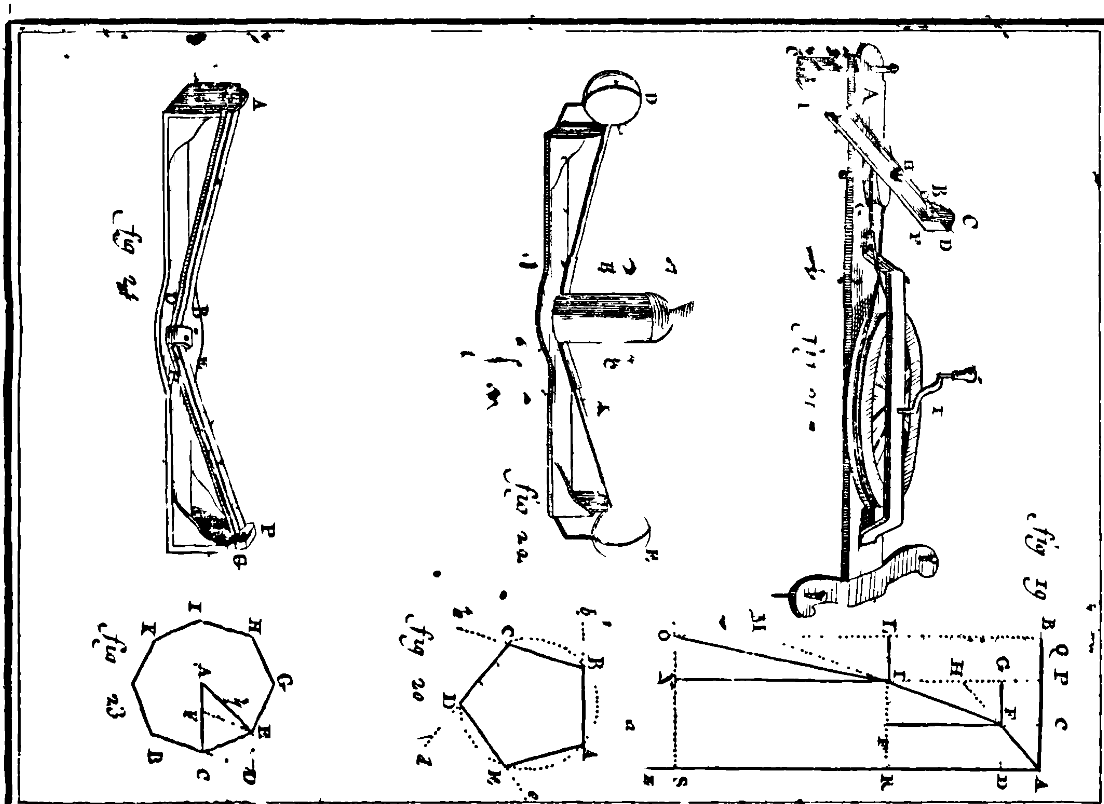


fig 8
fig 9
fig. 10
fig 12
fig 13
fig 14
fig 17

Sachant qu'un corps qui tombe librement en vertu de la pésanteur, parcourt
dans notre climat 15 pieds par seconde, & les espaces parcourus étant comme
le quarré des temps, si l'on connoît la hauteur d'où un corps est tombé, il sera
facile de connoître le temps qu'il a mis à tomber, & reciproquement le
temps de la chûte étant connu, il est aisé de determiner la hauteur ou
l'espace parcouru. par exemple pour trouver le temps qu'un corps a
employé à tomber de la hauteur de 160 toises il faut faire cette proportion.
15 pieds : 960 pieds :: 1, c.a.d. le quarré d'une seconde : x^2 quarré du temps qu'employ-
ra le corps à tomber de la hauteur donnée. prenant le produit des moyens, &
divisant par l'extrême connu, on trouve l'autre extrême 64 dont on prend la
racine quarrée = 8 c.a.d. que le corps est tombé pendant 8 secondes. pour
trouver l'espace parcouru, le temps étant donné, on renverse la proportion. p.e.
si un corps est tombé pendant 5 secondes pour trouver la hauteur d'où il est
tombé on dira : le quarré d'une seconde : au quarré de 5 secondes c.a.d 1'' : 25'' ::
15 : x = 375 pieds. ici l'on ne prend point la $\sqrt{}$, parce que les espaces sont comme
le quarré des temps.
il est encore facile de résoudre le problème suivant par la même méthode.
on suppose qu'un boulet de canon, lancé par l'impulsion de la poudre
revient dans 20 secondes au point d'où il est parti. on demande le point
précis où il s'est élevé. sachant que le temps qu'il met à monter est égal à celui
qu'il met à descendre, on voit l'espace qu'il parcourt pendant 10'' en faisant
la proportion le quarré d'une seconde : au quarré de 10 secondes 1'' : 100 :: 15 : x = 1500
par conséquent il s'est élevé jusqu'à 1500 pieds.
il est même des cas où l'on peut connoître & le temps & l'espace parcouru, connoissant
la simple vitesse, car on sait qu'un corps lancé en haut doit monter jusqu'à
ce qu'il ait perdu toute sa vitesse, alors il commence à retomber en s'accélérant dans
la même proportion qu'elle étoit diminuée, de manière que dans la der-
nière seconde d'ascension, il a une vitesse capable de lui faire parcourir
dans le même temps l'espace qu'il parcouroit dans la première seconde lorsqu'il
montoit. soit donc un corps lancé en haut avec une vitesse de 60 pieds par
seconde à supposer qu'il n'y eut point de pesanteur, on auroit cette proportion.
30 pieds de cause du mouvement supposé uniforme : 60 :: 1 : x par conséquent
il monteroit pendant 2'' qui multipliés par 60 = 120 espace que le mobile
parcourroit si la pesanteur n'agissoit point sur lui : mais elle agit toujours -
ment & pour avoir la hauteur où il montera il faut soustraire de 120 le
produit de 15 ~~+~~ par le quarré de 2'' & l'on aura 60 = l'espace qu'il parcourra
dans 2''.
les milieux résistent à raison de leur densité. un corps qui parcourroit 840
pieds dans l'air, n'en parcourroit qu'un dans l'eau avec la même vitesse.
ils résistent encore à raison des surfaces, & du quarré de la vitesse. les espaces
parcourus dans un même milieu par des masses inégales lancées par

