



S: ONZ:

6169

J. 8.  
J. 6.  
B. 11.

Z BIBLIOTEKI

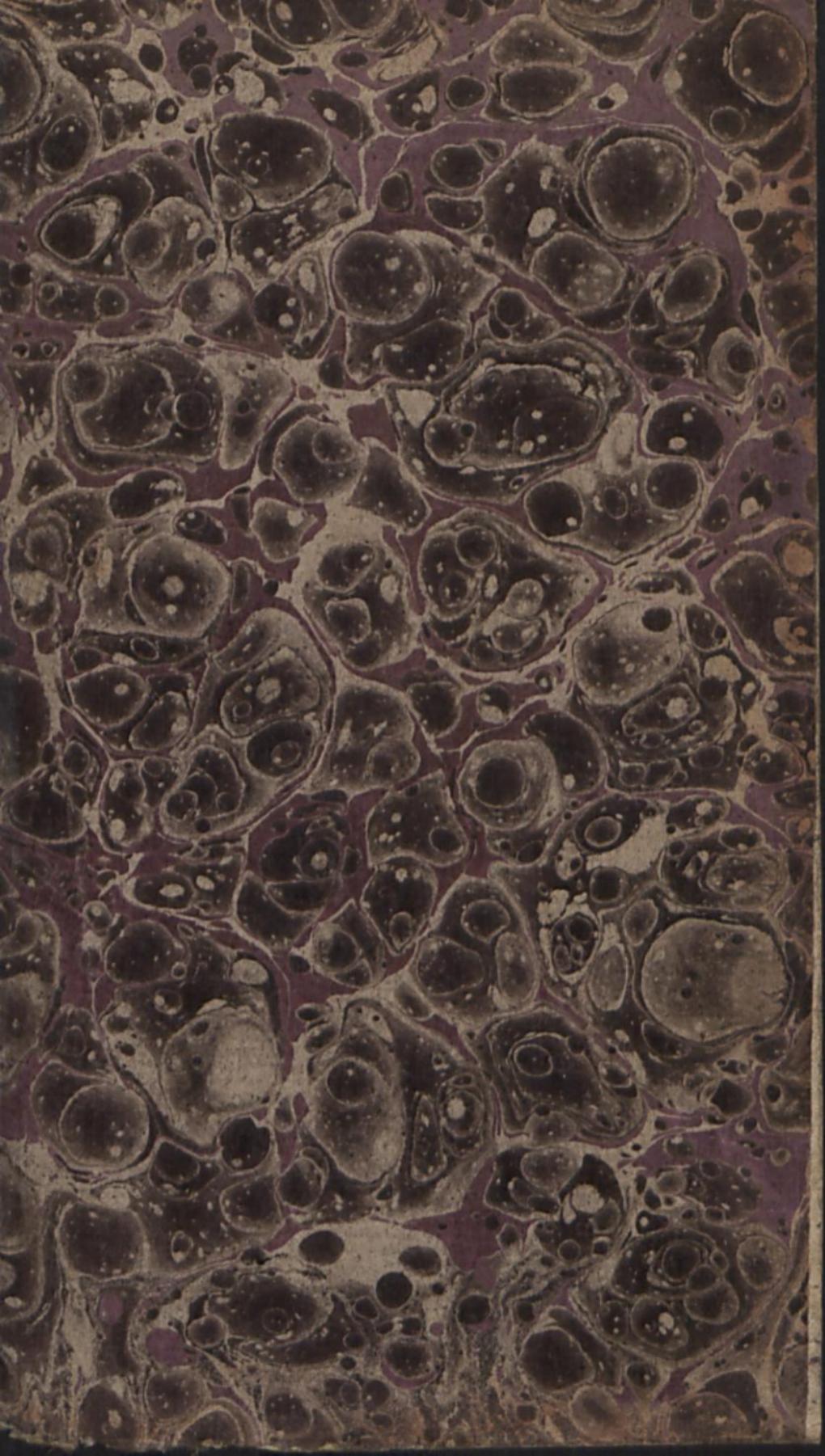
ORDYNACYI ZAMOYSKIEY

ROKU

1815



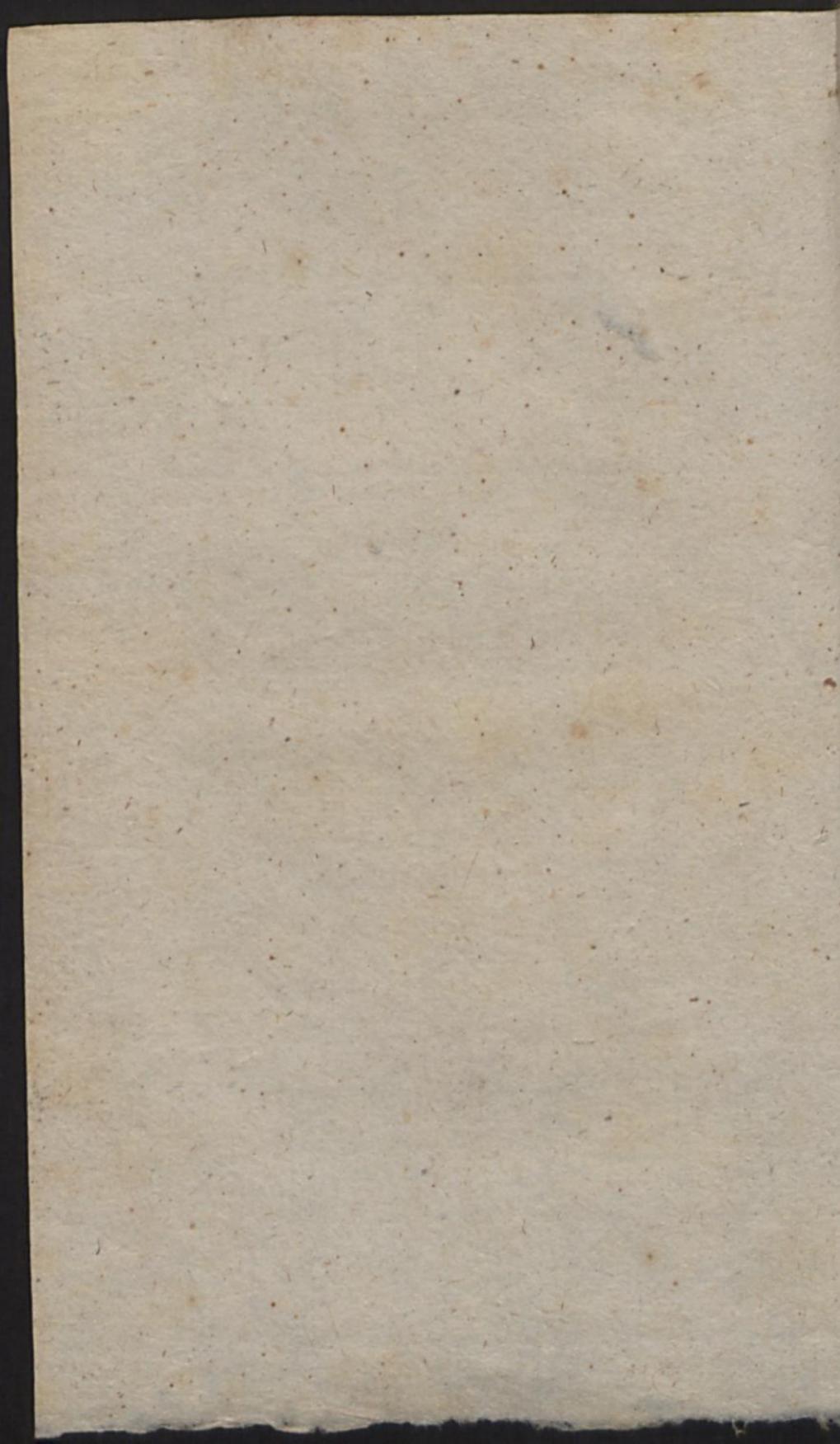
STANISLAW ORDYNAT ZAMOYSKI



cl. VI = N<sup>o</sup>. 264.

A: 19 = R. E.

47



A. 19 : d. 8.

T R A I T É  
ÉLÉMENTAIRE  
DE PHYSIQUE.



*Se trouve à Paris,*

CHEZ { DELANCE et LESUEUR , Imprimeurs-Libraires ,  
rue de la Harpe , N°. 133 .  
MONGIE , Libraire , Cour des Fontaines , Palais  
du Tribunat .



TRAITÉ  
ÉLÉMENTAIRE  
DE PHYSIQUE,  
PAR R.-J. HAÜY,

*Rene Justin*

Membre de l'Institut National des Sciences et Arts, Professeur de Minéralogie au Muséum d'Histoire Naturelle, de la Société des Scrutateurs de la Nature de Berlin, de la Société Batave des Sciences de Harlem, de la Société de Minéralogie d'Iéna, etc.

OUVRAGE DESTINÉ POUR L'ENSEIGNEMENT  
DANS LES LYCÉES NATIONAUX.

2 Vol. in-8°., avec 24 Planches renfermant 157 Figures.

TOME PREMIER.

A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DE DELANCE ET LESUEUR.

---

AN XII.—1803.



201844\_2

201844\_2



530.1

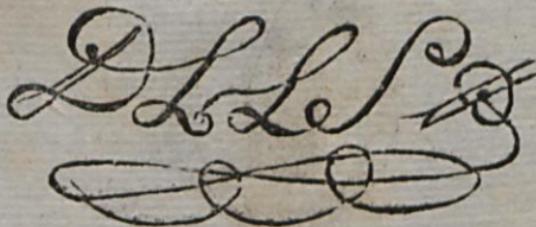
---

---

*EXTRAIT du Décret concernant les  
contrefacteurs ; 19 juillet 1793.*

**ART. IV.** Tout contrefacteur sera tenu de payer au véritable propriétaire une somme équivalente au prix de trois mille exemplaires de l'édition originale.

Nous plaçons la présente Édition sous la sauve-garde des Lois , et déclarons qu'ayant rempli toutes les formalités requises pour constater notre propriété, nous poursuivrons devant les Tribunaux tout contrefacteur ou débitant d'Édition du *Traité Élémentaire de Physique*, par M<sup>e</sup> Haüy , autre que celle revêtue du Type ci-après.





# INTRODUCTION.

---

LES différens points de vue sous lesquels les corps naturels et les phénomènes qu'ils présentent peuvent être envisagés, ont donné naissance à divers genres d'étude, qui se sont multipliés à mesure que le progrès des lumières ajoutoit de nouvelles branches à des sciences déjà formées. L'ensemble de toutes les connaissances qui en résultent a fourni les trois grandes divisions auxquelles on a donné les noms de *Physique*, de *Chimie* et d'*Histoire naturelle*.

Si nous considérons dans les corps des propriétés générales et permanentes, ou si les changemens que subissent ces corps sont passagers, en sorte que la cause qui les a produits n'ait besoin que de disparaître, pour que les corps retournent à leur premier état; si, de plus, les lois qui déterminent les actions réciproques des mêmes corps se propagent à des distances plus ou moins considérables, les résultats de nos observations restent dans le domaine de la physique. Mais lorsque les

phénomènes dépendent d'une action intime que les molécules des corps exercent les unes sur les autres , à des distances presque infiniment petites , et en vertu de laquelle ces molécules se séparent , pour se réunir ensuite dans un ordre différent , et amener de nouvelles combinaisons ou de nouvelles propriétés , l'étude des phénomènes appartient à la Chimie. Enfin , si notre attention se tourne vers les êtres particuliers dont les uns jouissent de la vie et du mouvement spontané , les autres vivent sans se mouvoir par eux-mêmes , et d'autres n'ont qu'une structure sans organisation ; et si notre but est de classer et de décrire ces êtres , le point de vue qui s'offre à nous embrasse toute l'Histoire naturelle , qui comprend seule trois sciences distinguées sous les noms de *Zoologie* , *Botanique* , et *Minéralogie*.

Dans la réalité , toutes les sciences qui se rapportent à la nature ne composent qu'une seule et même science , que nous avons sou divisée , de manière que les différens esprits pussent partager entre eux l'étude de ses diverses branches , et parcourir chacun toute l'étendue de celle qui a fixé son choix. On ne doit donc pas être étonné s'il arrive souvent

que plusieurs sciences se rencontrent auprès d'une même vérité , en sorte qu'il n'y en ait aucune qui ne tienne aux autres par des points de contact plus ou moins nombreux. Et pour tirer un exemple de celle qui est le sujet de ce Traité , les découvertes modernes sur les propriétés des gaz et du calorique ne permettent plus à la Physique de s'isoler de la Chimie , lorsqu'il s'agit des phénomènes dont l'explication appartient à la théorie de l'air ou de la chaleur ; et ici le vrai physicien est celui qui parle le langage du chimiste. Il en est de même de toutes les parties de nos connaissances ; tour à tour elles divergent , se rapprochent , et finissent souvent par se confondre , comme pour nous rappeler qu'elles remontent toutes à une même unité , et que la distinction que nous avons mise entre elles provient uniquement des bornes de notre esprit et de celles du temps qui nous est accordé pour les cultiver. Nous exposerons bientôt le plan que nous nous sommes tracé , pour circonscrire la Physique dans les limites indiquées par le but de notre ouvrage.

Les objets qui concernent l'étude de cette science offrent cet avantage , que nous n'avons

besoin que de nous rendre attentifs pour les trouver réunis autour de nous , que les phénomènes qu'ils produisent sont d'une observation familière , et que la scène sur laquelle se développent ces phénomènes nous est sans cesse présente. Les expériences auxquelles sont employés les instrumens qui meublent nos cabinets de physique, ne sont autre chose que des imitations de ces phénomènes, destinées à nous en dévoiler les causes. Le jeu de la machine pneumatique nous instruit sur les propriétés du fluide que nous respirons. Les effets si pittoresques pour la curiosité qu'offre l'appareil électrique , nous aident à déterminer les lois qui régissent le fluide accumulé dans un nuage orageux. L'aimant, qui semble commander aux mouvemens d'une aiguille de boussole que l'on présente à son action , ne fait que remplacer , pour un instant, le globe terrestre , qui exerce continuellement sur l'aiguille une action du même genre. L'image colorée du soleil, offerte par la lumière qui a traversé un prisme , nous donne une idée de la décomposition que subit le même fluide dans le nuage , qui , au moment où il se résout en pluie , déploie le magnifique spectacle de l'arc-en-ciel.

Tous ces instrumens si diversifiés sont autant d'interprètes du langage visible que nous parle sans cesse la nature.

Ce mot de *Nature*, que nous employons si souvent, ne peut être regardé que comme une manière abrégée d'exprimer, tantôt les résultats des lois auxquelles l'Être suprême a soumis le mécanisme de l'univers, tantôt la collection des êtres qui sont sortis de ses mains. La nature, envisagée ainsi sous son véritable aspect, n'est plus un sujet de spéculations froides et stériles pour la morale. L'étude de ses productions ou de ses phénomènes ne se borne plus à éclairer l'esprit; elle remue le cœur, en y faisant naître des sentimens de respect et d'admiration à la vue de tant de merveilles qui portent des caractères si visibles d'une puissance et d'une sagesse infinies. Telle étoit la disposition où se trouvoit le grand Newton, lorsqu'après avoir considéré les rapports qui lient partout les effets à leurs causes, et font concourir tous les détails à l'harmonie de l'ensemble, il s'élevoit jusqu'à l'idée d'un Créateur et d'un premier moteur de la matière, en se demandant à lui-même, pourquoi la nature ne fait rien en vain; d'où vient que le

soleil et les corps planétaires gravitent les uns vers les autres sans aucune matière dense intermédiaire ; comment il seroit possible que l'œil eût été construit sans la science de l'optique , et l'organe de l'ouïe sans l'intelligence des sons (1) ?

La véritable méthode pour parvenir à l'explication des phénomènes , est celle qui a été adoptée par le même Newton , et à laquelle les sciences sont redevables des progrès rapides qu'elles ont faits et qu'elles font encore tous les jours entre les mains de tant de savans célèbres . Pour mieux faire concevoir en quoi consiste cette méthode , il ne sera pas inutile de fixer ici , d'une manière nette et précise , l'idée que l'on doit se former de ce qu'on appelle une *théorie* , d'en faire sentir le but et les avantages , de tracer les limites qui la séparent du système , et qui doivent empêcher de confondre les productions du génie , qui voit la nature telle qu'elle est , avec celles de l'imagination , qui la fait agir à son gré .

Le but d'une théorie est de lier à un fait général , ou au moindre nombre de faits généraux

---

(1) *Optice Lucis* , lib. III , quæst. 28,

possible, tous les faits particuliers qui en dépendent. Nos premiers pas dans les sciences ont été dirigés vers la recherche des faits. On s'est attaché à les décrire exactement, à les bien vérifier, à les multiplier. Les uns étoient donnés par la simple observation, et s'offroient comme d'eux-mêmes à une attention éclairée; d'autres étoient des résultats d'expériences faites avec ces soins, cette adresse et cette sagacité qu'exige ce genre de recherches. Tous ces faits, découverts à différentes époques et par différens observateurs, restoient d'abord comme isolés; quelques-uns même se présentoient sous l'air du paradoxe, et sembloient être en contradiction avec d'autres faits du même genre. Ainsi l'ascension de l'eau dans les corps de pompe, bornée à une hauteur de trente-deux pieds, mettoit en défaut la physique obscure et inintelligible du temps, qui attribuoit cette ascension à une prétendue horreur de la nature pour le vide. Mais enfin paroisoit le génie auquel avoit été réservé l'avantage de rassembler tous ces anneaux épars, et d'en former une chaîne continue qui en montrât la filiation et la dépendance mutuelle.

Ainsi la théorie de la gravitation universelle ramène les mouvements célestes , l'aplatissement de la terre et les plus grands phénomènes de la nature , à ce seul fait constaté d'avance par l'observation , que la force de la pesanteur agit en raison inverse du carré de la distance. A l'aide d'une semblable loi , démontrée par l'expérience , relativement aux actions électriques et magnétiques , on voit les différens effets que présentent les corps sollicités par ces actions naître , pour ainsi dire , les uns des autres , en partant d'une origine commune.

Les mots d'*attraction* et de *répulsion* , dont on se sert pour indiquer le fait fondamental sur lequel repose la théorie , n'expriment proprement que les vitesses avec lesquelles les corps tendent à s'approcher ou à s'éloigner les uns des autres. L'essentiel est que , connoissant la loi à laquelle est soumise cette tendance , et y appliquant le calcul , on puisse déterminer tous les autres faits , qui sont comme des corollaires du premier ; et même la théorie a cet avantage , que l'on peut , par son secours , lire avec certitude dans l'avenir , parce que la filiation des faits une fois établie , ce qui a été devient un sûr garant de ce qui sera ; en sorte qu'il

dépend du calcul, en faisant un pas de plus, d'appeler un phénomène qui ne se seroit présenté qu'après une suite d'années, et de lui donner une existence anticipée.

Ainsi, l'observation et la théorie concourent également à la certitude et au développement de nos connaissances ; chacune a son flambeau à la main : l'observation dirige les rayons qui émanent du sien sur chaque fait en particulier, de manière qu'il soit mis dans tout son jour, qu'il soit nettement terminé, et qu'il se présente sous sa véritable forme ; la théorie éclaire l'ensemble des faits ; et, à la lumière de son flambeau, tous ces faits, d'abord épars, et qui sembloient n'avoir rien de commun entre eux, se rapprochent ; ils prennent tous un air de famille, et semblent n'être plus que les différentes faces d'un fait unique.

Il est facile à présent de juger combien il y a loin du système à la théorie. Mais commençons par observer que le mot de *système* peut être pris dans une acceptation favorable, lorsqu'on l'emploie pour désigner une disposition d'objets relatifs aux sciences. Les géomètres s'en servent pour exprimer un ensemble de corps dont les actions mutuelles se combinent. Dans le langage

de la saine Physique, il désigne l'arrangement des corps célestes autour d'un centre commun. Les naturalistes ont aussi leurs systèmes, qui consistent dans une distribution méthodique des êtres, propre à en faciliter l'étude.

Le système, tel que nous l'envisageons ici, pour le bannir de la Physique, consiste dans une supposition purement gratuite, à laquelle on s'efforce de ramener la marche de la nature. C'est un tourbillon, c'est une effluve de matière subtile, c'est tout ce qu'on veut (car tout est possible à l'imagination). A l'aide de cette supposition, qui va toujours au delà des faits donnés par l'observation, on explique tout d'une manière vague et lâche, satisfaisante cependant, en ce qu'il n'en coûte pas plus pour la concevoir que pour l'imaginer. Le système marche ainsi comme au hasard ; toujours errant dans les à peu près, incapable de déterminer aucun fait avec cette précision, cette rigueur qui fait le caractère de la théorie ; en un mot, le système est le roman de la nature, et la théorie en est l'histoire, et une histoire qui, sans jamais cesser d'être fidèle à la vérité, embrasse à la fois le passé, le présent et l'avenir.

Donnons maintenant une idée de l'ordre que nous avons suivi dans la distribution des matières qui sont l'objet de ce Traité , en nous bornant à l'énoncé de ce qu'elles offrent de plus remarquable.

Nous exposerons d'abord les propriétés les plus générales des corps , en commençant par celles qui tiennent de plus près à la nature de ces êtres considérés comme de simples assemblages de particules matérielles : telle est , par exemple , la divisibilité , ou la faculté qu'ont les corps de pouvoir être séparés en parties toujours plus petites. Les autres propriétés générales dépendent de certaines forces qui sollicitent les corps ; telles sont , en particulier , la pesanteur et l'affinité. Après avoir développé les lois de la chute des corps , nous comparerons l'affinité avec la pesanteur , et nous ferons connoître une hypothèse d'après laquelle on pourroit les ramener toutes les deux à un même principe. Nous exposerons , à l'occasion de la pesanteur spécifique , la méthode qui a été suivie dans la détermination de l'unité de poids relative au nouveau système métrique , et nous joindrons à cet exposé un tableau abrégé du système pris dans son ensemble.

A l'égard de l'affinité, nous nous attacheraons surtout à donner une idée de la théorie relative à l'un de ses résultats les plus remarquables, savoir l'arrangement symétrique des molécules d'une partie des corps naturels, sous des formes semblables à celles des polyèdres de la géométrie.

De là nous passerons à la considération d'une autre force, savoir celle du calorique, qui balance plus ou moins l'effet de l'affinité, et souvent finit par le détruire. Nous nous occuperons successivement de l'équilibre du calorique, de la manière dont une partie de ce fluide se combine avec les corps, tandis qu'une autre partie s'échappe, sous une forme rayonnante, de la chaleur spécifique, des effets du calorique pour dilater les corps, les faire passer de l'état de solides à celui de liquides, puis à celui de fluides élastiques. Nous repren-drons ensuite plusieurs détails relatifs aux variations de volume dont les corps solides et les liquides sont susceptibles, et la partie de ces détails qui concerne les liquides, nous donnera lieu d'exposer les principes sur lesquels est fondée la construction du thermomètre.

De toutes ces différentes connoissances, qui

appartiennent proprement à la Physique générale , nous passerons à celles qu'embrasse la Physique particulière , et qui ont rapport à certains liquides ou à certains fluides remarquables par l'influence qu'ils exercent dans une multitude de phénomènes naturels.