des forces proportionnelle à leurs masses, sont entre eux comme les
quantités de mouvement divisées par les surfaces des mobiles. soit une
balle de 6 lignes de diametre et un boulet de 6 pouces: le rapport de leurs
diametres et par consequent de leurs grands cercles sera comme 1:12, et comme
les surfaces sont entre elles comme le quarré des dimensions homologues, la surface
de la balle sera 1, tandis que celle du boulet sera de 144. leurs densités étant entre
elles comme le cube de leurs diametres celle de la balle sera 1 et celle du boulet
1728. donc on aura cette proportion l'espace que parcourra le boulet
sera à celui que parcourra la balle comme 1728 divisé par 144, est à
un divisé par un :: ~~comme le cube~~ divisé par le quarré donne la racine
on a comme 12:1 c.a.d que le boulet parcourra 12 pieds et la balle un.



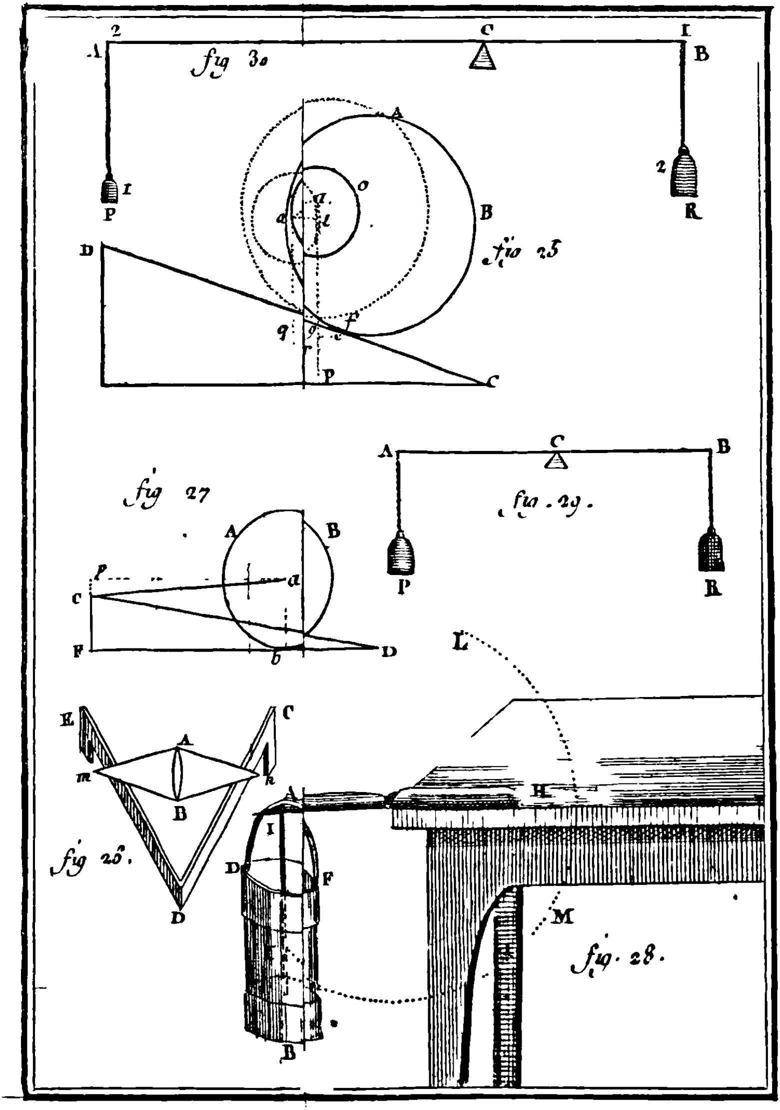


fig 30
A
2
C
I
B
1
P
2
R
fig 25
A
o
a
a
t
B
D
q
g
f
e
r
P
C
fig 27
A
B
p
a
C
F
b
D
fig. 29.
A
C
B
P
R
L
E
C
A
m
h
B
fig 26.
D
A
I
D
F
H
B
M
fig. 28.

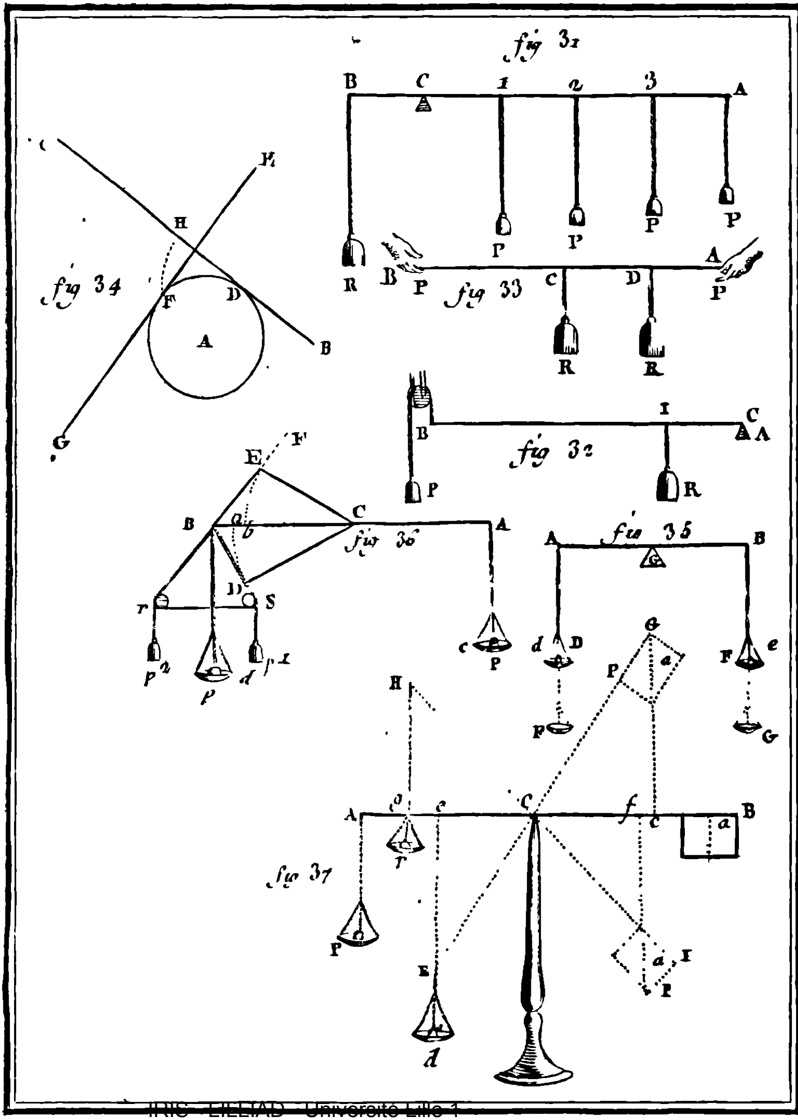


fig 31
fig 32
fig 33
fig 34
fig 35
fig 36
fig 37

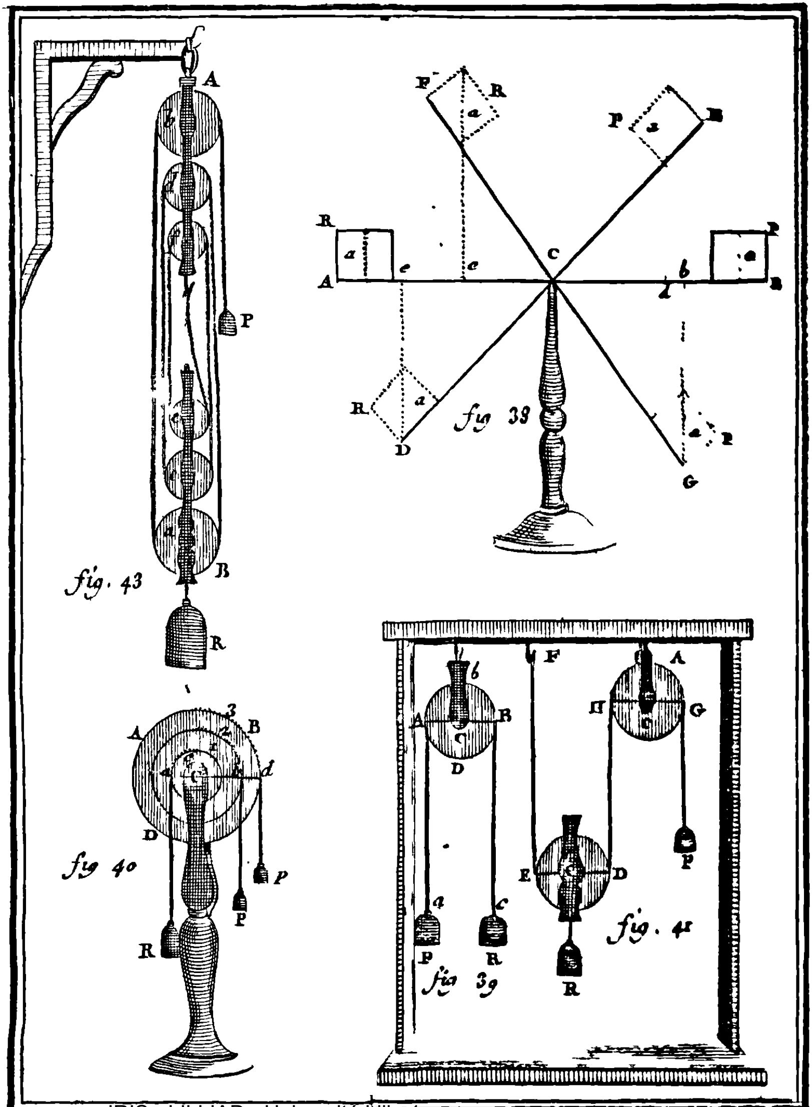


fig. 43
fig 38
fig 40
fig 39
fig. 41