Le premier est l'eau , que nous considérons d'abord dans son état le plus ordinaire , qui est celui de liquidité , ce qui nous conduira à donner les principes de l'hygrométrie , et à expliquer les phénomènes des tubes capillaires , et les attractions ou répulsions apparentes des petits corps qui flottent sur l'eau à une petite distance les uns des autres. Nous nous occuperons ensuite de l'eau à l'état de glace et , à cette occasion , nous ferons l'histoire de la congélation du mercure , et nous exposerons les résultats à l'aide desquels on a déterminé le véritable degré de froid auquel elle correspond. Enfin , nous traiterons de l'eau à l'état de vapeur , et nous ferons connoître le parti avantageux que l'industrie humaine a tiré de la grande force élastique que l'eau exerce dans cet état , pour l'appliquer , comme force motrice , aux mouvemens des machines à vapeur.

Les propriétés de l'air fixeront ensuite notre attention ; nous considérerons la pesanteur de ce fluide , son ressort , les effets de sa pression pour faire monter et descendre le mercure dans le tube du baromètre , pour éléver l'eau dans les corps de pompe , et pour déterminer le jeu du syphon. La loi selon laquelle décroissent les densités de l'air , à mesure que les couches de ce fluide s'éloignent de la surface de la terre , nous fournira la théorie de la méthode de mesurer les hauteurs à l'aide du baromètre. De là nous passerons aux effets du calorique pour dilater l'air ou pour en augmenter le ressort. Nous exposerons , en parlant du premier effet , les nouvelles recherches qui ont conduit à déterminer le rapport d'après lequel se dilatent tous les gaz , depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante.

Dans l'article suivant , nous ferons connoître comment se produit l'évaporation par l'union de l'eau avec l'air , et quelle est la loi à laquelle sont soumises , en général , les dilatations des gaz et des vapeurs , lorsqu'on les mêle ensemble ; puis nous ajouterons quelques détails sur les vents et les météores aqueux. De là nous reviendrons

reviendrons sur les effets de l'évaporation , pour en déduire l'origine des fontaines ; et après avoir parcouru les résultats les plus généraux des propriétés de l'air , nous donnerons l'histoire de la découverte qui a procuré à l'homme l'art jusqu'alors inconnu de s'élever dans ce fluide , et d'y voyager par le secours des ballons aérostatiques.

L'air sera enfin considéré comme véhicule du son , et comme recevant , de la part des corps sonores , un mouvement de vibration qui donne naissance aux sons comparés. Nous établirons la série des rapports d'après lesquels est formée notre échelle musicale , et nous ferons connoître l'expérience des sons harmoniques , attribuée à Sauveur. Nous comparerons la gamme du cor de chasse avec celle qui est en usage et qui a sa source dans l'accord parfait , et nous indiquerons les raisons qui paroissent décider de la préférence en faveur de cette dernière ; puis nous entrerons dans quelques détails sur le tempérament. La manière dont le son se forme dans les instrumens à vent , nous servira à expliquer comment il se propage au milieu d'un air libre , et comment différents sons traversent ce fluide , sans se troubler .

mutuellement , et apportent à l'oreille des impressions simultanées et en même temps distinctes.

Arrivés à l'exposition des phénomènes électriques , nous donnerons au développement de cette branche de physique une étendue proportionnée à son importance. Nous traiterons d'abord de l'électricité produite , soit par frottement , soit par communication ; et après avoir établi la distinction qui existe entre les différens corps , relativement aux deux modes d'électrisation , nous proposerons l'hypothèse de deux fluides dont les actions se combinent dans la production des phénomènes , comme étant celle qui fournit la manière la plus heureuse et la plus simple de concevoir ces phénomènes. Nous donnerons ensuite la description des expériences qui démontrent que les actions électriques suivent la raison inverse du carré de la distance ; et nous déduirons de cette loi les conséquences qui en résultent par rapport à la tendance qu'a le fluide électrique pour se répandre tout entier sur la surface des corps conducteurs , et à la manière dont il se distribue entre différens corps en contact. Nous ferons l'application des principes précédens

aux attractions et répulsions électriques , au pouvoir des pointes pour soutirer ou lancer puissamment le fluide électrique , à la commotion qui accompagne l'expérience de Leyde , et aux effets de plusieurs instrumens particuliers , entre autres de l'électrophore et du condensateur. Nous placerons à la fin de cet article l'exposé des observations qui ont servi à constater l'identité du fluide électrique et de la matière de la foudre , la théorie des paratonnerres , avec des réflexions sur les avantages de ces instrumens , et la théorie de cet effet singulier que l'on a nommé *choc en retour* , et qui consiste en ce qu'un homme est quelquefois foudroyé loin de l'endroit où l'explosion s'est faite.

Un autre mode d'électrisation , qui a lieu par l'intermédiaire de la chaleur , relativement à diverses espèces de minéraux cristallisés , nous fournira plusieurs détails sur les actions électriques de ces corps , et sur la corrélation que l'on a observée entre leurs formes et les positions des pôles dans lesquels résident les deux Électricités opposées.

Ici s'offrira la nouvelle branche de Physique , connue sous le nom d'*Électricité galvanique*,

et dont le véritable principe se déduit du phénomène découvert par Volta , d'une Électricité excitée par le simple contact de deux métaux différens. Nous exposerons d'abord les expériences faites par Galvani , sur les animaux à sang froid , et les conséquences que l'on en avoit tirées ; puis nous développerons la théorie du célèbre physicien de Pavie , et nous en ferons l'application à la pile qui porte son nom et aux différens effets qu'elle produit. De là nous passerons aux observations faites sur les poissons électriques , tels que la torpille , dont les propriétés connues depuis long-temps paroissent dériver d'une structure analogue à la disposition des élémens de la pile. Nous ferons voir ensuite comment l'Électricité galvanique , liée d'une part avec l'économie animale , a été amenée dans le domaine de la chimie par le phénomène de la décomposition de l'eau ; et nous finirons en réunissant dans une même vue l'ensemble de tous les rapprochemens qui tendent à ne nous montrer , dans l'Électricité galvanique , qu'une modification de l'Électricité ordinaire.

La ressemblance qui existe entre les lois auxquelles sont soumises les actions des aimans et

celles des corps idio-électriques, place naturellement la théorie du Magnétisme à côté de celle de l'Électricité. Nous adopterons de même , relativement à l'explication des phénomènes magnétiques , l'existence et les actions simultanées de deux fluides différens. Mais ici la nécessité de faire intervenir à chaque instant , dans le développement de la théorie , la considération de l'action magnétique qu'exerce le globe , exigera qu'avant tout nous donnions une idée de cette action , et de certains faits généraux qui en dépendent. Nous ferons connoître ensuite la méthode qui a servi à prouver que la loi qui préside aux phénomènes du magnétisme , suit la raison inverse du carré de la distance , comme celle d'où dépendent les phénomènes électriques. De là nous viendrons à l'explication des effets que produisent les aimants que nous avons à notre disposition , tels que les attractions et répulsions ; et nous éclaircirons les espèces de paradoxes que présentent plusieurs de ces effets , en particulier celui qui résulte de ce qu'une portion détachée d'un aimant devient tout à coup elle-même un aimant pourvu de ses deux pôles. Suivront les applications des principes de la théorie aux

différentes méthodes d'aimanter, surtout à celle du double contact, dont nous analyserons les effets, en même temps que nous indiquerons la manière la plus avantageuse de l'employer.

Dans un dernier article nous reviendrons, avec plus de détail, sur le magnétisme naturel, et nous exposerons tout ce que l'observation et la théorie nous ont appris, relativement à la déclinaison et à l'inclinaison de l'aiguille aimantée, aux variations que l'une et l'autre subissent à mesure que l'on change de lieu, ou par succession de temps dans un même lieu, à ces perturbations locales et passagères que l'on a nommées *affollemens*, aux phénomènes singuliers que produit le magnétisme du globe sur les verges de fer non aimanté et autres corps semblables que l'on expose à son action; enfin à l'état de magnétisme habituel où se trouvent, en vertu de cette même action, les différentes mines de fer répandues dans le sein de la terre.

Nous avons réservé pour la fin de l'Ouvrage la plus délicate de toutes les théories, savoir celle qui concerne la Lumière. Nous discuterons d'abord les deux opinions, dont l'une fait consister ce fluide dans une émanation des

corps lumineux , et l'autre le suppose répandu dans toute la sphère de l'univers , et animé d'un mouvement de vibration que lui communiquent les mêmes corps ; nous donnerons les raisons qui assurent la préférence à la première opinion. Nous ferons connoître comment on est parvenu à mesurer la vitesse de la lumière , et nous placerons , à la suite de ces premières notions , la description de l'aurore boréale , considérée comme un simple phénomène de lumière , dont la cause n'a pas encore été bien déterminée. Nous exposerons ensuite les lois de la réflexion et de la réfraction de la Lumière , et les effets les plus généraux de ces deux espèces de déviation , dans le cas où les rayons incidens rencontrent une surface concave ou convexe. Un examen plus approfondi du même sujet nous donnera lieu de considérer les relations que la réflexion et la réfraction ont entre elles , et de ramener l'explication physique de l'une et de l'autre à une action du genre de celles qui s'exercent à des distances presque infiniment petites. Nous retrouverons la même action dans le phénomène connu sous le nom d'*inflexion* ou de *difraction* de la lumière. Pour compléter cette

théorie des forces que les corps exercent sur le fluide lumineux , nous développerons les résultats à l'aide desquels Newton avoit lu , en quelque sorte , dans les lois de la réfraction , combinées avec la densité des corps , que le diamant étoit combustible , et que l'eau renfermoit un principe inflammable .

Viendront ensuite les découvertes du même Newton sur la nature de la lumière , considérée comme un mélange d'une infinité de rayons différemment réfrangibles , et offrant , dans leurs couleurs , une gradation imperceptible de nuances qui se rapportent à sept espèces principales . Ce résultat des expériences faites à l'aide du prisme amènera l'explication donnée par le célèbre géomètre Anglais , de la manière dont se forme l'arc-en-ciel , et les conséquences qu'il a déduites du phénomène des anneaux colorés , par rapport aux couleurs naturelles des diverses substances , et à la différence entre les corps transparents et ceux qui sont opaques .

De là nous passerons aux phénomènes de la vision , et après avoir décrit la structure de l'œil , nous considérerons d'abord cet organe dans les circonstances où , guidé par le tact ,

il acquiert un exercice qui devient comme le fondement des règles d'après lesquelles nous jugeons de la forme , de la grandeur et de la distance des objets. Nous expliquerons ensuite comment le défaut de quelqu'une des conditions que supposent les mêmes règles entraîne l'œil dans ces erreurs que l'on a nommées *illusions d'optique* , et parmi lesquelles deux des plus remarquables sont , celle qui nous fait juger la lune beaucoup plus grande à l'horizon qu'au mériidien , et celle qui naît de ce dérangement apparent des étoiles , connu sous le nom d'*aberration*.

Aux effets de la Vision naturelle succéderont ceux de la Vision aidée par l'art. Les lois de la réflexion nous feront concevoir comment se produisent les images des objets, telles que nous les offrent les miroirs , soit ceux qui , ayant une surface plane , rendent fidèlement ces images ; soit ceux qui , étant concaves ou convexes , en font varier les formes , les grandeurs et les distances. Nous envisagerons ensuite les effets de la Lumière réfractée , par rapport à la Vision ; et supposant d'abord un milieu réfringent , à surface plane , et un point radieux placé dans son intérieur , nous

traiterons la question relative à la détermination du point de concours imaginaire des rayons qui , après être partis du point radieux , se dispersent , par l'effet de la réfraction , en passant dans un milieu différent. Après avoir appliqué la même théorie à la vision des objets situés dans l'eau , nous exposerons un phénomène très-remarquable , qui dépend de la propriété qu'ont certaines substances de doubler les images des objets vus à travers deux de leurs faces prises de deux côtés opposés , et nous essayerons de répandre quelque jour sur la théorie de ce phénomène , en le considérant dans la chaux carbonatée , celle de toutes les substances dont il s'agit qui se prête le mieux à l'observation des diverses circonstances qui le modifient.

Nous développerons ensuite les effets des verres simples qui , au moyen de leur courbure , aident notre vue , ou remédient à ses imperfections. La théorie de ces effets nous conduira à expliquer ceux des instrumens qui résultent de la combinaison de plusieurs verres , tels que les télescopes et les microscopes , et à faire connoître les ressources que l'art a tirées de la réfraction , soit en l'employant

seule, soit en la combinant avec la réflexion, pour grossir les objets, les rapprocher, et nous en montrer qui existoient à notre insçu. Nous nous attacherons surtout à présenter avec clarté le principe sur lequel est fondée la construction des *lunettes achromatiques*, long-temps retardée par l'obstacle que lui opposoit l'autorité de Newton, annoncée pour la première fois comme possible par Euler, et entreprise avec tant de succès par Dollond. Enfin, pour ne rien omettre de ce qu'il y a d'intéressant dans un sujet si varié, nous donnerons une description succincte des instrumens qui, tels que la chambre obscure et le microscope solaire, produisent leurs effets sur un plan qui se présente comme un fond au pinceau de la lumière.

Dans tout ce que nous avons emprunté à la Chimie, nous nous sommes bornés à ce qui étoit nécessaire pour l'intelligence des phénomènes physiques qui dépendent en partie de l'affinité ou de quelque autre force analogue. Nous étions d'ailleurs d'autant mieux dispensés de nous étendre sur les connaissances relatives aux actions de ces forces, que la France est redevable aux travaux des

Chaptal (1), des Fourcroi (2) et des Bertholet (3), de plusieurs ouvrages justement célèbres, où ces connaissances et toutes les autres qu'embrasse la même science ont été développées d'une manière qui ne laisse rien à désirer.

Notre but, en composant cet Ouvrage, a été d'offrir un Traité de Physique raisonnée. Nous n'avons cité qu'un petit nombre d'expériences, choisies parmi les plus décisives, et nous avons donné aux conséquences qui s'en déduisent tout le développement convenable. Une explication devient vague, lorsqu'elle est réduite à ce qu'elle a de plus général. Les détails sont, pour ainsi dire, la pierre de touche des théories ; ils en garantissent la justesse, ou en décelent la fausseté. Ils nous mettent à portée de suivre pas à pas la marche de la Nature ; ils nous font apercevoir tous les rapports qui établissent la dépendance mutuelle des faits, soit entre eux, soit

---

(1) Élémens de Chimie.

(2) Élémens d'Histoire Naturelle et de Chimie. Système des Connoissances Chimiques.

(3) Essai de Statique Chimique.

avec le fait qui sert de base à la théorie. Ils amènent ces idées fines qui perfectionnent et liment , pour ainsi dire , la conception d'un phénomène. Les développemens ont de plus cet avantage , qu'ils remplissent des vides susceptibles d'être sentis par ceux qui veulent approfondir , et vont au devant des questions qui laisseroient des nuages dans l'esprit.

En adoptant cette manière de traiter un sujet qui a des ramifications si nombreuses et souvent si délicates , et qui devoit s'étendre à des connaissances très-modernes et encore peu répandues , nous avons senti la nécessité de consulter ; et la reconnoissance nous fait un devoir de témoigner ici ce que nous avons gagné aux entretiens du célèbre Laplace. On sait qu'au milieu de ses sublimes recherches sur l'Astronomie Physique , il a trouvé le secret d'acquérir , dans les différentes branches de connaissances , une supériorité à laquelle parviennent rarement ceux qui n'en ont cultivé qu'une seule.

En nous efforçant d'offrir , à l'aide du simple raisonnement , l'esprit des méthodes géométriques qui servent à démontrer les vérités que nous avions à développer , nous nous

sommes crus dispensés d'exposer ces méthodes elles-mêmes : seulement nous avons placé dans les notes quelques résultats qui ne se trouvent point ailleurs , et nous sentons d'avance avec quel plaisir on lira ceux qu'a obtenus , relativement à l'Électricité , notre savant confrère Biot qui , en nous permettant de les publier , nous a donné une nouvelle marque de l'intérêt qu'il a bien voulu prendre à notre travail.

Ce Traité , désigné par le Premier Consul , au nombre de ceux qui doivent servir à l'enseignement dans les Lycées Nationaux , ne pouvoit paroître sous de plus heureux auspices ; et rien n'étoit plus propre à exciter notre zèle et nos efforts , que l'espoir de concourir aux vues du Héros de la France , pour procurer aux Élèves admis dans ces établissemens le bienfait d'une instruction capable de former leur jugement , de meubler leur esprit de connaissances solides , et d'assurer le succès des fonctions auxquelles ils seront appelés dans la suite. Mais les bornes étroites du temps que nous laissoit l'ouverture prochaine d'une partie des Écoles , et la nature même d'un Ouvrage relatif à une Science dont

nous ne nous étions occupés qu'en passant ,  
nous donnent un juste sujet de craindre qu'il  
ne laisse beaucoup à désirer. Les Maîtres  
habiles qui l'auront entre les mains , plus faits  
que personne pour sentir la difficulté d'un  
pareil travail , le jugeront d'une part avec  
moins de sévérité , et suppléeront de l'autre à  
ce qui pourroit y manquer ; et c'est pour nous  
une double satisfaction de le placer entre leur  
indulgence et leur sagacité .

---

**T A B L E**

TABLE DES ARTICLES  
CONTENUS DANS CE VOLUME.

---

I  
N  
T  
R  
O  
D  
U  
C  
T  
I  
O  
N.  
*pag. j*

Notion de la Physique. I

I. Des Propriétés les plus générales des Corps. 2

1. De l'Étendue. *Ibid.*

2. De l'Impénétrabilité. 9

3. De la Divisibilité. 11

II. Des Propriétés relatives à certaines Forces  
qui sollicitent les Corps. 16

1. De la Mobilité. *Ibid.*

De la Vitesse. *Ibid.*

De l'Inertie. 18

2. De la Dureté. 20

3. De l'Élasticité et de la Ductilité. 22

4. De la Pesanteur. 29

De la différence entre la Pesanteur et le  
Poids. 30

De l'accélération du Mouvement produit  
par la Pesanteur. 33

TOME I. c

De la Pesanteur , comparée avec l'Attraction , dans les petites distances.	<i>pag.</i> 38
De la Pesanteur Spécifique.	42
De la nouvelle Unité de Poids.	54
5. De la Cristallisation.	60
Des Formes primitives des Cristaux.	63
Des Formes des Molécules Intégrantes.	66
Des Lois auxquelles est soumise la Structure des Cristaux.	72
6. De la Chaleur.	90
De l'Equilibre du Calorique.	92
De la Chaleur spécifique.	101
Des effets du Calorique , pour produire dans les Corps un changement d'état.	106
Des Dilatations de divers Solides.	119
Du Thermomètre.	123
De la Combustion,	134
III. De l'Eau.	136
1. De l'Eau à l'état de Liquidité.	137
De l'Hygrométrie.	140
Des Tubes Capillaires.	147
2. De l'Eau à l'état de Glace.	170
De la Congélation du Mercure.	186

3. De l'Eau à l'état de Vapeur.	<i>pag.</i>	191
Des Machines à Vapeur.		197
IV. De l'Air.		205
I. De la Pesanteur et du Ressort de l'Air.		206
Du Baromètre.		212
Du Ressort de l'Air.		214
Divers Phénomènes produits par la Pe- santeur et par le Ressort de l'Air.		218
Des Pompes.		222
Du Syphon.		227
De la Mesure des Hauteurs par le Baro- mètre.		229
2. Des effets du Calorique sur l'Air.		242
3. De l'Évaporation.		256
Des Vents et des Météores Aqueux.		271
De l'origine des Fontaines.		280
Des Aérostats.		284
4. De l'Air considéré comme Véhicule du Son.		290
Du Son en général.		<i>Ibid.</i>
Des Sons Comparés.		300
V. De l'Électricité.		327
I. De l'Électricité produite par frottement ou par Communication.		330

xxxiv TABLE DES ARTICLES.

Notions générales.	<i>pag.</i> 330
De la loi que suivent les Actions Électriques à raison de la Distance.	340
De la manière dont le Fluide Électrique se distribue entre différens Corps en contact les uns avec les autres.	351
De la loi suivant laquelle les Corps Idio-Électriques perdent peu à peu leur Électricité.	358
Des Attractions et Répulsions Électriques.	361
Du Pouvoir des Pointes.	373
De l'Expérience de Leyde.	382
Description de quelques Instrumens Électriques particuliers.	403
De l'Electricité naturelle.	410
2. De l'Électricité produite par la Chaleur.	416

---

TRAITÉ

---

TRAITÉ  
ÉLÉMENTAIRE  
DE  
PHYSIQUE.

---

1. LA physique a pour objet la connoissance des phénomènes de la nature. Dans la production de ces phénomènes, les corps manifestent diverses propriétés dont l'étude doit exciter particulièrement notre attention; et c'est en recherchant les lois établies par l'Être suprême pour régler l'exercice de ces mêmes propriétés, que nous nous élevons jusqu'aux théories qui servent à lier les faits entre eux, et à nous en montrer la dépendance mutuelle.

TOME I.

A

## I. DES PROPRIÉTÉS LES PLUS GÉNÉRALES DES CORPS.

2. PARMI les différentes propriétés dont jouissent les corps, les premières qui s'offrent à notre observation sont celles qui tiennent de plus près à la nature même de ces êtres, considérés comme de simples assemblages de particules matérielles. On peut les réduire aux trois suivantes : l'étendue, l'impénétrabilité, la divisibilité.

### 1. De l'Etendue.

3. Les philosophes se sont épuisés en longues discussions, pour rechercher quelle est la véritable notion de l'étendue, et si elle constitue l'essence de la matière. Nous ne connaissons pas assez la nature des corps, pour décider ces sortes de questions, et les véritables physiciens ne s'en occupent plus aujourd'hui. Contens de ce que le rapport de leurs sens leur apprend au sujet de l'étendue, ils conçoivent qu'il y a étendue, partout où il y a contiguïté et distinction de parties; et ce qui les intéresse, c'est de pouvoir mesurer l'étendue, au lieu de s'amuser à la définir; c'est d'en comparer les différentes parties, et de tirer de cette comparaison des résultats vraiment utiles aux progrès de nos connaissances.

4. La manière dont l'étendue d'un corps est bornée en tous sens , détermine la figure de ce corps ; et l'on peut dire que les figures des corps varient à l'infini , à ne considérer la chose qu'en général , et en réunissant toutes les nuances que peut offrir le tableau de la nature. Mais ces nuances ne font que modifier plus ou moins légèrement les ressemblances frappantes qui existent d'ailleurs entre les êtres de chaque espèce , soit parmi les animaux et les végétaux , soit même parmi un grand nombre de corps inorganiques renfermés dans le sein de la terre ; et pour fixer ici principalement notre attention sur ces derniers dont la considération , sous un certain point de vue , est du ressort de la physique , on remarque qu'un grand nombre de ces corps présentent des figures régulières et déterminées , en sorte que leur seul aspect annonce l'action d'une cause soumise à des lois qui ont leur mesure et leurs limites. Ces corps , que l'on a nommés *cristaux* , sont terminés par des faces planes , et ont beaucoup d'analogie avec les solides que considèrent les géomètres ; et ainsi dans les minéraux , le caractère de la perfection est attaché à la ligne droite ; les formes arrondies sont dues à des espèces de perturbations qu'ont éprouvées les forces qui sollicitoient les molécules à se réunir , tandis que dans les animaux et dans les végétaux , les contours et les arrondissemens tiennent à l'organisation elle-même , et contribuent à la grâce et à l'élégance des formes.

5. Les physiciens ont conclu de ces observations que les corps cristallisés sont eux-mêmes composés de particules d'une figure déterminée , et plusieurs d'entre

## 4 TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

euX ont eu recours au microscope , pour essayer de surprendre à la nature le secret des formes élémentaires , en se servant de cet instrument , comme pour assister à la naissance des cristaux. Mais le microscope ne nous apprend ici rien au delà de ce que nous disent nos yeux abandonnés à eux-mêmes ; les plus petits corps qu'il puisse nous faire apercevoir sont des cristaux déjà tout formés , qui ne diffèrent que par leurs dimensions de ceux dont l'accroissement est parvenu à son terme. Nous exposerons plus bas le moyen qui paroît seul susceptible de nous guider relativement aux recherches de ce genre , et de nous offrir , dans ce qui est soumis à nos observations , des indices sinon certains , du moins vraisemblables , des formes qu'affectent ces infiniment petits de la nature , qui échapperont toujours à nos regards.

6. L'étendue d'un corps , considérée relativement à la grandeur de ses dimensions , donne le volume de ce corps. C'est l'équivalent de ce que les géomètres appellent *solidité*.

Jusqu'ici , nous n'avons considéré que la surface , ou l'enveloppe des corps. Nous allons voir maintenant quelles sont les propriétés qui résultent des parties matérielles renfermées sous cette enveloppe.

7. S'il n'existoit aucun vide dans les corps , la quantité de matière propre des différens corps seroit proportionnelle à leur volume ; mais on sait que l'intérieur des corps est criblé d'une infinité de vacuoles , auxquels on a donné le nom de *pores* ; et il est même très-vraisemblable qu'il y a dans les corps beaucoup plus de vide que de plein. La somme totale des parties ma-

térielles d'un corps , est ce qu'on appelle la *masse* de ce corps ; et la somme des parties matérielles renfermées sous un volume donné , tel qu'un mètre cube ou un centimètre cube , est ce qu'on appelle la *densité* du corps : d'où il résulte que la densité est le rapport de la masse au volume , ou , ce qui revient au même , elle est égale à la masse , divisée par le volume. Par exemple , un morceau de bois peut avoir plus de masse qu'un morceau d'or , si son volume l'emporte assez pour cela , sur celui de l'or. Mais le bois a nécessairement moins de densité que l'or , parce qu'il renferme , sous un volume donné , beaucoup moins de parties matérielles.

8. La faculté qu'ont tous les corps de se contracter en se refroidissant , ainsi que nous l'expliquerons dans la suite , fait voir que leurs molécules laissoient entre elles de petits interstices qui leur ont permis de se rapprocher : mais quand même on supposeroit le refroidissement porté à l'extrême , il ne s'ensuit pas que les molécules dussent franchir entièrement les petits espaces qui les séparent , parce qu'il peut y avoir dans leur forme , dans leur arrangement et autres circonstances , une cause d'écartement qui tienne à la nature intime des corps. On voit par là que cette expression de *contact immédiat* que nous employons souvent , en parlant des molécules des corps , ne doit pas être prise à la lettre ; elle désigne seulement la plus petite distance respective à laquelle les molécules puissent parvenir , eu égard aux circonstances où elles se trouvent.

Les physiciens prouvent la porosité des corps à l'aide de plusieurs expériences fort connues. On fait le vide , au moyen de la machine pneumatique , dans un tube

de verre , terminé à sa partie supérieure par un godet de bois , dont le fond a 7 ou 8 millimètres d'épaisseur , et dans lequel on a versé de l'eau. Ce liquide passe à travers les pores du fond , et tombe par gouttes dans l'intérieur du tube. On substitue à celui-ci un autre tube garni en haut d'un flacon de cristal , auquel un morceau de cuir de buffle sert de fond , et qui est rempli de mercure jusqu'à la hauteur de deux doigts. Dès les premiers coups de piston , on aperçoit dans le tube le mercure qui tombe sous la forme d'une pluie argentée.

9. On peut démontrer la même propriété au moyen d'une expérience simple et intéressante , faite sur une pierre dont Newton a parlé au sujet de cette même propriété , parce qu'elle donne lieu à un phénomène particulier de lumière (1).

Cette pierre est du genre de celles que l'on nomme *agathes* , qui sont demi-transparentes , et assez dures pour étinceler par le choc du briquet. On lui a donné le nom particulier *d'hydrophane*. Lorsqu'on l'a plongée dans l'eau , on voit s'élever de sa surface des files nombreuses de petites bulles d'air , qui se succèdent sans interruption. Cet air qui occupoit les pores de la pierre , en est délogé par l'eau qui le remplace ; en même temps , la pierre acquiert un nouveau degré de transparence ; et si on la pèse d'abord avant l'expérience , et de nouveau après l'expérience , on trouve que son poids est augmenté d'une quantité sensible. Nous expliquerons la cause physique de la transparence acquise par l'hydrophane , lorsque nous parlerons des phénomènes

---

(1) Optice lucis , pars tertia , propos. tertia.

de la lumière : nous ne le considérons ici que comme offrant un exemple remarquable de la porosité des corps ; et même l'expérience que nous venons de citer , nous apprend ce que ne disent pas les expériences ordinaires , savoir : qu'on ne doit pas considérer les pores comme étant absolument vides de toute matière étrangère , mais plutôt comme étant occupés par l'air , ou par quelqu'autre fluide subtil , disséminé entre les molécules des corps .

Un hydrophane , du poids d'environ 18 décigrammes , dans son état ordinaire , après avoir été soumis à cette expérience , pesoit à peu près 21 décigrammes , d'où il suit que son poids étoit augmenté de  $\frac{1}{3}$ . La pierre perd par le desséchement l'eau dont elle s'étoit imbibée , et reprend en même temps son opacité naturelle .

10. La peau de l'homme et des animaux est criblée d'une infinité de pores par lesquels s'échappent , au moyen de la transpiration , les parties des alimens qui ne contribuent point à la nutrition. Indépendamment de la transpiration sensible , que l'on nomme *sueur* , et qui est accidentelle , il s'en fait une insensible , qui agit plus ou moins à tous les instans , et que l'on n'auroit pas imaginée être aussi abondante , avant les expériences de Sanctorius. Ce savant célèbre a eu la constance de passer une partie de sa vie dans une balance , où il se pesoit lui-même , pour déterminer les pertes occasionnées par les effets de la transpiration. Il a trouvé que cette espèce d'évacuation nous faisoit perdre , dans l'espace de vingt-quatre heures , environ les  $\frac{5}{8}$  de la nourriture que nous avions prise .

Dodard , en reprenant depuis ces mêmes expériences ,

a eu égard à la différence de l'âge , et s'est assuré que l'on transpiroit beaucoup plus dans la jeunesse. Mais les physiciens qui s'étoient occupés de cet objet, n'avoient pas distingué l'effet de la transpiration qui se fait par le poumon , et dont la matière s'échappe au moyen de l'expiration , de l'effet qui est dû à la transpiration cutanée , ou à celle qui a lieu par l'intermède de la peau. Seguin a entrepris , conjointement avec Lavoisier , de déterminer séparément les deux effets ; et après avoir cherché , à l'ordinaire , le résultat de la transpiration totale , il a supprimé celle qui se fait par la peau , en appliquant sur cet organe une enveloppe imperméable à l'humeur qu'il transmet au dehors ; il a obtenu ainsi la quantité de la transpiration pulmonaire , et la moyenne entre les résultats de ses expériences donne  $\frac{2}{3}$  pour le rapport entre cette quantité et celle de la transpiration cutanée , c'est-à-dire , que l'effet qui provient de la transpiration pulmonaire , est plus que le tiers de l'effet total.

11. Nous n'avons aucun moyen d'estimer la densité absolue des corps. Il faudroit pour cela qu'il existât une matière parfaitement dense , qui pût servir de terme de comparaison , pour déterminer , à l'égard de chaque corps , le rapport entre la quantité de matière propre et la somme des pores. Au défaut d'une pareille matière , nous ne pouvons que comparer entre elles les différentes densités des corps; ce qui se fait à l'aide du poids , ainsi que nous le dirons bientôt.

## 2. De l'Impénétrabilité.

12. On entend par *impénétrabilité*, la faculté qu'a un corps d'exclure tout autre corps du lieu qu'il occupe ; de manière que deux corps mis en contact , ne peuvent jamais occuper moins d'espacé que celui qu'ils remplissoient lorsqu'ils étoient séparés. L'impénétrabilité des corps solides n'a pas besoin d'être prouvée ; elle saute , pour ainsi dire , aux yeux ; mais les fluides ayant leurs molécules parfaitement mobiles en tout sens , et qui cèdent à la plus légère pression , leur impénétrabilité ne se manifeste pas d'une manière aussi sensible que celle des corps solides. Prenons l'air pour exemple : tant que ce fluide n'est pas renfermé , son extrême mobilité fait qu'il livre un libre passage à tous les corps qui se meuvent au milieu de lui ; mais dans ce cas il est proprement remplacé et non pas pénétré : car si on le contient par les parois d'un vase , et qu'alors un autre corps se présente pour prendre sa place , sans lui permettre de sortir , il exerce son impénétrabilité à la manière des corps solides. C'est ce dont on se convaincra aisément à l'aide d'une expérience fort simple , et que chacun peut faire. Elle consiste à plonger un vase verticalement , l'orifice en bas , dans un autre vase rempli d'eau jusqu'à une certaine hauteur. La surface de l'eau , qui répond à l'orifice du premier vase , s'abaisse à mesure que ce vase descend lui-même ; et l'on peut rendre cet abaissement plus sensible , au moyen d'une petite lame de liège que l'on fait flotter sur la surface de l'eau. Cependant cette eau n'est pas entièrement exclue par

l'air qui occupe le vase plongé; il s'en élève toujours une certaine quantité qui augmente à mesure que le vase descend à une plus grande profondeur. Mais il est aisé de voir que cette ascension provient de ce que l'air étant un fluide compressible, son volume se resserre dans un plus petit espace, par l'effet de la compression que l'eau environnante exerce sur lui de toutes parts, en vertu de son poids. Nous devons prévenir ici une difficulté qui paroît résulter de ce que, quand on a mêlé certains corps, le volume du mélange est moindre que la somme des volumes pris séparément. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'on mèle à parties égales de *l'alkohol* avec de *l'eau*; c'est ce qui a lieu encore lorsqu'on allie par la fusion le *cuivre* avec le *zinc*, pour former le métal composé, que l'on appelle *cuivre jaune*, ou *laiton*. On observe qu'alors la densité du mélange est augmentée d'environ un dixième. Cette pénétration apparente provient de ce que les molécules des deux corps, en vertu de leurs figures particulières, se rapprochent en général davantage que dans les deux corps pris séparément. Il en résulte dans la figure des pores, un changement qui diminue l'espace égal à la somme de ces pores; au contraire, dans l'alliage de *l'argent* et du *cuivre*, il se fait une sorte de raréfaction, en sorte que le volume du mélange est un peu plus grand que la somme des volumes des deux corps, avant la fusion.

## 3. De la Divisibilité.

13. Le mot de *divisibilité* restreint à sa simple signification, ne présente rien qui ne soit parfaitement connu, puisque tous les corps ont des parties que l'on conçoit aisément comme étant séparables les unes des autres. Mais la matière est-elle réellement divisible à l'infini, en sorte que sa division n'admette aucunes bornes possibles ? ou bien est-elle composée, en dernier résultat, de molécules indivisibles, et que l'on doive regarder comme simples ? Nouvelle source de discussions interminables entre les partisans des deux opinions, où l'esprit humain a exercé toute sa subtilité pour trouver des argumens en faveur de chacune, et des difficultés contre l'autre : après avoir beaucoup disputé, beaucoup écrit, le tout au sujet d'un atome, on n'en a pas été plus avancé, et la solution de la question elle-même n'auroit pas fait faire à la science un pas de plus. On a banni de la physique, toutes ces questions stériles pour le progrès de nos connaissances. Au lieu de chercher si les corps pouvoient être divisés à l'infini, on les a analysés autant qu'ils pouvoient l'être, et on a tiré de ces analyses, des connaissances qui ont répandu la lumière sur des faits regardés auparavant comme inexplicables. On a vu sagement que les borpes de l'expérience et de l'observation sont pour nous celles de la nature elle-même.

14. Ce qu'il y a de certain par rapport à la division des corps, c'est qu'il en résulte des parties séparées les

unes des autres , dont la finesse étonne notre imagination. Nous pouvons d'abord citer en preuve les matières colorantes , et en particulier le carmin , qui est une espèce de poudre que l'on retire de l'insecte nommé communément *cochenille*. On délaye une petite quantité de cette poudre , du poids de 5 centigrammes ( un peu moins d'un grain ), au fond d'un vase , dans lequel on verse ensuite 15 kilogrammes ou environ 30 livres d'eau. La couleur s'étend de manière qu'elle devient sensible dans tout le volume de l'eau. Le poids de cette eau étant trois cent mille fois plus grand que celui des cinq centigrammes de carmin , si l'on suppose que chaque centigramme contienne seulement deux molécules de principe colorant , on aura trois millions de parties visibles dans cinq centigrammes de carmin.

Les impressions qui se font sur l'odorat , ne sont pas moins propres que celles qui affectent la vue à nous faire juger de l'extrême division à laquelle se prête la matière. Il est des corps dont le poids est à peine sensiblement altéré après un long intervalle de temps , pendant lequel tous ceux qui se trouvent à une certaine distance ne cessent de ressentir l'action des particules odoriférantes émanées de la substance de ces corps.

On retire d'une poche renfermée dans le corps de certains animaux une substance , à laquelle on a donné le nom de *musc* , et dont un seul grain répand une forte odeur , pendant un certain nombre d'années , dans un appartement où l'air est souvent renouvelé. Le simple frottement d'un papier qui a servi à envelopper un morceau de la même substance , suffit pour rendre un habit odorant pendant plusieurs jours.

15. Les procédés des arts peuvent nous donner une idée d'autant plus juste de la même propriété , qu'ici les résultats sont susceptibles d'être soumis au calcul. Suivant l'observation de Boyle , le poids d'un grain d'or , ou d'environ 53 milligrammes , réduit en feuilles , peut couvrir une surface de cinquante pouces carrés , dont chacun aura par conséquent à peu près 27 millimètres de côté : or , on peut concevoir le millimètre divisé en 8 parties visibles , ce qui donne 46656 petits carrés visibles dans une feuille d'or carrée de 27 millimètres de côté ; et comme le nombre de ces feuilles est de 50 , on en conclura qu'une petite masse d'or du poids de 53 milligrammes peut être divisée en plus de deux millions de parties sensibles , j'entends à la vue simple ; car au moyen du microscope , chaque partie redeviendroit une feuille d'or , où l'œil et le calcul trouveroient encore de quoi s'exercer .

La division va beaucoup plus loin dans le travail du tireur d'or. On prend une certaine quantité de feuilles de ce métal , dont le poids peut ne pas excéder celui de 3 décagrammes ou d'environ une once , et l'on en couvre un cylindre d'argent. On fait passer ensuite ce cylindre par différentes filières , et lorsqu'on l'a réduit en un fil aussi délié qu'un cheveu , recouvert dans tous ses points d'une couche d'or extrêmement mince , on l'aplatit entre deux rouleaux d'acier. Dans cet état , il forme une lame , dont la longueur est à peu près égale à 444 mille mètres , qui répondent à 111 lieues de 2000 toises chacune. Mais cette lame étant revêtue d'une couche d'or sur chacune de ses faces , on peut considérer les deux couches comme deux lames d'or d'une



201844-2

201844-2

extrême ténuité , et les mettre par la pensée à la suite l'une de l'autre. De plus, la largeur de la lame étant d'environ  $\frac{1}{4}$  de millimètre ou  $\frac{1}{9}$  de ligne , on peut supposer cette largeur divisée en deux , et ainsi la quantité d'or employée , équivaut à quatre lames dont chacune seroit longue de 444 mille mètres. Maintenant si l'on conçoit que chacun des millimètres renfermés dans cette longueur soit divisé en huit , on aura plus de 14 billions de parties visibles dans une petite masse d'or du poids de 3 décagrammes , et qui équivaut à un cube d'or dont le côté n'auroit pas 12 millimètres ou 5 lignes  $\frac{1}{3}$  de longueur.

Cette prodigieuse extension dont l'or est susceptible , dépend de sa ductilité jointe à sa grande densité ; deux qualités également précieuses pour les arts dont le but est d'appliquer ce métal sur la surface du bois , du cuivre et autres matières auxquelles il sert à la fois d'abri et d'ornement.

16. Ajoutons un exemple tiré de la substance pierreuse qui porte le nom de *mica* , et qui se prête avec une grande facilité à l'opération que nous avons appellée *division mécanique*. Nous sommes parvenus à détacher de la substance dont il s'agit une lame qui , au lieu de la couleur jaunâtre naturelle à la pierre , réfléchissoit le beau bleu , ce qui étoit l'indice d'un extrême degré de ténuité , comme nous l'expliquerons en parlant de la lumière. Ayant calculé l'épaisseur de cette lame d'après une règle indiquée par Newton , et que nous ferons également connoître , nous l'avons trouvée égale à 43 millionièmes de millimètre , ou environ 1,6 millionième de pouce , ce qui



suppose que l'on peut obtenir 23255 lames isolées , en divisant un morceau de mica de l'épaisseur d'un millimètre ou  $\frac{4}{9}$  de ligne.

17. Nous ne pouvons mieux terminer cet article , qu'en exposant une vue très-sage de Newton , sur les bornes prescrites à la division des corps , dans l'état actuel des choses. Ce grand philosophe pense que l'Être suprême , en créant la matière , l'a composée de diverses espèces de molécules élémentaires , solides , dures , invariables , dont les dimensions , les figures et les différentes qualités étoient assorties aux fins qu'il se proposoit (1). Or , telle est la fixité de ces molécules , qu'aucuns procédés de l'art , et même aucune des forces existantes dans la nature , ne peuvent ni les diviser , ni les altérer , sans quoi l'essence des corps changeroit avec le temps. Ainsi toutes les modifications que subissent les corps , dépendent uniquement de ce que ces molécules durables se séparent les unes des autres , et se réunissent ensuite de diverses manières pour former de nouvelles combinaisons. Ces différentes molécules sont ainsi les véritables substances simples de la chimie ; et les résultats des opérations qui les présenteroient isolées , seroient le terme des efforts de cette science qui , en attendant , considère comme simples les substances qu'elle n'est pas encore parvenue à décomposer , et place sagelement la simplicité à l'endroit où s'arrête l'observation.

---

(1) Optice lucis , lib. III , quæst. XXXI.

II. DES PROPRIÉTÉS  
 RELATIVES A CERTAINES FORCES  
 QUI SOLЛИCITENT LES CORPS.

i. De la Mobilité.

18. La mobilité est la faculté qu'a un corps de pouvoir être transporté d'un lieu dans un autre. Cet état, que l'on appelle *mouvement*, suppose l'action d'une cause, à laquelle on a donné le nom de *force* ou de *pouvoir*. Pour que cette cause existe, il n'est pas nécessaire que le corps qu'elle sollicite ait un mouvement réel. Ainsi lorsque deux corps se font équilibre aux deux extrémités du levier d'une balance, ils sont maintenus dans cet état par des forces réellement existantes, mais dont les effets se détruisent mutuellement, ou se bornent à produire dans les corps une tendance à se mouvoir.

19. Le mouvement est uniforme, lorsque le mobile parcourt toujours le même espace dans le même temps; il est accéléré ou retardé, lorsque le mobile parcourt dans des temps égaux des espaces qui vont successivement en augmentant ou en diminuant.

*De la Vitesse.*

20. Dans le mouvement uniforme, le temps employé à parcourir chaque espace déterminé peut être plus ou moins

moins long, suivant le plus ou moins d'énergie de la force motrice.

21. Pour comparer entre eux les mouvemens de deux corps, dans le cas de l'uniformité, on prend un intervalle de temps; par exemple, la seconde, pour unité de temps: on choisit de même une unité d'espace, telle que le mètre. De cette manière, on exprime l'espace total qu'a parcouru chaque corps, et le temps employé à le parcourir, par des nombres abstraits, qui indiquent combien de fois ils renferment l'unité de leur espèce; et en divisant le nombre qui représente l'espace par celui qui représente le temps, on a la vitesse de chaque corps. Si l'on suppose, par exemple, que l'un des corps ait parcouru trente-cinq mètres en sept secondes, et l'autre vingt-quatre mètres en six secondes, la vitesse du premier sera  $\frac{35}{7}$ , et celle du second  $\frac{24}{6}$ , c'est-à-dire, que les vitesses seront entre elles dans le rapport de 5 à 4.

On voit par là dans quel sens doit être prise la notion que l'on donne de la vitesse, lorsqu'on dit qu'elle est égale à l'espace divisé par le temps. A la rigueur, on ne peut pas diviser l'une par l'autre deux quantités hétérogènes, telles que l'espace et le temps. Ainsi, le langage dont il s'agit n'est qu'une manière abrégée d'exprimer que la vitesse est égale au nombre d'unités d'espace divisé par le nombre d'unités de temps, qui mesurent le mouvement d'un corps.

22. Comme les forces ne se manifestent à notre égard que par leurs effets, ce n'est que par les effets qu'elles sont capables de produire que nous pouvons les mesurer. Or, l'effet d'une force est d'imprimer à chaque parti-

cule d'un corps une certaine vitesse. On suppose , dans ce cas , que toutes les particules reçoivent la même vitesse , et l'effet de la force a pour mesure la vitesse prise autant de fois qu'il y a de particules dans le corps ; ou , pour abréger , sa mesure est le produit de la masse par la vitesse. Ce produit est ce qu'on appelle la *quantité de mouvement d'un corps.*

### *De l'Inertie.*

23. Tous les corps persévèrent d'eux - mêmes dans leur état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite ; en sorte qu'un corps en repos ne peut se mouvoir sans y être sollicité par quelque force , et que de même le mouvement rectiligne uniforme d'un corps ne peut être détruit ou changé sans l'action d'une cause étrangère.

Il suit de là que quand un corps se meut d'un mouvement accéléré ou retardé , on doit supposer l'action d'une force qui intervient à chaque instant pour occasionner une variation dans la vitesse qui , sans cela , serait uniforme.

24. Ce que nous venons de dire n'est qu'une manière différente d'énoncer qu'un corps ne peut se donner de mouvement à lui-même , ni rien s'ôter de celui qu'il avoit déjà. On a appelé *inertie* , ce défaut d'aptitude qu'ont les corps pour apporter d'eux-mêmes un changement dans leur état actuel. Or , on sait qu'un corps , dont l'état vient à changer par l'action d'une force étrangère , ne se prête à cet effet qu'en altérant lui-même l'état de cette force , c'est-à-dire , en lui enlevant une partie de

son mouvement. On en a conclu que la persévérance d'un corps, dans son état de repos ou de mouvement uniforme, étoit elle-même l'effet d'une force réelle qui résidoit dans ce corps; et l'on a envisagé cette force tantôt comme une résistance, en ce qu'elle s'opposoit à l'action de l'autre force pour changer l'état de ce corps, tantôt comme un effort, en ce qu'elle tendoit à apporter du changement dans l'état de l'autre force.