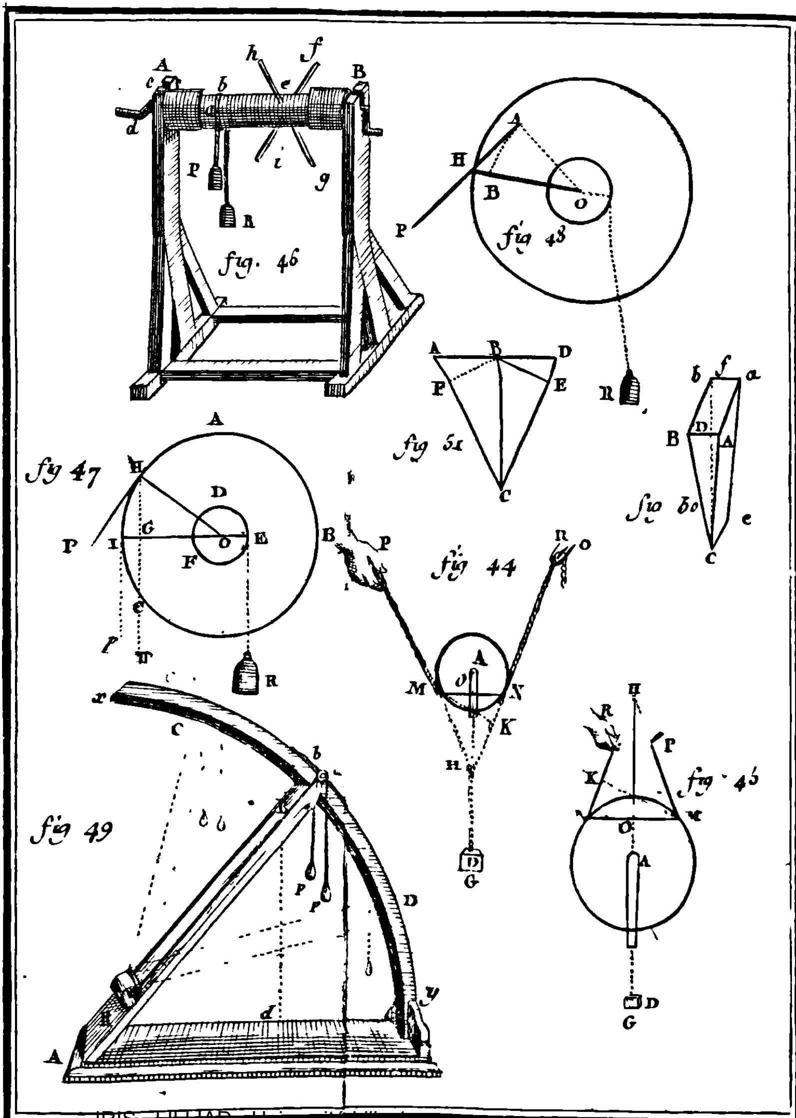


fig. 46
fig 48
fig 51
fig 60
fig 47
fig 44
fig 45
fig 49

Les cubes des distances des planets au soleil, sont, entr'eux comme les qarés des temps periodiques;

de maniere que si l'on sait combien deux planets mettent de temps à faire leurs revolutions, on sait aussitôt, par cette analogie, quelles sont leurs distances respectivement au soleil. car elles sont comme les ∛ des qarés des temps.

Le soleil est éloigné de la terre environ 34000000 de lieues. La lune de 60 fois le demi diametre de la terre qui est de 1432 lieues & demi = 85924 l.

Saturne est à peu près dix fois plus éloigné du soleil que la terre, jupiter cinq fois.

La distance de la terre au soleil : celle de Mercure au même astre :: 3 : 1 ou 8 $\frac{8}{9}$: 1

: celle de Venus :: 3 : 2 ; : à celle de Mars :: 2 : 3 ; de jupiter :: 1 : 5 ou :: 104 : 520 = 18000 de saturne :: 1 : 9 $\frac{1}{10}$ ou :: 104 : 954 = 331000000 l

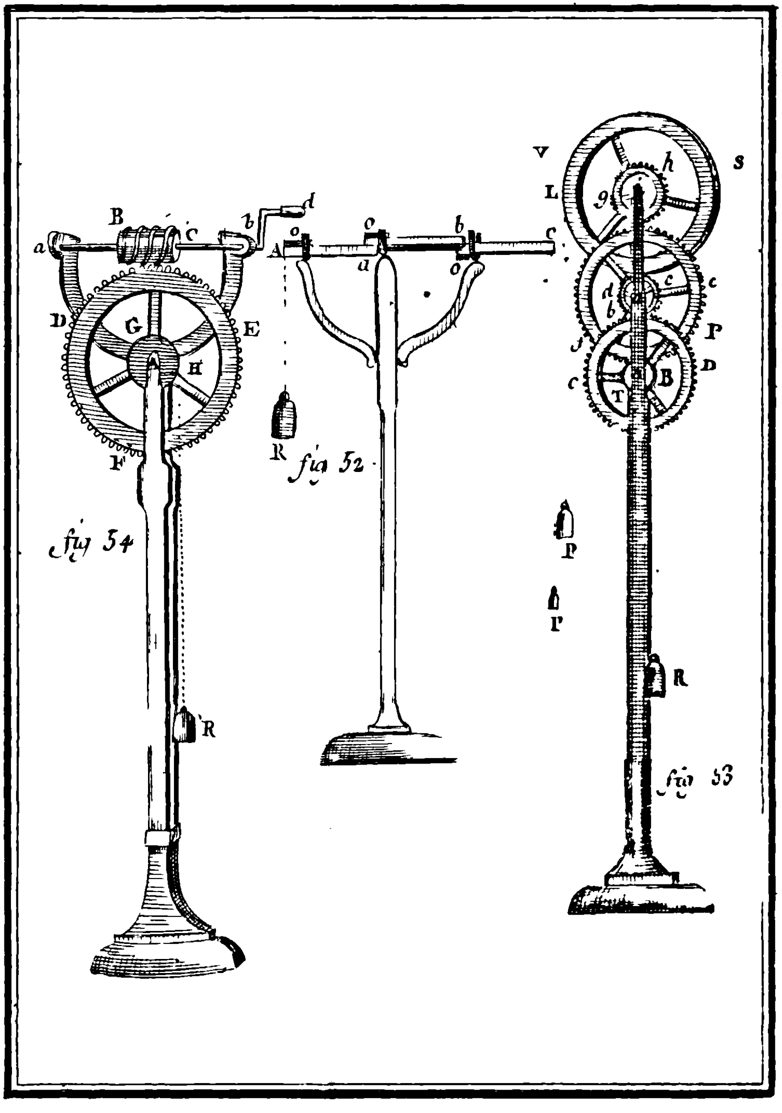
Les vitesses des planetes sont entre elles reciproquement comme les racines carrées de leur distance au soleil.

Les temps periodiques comme les √ des cubes des distances.

Dans les grandes distances, l'attraction ou la pesanteur qui est proportionnelle aux masses, est en raison inverse du quarré de la distance

125000000

Les distances des planets primitives au
soleil sont entre elles à peu près comme
les nombres 4. 7. 10. 15. 52. 95
M, V, T, M, J. S.
Jupiter tourne sur lui même dans 9 heures



Surfale de la terre en pieds
quarrés: 5,063,487,966,729,000.