25. Le célèbre Laplace a proposé une manière plus nette et plus naturelle d'envisager l'inertie. Pour concevoir en quoi elle consiste, supposons un corps en mouvement qui rencontre un corps en repos: il lui communiquera une partie de son mouvement; en sorte que si le premier a, par exemple, une masse double de celle du second, auquel cas sa masse sera les deux tiers de la somme des masses, la vitesse qu'il conservera sera aussi les deux tiers de celle qu'il avoit d'abord; et comme l'autre tiers qu'il a cédé au second corps se trouve répandu sur une masse une fois plus petite, les deux corps auront après le choc la même vitesse. L'effet de l'inertie se réduit donc à la communication que l'un des deux corps fait à l'autre d'une partie de son mouvement; et parce que ce dernier ne peut recevoir sans que le premier ne perde, on a attribué cette perte à une résistance exercée par le corps qui reçoit. Mais il en est ici à peu près du mouvement comme d'un fluide élastique contenu dans un vase, avec lequel on mettroit en communication un autre vase qui seroit vide; ce fluide s'introduiroit par sa force expansive dans le second vase, jusqu'à ce qu'il se trouvât distribué uniformément dans les capacités des deux vases: de même

un corps qui en choque un autre ne fait, pour ainsi dire, autre chose que verser dans celui-ci une partie de son mouvement ; et il n'y a pas plus de raison pour supposer ici une résistance que dans l'exemple que nous venons de citer.

Il est vrai que quand on frappe avec la main un corps en repos , ou dont le mouvement est moins rapide que celui de cette main , on croit éprouver une résistance , mais cette illusion provient de ce que l'effet est le même à l'égard de la main , que si elle étoit en repos , et que ce fût le corps qui vint la frapper avec un mouvement en sens contraire.

Nous nous bornons ici à ces notions générales , par rapport à la mobilité ; et nous n'entrerons point dans les détails relatifs aux différentes espèces de mouvement et aux autres résultats , dont la considération appartient aux sciences physico-mathématiques.

## 2. De la Dureté.

26. La dureté est la résistance qu'un corps oppose à la séparation de ses molécules ; cette propriété dépend de la force de cohésion , ou de celle que les chimistes appellent *affinité* , jointe à l'arrangement des molécules , à leur figure et aux autres circonstances. Un corps est censé plus dur , à proportion qu'il résiste davantage au frottement d'un autre corps dur , tel qu'une lime d'acier , ou qu'il est plus susceptible d'attaquer tel autre corps sur lequel on le passe lui-même avec frottement. Les lapidaires jugent de la dureté des pierres fines et autres corps qui sont l'objet de leur art , d'après la dif-

ficulté qu'ils éprouvent à les user , en les présentant à l'action de la meule.

27. Le diamant est le plus dur de tous les corps connus. Les facettes artificielles qui font ressortir la vivacité de ses reflets sont l'ouvrage du diamant même , et ce n'est qu'à l'aide de sa propre poussière que l'on parvient à l'user et à le tailler.

28. Nous avons indiqué le frottement , plutôt que la percussion , comme étant , en quelque sorte , la mesure de la dureté des corps , parce que la résistance que ceux-ci opposent à la première de ces forces , n'annonce pas toujours celle qu'ils sont capables d'opposer à la seconde. Ainsi le verre , quoique plus dur que le bois , cède plus facilement que lui à la percussion. Le diamant même se divise par l'effort du marteau , tandis que d'autres corps restent entiers dans le même cas. Cette faculté qu'ont certains corps de se prêter plus ou moins à l'effet de la percussion , pour les briser , a été désignée sous le nom de *fragilité* ; d'où il suit qu'il ne faut pas confondre les corps *fragiles* avec les corps *tendres* , qui sont en opposition avec les corps *durs*. Il n'est peut-être point de corps dont la fragilité contraste plus fortement avec sa dureté , qu'une pierre verdâtre transparente , et très-sensiblement lamelleuse , qui se trouve au Pérou , et à laquelle on a donné le nom d'*euclase*. Après qu'elle a cédé , avec beaucoup de difficulté , aux efforts que l'on a faits pour l'user , on est surpris de la voir se séparer en éclats , par l'effet d'une assez légère pression.

### 3. De l'Elasticité et de la Ductilité.

29. L'action d'un corps sur un autre peut être telle , qu'il n'en résulte point l'entièr e séparation des parties de celui-ci , mais un simple déplacement de ses molécules , dont l'effet est de faire varier sa figure ou même son volume. On appelle en général *compressibles* , les corps susceptibles de changer de figure par l'action d'une cause extérieure , et les résultats de ce genre d'action donnent naissance à un nouvel ordre de phénomènes qui se soudisent en deux classes : dans l'une , le corps qui a subi le changement a la propriété de revenir de lui-même à sa figure naturelle , dès que la cause qui avoit dérangé ses parties cesse d'agir sur lui. Ainsi une lame d'acier que l'on a courbée , se redresse aussitôt qu'on l'abandonne à elle-même. Cette propriété a été nommée *élasticité* , et l'on appelle *élastiques* les corps qui en sont pourvus. Dans l'autre classe , le corps conserve la nouvelle figure qu'il a été forcé de prendre. Ainsi l'infexion qu'a subie une lame de plomb persévere , lorsque rien n'agit plus sur cette lame. Nous allons donner quelques détails sur ces deux classes de phénomènes.

30. Le retour des corps élastiques à leur forme naturelle ne se fait pas brusquement , et par un mouvement unique en sens contraire de celui qui a produit le changement de forme ; mais les molécules de ces corps font des vibrations qui les transportent successivement au delà et en deçà de leurs premières positions , et qui

vont toujours en diminuant , jusqu'à ce que les molé-  
cules aient repris ces positions.

Les vibrations dont il s'agit se montrent surtout d'une manière très-marquée dans les cordes de plusieurs instrumens de musique , ainsi que nous l'expliquerons en parlant du son. Elles sont encore très-apparentes dans une lame d'acier fixée par une extrémité , et que l'on courbe en appuyant sur l'extrémité opposée , pour la laisser ensuite jouer en liberté.

31. Le choc d'un corps dur produit des effets analogues sur un globe d'ivoire , quoiqu'ils s'opèrent avec une rapidité qui les rend inappréciables pour nos sens , et que le changement même de figure que subit le globe ne puisse être aperçu ; mais on parvient à le rendre sensible en laissant tomber le globe sur une tablette de marbre noir bien unie , et enduite d'une légère couche d'huile. Lorsqu'ensuite on regarde obliquement cette tablette , on voit , à l'endroit du contact , une tache ronde , dont le diamètre est plus ou moins considérable , suivant la hauteur d'où le globe est tombé. Or , il est évident que ce corps , en conservant sa figure , n'auroit pu toucher la table que par un point ; et quoique le marbre , de son côté , puisse éprouver une dépression , et se rétablir aussitôt , il n'est pas douteux que le globe lui-même ne contribue pour beaucoup à la formation de la tache par son changement de figure ; en sorte que cette expérience offre une double preuve de l'effet que nous considérons.

32. Voici maintenant de quelle manière on doit concevoir le rétablissement de figure qui se fait dans le globe par une gradation imperceptible et presque

instantanée : au moment du choc , les parties les plus voisines du contact sont refoulées vers le centre , tandis que les parties les plus éloignées s'avancent par un mouvement contraire ; d'où il suit que le globe prend une forme aplatie dans le sens de son axe vertical , et alongée dans le sens de son axe horizontal. Lorsqu'en-suite le débandement commence , il se fait un nouveau changement de figure opposé au premier , en sorte que le globe s'allonge dans le sens de l'axe vertical , et les deux changemens de figure continuent de se succéder , en passant par des degrés décroissans , jusqu'à ce que le corps se trouve ramené à la forme globuleuse qu'il avoit avant le choc.

C'est en conséquence du débandement qui suit le choc , que le globe , après avoir frappé la table de marbre , rejaillit en remontant vers le point d'où on l'a laissé tomber. Lorsque deux corps élastiques se choquent , le débandement leur imprime des vitesses en sens contraire du mouvement qui les avoit portés l'un vers l'autre. Les géomètres ont représenté par des formules les rapports de ces vitesses dans les différens cas auxquels s'étend le phénomène.

33. Il existe un certain nombre de corps qui sont en même temps très-durs et très-élastiques , en sorte que les deux qualités paroissent avoir beaucoup de rapports entre elles. On sait à quel point l'une et l'autre s'accroissent dans l'acier , par l'opération de la trempe.

34. L'élasticité , qui varie entre des limites très-étendues dans les corps solides , dont plusieurs la possèdent à un si haut degré , tandis que les autres paroissent en être dépourvus , devient sensiblement nulle dans

tous les corps liquides, au moins à en juger par la résistance qu'ils opposent à la compression, ainsi que nous le dirons en parlant de l'eau; mais le passage à l'état gazeux détermine, dans tous les corps qui l'ont subi, une vertu élastique si marquée et si générale, qu'ils en ont reçu le nom de *fluides élastiques*. Les molécules de ces fluides sont comme autant de petits ressorts qui se bandent, lorsqu'une cause quelconque agit pour resserrer une masse de l'un de ces mêmes fluides dans un espace plus étroit que celui qu'elle occupoit, et qui ensuite se rétablissent lorsque la compression cessant d'avoir lieu, la masse de fluide reprend, en se dilatant, la place qu'elle avoit cédée.

35. La plupart des physiciens qui ont essayé de donner une théorie de l'élasticité, ont surtout considéré que quand on bande un corps élastique, par exemple un arc, les particules situées du côté convexe s'éloignent les unes des autres, tandis que celles qui sont du côté concave se rapprochent. Mais de toutes les causes dont on a fait dépendre le rétablissement du corps dans son premier état, telles que l'attraction, la résistance d'une matière subtile particulière, disséminée entre les molécules du corps, l'action du calorique, il n'en est aucune qui conduise à une explication satisfaisante du phénomène.

36. C'est à l'élasticité que nous devons une grande partie des services que nous rend le fer converti en acier et travaillé par les arts. C'est d'elle qu'empruntent leur force les ressorts en spirale qui animent les montres et autres machines destinées à nous donner la mesure du temps. Mais ici l'affoiblissement du res-

sort, pendant qu'il se débande, deviendroit une cause de retard, relativement à un mouvement dont l'essence consiste dans son uniformité. Pour obvier à cet inconvenient, on donne à la fusée sur laquelle est enveloppée la chaîne tirée par le ressort, la forme d'un cône tronqué, dans lequel le rapport entre les diamètres des cercles parallèles aux bases est combiné avec les variations de la force motrice. Dans le premier moment où cette force jouit de toute son intensité, la partie de la chaîne qu'elle tire repose sur la spire la plus étroite de la fusée, et à mesure qu'ensuite le ressort s'affoiblit, les spires auxquelles répondent les parties de la chaîne qui se développent, vont en s'élargissant. Ainsi, d'une part, le bras de lévier sur lequel agit la résistance du rouage, reste le même, puisqu'il n'est autre chose que le rayon de la roue de fusée, dont le mouvement se communique de proche en proche jusqu'aux aiguilles. D'une autre part, le bras de lévier sur lequel s'exerce la puissance du moteur, à l'endroit qu'abandonne la chaîne en se développant, s'allonge continuellement; en sorte que la puissance motrice regagne, à chaque instant, par cet allongement, ce qu'elle perd en intensité, et tout marche comme si les deux bras de lévier étoient parfaitement égaux. Toute la mécanique est pleine d'applications également intéressantes et ingénieuses de la force de ressort: c'est à elle qu'obéissent les pièces qui déterminent, en un clin d'œil, l'explosion des armes à feu portatives, les lames flexibles qui amollissent le mouvement des voitures, et les rendent d'un usage si commode, et les cordes de différens instru-

mens, dont les vibrations, combinées avec celles de l'air, diversifient les plaisirs de l'oreille.

37. Il n'est point de corps dont l'élasticité soit parfaite, et peut-être n'en est-il aucun qui soit entièrement dépourvu de cette qualité. Mais ici, comme par rapport à un grand nombre d'autres phénomènes, nous nous arrêtons à la limite où une qualité cesse d'être appréciable, et nous regardons comme non élastiques les corps qui, après avoir été comprimés et forcés de changer de figure, restent dans le même état, ou qui résistent absolument à la compression.

38. On a donné le nom de *ductilité* à la facilité qu'ont les premiers corps, et particulièrement certains métaux, de s'aplatir par la pression ou par la percussion, de manière à conserver la figure qu'ils ont prise en vertu de l'une de ces deux forces. Les molécules, dans ce cas, glissent les unes sur les autres, en sorte que les points de contact, quoique déplacés, restent toujours à des distances assez petites pour que l'adhérence continue d'avoir lieu.

39. En comparant l'élasticité, la ductilité et la dureté dans les six métaux les plus connus, on trouve que l'ordre des élasticités suit celui des duretés; et telle est la succession de ces métaux, en commençant par celui qui possède les deux qualités au plus haut degré, *fer, cuivre, argent, or, étain et plomb*. Les ductilités, relativement aux quatre premiers métaux, suivent une marche inverse de celle des autres propriétés, en sorte que l'ordre est celui-ci : *or, argent, cuivre et fer*. Mais l'étain tient le cinquième rang, et le plomb le sixième, relativement aux trois pro-

priétés à la fois; en sorte que ces deux métaux sont les plus tendres, les moins élastiques et les moins ductiles de tous. C'est que le défaut de jeu nécessaire entre les molécules, pour produire la ductilité, peut provenir également et de la grande force d'adhérence qui a lieu dans les corps durs, et de la facilité avec laquelle cette adhérence peut être totalement rompue dans les corps tendres.

40. Il y a des corps qui sont ductiles à chaud et à froid : de ce nombre sont encore les métaux; quelques-uns, tels que le verre, acquièrent de la ductilité par la chaleur; d'autres enfin, tels que l'argile, deviennent ductiles par l'interposition d'un liquide entre leurs molécules.

41. La ductilité, qui est une qualité précieuse dans les métaux, quand il s'agit de les étendre et de les appliquer sur la surface des corps, ce qui a lieu surtout par rapport à l'or, le plus ductile de tous, devient, au contraire, un inconvenienc lorsqu'on les emploie en masse; et les ouvrages faits avec ces métaux, façonnés dans leur état naturel, n'auroient pas assez de consistance, et seroient sujets à se déformer et à perdre le fini que la main de l'art leur a donné. On y remédie en alliant avec le métal que l'on emploie, un autre métal dont les molécules interposées entre les siennes, en diminuent le jeu, et les lient plus fortement les unes aux autres. Au moyen de ces alliages, les arts parviennent à rendre les métaux plus durs ou plus sonores; ils en modifient à leur gré les propriétés, et les transforment en d'autres métaux intermédiaires, dont la diversité est assortie à celle de nos usages.

#### 4. De la Pesanteur.

42. On a donné le nom de *pesanteur* ou de *gravité*, à la force en vertu de laquelle un corps abandonné à lui-même se précipite vers la terre.

43. Les anciens philosophes ont imaginé divers systèmes pour remonter jusqu'à la cause de ce phénomène, si simple aux yeux du vulgaire, qui trouve tout naturel qu'un corps tombe dès qu'il n'est plus soutenu. De tous ces systèmes, le plus ingénieux et le plus séduisant a été celui de Descartes, qui faisoit dépendre la chute des corps du mouvement de la matière subtile dont le tourbillon circuloit autour de la terre. Toutes les parties de ce tourbillon ayant une force centrifuge qui les sollicitoit à s'éloigner de la terre, forçoient les corps à se mouvoir de haut en bas, dans une direction contraire à celle de cette force. Mais en supposant même l'existence des tourbillons, que personne n'admet plus aujourd'hui, l'explication de Descartes avoit contre elle plusieurs difficultés insolubles, dont l'une consistoit en ce qu'un corps placé dans le plan d'un parallèle à l'équateur, devroit descendre obliquement à la surface de la terre, vers le point de l'axe auquel répondroit le centre du parallèle dont il s'agit, au lieu que la direction de la pesanteur est partout perpendiculaire à la même surface. Ce système de Descartes a disparu devant la théorie de la *gravitation universelle*, dont le nom seul exprime l'effort sublime à l'aide duquel le génie de Newton a fait rentrer les mou-

vemens célestes et les plus grands phénomènes de la nature dans le domaine de la pesanteur.

*De la différence entre la Pesanteur et le Poids.*

44. La pesanteur doit être envisagée comme agissant également à chaque instant sur chacune des molécules d'un corps. Il résulte d'abord de ce principe, que la vitesse qu'elle imprime à un corps qui tombe, ne dépend pas de la masse de ce corps ; elle est, par rapport à l'ensemble de toutes les molécules du corps, la même qu'elle seroit pour chaque molécule détachée de la masse. Que cette masse soit plus grande ou plus petite, il s'ensuivra seulement qu'il y a plus ou moins de molécules animées de la même vitesse ; mais la vitesse commune n'en sera ni augmentée ni diminuée. Cependant nous ne voyons pas tous les corps tomber avec la même vitesse, et arriver dans des temps égaux à la surface de la terre, en les supposant partis de la même hauteur. Nous allons donner la raison de cette différence, après que nous aurons établi la distinction qui existe entre la pesanteur d'un corps, et ce qu'on appelle proprement le *poids* de ce corps. La pesanteur se mesure, ainsi que nous venons de le dire, par la vitesse qu'elle imprime à chaque molécule d'un corps, et cette vitesse est indépendante du nombre des molécules ; mais le poids d'un corps se mesure par l'effort qu'il faut faire pour soutenir ce corps et l'empêcher de tomber. Or, cet effort est d'autant plus considérable, qu'il y a dans ce

corps plus de molécules animées de la même vitesse : et ainsi le poids a proprement pour expression le produit de la masse par la vitesse , d'où il suit qu'il varie dans le même rapport que la masse , relativement aux corps que nous pesons , parce que ces corps sont censés être sollicités par des vitesses égales. Il est facile de concevoir maintenant pourquoi , parmi les corps abandonnés à eux-mêmes , ceux qui ont plus de masse tombent plus vite de la même hauteur , que ceux dont la masse est moins considérable. Cette différence provient de la résistance de l'air , qui est plus grande à l'égard des corps qui ont moins de masse ; car si nous supposons , par exemple , deux balles de même diamètre , l'une de plomb , l'autre de liège , qui commencent à tomber en même temps , ces deux balles présentant des surfaces égales à la résistance de l'air , on aura ainsi deux résistances égales , appliquées à deux corps animés de la même vitesse initiale ; d'où il suit que la résistance de l'air enlèvera à la balle de liège , qui a la plus petite quantité de mouvement , une portion plus grande de vitesse , que celle qui sera perdue dans le même temps par la balle de plomb ; et la première , continuant de perdre à chaque instant plus que la seconde , se trouvera toujours plus en retard.

45. Galilée , à qui étoit réservée la gloire de préparer de loin la théorie de Newton , par la découverte de la loi à laquelle est soumise l'accélération des graves ; Galilée , dis-je , ayant fait tomber d'une grande hauteur différentes boules d'or , de *plomb* , de *cuir* , de *porphyre* , avec une boule de *cire* , observa que tous ces corps employoient presque le même temps

pour arriver à terre. La boule de *cire*, la seule qui fut sensiblement en retard, n'étoit plus qu'à quatre pouces de terre à la fin de la chute des autres corps. Galilée, considérant que cette différence étoit bien éloignée d'être proportionnelle à celle des poids, en conclut qu'elle dépendoit uniquement de la résistance de l'air. Cette conjecture a été vérifiée depuis par des expériences directes, qui consistent à faire tomber du haut d'un tube, sous lequel on a fait le vide le plus parfait possible, des corps de différentes masses, tels que du plomb, du fer, du bois, du liège, de la plume, de la laine, etc., et l'on a observé que tous ces corps ne laissoient apercevoir aucune différence sensible dans la durée de leur chute. Quant aux corps qui s'élèvent en l'air, tels que la fumée, on sait que leur ascension est due à ce qu'ils se trouvent spécifiquement plus légers que l'air : ils sont, à l'égard de ce fluide, ce qu'est à l'égard de l'eau, un morceau de liège, qui, plongé dans cette eau à une certaine profondeur, et abandonné ensuite à lui-même, remonte à la surface. Le vulgaire regarde comme étant sans pesanteur tout ce qui s'élève, au lieu de tomber : ce qui a fait dire à Newton, que les poids du vulgaire étoient les excès des poids absolus des corps, sur le poids de l'air. L'ascension des ballons aérostatiques au milieu de l'air est bien faite pour désabuser les partisans de cette théorie des corps sans pesanteur.

De

*De l'accélération du Mouvement produit par la Pesanteur.*

46. Nous avons vu (23) qu'un corps une fois mis en mouvement, tendoit de lui-même à y persévéérer avec la même vitesse et suivant la même direction qu'il avoit au premier instant. Mais si ce corps est mu par une force qui agisse sur lui sans interruption, et dont les actions soient égales pendant des temps égaux, sa vitesse croitra continuellement et d'une manière uniforme.

47. De ce genre est le mouvement que produit la pesanteur dans les corps qu'elle sollicite. Pour bien concevoir la loi de l'accélération qui en résulte, supposons qu'un corps emploie un temps fini, tel que trois ou quatre secondes, à tomber d'une certaine hauteur; nous pourrons considérer ce temps comme composé d'une infinité d'instans infiniment petits, et il faudra concevoir que dans le premier instant le mobile reçoit de la pesanteur un degré de vitesse infiniment petit, et que dans chacun des instans suivans un égal degré de vitesse s'ajoute à la vitesse précédente; en sorte que les vitesses du mobile, pendant les divers instans consécutifs de sa chute, croîtront comme les nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc. Il suit de là que le nombre de degrés de vitesse acquis successivement par le mobile, est toujours égal au nombre d'instans pendant lesquels a duré le mouvement, c'est-à-dire, que la vitesse croît comme le temps.

Supposons un triangle rectangle *s c b* (*Pl. I, fig. 1.*)  
TOME I. C

divisé par des lignes  $gh$ ,  $il$ ,  $kn$ , etc., parallèles à la base  $bc$ , de manière que les parties  $sh$ ,  $hl$ ,  $In$ , etc., de la hauteur, comprises entre ces lignes, soient égales entre elles : si l'on conçoit que ces parties représentent, par exemple, des secondes de temps,  $gh$  représentera la vitesse acquise par le mobile à la fin de la première seconde,  $il$  la vitesse acquise après deux secondes, et ainsi de suite ; car les lignes  $gh$ ,  $il$ ,  $kn$  étant entre elles dans le rapport des lignes  $sh$ ,  $sl$ ,  $sn$ , etc., il en est des premières relativement aux autres, comme des vitesses à l'égard des temps.