Sa solidité en pieds cubiques:

32,670,514,805,125,184,000,000
~~qui paroît de 32~~

Le diametre du soleil = plus de
[redacted] 112 ½ fois
[redacted] celui de la terre qui est
d'environ 3000 Lieues.
d'où il suit que la solidité du
soleil est à peu près 729000.
fois plus grande que celle
du globe terrestre. Le D. L. ¼ de 6 d. s. t
le soleil tourne sur lui même
dans l'espace de 25 jours & demi.
le plus gros de toutes les planetes primitives
jupiter est environ [redacted] fois plus
1479
gros que la terre.
mercure la plus petite des planetes
& dont la grosseur est à celle de
la terre à peu près dans le rapport
de 64 à 1000, fait sa revolution
autour du soleil dans l'espace
d'environ 3 mois; venus en
met environ ~~[illegible]~~ Mars
acheve sa revolution en [redacted]
jupiter en 12 & saturne en 30.
~~le premier satellite de jupiter fait~~
sa revolution autour de cet astre.

Mr de Lalande, observant les rapports des deux diametres de la Terre et la supposant composée d'une matiere a peu près analogue à l'argile dont le pied cube pese environ 140 livres trouve le poids de la terre entiere

4848994000000000000000000 ~~quintaux~~ livres

le nombre etant composé de 25 chiffres.

~~Cong~~ Continuant l'hypothese et calculant comme chaque grain de sable sensible ne peut avoir moins d'un vingtieme de ligne, il trouve le nombre de grains de sable de toute la masse.

& le nombre contient 33 chiffres

mars un an
1724 j.

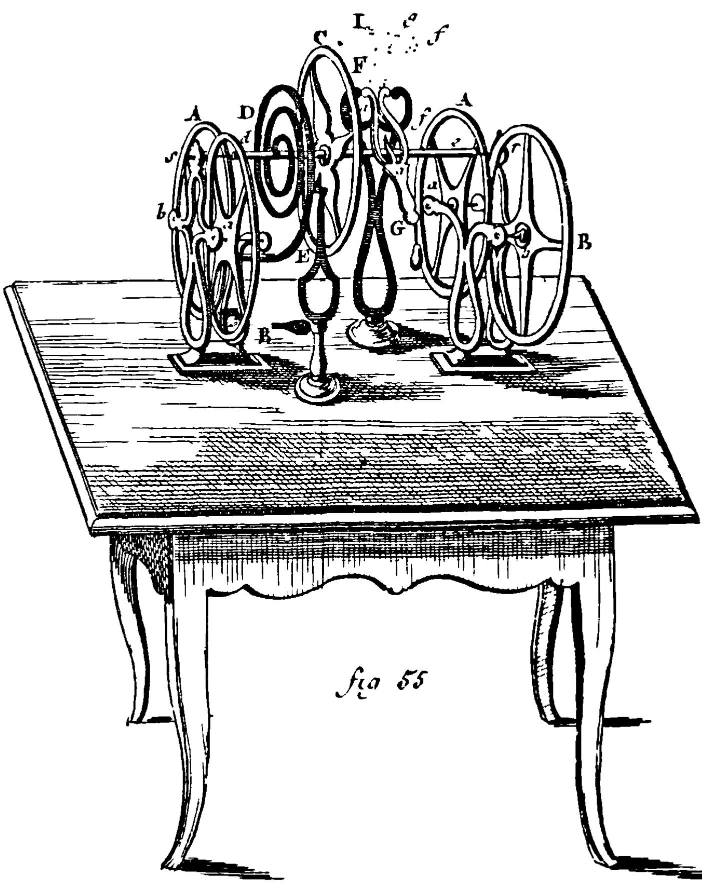


fig 55

Les rayons du Soleil employent 8 minutes à venir du soleil à la terre & parceque la lune est environ 400 fois plus près de la terre que le Soleil, la lumiere n'employe pas une seconde & ½ de temps pour venir de la lune à la terre.

comme notre jour est de 24 heures celui de venus est de 23, celui de Mars de 24 $\frac{2}{3}$, celui de jupiter de 10 ou à peu près, celui de la lune de 24 jours & environ un tiers.

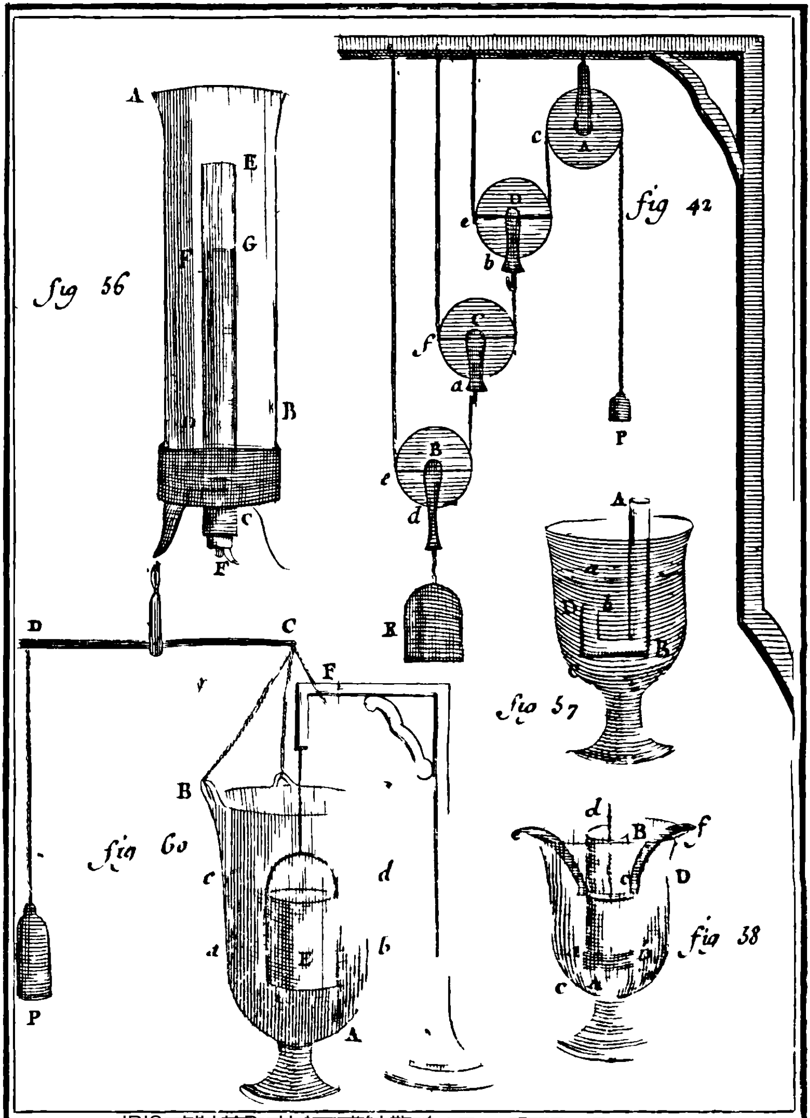
La masse de la lune est environ la ~~[illegible]~~ [illegible] de celle de la terre; la grosseur la terre. ~~[illegible]~~ est presqu'aussi grosse que la terre.

y eu une elypse annulaire a paris le 8bre 1841

: on attend le retour d'une comete pour 1789 ou 1790

celui d'une autre pour 1848. on compte en tout 63 come[tes]