Si l'on suppose à présent le triangle  $sca$  soudivisé par une infinité d'autres lignes comprises entre  $s$  et  $gh$ ,  $gh$  et  $il$ ,  $il$  et  $kn$ , etc., ces lignes, à partir du point  $s$ , représenteront les vitesses pendant les instans successifs infiniment petits qui composent les temps représentés par  $sh$ ,  $sl$ ,  $sn$ , etc. ; et parce que ces vitesses ne sont autre chose que les petits espaces parcourus pendant les instans correspondans, le triangle  $sgh$  étant la somme des espaces qui répondent au temps mesuré par  $sh$ , cette somme représentera l'espace total parcouru pendant la première seconde (1) ; de même le triangle  $sil$  représentera l'espace parcouru pendant les deux premières secondes, et ainsi des autres. Or, les

(1) Rien ne s'oppose à ce que l'on emploie ici la surface d'un triangle, pour représenter un espace en longueur, ou une simple dimension, en mettant, par la pensée, les uns à la suite des autres, tous les élémens dont le triangle est l'assemblage.

triangles  $sgh$ ,  $sil$ , etc., sont entre eux comme les carrés de leurs hauteurs  $sh$ ,  $sl$ , etc.; d'où nous conclurons que les espaces parcourus par le mobile, depuis l'origine du mouvement, sont comme les carrés des temps employés à les parcourir. Ainsi les temps représentés par  $sh$ ,  $sl$ ,  $sn$ , etc., étant entre eux dans le rapport des nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc., les espaces correspondans seront dans le rapport des carrés 1, 4, 9, 16, 25, etc., de ces nombres.

D'après cela, il est facile d'avoir le rapport que suivent les espaces parcourus pendant différens temps consécutifs égaux entre eux; car si nous désignons le premier de ces espaces par l'unité, il est bien clair que les suivans seront représentés par les différences entre les termes de la suite 1, 4, 9, 16, 25, etc., qui désignent les espaces, depuis l'origine du mouvement. Donc les espaces parcourus pendant des temps égaux et consécutifs, à compter de cette même origine, seront entre eux comme les nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc., parmi lesquels tous ceux qui suivent le premier donnent les différences dont il s'agit.

On a trouvé, par l'expérience, qu'un corps à qui l'air n'opposoit pas de résistance sensible, tomboit de 15 pieds  $\frac{1}{5}$ , qui reviennent à peu près à 49 décimètres, dans la première seconde de son mouvement. Cette connoissance une fois acquise, il est aisé de déterminer la hauteur dont un corps pesant est tombé pendant un nombre donné de secondes, en prenant autant de fois 49 décimètres, qu'il y a d'unités dans le carré de ce nombre de secondes.

48. Imaginons qu'au bout d'un certain temps, par  
TOME I. C 2\*

exemple , de celui qui est représenté par  $s\bar{h}$ , la pesanteur ou la force accélératrice cesse d'agir : le corps persévétera dans son mouvement en vertu de la vitesse  $\bar{g}h$ , devenue uniforme. Donc si l'on suppose qu'il continue de se mouvoir pendant un temps égal au premier, et que nous pouvons désigner par  $h\bar{l}$ , l'espace qu'il décrira étant égal à la vitesse  $\bar{g}h$ , prise autant de fois qu'il y a d'instans qui répondent à  $h\bar{l}$ , cet espace sera comme le produit de  $\bar{g}h$  par  $h\bar{l}$ , lequel produit est double de la surface du triangle  $s\bar{h}g$ ; d'où il suit que dans le mouvement uniformément accéléré qui résulte de la pesanteur, l'espace parcouru pendant un temps donné est la moitié de celui que le mobile est capable de décrire, avec la vitesse acquise continuée uniformément.

49. La découverte de la loi suivant laquelle la pesanteur agit sur les corps placés dans le voisinage de la terre , et que nous avons dit être due à Galilée , n'étoit que comme un premier pas fait à l'entrée d'une carrière immense , qu'il étoit réservé à Newton de parcourir. Le principe de la pesanteur est devenu entre ses mains d'une fécondité qui n'a , pour ainsi dire , d'autres bornes que celles de l'univers lui-même. Ce grand géomètre conjectura que cette force , dont l'intensité ne paroisoit pas être sensiblement plus petite sur la cime des plus hautes montagnes qu'à la surface du globe , s'étendoit jusqu'à la lune , et que , combinée avec le mouvement de projection de ce satellite , elle lui faisoit décrire un orbe elliptique autour de la terre. La pesanteur , à cette distance , devoit se trouver diminuée d'une quantité appréciable ; et pour déterminer la loi de

cette diminution, Newton chercha, d'après le mouvement connu de la lune dans son orbite, et d'après le rapport entre le rayon de la terre et celui de la même orbite, de quelle hauteur la lune, abandonnée à sa seule pesanteur, descendroit vers la terre, dans un instant déterminé : comparant ensuite cette hauteur avec celle qui mesure, pendant le même temps, la chute des corps près de la surface de la terre, il trouva que la loi de la pesanteur, en supposant que cette force s'étendit jusqu'à la lune, suivoit la raison inverse du carré des distances. Enfin, il généralisa ce résultat, en considérant le soleil comme le foyer d'une force qui se propage indéfiniment dans l'espace, et qui attire, suivant la loi dont nous venons de parler, tous les corps placés dans sa sphère d'activité, en même temps que ces corps exercent les uns sur les autres de semblables actions. Ce court exposé suffit pour faire entrevoir l'immensité du travail entrepris par Newton et par les illustres géomètres qui ont perfectionné sa théorie, pour déterminer les diverses modifications d'une loi si simple en elle-même et si compliquée dans ses résultats, pour démêler l'influence mutuelle des phénomènes, et résoudre le nœud par lequel chacun des détails tient à l'ensemble.

50. Cette force universelle, qui a fourni à Newton comme la clef de sa théorie sur le système du monde, a été souvent désignée par le mot *d'attraction*, qui n'exprime qu'un fait et non pas une cause ; mais la loi à laquelle ce fait est soumis, suffit à la théorie pour atteindre son but, puisqu'elle nous fait connoître la manière d'agir de la cause elle-même.

*De la Pesanteur, comparée avec l'Attraction,  
dans les petites distances.*

51. L'attraction qui, comme nous l'avons dit, agit en raison inverse du carré des distances, suit en même temps le rapport direct des masses; et c'est ce qui rend ses effets si sensibles à l'égard des corps qui se meuvent dans les espaces célestes: elle disparaît entre ceux d'un volume peu considérable qui n'ont aucune proportion avec la masse du globe; mais nous la retrouvons autour de nous, dans les actions réciproques des fluides électrique et magnétique, où elle concourt à la production des phénomènes, avec une force répulsive qui suit la même loi. D'une autre part, les molécules des corps solides sont enchaînées par des forces attractives, d'où résulte leur adhérence mutuelle; et c'est à de semblables forces que sont dus un grand nombre de phénomènes, où les corps se trouvent dans un état de division qui isole leurs parties élémentaires: telles sont la cristallisation, la réfraction et l'inflexion de la lumière, l'élévation des liquides dans les tubes capillaires et les combinaisons chimiques. On a donné le nom d'*affinité* à la force attractive qui produit ces divers phénomènes.

52. Cette force n'est-elle autre chose que la pesanteur modifiée par les circonstances, ou dépend-elle d'une cause particulière, distinguée de celle qui influe sur les mouvements célestes? Un grand nombre de physiciens, à la tête desquels se trouve Newton lui-même, ont adopté cette dernière opinion. Ils se fondent prin-

cipalement sur ce que l'attraction dont il s'agit ne commençoit à agir que dans le voisinage du contact , en sorte qu'elle étoit très-grande au contact , et devenoit insensible à une distance un peu appréciable. Il suivoit de là que cette attraction devoit croître et décroître dans un plus grand rapport que la première , et que peut-être elle suivoit la raison inverse du cube des distances.

53. Pour mieux concevoir la différence qui , dans cette hypothèse , existeroit entre les effets des deux attractions , supposons d'abord un corps sphérique dont toutes les particules agissent par des attractions en raison inverse du carré des distances , sur une molécule située au dehors à une distance quelconque. Newton a prouvé que , dans ce cas , l'attraction totale qui résulte de toutes les attractions particulières est la même , par rapport à la molécule attirée , que si toutes les particules attirantes se trouvoient réunies au centre de la sphère (1) : car si l'on imagine qu'elles aillent toutes à la fois se placer dans ce point , l'attraction de celles qui étoient situées en deçà du centre , par rapport à la molécule attirée , diminuera à mesure qu'elles s'éloigneront de cette molécule ; mais en même temps l'attraction des particules qui étoient situées au delà du centre augmentera , à mesure qu'elles se rapprocheront de la molécule attirée. Or , on démontre , par la géométrie , qu'il s'établit dans ce cas une compensation entre les attractions qui décroissent et celles qui prennent de l'accroissement , de manière que la somme des

---

(1) Princip. mathem. , t. I , Prop. LXXI , theor. XXXI.

forces conserve sa valeur primitive. On a appellé *centre d'action*, ce point dans lequel il faudroit supposer que toutes les molécules d'un corps fussent réunies, pour que leur action totale fût encore la même que quand elles étoient distribuées dans toute l'étendue de ce corps. Ce théorème, dont nous venons de donner une idée, est très-remarquable, en ce qu'il conduit à considérer les sphères comme de simples points pesans.

Or, dans l'hypothèse présente, il n'arrivera jamais que l'attraction au contact soit infinie, relativement à celle qui avoit lieu avant le contact; car le rayon de la sphère qui mesure la distance au centre d'action, dans le premier cas, sera toujours en rapport fini avec la distance qui a lieu hors du contact; et ainsi les attractions elles-mêmes seront comparables (1).

54. Supposons maintenant que l'attraction suive la raison inverse du cube des distances: dans ce cas, à mesure que la distance diminue entre la molécule attirée et la surface de la sphère, le centre d'action, de son côté, au lieu de rester fixe, comme dans l'hypothèse précédente, se rapproche continuellement de cette surface, et l'attraction s'accroît par une progression dont la limite, qui a lieu au contact, est l'infini; d'où il suit qu'elle est alors infiniment plus grande qu'à une distance appréciable du contact: à plus forte raison la même chose aura-t-elle lieu, si l'on suppose que l'attraction diminue dans un rapport plus grand que celui de la raison inverse du cube de la distance. Ces résultats, qui étoient conformes à l'observation de ce

---

(1) *Newto, ibid., Propos. LXXXI, theor. XLI, exempl. 2.*

qui se passe dans les phénomènes offerts par les molécules élémentaires des corps , sembloient indiquer une ligne de séparation entre la force qui sollicite ces molécules et celle qui régit les grandes masses de notre système planétaire.

55. Il y auroit cependant une manière de concilier les actions de ces deux forces , en adoptant une idée très-heureuse de Laplace , qui consiste à supposer que les distances entre les molécules des corps soient incomparablement plus grandes que les diamètres de ces molécules ; de manière que la densité de chaque molécule surpassé de beaucoup la densité moyenne de l'ensemble , ou celle qui auroit lieu si toute la matière des molécules étoit distribuée uniformément dans tout l'intérieur du corps. Suivant cette hypothèse , le contact donneroit une grande supériorité à la molécule attirante située dans ce même point , sur l'attraction à une distance finie du contact , conformément à l'observation ; et la scène des affinités rentrerroit ainsi sous la dépendance de l'attraction planétaire. Plusieurs phénomènes , et entre autres l'extrême facilité avec laquelle les rayons de la lumière pénètrent les corps diaphanes dans toutes les directions imaginables , semblent être favorables à cette hypothèse. Les diversités que présentent les résultats de l'affinité dépendroient alors de la forme des molécules élémentaires. Mais nous sommes encore loin d'avoir acquis les connaissances nécessaires , pour être en état d'appliquer le calcul aux actions intimes que les corps mus par l'affinité exercent les uns sur les autres , et de manier cette branche délicate de physique avec l'ins-

trument dont Newton et ses successeurs se sont servis pour éléver la théorie des phénomènes célestes à un si haut degré de perfection.

### *De la Pesanteur spécifique.*

56. Supposons une suite de corps de différentes natures, qui aient des volumes égaux. Si l'on pèse successivement tous ces corps à l'aide de la balance ordinaire, il faudra, pour établir l'équilibre, employer des poids plus ou moins considérables, suivant que ces mêmes corps seront plus ou moins denses. Supposons de plus, qu'ayant choisi pour terme de comparaison l'un de ces corps, par exemple, le plus léger, on représente son poids par l'unité, et que l'on exprime les poids de tous les autres corps par des nombres relatifs à cette unité : on aura les rapports entre les poids des différens corps comparés à une mesure commune, ou les *pesanteurs spécifiques* de ces corps.

57. Quand même les volumes des corps dont il s'agit ne seroient pas égaux, il suffiroit que l'on pût les évaluer assez exactement pour les comparer entre eux, après quoi il seroit facile de ramener les résultats des différentes pesées à ce qu'elles auroient été dans le cas de l'unité de volume. Mais aucune de ces deux hypothèses n'étant admissible dans la pratique, on y a supplié à l'aide d'un principe d'hydrostatique découvert par Archimède, à l'occasion d'un problème qu'Hiéron, roi de Syracuse, lui avoit, dit-on, proposé. Ce prince ayant ordonné à un orfèvre de fa-

briquer une couronne d'or pur, le soupçonna d'avoir allié à ce métal une certaine quantité d'argent, et désira qu'Archimède pût vérifier le fait sans endommager la couronne, et au cas que l'alliage existât, en déterminer la quantité. Pour donner une notion claire du principe qui a conduit ce savant célèbre à la solution du problème, concevons un corps qui, à volume égal, pèse précisément autant que l'eau. Si l'on tient ce corps suspendu à un fil que nous considérerons ici comme étant sans pesanteur, et qu'on le plonge dans l'eau, il ne faudra plus employer aucune force pour le soutenir, parce qu'il est soutenu tout entier par le liquide, qui exerce sur lui le même effort que quand il tenoit en équilibre le volume d'eau dont ce corps a pris la place. Imaginons maintenant que le corps, en conservant son volume, devienne plus pesant; l'eau continuera de faire équilibre à toute la partie du poids de ce corps, qui égale le poids primitif ou celui du volume d'eau déplacé; en sorte que si l'on pèse le corps ainsi plongé, il n'y aura que l'excédent du poids primitif qui agisse sur la balance. Il suit de là (et c'est en quoi consiste le principe dont nous avons parlé) que si l'on pèse d'abord dans l'air et ensuite dans l'eau un corps respectivement plus pesant que ce liquide, il y perd une partie de son poids égale à celui du volume d'eau déplacé. On détermine, par ce moyen, le rapport entre le poids du corps et celui de l'eau, à volume égal, et ce liquide sert ainsi de mesure commune, pour comparer entre elles les pesanteurs spécifiques des différens corps.

La balance destinée pour les recherches de ce genre, se nomme *balance hydrostatique*. Le corps sur lequel on opère est suspendu par un crin, à un petit crochet fixé sous l'un des bassins, ce qui procure la facilité de plonger ce corps dans l'eau pour l'y peser.

58. Pour que les expériences deviennent comparables, il est nécessaire que le liquide soit toujours le même, relativement à sa nature et à sa densité. On prend pour cet effet de l'eau distillée, ou, à son défaut, de l'eau de pluie, qui a sensiblement le même degré de pureté, et l'on emploie cette eau à une température donnée. Brisson, à qui nous devons une table des pesanteurs spécifiques des corps, plus étendue que toutes celles qui avoient paru jusqu'alors, a adopté la température de 14<sup>d</sup>. du thermomètre divisé en 80 parties, qui répond à 17<sup>d</sup>. 5 du thermomètre centigrade, comme moyenne dans notre climat.

Il est plus naturel de représenter par l'unité la pesanteur spécifique de l'eau, qui est le terme de comparaison auquel on rapporte les pesanteurs spécifiques des autres corps, que de la désigner par 1000 ou par 10000, ainsi qu'on le fait ordinairement. Du reste, le calcul est le même, excepté que l'on a communément une fraction décimale dans le résultat.

59. Rendons sensible, par un exemple, la marche qui doit être suivie dans la détermination de la pesanteur spécifique d'un corps. Supposons qu'une masse d'or pèse 6 décagrammes dans l'air, et que son poids, dans l'eau, ne soit plus que de 5688 centigrammes : retranchant ce second poids de 6 décagrammes ou 6000 centigrammes qui représentent le premier poids,

on trouvera 312 centigrammes pour la perte que l'or a faite dans l'eau , et en même temps pour le poids d'un égal volume d'eau. On aura donc cette proportion : 312 ou le poids du volume d'eau égal à celui de l'or est à 6000 , poids absolu de l'or, comme l'unité , qui représente en général la pesanteur spécifique de l'eau , est à un quatrième terme , qui donnera la pesanteur spécifique de l'or. On voit que l'opération se réduit à diviser le poids absolu par la perte dans l'eau. Le terme inconnu , pris avec quatre décimales , sera 19,2307.

60. Il est facile maintenant de concevoir comment Archimède a pu s'y prendre pour résoudre le problème dont nous avons parlé. Il n'eut besoin que de connoître le poids absolu de la couronne , sa pesanteur spécifique , celle de l'or pur , telle que nous venons de la donner , et celle de l'argent pur , qui est à peu près 10,5. Il trouva d'abord que la pesanteur spécifique de la couronne étoit moindre que celle de l'or pur , ce qui seul indiquoit un alliage d'argent. Ayant combiné ensuite , au moyen du calcul , les diverses données que nous venons de citer , il parvint à déterminer les quantités relatives des deux métaux que renfermoit la couronne , sauf la petite différence qui devoit résulter de ce que jamais le volume de l'alliage n'est tout-à-fait égal à la somme des volumes qu'avoient les métaux pris séparément.

61. L'or qui avoit été regardé , pendant long-temps , comme le plus dense de tous les corps naturels , le cède , sous ce rapport , à un métal nommé *platine* , qui a été découvert en 1741 , et dont la pesanteur spécifique ,

déterminée par le célèbre Borda, est de 20,980. Les connaissances relatives à ce genre d'observations, déjà si précieuses pour le physicien, n'offrent pas moins d'avantages au naturaliste, qui leur doit un des caractères les plus décisifs pour la distinction des minéraux. Ainsi on évitera de confondre la variété bleue de cristal de roche, appelée *saphir d'eau*, avec l'espèce de pierre fine connue sous le nom de *saphir oriental*, la pesanteur spécifique de la première n'étant que d'environ 2,8, tandis que celle de la seconde est d'environ 4; et ici l'on est d'autant plus intéressé à éviter la méprise, que la différence des prix surpasse de beaucoup celle des pesanteurs spécifiques.

62. La construction de l'aréomètre de Farenheit, dont on se sert pour peser spécifiquement les liquides, est fondée sur un principe qui n'est autre chose qu'un corollaire du précédent; savoir, que dans un corps respectivement plus léger que l'eau, et qui, en conséquence, surnage en partie, le poids du volume d'eau déplacé par la partie plongée est égal au poids du corps entier. En plongeant successivement l'aréomètre dans des fluides de différentes densités, on fait varier son poids par les poids additionnels dont on le charge, de manière que le volume de la partie plongée soit constant; et on a ainsi une mesure commune, qui sert à déterminer les pesanteurs spécifiques des divers fluides, rapportées à celle de l'eau distillée. Nous donnerons, dans l'instant, une description détaillée d'un instrument du même genre que cet aréomètre, d'après laquelle on pourra s'en former une juste idée.

63. L'usage des aréomètres ordinaires dépend d'une

autre application du même principe, fondée sur ce qu'un corps qui surnage en partie, s'enfonce plus profondément dans les fluides moins denses que dans ceux qui ont plus de densité. Il consiste en un tube de verre terminé en boule par sa partie inférieure, et divisé dans toute sa longueur en parties égales. Pour que cet instrument puisse se tenir dans une situation verticale lorsqu'il est plongé, on soude en dessous de la boule dont nous avons parlé, une autre boule qui contient du mercure. Mais cet aréomètre ne peut qu'indiquer si une liqueur est plus ou moins dense que l'autre; il ne donne pas, comme celui de Farenheit, le rapport entre les deux densités.

64. Nickolson a imaginé d'employer à la détermination des pesanteurs spécifiques des solides, un instrument qui a beaucoup de rapport avec ce dernier aréomètre, et qui mérite d'être connu. Il consiste dans un tube M N (fig. 2) de fer blanc, surmonté d'une tige B, faite d'un fil de laiton, et qui porte à son extrémité une petite cuvette A. Cette tige est marquée vers son milieu d'un trait *b* fait avec la lime. La partie inférieure tient suspendu un cône renversé E G, concave à l'endroit de sa base, et lesté en dedans avec du plomb. Le poids de l'instrument doit être tel, que quand on plonge celui-ci dans l'eau pour l'abandonner ensuite à lui-même, une partie du tube surnage. La cuvette qui termine la tige, et qui a la forme d'une calotte sphérique, y est assujettie au moyen d'un petit tube de fer blanc, dans lequel cette tige entre avec frottement. On a ordinairement une seconde cuvette plus large que l'on place au-dessus de la première, dans

la concavité de laquelle elle s'engage par sa convexité. On peut ainsi enlever à volonté cette seconde cuvette, soit pour retirer plus facilement les poids dont elle est chargée, comme nous le dirons dans un instant, soit pour faire quelque changement dans leur assortiment.

L'usage de cet instrument est facile à concevoir. On commence par placer dans la cuvette supérieure les poids nécessaires pour que le trait *b*, marqué sur la tige, descende à fleur d'eau : c'est ce que nous appelons *affleurer* l'aréomètre ; et la quantité de poids dont nous venons de parler se nomme la *première charge* de l'aréomètre (1). Ayant repris cette charge, on met dans la même cuvette le corps destiné pour l'expérience, et que nous supposons toujours plus dense que l'eau, puis l'on place à côté les poids nécessaires pour produire l'affleurement. On retranche cette seconde charge de la première, et la différence donne le poids du corps dans l'air. On retire l'aréomètre, pour placer le corps dans le bassin inférieur *E* ; puis ayant replongé l'instrument, on ajoute de nouveaux poids dans la cuvette *A*, jusqu'à ce que l'affleurement ait encore lieu. Ces nouveaux poids forment, avec ceux qui étoient déjà dans la cuvette, la troisième charge de la balance. On soustrait de cette charge la seconde, et la différence donne la perte que le corps a faite de son poids dans l'eau, ou le poids

(1) Il est presque inutile d'avertir que l'usage de l'instrument est limité aux corps dont le poids dans l'air n'excède pas cette première charge.

du volume d'eau déplacé, après quoi on divise par ce poids celui du corps pesé dans l'air.

65. Si l'on vouloit peser une substance respectivement plus légère que l'eau, il faudroit, en la placent dans le bassin inférieur, l'y assujettir d'une manière fixe. Dans ce cas, le corps qui sert d'attache est censé faire partie de l'aréomètre. Du reste, l'opération est la même que dans le cas précédent; seulement, le poids du corps soumis à l'expérience, divisé par le poids du volume d'eau déplacé, donne un quotient plus petit que l'unité.

Supposons que le poids du corps étant de quatre grammes, on ait trouvé cinq grammes pour différence entre la seconde charge et la troisième; il en résulte que le corps pèse un gramme de moins qu'il ne faut, pour que son poids représente celui du volume d'eau déplacé. Ce dernier poids étant donc de 5 grammes, on aura  $\frac{4}{5}$  ou 0,8 pour la pesanteur spécifique du corps.

66. Il y a des substances qui, étant plongées dans l'eau, s'imbibent de ce liquide: tel est le grès ordinaire. On s'aperçoit de cette propriété, lorsque ayant placé le corps dans le bassin inférieur E, on voit l'aréomètre descendre après être remonté, quoique la cuvette A reste chargée du même poids. Dans ce cas, on laissera le corps s'imbiber de toute la quantité d'eau qu'il peut admettre dans ses pores, et l'on jugera qu'il est parvenu à cette espèce de point de saturation, lorsque l'aréomètre restera dans une position fixe; alors on l'affleurera, et l'on cherchera, à l'ordinaire, la perte que le corps a faite de son poids dans l'eau. On cherchera ensuite le poids de la quantité d'eau dont il s'est

imbibé , en le pesant dans l'air le plus promptement possible , et en retranchant le premier poids du second , puis on ajoutera la différence à la perte trouvée précédemment , et le résultat donnera la véritable perte , ou celle qui auroit lieu si le corps n'étoit pas susceptible d'imbibition ; après quoi on opérera comme il a été dit plus haut.

Supposons que le corps pèse 10 grammes avant l'imbibition , et que la quantité d'eau dont il s'est imbibé soit de 2 décigrammes ; supposons de plus , que la perte qu'il a faite de son poids dans l'eau , y compris l'effet de l'imbibition , soit de 4<sup>gram.</sup>,3 ; comme les corps , à égalité de volume , perdent moins de leur poids dans l'eau , à proportion qu'ils sont plus denses , il en résulte que le corps soumis à l'expérience a perdu 2 décigrammes de moins que dans le cas où l'imbibition n'auroit pas eu lieu , puisque celle-ci équivaut à un accroissement de densité : donc il faut ajouter 2 décigrammes à la perte trouvée , qui est de 4<sup>gram.</sup>,3 ; ce qui donnera 4<sup>gram.</sup>,5 pour la perte corrigée . La pesanteur spécifique du corps , considéré comme exempt d'imbibition , sera donc de  $\frac{100}{45}$  ou de 2,2222 , en se bornant à quatre décimales.

67. La double propriété qu'a le même instrument de pouvoir faire en même temps la fonction de véritable aréomètre et celle de balance hydrostatique , deviendroit utile dans le cas où l'on n'auroit à sa disposition qu'un liquide , dont la densité différât sensiblement de celle de l'eau distillée , et dont la température fût de plusieurs degrés au-dessus ou au-dessous de celle qui auroit été choisie comme terme de comparaison . Il seroit

facile de ramener le résultat de la pesée faite au moyen de ce liquide , à celui qu'auroit donné l'eau distillée à 14 degrés de Réaumur. Cette opération exige seulement une connoissance de plus , savoir , celle du poids absolu de l'instrument.

Supposons que ce poids soit de 152 grammes , et que le poids additionnel qui donne , à l'ordinaire , la première charge , quand on emploie l'eau distillée à 14<sup>d</sup> , soit de 20 grammes , on aura 172 grammes pour la somme de ces deux poids. Supposons maintenant que le poids qui forme la première charge avec le liquide substitué à l'eau distillée soit de 20<sup>gram.</sup>,5 , la somme deviendra 172<sup>gram.</sup>,5 : or , la partie plongée de l'instrument étant la même de part et d'autre , il en résulte que les poids des deux liquides , à volume égal , ou , ce qui revient au même , leurs pesanteurs spécifiques , sont dans le rapport de 1720 à 1725.

Cela posé , il est d'abord évident que le liquide substitué à l'eau distillée donne immédiatement le poids absolu du corps soumis à l'expérience. Soit ce poids de 11 grammes ; on cherchera la quantité que le corps pesé dans le liquide que l'on emploie y perd de son poids , et que nous supposerons être de 4<sup>gram.</sup>,7 ; mais les corps pesés dans un liquide y perdent davantage de leur poids , à proportion que ce liquide est plus dense ; ce qui revient à dire que les pertes sont proportionnelles aux densités des liquides. Donc on aura la perte corrigée , ou celle qui auroit lieu avec l'eau distillée , à 14<sup>d</sup> , en multipliant 4<sup>gram.</sup>,7 , par le rapport  $\frac{1720}{1725}$  entre les pesanteurs spécifiques des deux liquides ; ce qui donne 4<sup>gram.</sup>,69 pour la perte corrigée : divisant par

ce nombre le poids absolu, qui est 11, on trouvera 2,3454 pour la vraie pesanteur spécifique du corps; en ne faisant aucune correction, on auroit trouvé 2,3404.

On voit, par ces détails, que l'instrument dont il s'agit, quoique peut-être moins susceptible de précision que la balance hydrostatique ordinaire, l'emporte sur elle par l'avantage qu'il a de se prêter à des usages plus variés, d'être moins dispendieux et d'un transport plus facile.

68. Les mouvements à l'aide desquels les poissons s'élèvent et descendent alternativement dans l'eau, sont dus à la faculté qu'ont ces animaux de faire varier à leur gré la pesanteur spécifique de leur corps: c'est à quoi ils parviennent, au moyen d'une vessie communément double, à laquelle on a donné le nom de *vessie natatoire*, et qui est placée, pour l'ordinaire, au-dessus des viscères abdominaux. Un petit canal pneumatique, qui établit la communication entre l'arrière bouche et la vessie, sert au poisson pour introduire dans cette espèce de sac un fluide aériforme, qui varie, par sa nature, suivant les différentes espèces de poissons (1). La vessie, dilatée par cet air, détermine, relativement à l'animal lui-même, une augmentation de volume qui le rend respectivement plus léger que l'eau, en sorte qu'il s'élève dans ce liquide, sans

(1) On peut lire dans le discours sur la nature des poissons, par Lacépède, les détails intéressans dans lesquels ce célèbre naturaliste est entré sur tout ce qui concerne la vessie nata-  
toire de ces animaux. Hist. nat. des poissons, édit. in-12, t. I,  
p. cxlvij et suiv.

l'intermède des organes du mouvement ; et lorsqu'il veut descendre , il n'a besoin que d'expulser assez d'air de sa vessie , pour qu'il en résulte une diminution de volume , qui le rende plus pesant que le volume d'eau qu'il déplace. Quelques poissons , qui sont privés du canal pneumatique , paroissent agir directement sur l'air renfermé dans leur vessie , pour le comprimer ou lui permettre de se dilater.

Des observations faites par Geoffroy , et que ce savant naturaliste a bien voulu nous communiquer , prouvent que dans les deux familles de poissons nommées *diodons* et *tétrodons* , c'est l'estomac qui , en se gonflant et en se resserrant , suivant que le poisson y introduit de l'air ou expulse une partie de celui qui en occupoit la capacité , fait réellement la fonction de vessie natatoire ; en sorte que la destination de cette vessie , qui néanmoins existe toujours , est de se porter , à l'aide d'un mécanisme particulier , entre la cavité de la bouche et celle de l'estomac , pour s'opposer à la sortie de l'air , lorsque le poisson veut s'élever. Parvenu à la surface de l'eau , il continue de se dilater ; et bientôt il s'établit une si grande disproportion entre le poids du dos et celui du ventre , que le premier venant à l'emporter , l'animal se renverse. Dans cette position , il flotte au gré de l'eau , en se gonflant de plus en plus ; de manière que son corps , qui naturellement est d'une forme allongée , passe à celle d'un globe dont la surface , hérissée d'épines , présente de toutes parts une arme défensive redoutable aux autres poissons , qui , après avoir poussé ce globe devant eux , sont forcés d'abandonner l'attaque.

*De la nouvelle unité de Poids.*

69. Nous ne quitterons pas cette matière sans avoir fait connoître une opération de pesanteur spécifique également remarquable par l'importance de son objet et par la perfection des méthodes employées pour l'exécuter ; savoir, celle qui a conduit à déterminer l'unité de poids relative au nouveau système des poids et mesures. Le type commun auquel se rapportent toutes les branches de ce système, est l'unité des mesures linéaires, ou la dix millionième partie de la distance entre l'équateur et le pôle boréal, et on lui a donné le nom de *mètre*. En comparant la grandeur de l'arc terrestre, qui s'étend depuis Barcelone jusqu'à Dunkerque, telle que la donnent les opérations faites par Delambre et Méchain, avec celle de l'arc mesuré au Pérou, vers l'année 1740, on en a conclu que la distance cherchée, ou le quart du méridien situé vers le pôle boréal, étoit de 5130740 toises ; d'où il suit que le mètre répond à une longueur de  $0^{\text{tois}}\text{,}513074$ , ou de 3 pieds 11 lignes  $\frac{3}{10}$  à très-peu près.

70. L'unité de poids, que l'on a nommée *gramme*, est le poids absolu du cube de la centième partie du mètre, en eau distillée, prise à son *maximum* de densité. Nous verrons, dans la suite, que ce *maximum* ne répond pas au terme de la congélation, mais à quelques degrés au-dessus. Ces précautions étoient nécessaires pour attacher, en quelque sorte, le résultat à un point fixe auquel on put toujours le ramener, si l'on répétoit l'expérience. Le liquide se trouvoit dé-

barrassé , par la distillation , de toutes les particules hétérogènes qui altèrent sa pureté ; en le prenant au *maximum* de densité , on avoit une limite au milieu de toutes les variations de volume qui résultent du changement de température. Enfin , la détermination du poids absolu qui supposoit la pesée faite dans le vide , débarrassoit encore le résultat d'une quantité hétérogène et variable ; savoir , la perte que l'eau fait de son poids dans l'air , et que l'on néglige dans les expériences ordinaires.

71. Lefebvre - Gineau fut chargé de tout ce qui concernoit cette opération , ou plutôt cette réunion d'opérations , toutes extrêmement délicates. La précision à laquelle il se proposoit d'atteindre excluoit d'abord un moyen qui , au premier aperçu , paroît fort simple , et qui consisteroit à prendre un vase cubique , dont le côté eut un rapport connu avec le centième de mètre , à le peser d'abord seul , puis à le peser de nouveau , après l'avoir rempli d'eau distillée. La différence entre les poids donneroit le poids du volume d'eau employé ; mais on conçoit , sans qu'il soit besoin d'entrer dans les détails , que le résultat seroit affecté de diverses erreurs , qu'il eût été impossible d'éviter ou d'apprécier. On a donc adopté un autre moyen , susceptible d'une beaucoup plus grande exactitude : il consiste à peser spécifiquement dans l'eau , un cylindre creux , de cuivre , dont on a auparavant comparé le volume avec celui du cube qui a pour côté le centième du mètre. L'opération fait connoître le poids du volume d'eau distillée égal à celui du cylindre , et l'on en conclut le poids du cube de la même eau qui re-

présente l'unité cherchée. Nous espérons qu'on nous saura gré d'entrer ici dans quelques détails sur la marche que l'on a suivie pour arriver à ce résultat.

72. La machine destinée à mesurer le cylindre avoit été construite avec autant de soin que d'intelligence , par Fortin , l'un des artistes les plus distingués de cette ville. Sans nous arrêter à en donner la description , il suffira de dire qu'elle rend appréciable une différence égale à un deux millième ou même à un quatre millième de ligne : cette évaluation se fait au moyen d'un lévier , dont un des bras est dix fois plus court que l'autre ; le tout est tellement disposé , que les différences réelles qu'il s'agit de déterminer , occasionnant dans le plus petit bras des mouvemens égaux à ces différences , les mouvemens du plus long bras , qui sont décuplés , et qui par là deviennent sensibles au moyen d'un nonius appliqué à l'extrémité de ce bras , font connoître les deux millièmes de ligne , mesurés par le jeu du bras le plus court.

Quelqu'attention que le même artiste eût apportée dans la fabrication du cylindre , la forme de ce solide se trouvoit nécessairement affectée d'une multitude de petites inégalités qui pouvoient influer sensiblement sur le résultat , si on les eut négligées ; car ici , une erreur commise sur une seule des deux dimensions du cylindre , savoir , la hauteur et le diamètre de la base , est , pour ainsi dire , une erreur cubique , et non pas seulement une erreur linéaire , comme dans la détermination d'une simple distance. Il a fallu suivre , pour ainsi dire , d'un point à l'autre la surface du corps dans tous ses écarts , et mesurer

un nombre suffisant de hauteurs et de diamètres , à différens endroits des bases et de la convexité , pour ramener la solidité du cylindre , qui étoit l'objet de l'opération , à celle d'un cylindre parfaitement régulier et d'un égal volume.

Cette opération terminée , on a pesé le cylindre dans l'air , en employant un procédé aussi simple qu'ingénieux , qui fait disparaître l'inconvénient occasionné par l'inégalité presque inévitable entre les bras des balances même les mieux exécutées. On place dans un des bassins le corps que l'on veut peser , et l'on charge l'autre bassin avec des poids quelconques , jusqu'à ce que le fléau soit horizontal. On retire ensuite le corps du premier bassin , et on le remplace par des poids connus , jusqu'à ce que le fléau ait repris la position horizontale. Il est évident que le poids de ce corps est représenté exactement par la somme des poids qu'on lui a substitués , quoiqu'il puisse bien arriver que cette somme diffère de celle des poids qui sont de l'autre côté , par une suite de la construction vicieuse de la balance.

La pesée du cylindre dans l'air , faite au moyen de ce procédé , a eu de plus l'avantage de donner précisément le même résultat que si elle avoit eu lieu dans le vide. D'abord les poids substitués au cylindre étant de la même matière que ce corps , leur volume égaloit celui de la partie solide du cylindre ; et sous ce rapport , la perte dans l'air étoit aussi égale de part et d'autre. Mais de plus , on avoit pratiqué à l'une des bases du cylindre une petite ouverture qui établissoit une communication entre l'air intérieur et celui de

l'atmosphère. Il en résulte qu'au moment de la pesée, l'air intérieur étoit de la même densité que celui qui avoit été remplacé par le cylindre; l'air environnant lui faisoit donc équilibre, et ainsi la perte de poids étoit nulle à cet égard.

On a pesé ensuite le cylindre dans l'eau, et comme alors le poids qui lui faisoit équilibre étoit seul soutenu par l'air, il a fallu tenir compte de la petite perte qu'il faisoit dans ce fluide, comme n'étant plus commune au cylindre plongé dans l'eau. On a eu égard aussi à la petite augmentation de poids qu'occasionnoit, par rapport au cylindre, l'air renfermé dans son intérieur. Enfin, on a ramené le résultat à ce qu'il auroit été dans l'eau prise à son *maximum* de densité, et l'on a trouvé que la nouvelle unité de poids ou le gramme répondoit à 18<sup>grains</sup>, 82715 de l'ancien poids de marc.

73. Nous terminerons ce qui regarde cet objet, par un exposé succinct du système des nouvelles mesures: nous avons déjà dit (69) que l'unité des mesures linéaires où le mètre étoit une longueur de 3 pieds, 11 lignes  $\frac{1}{10}$ . Ses subdivisions en parties, successivement dix fois plus petites, portent les noms de *décimètre*, *centimètre*, *millimètre*, et ses multiples décimaux ceux de *décamètre*, *hectomètre* et *kilomètre*. On a adopté le même mode de division pour toutes les autres espèces de mesure, et l'on indique les degrés de l'échelle relative à chacune d'elles, par les mêmes expressions initiale au utées au nom de l'unité à laquelle ils se rapportent. Il en faut excepter les divisions de l'unité monétaire, comme nous le verrons dans l'instant.

74. Pour se ménager la facilité de réduire sur-le-champ , par approximation , une nouvelle mesure linéaire en ancienne , ou réciproquement , on peut observer que le millimètre est sensiblement égal à  $\frac{4}{5}$  de ligne du pied français , ou , ce qui revient au même , la ligne est égale à  $\frac{5}{4}$  de millimètre. Il en résulte que le pouce vaut 27 millimètres.

75. L'unité des mesures superficielles pour le terrain est un carré , dont le côté est de 10 mètres ; elle se nomme *are* , et vaut environ 948 pieds carrés.

76. On appelle *stère* , une mesure égale au mètre cube , et destinée particulièrement pour le bois de chauffage ; elle répond à un peu plus de 29 pieds cubes.

77. L'unité des mesures de capacité est le cube du décimètre. On la nomme *litre* , et elle vaut à peu près 50 pouces cubes  $\frac{4}{5}$ . Elle surpasse de  $\frac{1}{4}$  la pinte de Paris , qui contient 46<sup>po.cub.</sup>,95.

78. Le *gramme* , ou l'unité de poids , répond , ainsi que nous l'avons dit , à près de 19 grains. Le *kilogramme* , ou le poids de mille grammes , équivaut à 2 livres , 5 gros , 35 grains. L'once diffère très-peu de trois décagrammes.

79. La livre monétaire porte le nom de *franc* d'argent. Sa dixième partie s'appelle *décime* , et la centième partie , *centime*.

Il appartenloit d'autant mieux à la France de voir sortir de son sein ce nouveau système de mesures qui remontent toutes à une partie déterminée de la circonference du globe , comme à leur origine commune , que nul autre pays n'offroit une position aussi heureuse , par rapport à l'arc du méridien qui

devoit être mesuré ; celui qui traverse la France ayant le double avantage d'être coupé par le parallèle moyen , et de reposer par ses extrémités sur les bords des deux mers. Mais ce système , dont la base est prise dans la nature et invariable comme elle , convient également à tous les peuples. Plusieurs puissances étrangères , sur l'invitation du Gouvernement Français , ont envoyé des savans d'un mérite distingué , qui , réunis aux commissaires de l'Institut national , ont discuté avec eux les observations et les expériences , d'où l'on a déduit les unités fondamentales de longueur et de poids , et ont concouru ainsi , par leur zèle et par leurs lumières , à consommer cette vaste entreprise. Jamais les sciences n'ont offert un spectacle plus digne d'elles que celui de cette société si intéressante , qui , en fournissant une nouvelle preuve que les hommes éclairés de tous les pays ne composent qu'une même famille , donnoit en quelque sorte sa sanction à ce système , dont l'adoption pourroit devenir le gage d'une union plus étroite entre les nations elles-mêmes.

## 5. De la Cristallisation.

80. Après avoir parcouru les principaux phénomènes produits par la pesanteur , nous nous trouvons naturellement conduits à exposer un des résultats les plus remarquables de cette autre force attractive que nous avons comparée avec elle , et qui n'agit que près du contact. Ce résultat consiste dans l'arrangement régu-

lier des molécules de certains corps, sous des formes géométriques. C'est à la chimie qu'appartient le développement des circonstances qui déterminent ce phénomène, où les molécules, séparées d'abord les unes des autres par l'interposition d'un liquide, se rapprochent ensuite, et se réunissent en vertu de leurs attractions mutuelles, à mesure que les molécules du liquide les abandonnent en s'évaporant, ou par une cause quelconque. On a donné à cette opération le nom de *cristallisation*, et celui de *cristaux* aux corps réguliers qui en sont les produits.

La formation des sels, qui a lieu tous les jours sous nos yeux, par l'intermédiaire des dissolvans qu'emploie le chimiste, n'est autre chose qu'une imitation de ce qui se passe dans l'immense laboratoire de la nature, et de la manière dont s'est opérée la production de tous ces cristaux de différentes espèces qui tapissent certaines cavités du globe, ou se trouvent engagés dans certaines terres.

81. Ici se présente une différence très-marquée entre les minéraux et les êtres organiques. Le végétal, par exemple, tire son origine d'un germe que la nutrition développe, en lui conservant sa forme, et l'empreinte de cette forme se transmet ensuite, par la voie de la reproduction, aux individus dont la succession propage l'espèce. Tous ont leurs fleurs composées de parties égales en nombre, et semblables par leur figure et par leur arrangement; les mêmes rapports existent dans les positions respectives des feuilles, dans leurs contours arrondis ou anguleux, unis ou dentelés. Les diversités ne tiennent qu'à des nuances légères et fugi-

tives , en sorte qu'on peut dire que qui a vu un individu , a vu l'espèce entière.

Mais le minéral n'est qu'un assemblage de molécules similaires , réunies par l'affinité ; son accroissement se fait par la juxta-position de nouvelles molécules qui s'appliquent à sa surface , et sa configuration , qui dépend uniquement de l'arrangement des molécules , peut varier par l'effet de diverses circonstances. De là cette multitude de formes différentes , et en même temps régulières et bien prononcées , qu'affectent souvent les cristaux d'une même substance. Ainsi la combinaison de la chaux avec l'acide carbonique , ou la chaux carbonatée , présente tantôt la forme d'un rhomboïde , c'est-à-dire , d'un parallélépipède terminé par six rhombes égaux et semblables , tantôt celle d'un prisme hexaèdre régulier ; ici c'est un dodécaèdre terminé par douze triangles scalènes ; ailleurs c'est encore un dodécaèdre , mais dont les faces sont des pentagones , etc.

82. Toutes ces différentes formes , qu'un même minéral est susceptible de prendre , et qui s'éloignent quelquefois totalement les unes des autres par leur aspect , se tiennent cependant par un lien commun ; et quoiqu'il ne nous ait pas encore été donné jusqu'ici de dévoiler les lois auxquelles l'Être suprême a soumis les forces qui les produisent , nous connoissons du moins celles que suivent , dans leur arrangement , les molécules qui concourent à les déterminer. Nous allons exposer succinctement la théorie de ces lois , dont la considération est du ressort de la physique.

*Des Formes primitives des Cristaux.*

83. On avait remarqué depuis long-temps qu'un grand nombre de minéraux, surtout parmi ceux qui ont des formes régulières, sont composés de lames susceptibles d'être séparées les unes des autres, en sorte que les fragmens détachés de ces corps par la percussion, ont leurs faces planes, lisses, et plus ou moins éclatantes.

84. Nous avons donné le nom de *division mécanique* à l'opération par laquelle on parvient à faire ainsi l'anatomie d'un cristal, en saisissant, à l'aide d'un instrument tranchant, tel qu'une lame d'acier, les joints naturels de ses lames composantes; et cette opération, exécutée sur tous les minéraux qui s'y prêtent, conduit à un résultat général, qui est comme la clef de la théorie des lois relatives à leur structure. Il consiste en ce que, si l'on divise les différens cristaux originaires d'une même substance par des coupes qui se correspondent sur toutes les parties semblablement situées, on parvient à en extraire un solide régulier, qui est constant pour tous ces cristaux, même pour ceux dont les formes contrastent le plus fortement. Deux ou trois exemples suffiront pour faire concevoir ce résultat.

85. Soit *abef* (Pl. I, fig. 3) le prisme hexaèdre régulier, qui est une des variétés de la chaux carbonatée; on trouvera que, parmi les six arêtes *in*, *nc*, *cb*, etc., de la base supérieure, il y en a trois qui se prêtent à la division mécanique. Soit *in* une de ces dernières

arêtes ; la division mécanique se fera suivant un plan *psut*, incliné de  $45^{\circ}$ , tant sur la base *abcnih*, que sur le pan *inef*. Les deux arêtes *bc*, *ah*, admettront des divisions analogues à la précédente, sans qu'il soit possible d'en opérer de semblables sur les trois arêtes intermédiaires *cn*, *ab*, *ih*.