Pl X



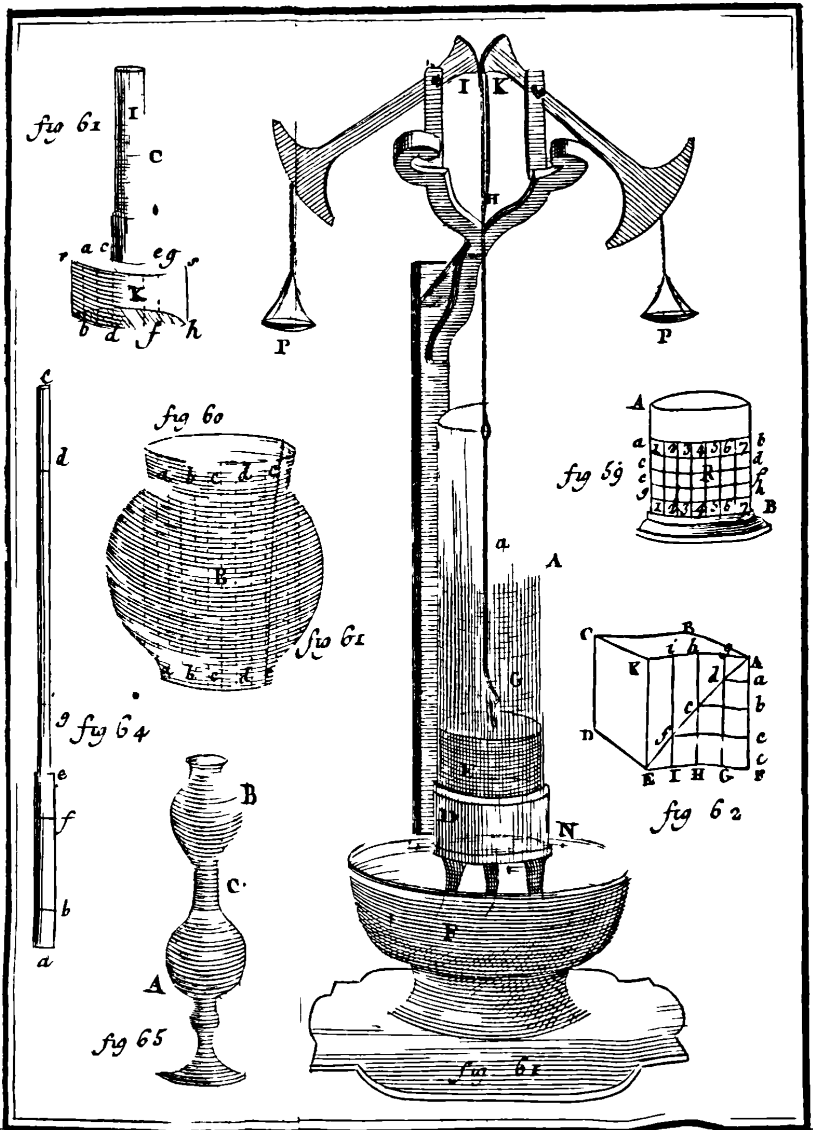


fig 61
fig 60
fig 61
fig 59
fig 64
fig 62
fig 65
fig 61

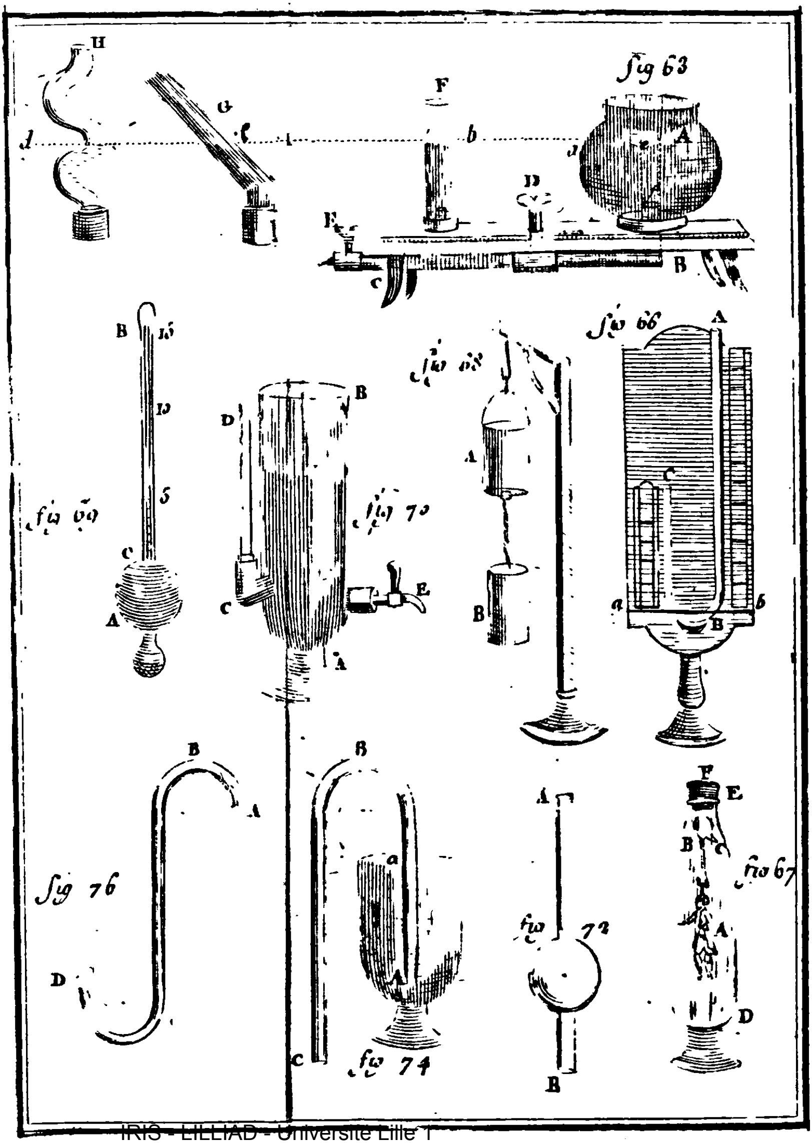


fig 63
fig 66
fig 70
fig 76
fig 74
fig 72
fig 67

Pour garantir le fer et l'acier de la rouille, il suffit de les enduire de graisse de chapon

Longueur d'un grand cercle de la terre
123,249,600 pieds: la circonference
de l'orbite Lunaire est 60 fois plus grande;
La lune se meut autour de la terre dans
L'espace de 27 jours, 7 h. 43 minutes.

Diametre 41,083,200 pieds = 2865 Lieues

rayon de la terre 20,541,600
1432 Lieues.