Ce sera tout le contraire par rapport à la base inférieure *gfedrk*; car les arêtes de cette base qui admettront des divisions, seront opposées aux arêtes non-divisibles de l'autre base; c'est-à-dire, que ce seront les arêtes *de*, *gf*, *kr*. Le plan *lqyz* représente la section faite sur cette dernière arête. On aura donc six plans mis à découvert par les sections; et si l'on continue de diviser toujours parallèlement à ces sections, jusqu'à ce que toutes les faces du prisme hexaèdre aient disparu, on arrivera à un rhomboïde, qui est comme le noyau, et que la figure représente sous son rapport de position avec le prisme. Le grand angle *EAI* de l'une quelconque des faces de ce rhomboïde, tel que le donne le calcul, est de  $101^{\circ} 32' 13''$ .

Tout autre cristal de la même espèce, divisé mécaniquement, donnera un résultat analogue. Il ne s'agit que de trouver le sens des coupes qui mènent au rhomboïde central. Ainsi, pour obtenir tout d'un coup le noyau du dodécaèdre à triangles scalènes (*fig. 4*), on fera passer un premier plan par les deux lignes *EO*, *OI*, un second par les lignes *IK*, *KG*, un troisième par les lignes *GH*, *HE*, et déjà la moitié supérieure du noyau se trouvera à découvert; trois autres sections faites l'une sur les lignes *OI*, *IK*, l'autre sur les lignes *KG*, *GH*, la dernière sur les lignes *HE*, *EO*,

EO, achèveront de dégager le noyau. Voyez la *figure 5*, qui représente ce noyau inscrit dans le dodécaèdre.

86. Parmi les variétés de la même substance, on observe plusieurs rhomboïdes très-différens du noyau par la mesure de leurs angles. Mais chacun de ces rhomboïdes en renferme un autre qui est encore semblable au noyau. Par exemple, le rhomboïde que l'on voit *fig. 6*, et dans lequel l'angle du sommet est aigu et a pour mesure  $75^{\circ} 31' 20''$ , se soudive par des plans qui interceptent les arêtes terminales; savoir, d'une part *ns*, *us*, *ts*, et d'une autre part *ns'*, *us'*, *ts'*, en faisant des angles égaux avec les faces qu'ils entament. Le résultat est le rhomboïde obtus *AA'*, qui a les mêmes angles que celui qu'on retire du prisme hexaèdre régulier, et qui est tellement situé à l'égard du rhomboïde circonscrit, que ses faces sont parallèles aux arêtes de celui-ci, comme cela doit-être d'après ce qui a été dit. Cette modification d'une forme qui semble se servir de déguisement à elle-même, a peut-être quelque chose de plus surprenant encore que les diversités qui rendent d'autres formes comme étrangères, par rapport à leur noyau.

87. Si l'on prend un cristal d'une autre espèce, le noyau se trouvera changé; si c'est encore un rhomboïde, il aura des angles différens. Dans telle espèce ce sera un cube, dans telle autre ce sera un prisme droit à bases rhombes, etc. Nous appelons *formes primitives*, celles de ces solides inscrits chacun dans tous les cristaux qui appartiennent à une même espèce; et *formes secondaires*, celles qui diffèrent de la forme primitive. Cette dernière est aussi quelque-

fois immédiatement produite par la cristallisation.

88. Les formes primitives observées, sont au nombre de six, en général; savoir, le tétraèdre, qui dans ce cas est toujours régulier; le parallélipipède, qui est tantôt rhomboïdal, tantôt cubique, etc.; l'octaèdre, dont la surface est composée de triangles qui sont, suivant les espèces, équilatéraux, isocèles ou scalènes; le prisme hexaèdre régulier; le dodécaèdre à plans rombes égaux et semblables, et le dodécaèdre composé de deux pyramides droites hexaèdres réunies par leurs bases. Le prisme hexaèdre régulier qui paraît ici parmi les formes primitives, devient, comme nous l'avons vu (85), forme secondaire, relativement à la chaux carbonatée; et ce n'est pas le seul exemple de cette faculté qu'a un même solide de se doubler en quelque sorte par la variété de ses fonctions.

### *Des Formes des Molécules intégrantes,*

89. Nous nous sommes arrêtés jusqu'ici à la considération du noyau, parce que ce résultat de la division mécanique étant comme une quantité constante, relativement à tous les cristaux d'une même espèce, devient une donnée commode pour la théorie, qui, en partant de cette constante, n'a plus qu'à déterminer les quantités variables, c'est-à-dire, les diverses manières dont s'arrangent les molécules situées dans les parties qui servent d'enveloppe au noyau.

90. Mais avant de passer aux lois de cet arrangement, nous devons faire connoître les molécules

dont il s'agit ; et c'est par la souddivision du noyau parallélement à ses différentes faces , et quelquefois dans d'autres sens encore , que l'on parvient à cette connoissance.

Supposons d'abord que le noyau soit un parallélépipède qui n'ait pas d'autres joints naturels que ceux qui sont parallèles à ses faces , et choisissons pour exemple le rhomboïde de la chaux carbonatée. La souddivision de ce rhomboïde, par des plans toujours plus rapprochés entre eux , donnera des rhomboïdes semblables à lui , et qui iront en diminuant successivement de volume ; et si l'on continue cette division par la pensée au delà du terme où les petits solides seroient devenus insensibles à l'œil , on sera conduit à des rhomboïdes d'un tel degré de ténuité , que l'on ne pourroit plus les diviser ultérieurement sans les analyser , c'est-à-dire , sans rompre l'union des principes chimiques qui les composent. Ces rhomboïdes situés , en quelque sorte , sur la limite de la division mécanique , sont ce que nous appelons les *molécules intégrantes* de la chaux carbonatée , pour les distinguer des molécules élémentaires de la même substance , qui sont , d'une part , celles de la chaux , et d'une autre part , celles de l'acide carbonique.

91. Prenons pour second exemple le dodécaèdre à plans rhombes (fig. 7) , qui ne peut être non plus soudivisé que parallélement à ses faces. Je dis que dans ce cas la molécule intégrante sera un tétraèdre. Pour le prouver , nous remarquerons que l'une quelconque des arêtes du dodécaèdre est parallèle à deux faces opposées de ce solide. Ainsi l'arête *o l* est pa-

rallèle aux faces  $rsyx$ ,  $puzh$ ; l'arête  $pu$  est parallèle aux faces  $olrs$ ,  $ahzq$ , et ainsi des autres; d'une autre part, l'une quelconque des petites diagonales d'un des rhombes est aussi parallèle à deux faces opposées: par exemple, la petite diagonale qui passe par les points  $o$ ,  $t$ , est parallèle aux faces  $rsyx$ ,  $puzh$ ; donc si l'on soudive le dodécaèdre parallèlement à ses différentes faces en faisant passer, pour plus de simplicité, les plans coupans par le centre, ces plans, pris trois à trois, passeront toujours par une petite diagonale telle que  $ot$ , et par deux arêtes contigües à cette diagonale, telles que  $os$ ,  $ts$ , ou bien  $ou$ ,  $tu$ , c'est-à-dire, que ces plans intercèteront deux triangles isocèles  $ost$ ,  $out$ , sur la surface de chaque rhombe  $ostu$ ; mais ils passent en même temps par le centre: donc ils détacheront des tétraèdres, dont le nombre sera de 24, c'est-à-dire, double de celui des faces. La fig. 8 représente séparément le tétraèdre, qui a pour face extérieure le triangle  $ost$  (fig. 7), et l'on démontre que les quatre faces de chaque tétraèdre sont des triangles isocèles, égaux et semblables: c'est une suite de l'égalité et de la similitude qui existent entre les rhombes de la forme primitive elle-même.

92. Le prisme hexaèdre régulier, que nous choisissons pour troisième exemple, n'admet de même de soudivisions que dans des sens parallèles à ses différentes faces; et il suffit de jeter un coup d'œil sur la fig. 9, où l'on a tracé sur l'hexagone régulier qui représente la base du prisme, des lignes indicatives des soudivisions, pour concevoir que la forme de la molécule

est, dans ce cas, un prisme triangulaire équilatéral.

93. Considérons enfin une des formes primitives dont la soudision ne se borne pas au parallélisme avec les faces. Tel est le prisme droit rhomboïdal représenté *Pl. II, fig. 10*, qui appartient à une substance nommée *staurotide* (*croisette*), que l'on trouve dans le département du Finistère, où ses cristaux se croisent communément deux à deux. Ce prisme, outre les divisions parallèles aux pans *M, M*, et à la base *P*, en admet d'autres parallèles à un plan qui passeroit par la petite diagonale *AA*, et par celle de la base opposée; d'où il suit que les molécules intégrantes sont encore ici des prismes triangulaires, mais qui ont pour bases des triangles isocèles.

Nous ne parlerons point de la division des autres formes primitives, parce que les bornes que nous sommes obligés de nous prescrire ici ne nous permettent pas d'entrer dans les détails nécessaires pour lever une difficulté qui provient de ce que cette division paroît tendre vers des molécules de deux formes différentes. Il nous suffira d'observer que l'on peut, au moyen d'une hypothèse très-admissible, en ramener le résultat à une seule forme de molécule qui est le tétraèdre, et que d'ailleurs la difficulté dont il s'agit, quand même elle subsisteroit tout entière, ne toucheroit point au fond de la théorie.

94. Maintenant, pour mieux faire ressortir ce qu'a de remarquable la conséquence qui se tire de la soudision des formes primitives, relativement au nombre et aux formes des molécules intégrantes, supposons

qu'il s'agisse de déterminer en général les trois solides géométriques les plus simples. Comme il faut au moins quatre plans pour circonscire un espace, il est évident que les solides demandés seront successivement terminés par quatre, cinq et six plans; et en prenant, dans chaque espèce de solide, le plus simple, on aura d'abord la pyramide triangulaire ou le tétraèdre, ensuite le prisme triangulaire, et enfin le parallélépipède. Or, telles sont les trois figures élémentaires qui donnent naissance à cette grande diversité de cristaux que la nature offre à notre observation. On reconnoît ici ce que nous pourrions appeler sa devise familière, *économie et simplicité dans les moyens, richesse et variété inépuisables dans les effets.*

Les trois formes dont il s'agit sont diversifiées dans les différens minéraux par des mesures d'angles, et par des dimensions respectives particulières que la théorie détermine; et c'est en grande partie sur ces différences qu'est fondée la distinction des espèces minérales.

95. Mais une considération sur laquelle nous ne saurions trop appuyer, c'est que dans toute la série des cristaux que la théorie ramène à une même forme primitive, à l'aide des lois dont nous parlerons bientôt, la forme de la molécule est invariable, relativement à la mesure de ses angles et à ses dimensions respectives; et cette constance, qui est démontrée par des faits sur lesquels il suffit d'ouvrir les yeux, et par des calculs étroitement liés avec ces faits, subsiste au milieu de toutes les diversités qui modifient la composition d'une substance. Que dans une même série de

cristaux, celui-ci soit limpide et sans couleur, que celui-là renferme un principe colorant, qu'un troisième donne, par l'analyse, une certaine quantité soit de fer, soit d'une matière quelconque dont les autres cristaux n'offrent pas la moindre trace; qu'il y ait même un des principes communs à tous les individus, qui se trouve en excès dans quelques-uns, toutes ces variations, quelle qu'en soit la cause, n'effleureront pas même la forme géométrique de la molécule intégrante : c'est comme un point fixe autour duquel tout le reste semble osciller. Si donc il y a ici un problème à résoudre, ce n'est pas celui qui consiste à expliquer comment la constance des molécules peut s'accorder avec les changemens qui interviennent dans la composition, mais celui dont le but seroit de concilier ces changemens eux-mêmes avec l'immutabilité que l'on ne peut se dispenser d'accorder à la forme des molécules.

96. Les divisions que nous avons considérées dans le noyau, s'étendent également à toute la matière enveloppante ; d'où il suit que le cristal entier n'est autre chose qu'un assemblage de molécules intégrantes, semblables à celles dont le noyau lui-même est formé. Nous supposons que ces molécules sont les mêmes qui étoient suspendues dans le liquide où s'est opérée la cristallisation, quoique nous n'en soyons pas physiquement certains, puisque celles-ci échappent à nos yeux par leur extrême ténuité; mais dans l'étude de la nature, nous ne pouvons faire plus sagement que d'adopter ce principe, *que les choses sont censées telles en elles-mêmes qu'elles s'offrent à nos observations.* Les derniers résultats sensibles de la division

mécanique des minéraux , s'ils ne nous donnent pas la figure des véritables molécules intégrantes des cristaux , méritent d'autant mieux de les remplacer dans nos conceptions , qu'en les prenant pour données nous parvenons à représenter fidèlement les faits que nous offre la nature , et à en établir la liaison et la dépendance mutuelle.

La théorie qui concerne cet objet , consiste à rechercher les lois que suivent les molécules dans leur arrangement , pour produire ces espèces d'enveloppes régulières qui déguisent une même forme primitive de tant de manières différentes.

*Des Lois auxquelles est soumise la structure  
des Cristaux.*

97. Si l'on considère attentivement les figures des lames qui recouvrent successivement le noyau d'un cristal , et que nous appelons *lames de superposition* , on s'aperçoit qu'en partant de ce noyau elles vont en décroissant progressivement , tantôt de tous les côtés à la fois , tantôt dans certaines parties seulement . Mais la différence entre chaque lame et celle qui la précède , ne peut provenir que du retranchement d'une certaine quantité de molécules intégrantes qui manquent à la première pour qu'elle soit égale à la seconde ; et parce que les bords des lames décroissantes sont constamment des lignes droites parallèles les unes aux autres sur les différentes lames , il en résulte que les différences dont nous avons parlé sont mesurées par des soustractions d'une ou plusieurs ann-

gées de molécules intégrantes. Voici donc l'énoncé du problème qui se présente à résoudre : Étant donné un cristal secondaire, et la figure de son noyau et de ses molécules intégrantes étant pareillement donnée ; supposant de plus que chacune des lames qui seront ajoutées au noyau soit dépassée par la précédente, dans certaines parties, d'une quantité égale à une, deux, trois rangées, etc., de molécules ; déterminer parmi ces différentes lois de décroissement, celles d'où résulte une forme semblable à la proposée, par le nombre, la figure, la disposition de ses faces, et par la mesure de ses angles plans et solides.

Ces sortes de problèmes ne peuvent être résolus qu'à l'aide du calcul ; mais pour faire concevoir la manière d'agir des lois dont il sert à déterminer les résultats, nous allons construire, par la méthode de synthèse, quelques formes secondaires, en rendant, pour ainsi dire, palpable la superposition et les variations des lames décroissantes sur-ajoutées au noyau.

98. Commençons par un exemple très-élémentaire tiré du dodécaèdre à plans rhombes (*fig. II*), que nous avons déjà vu (88) au rang des formes primitives, mais que nous considérons ici comme forme secondaire, dont le noyau est un cube. Pour extraire ce noyau, il suffit d'enlever successivement les six angles solides, tels que *s*, *r*, *t*, etc., composés chacun de quatre plans, par des coupes dirigées dans le sens des petites diagonales. Ces coupes mettront à découvert six carrés AEOI, EOO'E', IOO'I', etc., qui seront les faces du cube primitif.

Ce cube étant un assemblage de molécules inté-

grantes de la même forme, il faudra que chacune des pyramides qui reposent sur ses faces, soit elle-même composée de cubes égaux entre eux, et à ceux qui forment le noyau. Or, cette condition sera remplie, si la première lame, située à la base de l'une quelconque des six pyramides, a vers chacun de ses bords, une rangée de cubes de moins que dans le cas où elle couvriraient entièrement la face du noyau sur laquelle repose la pyramide, et si chacune des autres lames est de même dépassée par chaque bord de la précédente, d'une quantité égale à une rangée : car il est bien évident que, dans ce cas, toutes les lames seront uniquement composées de cubes. Cet assortiment est représenté par la *fig. 12*, où l'on voit que la dernière lame se réduit à un simple cube (1).

Cette figure a été tracée dans l'hypothèse où le noyau auroit 17 molécules sur chacun de ses bords ; et, comme les lames de superposition diminuent d'une rangée vers chacun de leurs bords opposés, il en résulte que les longueurs de ces bords sont successivement comme les nombres 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3, 1, ce qui fait huit lames pour chaque pyramide. Les faces triangulaires *Osl*, *Otl*, etc., de ces pyramides, sont produites par les bords décroissans des lames de superposition qui se trouvent évidemment sur un même plan ; en sorte qu'elles sont alternativement rentrantes et saillantes.

---

(1) On n'a placé ici que trois des pyramides sur-ajoutées au noyau ; il est facile de suppléer les autres par la pensée.

Or, il y a six pyramides, et par conséquent vingt-quatre triangles. Mais, parce que le décroissement est uniforme dans toute l'étendue des triangles adjacens sur les pyramides voisines, tels que  $O_1S_1$ ,  $O_1I_1$ , il en résulte que les triangles, pris deux à deux, forment un-rhombe.

La surface du solide sera donc composée de douze rhombes égaux et semblables, c'est-à-dire, que ce solide aura la même forme que celui qui est l'objet du problème. L'angle obtus de chaque rhombe a pour mesure  $109^{\circ} 28' 16''$  (1), et l'inclinaison de deux rhombes quelconques, adjacents entre eux, est de  $120^{\circ}$ .

Maintenant si, à cette espèce de maçonnerie grossière, mais qui à l'avantage de parler à l'œil, nous substituons l'architecture infiniment délicate de la nature, il faudra concevoir le noyau comme étant composé d'un nombre incomparablement plus grand de molécules imperceptibles; alors le nombre des lames de superposition étant lui-même considérablement augmenté, tandis que les épaisseurs de ces lames seront devenues imperceptibles, les cannelures que forment ces lames par les rentrées et saillies alternatives de leurs bords, échapperont aussi à nos sens; et c'est ce qui a lieu dans les polyèdres que la cristallisation a élaborés à l'aise, sans être ni pressée, ni troublée dans sa marche.

Pour énoncer le résultat qui vient d'être décrit, nous disons que le dodécaèdre est produit en vertu d'un dé-

---

(1) C'est une suite de ce que le rapport entre la grande diagonale de chaque rhombe et la petite, est celui de  $\sqrt{2}$  à 1.

croissement par une seule rangée , parallélement à tous les bords du noyau cubique.

99. Si l'on imagine que les lames de superposition décroissent par deux , trois rangées , ou davantage , et toujours parallélement aux différens bords du cube primitif , alors les pyramides étant plus surbaissées , leurs faces ne pourront plus se trouver deux à deux sur un même plan ; en sorte que la surface du solide secondaire sera composée de 24 triangles distincts.

100. Nous appelons *décroissemens en largeur* , ceux où chaque lame n'ayant que l'épaisseur d'une molécule , comme dans les cas que nous venons de citer , est dépassée par la précédente , d'une quantité égale à 2 , 3 rangées , ou davantage. Les *décroissemens en hauteur* sont ceux qui présentent l'effet inverse , c'est-à-dire , que chaque lame n'étant dépassée par celle qui la précède que d'une quantité égale à une rangée , peut avoir une hauteur double , ou triple , ou quadruple , etc. , de l'épaisseur d'une molécule. La limite de ces deux espèces de décroissemens a lieu lorsque la différence en largeur et la dimension en hauteur sont l'une et l'autre égales à l'unité , comme dans le dodécaèdre à plans rhombes originaire du cube (98).

101. Le dodécaèdre du fer sulfuré ( pyrite ferrugineuse ) , dont la surface est composée de 12 pentagones égaux et semblables , ainsi qu'on le voit *fig. 13* , nous offre une combinaison des deux espèces de décroissemens dont nous venons de parler. Chaque pentagone , tel que *t O's O'n* , a quatre côtés égaux , savoir , *Ot* , *O's* , *O's* , *O'n* ; le cinquième *tn* , que nous

considérons comme la base du pentagone , est plus long que les autres. Le dodécaèdre dont il s'agit ici a encore pour noyau un cube , que l'on parviendroit à extraire en faisant passer des plans coupans par les diagonales  $OI$  ,  $OE$  ,  $AE$  ,  $AI$  , etc. (*fig. 14*) , qui interceptent les angles opposés aux bases ; d'où l'on voit que les portions sur-ajoutées au noyau , au lieu d'être des pyramides , comme dans le dodécaèdre à plans rhombes , sont des espèces de coins , qui ont pour faces extérieures deux trapèzes , tels que  $OIqp$  ,  $AEpq$  , et deux triangles isocèles  $EPO$  ,  $AqI$ .

Chacune de ces parties additionnelles , par exemple celle que nous venons d'indiquer , résulte de deux décroissemens , l'un par deux rangées en largeur , parallélement à deux bords opposés  $OI$  ,  $AE$  , de la face correspondante  $AEOI$  du noyau , l'autre par deux rangées en hauteur , parallélement aux deux autres bords  $EO$  ,  $AI$  de la même face : de plus , chaque décroissement agit sur les différentes faces du cube , suivant trois directions perpendiculaires entre elles. Ainsi le décroissement par deux rangées en largeur ayant lieu sur la face  $AEOI$  , parallélement à  $OI$  et  $AE$  , comme nous l'avons dit , agit sur la face  $OII'O'$  , parallélement à  $OO'$  et  $II'$  , et sur la face  $EOO'E'$  , parallélement à  $EO$  et  $O'E'$  , et dans les mêmes sens sur les faces opposées. La marche du décroissement en hauteur , par des directions qui se croisent aussi à angle droit , se présente d'elle - même , d'après ce qui vient d'être dit.

En considérant attentivement la *fig. 15* , où l'on a rendu sensible à l'œil la distinction des lames de super-

position et des molécules dont elles sont l'assemblage, on y voit que le progrès du décroissement en largeur, qui contribue, par exemple, à la formation de la partie additionnelle  $EOIqp$ , et qui a lieu parallèlement à l'arête  $OI$  et à son opposée, étant plus rapide que celui du décroissement en hauteur, qui se fait parallèlement à l'arête  $EO$  et à son opposée, les deux faces qui naissent du premier doivent être plus inclinées que celles qui sont produites par le second; en sorte que chaque pile de lames décroissantes ne se termine plus en pointe, mais en arête  $pq$ : de plus, chaque trapèze, tel que  $OpqI$  (fig. 14), qui résulte du décroissement en largeur, étant sur le même plan que le triangle  $OzI$ , par une suite de ce que le décroissement en hauteur qui détermine celui-ci n'est que la répétition en sens contraire du décroissement en largeur, l'ensemble des deux figures forme un pentagone  $pOzIq$ ; d'où il suit que le solide secondaire est terminé par douze pentagones égaux et semblables, à cause de la figure régulière du noyau, et de la symétrie des décroissemens.

Si l'on suppose que les décroissemens agissent suivant deux autres lois, dont l'une soit toujours l'inverse de celle qui se combine avec elle, de manière qu'il y ait trois ou quatre rangées, etc., soustraites en largeur et autant en hauteur, le résultat sera encore un dodécaèdre à douze pentagones égaux et semblables; et il est bien évident que tous ces dodécaèdres différeront, soit entre eux, soit avec le précédent, par la mesure de leurs angles. Pour que l'existence de la loi, dont nous avons fait dépendre celui-ci, soit démontrée, il

faut que l'inclinaison (1) de chaque pentagone, tel que  $\triangle O s O' n$ , sur le pentagone  $\triangle I s' I' n$ , qui a la même base  $in$ , mesurée sur le dodécaèdre de la nature, soit égale à celle que détermine le calcul, en prenant pour donnée la loi dont il s'agit, et qui est de  $126^d\ 52'\ 8''$  (2) : or le goniomètre donne sensiblement  $127^d$ ; d'où l'on doit conclure que la première mesure est la limite à laquelle l'instrument atteindroit lui-même, sans les petites imperfections qui ne lui permettent d'offrir autre chose que des approximations. Ce que nous disons ici a également lieu pour toutes les autres applications de la théorie : toujours quelque loi de décroissement lui fournit un résultat, dont l'accord avec celui de l'observation est aussi satisfaisant qu'on puisse le désirer.

102. On a pris le solide, dont nous venons d'expliquer la structure, pour un dodécaèdre régulier semblable à celui de la géométrie, parce qu'on étoit porté à supposer aux cristaux les formes qui paroissent les plus simples et les plus régulières, lorsqu'on ne considère dans le polyèdre que son aspect, et comme le fantôme d'un corps physique; mais la théorie démontre que l'existence du dodécaèdre régulier n'est possible en vertu

(1) On conçoit aisément que cette inclinaison que nous choisissons de préférence, détermine tous les autres angles.

(2) Pour trouver cette inclinaison, il ne s'agit que de résoudre un triangle  $abc$  (Pl. III, fig. 16), dans lequel le côté  $ab$  soit au côté  $bc$ , comme la distance entre le bord d'une lame et celui de la suivante, donnée par le décroissement en largeur, est à l'épaisseur de chaque lame, c'est-à-dire, comme  $2 : 1$ . L'angle  $acb$  sera la moitié de l'inclinaison cherchée.

d'aucune loi de décroissement. La raison en est que le rapport de la quantité, dont chaque lame est dépassée par la suivante dans le sens de la largeur, avec l'épaisseur de la même lame, doit toujours être représenté par des nombres rationnels ; ce qui a lieu effectivement dans le dodécaèdre du fer sulfuré, où ce rapport est celui de 2 à 1 : au contraire, le rapport entre les deux dimensions correspondantes qui ont lieu dans le dodécaèdre régulier, est exprimé en nombres irrationnels, c'est-à-dire, qu'il représente une chose impossible (1). Mais le défaut de symétrie qui existe à l'extérieur dans le dodécaèdre du fer sulfuré, cache un caractère de simplicité, qui consiste en ce que la molécule étant le cube, dont la figure est remarquable par sa perfection, la loi de décroissement est en même temps celle qui donne le dodécaèdre à l'aide du moindre nombre possible de rangées soustraites ; ainsi il est vrai de dire que c'est là le dodécaèdre régulier de la Minéralogie.

103. Nous terminerons ce qui regarde les décroissances sur les bords, par un exemple tiré du dodécaèdre à faces triangulaires scalènes (*Pl. I, fig. 4*), qui est, comme nous l'avons vu (84), une des variétés de la chaux carbonatée. Ici le noyau est un rhomboïde, dont l'axe, c'est-à-dire, la ligne qui passe par les deux angles solides A, A' (*fig. 5*), composés chacun de trois angles obtus égaux, doit être situé verticalement, pour que

(1) Ce rapport est celui de  $\sqrt{3+\sqrt{5}}$  à  $\sqrt{2}$ , ainsi qu'il sera facile aux géomètres de s'en assurer ; et la mesure de l'angle formé par deux faces adjacentes, est de  $116^d\ 33'\ 32''$ , au lieu de  $126^d\ 52'\ 8''$ .

ce rhomboïde s'offre à l'œil sous son véritable aspect ; il en résulte que la symétrie n'exige plus , comme par rapport au cube , que les décroissemens qui agissent sur l'un quelconque EO des bords de l'une des faces , telle que AE<sub>0</sub>I , se répètent sur le bord opposé AI , parce que celui-ci , qui est contigu à l'un des sommets , a en quelque sorte une manière d'être différente de l'autre . Il suffit que tout ce qui se passe à l'égard du bord EO , ait également lieu par rapport aux cinq autres OI , IK , KG , GH , HE , semblablement situés . On juge , à la seule inspection de la figure , que ces six bords qui sont communs au noyau et au cristal secondaire , servent de lignes de départ à autant de décroissemens , dont l'effet est de produire des deux côtés du même bord , tel que EO , deux triangles EsO , Es'O ; ce qui fait en tout douze triangles , six vers chaque sommet .

Or , le calcul démontre que , dans le cas présent , les décroissemens se font par deux rangées en largeur , ainsi qu'on le voit *fig. 17* , Pl. III , où l'on s'est borné à tracer l'espèce de pyramide supérieure ajoutée au noyau . Les saillies et rentrées alternatives que forment les lames de superposition vers leurs bords décroissans , étant nulles pour nos sens , dans le cristal produit par la nature , la ligne Es représente une des arêtes contiguës au sommet , telle que nous la voyons sur ce même cristal ; en sorte que la différence entre le sommet géométrique *s* et le sommet physique *s'* , s'évanouit aussi , à cause de son extrême petitesse .

Tandis que les lames de superposition décroissent vers leurs bords inférieurs , elles prennent , au contraire , des accroissemens vers leurs bords supérieurs , en se re-

couvrant mutuellement de ce même côté; et c'est un principe général, que les portions de lames situées hors de la portée des décroissemens s'étendent comme elles feroient si le noyau, en conservant sa forme , augmentoit simplement de volume. Mais la théorie fait abstraction de ces variations subsidiaires , pour ne considérer que l'effet immédiat du décroissement, qui seul détermine tout le reste.

Un résultat qui a lieu généralement pour tous les dodécaèdres produits en vertu de la même loi, quels que soient les angles primitifs, consiste en ce que l'axe de chacun de ces dodécaèdres est triple de l'axe du noyau , et en ce que le rapport des solidités est le même que celui des axes : de plus, on trouve , à l'aide du calcul, que dans le dodécaèdre particulier , dont il s'agit ici , le grand angle  $OEs$  (*fig. 5, Pl. I*) de chacune des faces est rigoureusement égal à l'angle obtus  $EAI$  du noyau , c'est-à-dire , de  $101^d\ 32'\ 13''$ , et que l'incidence de deux faces voisines  $OIs$ ,  $KIs$ , sur le dodécaèdre, à l'endroit d'une des arêtes les plus saillantes  $Is$ , est égale à celle de deux faces pareillement adjacentes  $EAIO$ ,  $GAIK$ , vers un même sommet du noyau , c'est-à-dire, de  $104^d\ 28'\ 40''$ . C'est ce qui a suggéré le nom de *métastatique* que nous avons donné à cette variété , et qui indique comme le transport ou la *métastase* des angles du noyau sur le cristal secondaire. Les solutions des problèmes relatifs à la structure des cristaux , ont servi à dévoiler une multitude de semblables propriétés , et de résultats d'une géométrie qui paroîtroit mériter d'être étudiée , quand même elle ne porteroit que sur de simples spéculations. Mais cette

étude présente un double intérêt, lorsque ces propriétés, dont elle offre le développement, ont un fondement réel dans la géométrie de la nature.

104. Indépendamment des décroissemens qui ont lieu parallèlement aux bords des faces du noyau, il s'en fait aussi dont les directions sont parallèles aux diagonales; et comme ils ont des angles pour termes de départ, nous les appelons *décroissemens sur les angles*.

Soit OII'O' (*fig. 18, Pl. III*) une des faces d'un noyau cubique, soudivisée en une multitude de petits carrés qui seront les bases d'autant de molécules. On peut considérer des rangées ou des files de molécules, non-seulement dans le sens des arêtes, comme la rangée alignée suivant *aa'*, mais aussi dans le sens des diagonales, comme les rangées, dont l'une est désignée par *a, b, c, d, e, f*, etc., l'autre par *n, t, l, m, p, o, r, s*, une troisième par *q, v, k, u, x, y, z*, etc.; toute la différence consiste en ce qu'ici les molécules d'une même rangée ne se touchent que par une arête, au lieu que celles qui composent les rangées parallèles aux bords se touchent par une de leurs faces. Nous nous bornerons à un seul exemple de décroissemens sur les angles.

105. La *fig. 19* représente un octaèdre régulier qui a pour noyau un cube, dont les angles solides, comme on le voit, répondent aux centres des faces de l'octaèdre: dans ce cas, les lames de superposition décroissent par une rangée sur tous les angles des faces du noyau cubique; il en résulte qu'à l'égard de l'angle I' (*fig. 18*), que nous choisissons pour exemple, le cube

qui répond à  $i$  est soustrait sur la première lame ; que sur la seconde il y a soustraction des deux cubes , qui répondent à  $s$ ,  $s'$  ; sur la troisième , de ceux qui répondent à  $z$ ,  $h$ ,  $z'$  , et ainsi de suite ; en sorte que les bords situés de ce même côté , sur les différentes lames , sont alignés successivement comme  $BB'$ ,  $DD'$ ,  $GG'$ , etc.

Mais d'après le principe ( 103 ), que partout où le décroissement n'agit pas , le cristal s'accroît , au contraire , comme si le noyau ne faisoit lui-même qu'augmenter de volume , les lames de superposition s'étendent vers les parties situées entre leurs bords décroissans , de manière à s'envelopper mutuellement , jusqu'à ce que les bords décroissans sur une même lame venant à se toucher , il ne reste plus que l'effet des décroissemens , qui continuent leur marche jusqu'à ce qu'ils soient arrivés à leur terme.

Chacun des huit angles solides du cube deviendra donc le point du départ de trois décroissemens qui auront lieu sur les trois plans qui concourent à la formation de cet angle , d'où il suit qu'il y aura en tout 24 faces produites en vertu des décroissemens. Mais parce que les décroissemens ont lieu par une simple rangée , il arrive encore ici que les trois faces qui naissent autour d'un même angle solide sont de niveau , et ainsi les vingt-quatre faces se réduisent à huit , et , par une suite de la forme régulière du noyau , l'octaèdre secondaire est lui-même régulier. Cette structure est celle d'une variété du plomb sulfuré , connu vulgairement sous le nom de *galène*.

Dans le même cas , et en général dans tous ceux

qui ont rapport aux décroissemens sur les angles , les faces du solide secondaire ne sont plus simplement sillonnées par des stries , comme lorsque les décroissemens se font sur les bords : elles sont hérisées d'une multitude de saillies , formées par les angles solides extérieurs des molécules ; mais tous ces angles étant de niveau , et les molécules étant d'ailleurs imperceptibles , les faces du cristal paroissent former des plans lisses et continus.

La figure 20 représente l'assortiment des petits cubes qui concourent à produire une des faces *s m n* (*fig. 19*) de l'octaèdre dont nous avons parlé. Le cube *o* (*fig. 20*) est situé à l'angle solide du noyau marqué de la même lettre (*fig. 19*). Les cubes dont les faces sont traversées diagonalement par les lignes *b c*, *c r*, *r b* (*fig. 20*), appartiennent aux trois premières lames de superposition qui reposent sur les trois faces du cube adjacentes à l'angle *o*; ceux que traversent diagonalement les lignes *l d*, *d g*, *g l*, appartiennent aux trois lames suivantes. Passé ce terme , les bords décroissant se touchent , de manière que chaque lame prend la figure d'un carré , dont le côté contigu à la face *s m n* est *k u*, *x y*, ou *h z* ; et tout marche alors par des lames de cette même figure , qui vont en décroissant de tous les côtés à la fois jusqu'aux sommets *s*, *m*, *n* , de l'octaèdre , où ces lames se réduisent à un simple cube.

106. Les lois de décroissemens sont susceptibles de certaines modifications qui offrent des moyens termes entre celles dont nous avons parlé ; mais ce n'est point ici le lieu de les faire connoître , parce que notre but

n'a été que d'exposer les principes généraux de la théorie , et de donner une idée des résultats les plus ordinaires auxquels s'étendent les applications de ses méthodes.

Nous nous sommes bornés aussi à la considération des formes qui ne dépendent que d'une seule loi de décroissement , et que nous appelons *formes secondaires simples*. Mais la cristallisation nous offre très-souvent des formes que nous nommons *composées* ; et dont les faces sont produites par le concours de diverses lois de décroissement ; et lorsque quelqu'une de ces lois n'atteint pas sa limite , et que son effet reste comme interrompu , le cristal secondaire présente des faces parallèles à celles du noyau , interposées entre les facettes qui sont dues aux décroissemens.

107. Que de combinaisons renfermées dans les nombreuses modifications de ces lois , qui , tour à tour séparées sur différens corps , et offrant dans le même corps l'assemblage de plusieurs formes , agissent tantôt de préférence sur certains bords ou sur certains angles , tantôt sur les uns et les autres à la fois , se multiplient également par la diversité de leurs mesures et par celle de leurs termes de départ ; tantôt enfin masquent entièrement le noyau , et tantôt laissent subsister son empreinte , et font servir les positions constantes de ses faces à de nouvelles variations ! Et si l'on suppose que le nombre de rangées soustraites soit lui-même très-variable , et qu'il puisse y avoir des décroissemens par vingt , trente , quarante rangées ou davantage , l'imagination sera effrayée de l'immense

quantité de corps réguliers dont une seule substance pourroit peupler le monde souterrain; mais la force qui produit les soustractions paroît avoir une action très-limittée, et jusques ici nous n'avons point trouvé de lois dont la mesure excédat six rangées. Telle est cependant la fécondité qui s'allie avec cette simplicité, qu'en se bornant aux décroissemens ordinaires par une, deux, trois et quatre rangées sur les bords et sur les angles d'un rhomboïde, on démontre que cette espèce de noyau est susceptible de produire huit millions trois cent quatre-vingt-huit mille six cent quatre variétés de formes différentes, tandis que le nombre de celles qui ont été observées jusqu'à présent, ne s'étend guère au delà de soixante, relativement à la chaux carbonatée, qui est comme le Protée des minéraux.

108. Nous n'entrerons ici dans aucun détails sur la structure des formes secondaires, dont la molécule est un tétraèdre ou un prisme triangulaire; mais nous ne croyons pouvoir mieux terminer cet article, que par l'exposé d'un résultat qui sert à lier cette structure avec celle des formes originaires du parallélépipède. La liaison dont il s'agit consiste en ce que les molécules tétraédres, ou prismatiques triangulaires, sont toujours tellement assorties dans l'intérieur de la forme primitive et des cristaux secondaires, qu'en les prenant par petits groupes de deux, quatre ou six, elles composent des parallélépipèdes; en sorte que les rangées soustraites par l'effet des décroissemens, ne sont autre chose que des sommes de ces parallélépipèdes.

109. Ainsi dans le prisme hexaèdre régulier, dont l'hexagone ABCDFG (*fig. 9*, Pl. I), représente la base soudivisée en triangles, qui sont les bases d'autant de molécules, il est évident que deux triangles quelconques, voisins l'un de l'autre, tels que *Api*, *AOi*, composent un rhombe; et que par conséquent les deux prismes auxquels ils appartiennent forment, par leur réunion, un prisme droit à bases rhombes, qui est une des espèces de parallélipipèdes.

Supposons une série de lames empilées sur l'hexagone ABCDFG, et qui subissent, par exemple, sur leurs différens bords, des soustractions, dont telle soit la mesure que ces mêmes bords soient alignés successivement comme les côtés des hexagones *ilmnrh*, *kuxyge*, etc., l'effet sera le même que celui d'un décroissement par une rangée de petits parallélipipèdes, composés chacun de deux molécules. On conçoit que, dans le même cas, le résultat du décroissement est une pyramide droite hexaèdre qui repose par sa base sur l'hexagone ABCDFG.

110. Reprenons le dodécaèdre à plans rhombes (*fig. 7*), que nous avons vu (91) être un assemblage de tétraèdres, dont les faces sont des triangles isocèles égaux et semblables. Si nous partageons les douze rhombes en quatre assortimens composés chacun de trois plans, tels que ceux qui se réunissent pour former l'un quelconque des quatre angles solides *o*, *y*, *z*, *g*, nous pourrons considérer chaque assortiment, par exemple, celui qui renferme les trois plans *olrs*, *outs*, *olpu*, comme appartenant à un rhomboïde qui auroit un de ses sommets situé extérieurement en *o*, et dont

L'autre sommet, engagé dans le dodécaèdre, se confondroit avec son centre. Or, il est bien clair que, dans cette hypothèse, les vingt-quatre tétraèdres, dont le dodécaèdre est l'assemblage, se réunissent six à six pour former les quatre rhomboïdes qui ont leurs sommets extérieurs aux points *o*, *y*, *z*, *g*. Par une suite nécessaire, si l'on suppose la division mécanique poussée jusqu'à sa limite, toutes les molécules tétraèdres qui répondent à cette limite, groupées de même six à six, donneront des rhomboïdes. Or, c'est en faisant décroître les lames de superposition par une ou plusieurs rangées de ces rhomboïdes, que la théorie parvient à déterminer les formes secondaires des substances qui, comme le grenat, ont le dodécaèdre à plans rhombes pour forme primitive.

III. Nous avons donné le nom de *molécules soustractive* à ces parallélipipèdes composés de tétraèdres ou de prismes triangulaires, et dont les rangées mesurent la quantité du décroissement qu'éprouvent les lames de superposition. Le calcul n'a besoin que de ces parallélipipèdes pour arriver à son but; et l'espèce d'anatomie que subissent ensuite ces petits solides, lorsqu'on essaye de remonter jusqu'à la véritable forme de la molécule intégrante, est une affaire de pure observation, qui est étrangère à la théorie. Le parallélipipède représente ici l'unité; et peu importe qu'il y ait au delà de cette unité, des fractions formées de ses subdivisions. Au moyen de cette conformité entre les résultats donnés par les diverses formes de molécules intégrantes, la théorie a l'avantage de pouvoir généraliser son objet, en ramenant à un même élément cette

multitude de formes qui , par leur diversité , sembloient peu susceptibles de concourir en un point commun.

## 6. De la Chaleur.

112. Dans tout ce que nous avons dit jusqu'ici des corps solides , nous avons considéré leurs molécules comme réunies , d'une manière invariable , par la force de l'affinité , et nous n'avons fait attention qu'aux différentes modifications de figures qui résultoient de leur arrangement. Mais l'affinité elle-même , ou plutôt l'adhérence qu'elle produit entre les molécules , est susceptible d'une infinité de variations dépendantes d'une cause qui en balance plus ou moins l'effet , et souvent finit par le détruire entièrement.

Cette cause est ce que les physiciens ont appelé *chaleur* , et que les chimistes modernes désignent par le nom de *calorique* , que nous adopterons.

113. Le calorique n'est-il que l'effet d'un mouvement intestin , en vertu duquel les molécules des corps soient sollicitées à s'écartier ou à se rapprocher les unes des autres , suivant les circonstances ? ou bien est-ce une matière réelle , un fluide subtil et élastique , qui pénètre tous les corps , et en écarte les molécules , ou leur permette de se rapprocher , suivant que sa quantité augmente ou diminue dans chacun de ces corps ? Sans rien décider entre ces deux opinions , nous adopterons le langage qui est conforme à la seconde , en la regardant seulement comme une hypothèse plus

propre à aider la conception des phénomènes , et plus commode pour les exprimer.

Nous en userons de même dans toutes les occasions semblables , et particulièrement lorsque nous traiterons de l'électricité et du magnétisme , en désignant par le mot de *fluide* , les deux principes composans du fluide , soit électrique , soit magnétique ; non pas pour exprimer des êtres dont l'existence n'est pas suffisamment prouvée , mais pour donner , par la pensée , un sujet à l'action des forces connues qui concourent à la production des phénomènes . Du reste , nous ne perdrons pas de vue la différence que l'on doit mettre entre les véritables fluides que nous palpons , que nous coërcions dans des vases , et ces agens , sur l'existence desquels l'observation s'est tue jusqu'ici . Nous ne les plaçons point dans la nature , mais seulement dans la théorie , parce qu'ils ont l'avantage , quand ils sont bien choisis , de représenter fidèlement les résultats , d'en offrir une explication satisfaisante , et même de nous aider à les prévoir ; en sorte que s'ils ne sont pas les véritables agens employés par la nature à la production des phénomènes , ils sont censés en tenir lieu et en être les équivalens .

Nous insistons sur cette remarque , parce qu'il nous paraît essentiel au progrès des sciences , de porter partout , dans leur étude , cette justesse et cette précision d'idées , cette méthode correcte et sévère qui met chaque chose à son véritable niveau , qui évite d'en faire dire à la nature plus qu'elle n'en a dit , et de confondre une hypothèse simplement explicative , avec une vue nette des objets qui ont un fondement

réel. On peut comparer la physique à un tableau qui, pour être heureusement exécuté, doit faire ressortir la nuance expressive qui sépare la certitude de la simple vraisemblance, et où l'on doit reconnoître tour à tour une main ferme et hardie dans les traits fortement prononcés, et une main sage et mesurée, dans ceux qui demandent à être adoucis. Revenons à l'objet dont nous avions commencé à nous occuper.

C'est à la chimie qu'appartient encore le développement des effets qui dépendent de la manière dont le calorique agit dans la composition et dans la décomposition des corps. Nous le considérerons surtout dans son état ordinaire, et sous le point de vue de la physique.

### *De l'équilibre du Calorique.*

114. Pour faciliter l'intelligence des détails relatifs à l'objet qui va nous occuper, il ne sera pas inutile de donner ici, comme par anticipation, une idée du thermomètre. Cet instrument est composé d'un tube terminé en forme de boule, et rempli en partie d'une liqueur dont les dilatations et les contractions font connoître les variations que subit la température des corps en communication avec le thermomètre. Il en résulte que la colonne de liquide qui occupe le tube s'allonge et se raccourcit à mesure que la chaleur augmente et diminue, ou, si l'on veut, à mesure que la température s'élève et s'abaisse. Les mouvements de la colonne se mesurent à l'aide d'une graduation dans laquelle on distingue deux limites, dont l'une répond

au point d'abaissement de cette colonne, lorsque la température est celle de la glace fondante, et l'autre au point d'élévation de la même colonne, lorsque la température est celle de l'eau bouillante. Dans le thermomètre dit de *Réaumur*, et dans celui qu'on appelle *centigrade*, le zéro de l'échelle indique le terme de la glace fondante; mais dans le premier, l'intervalle compris entre ce terme et celui de l'eau bouillante, est divisé en 80 parties, et dans le second, en 100 parties. La soudision est continuée dans l'un et l'autre thermomètre, au-dessous du zéro, en parties égales à celles qui soudisent l'intervalle entre les deux limites.

Nous ne devons pas omettre que quand on emploie le thermomètre comme indicateur de la température de l'air ou de quelque autre corps, on suppose que la masse de cet instrument est assez petite pour que la quantité de calorique qu'il cède ou qu'il enlève aux substances environnantes, puisse être négligée sans erreur sensible. Nous donnerons dans la suite une description plus développée du thermomètre, jointe à la théorie de sa construction.

115. La présence du calorique, ou plutôt son accumulation au delà du terme où il étoit déjà parvenu, se manifeste à nous principalement par deux effets: l'un, qui a un rapport intime avec nous-mêmes, est la sensation de la chaleur; l'autre, qui est le résultat d'une observation générale relativement à tous les corps, consiste dans leur dilatation ou leur augmentation de volume.

Ces deux effets proviennent de la tendance qu'a

le calorique pour se mettre en équilibre avec lui-même; et il est nécessaire, avant tout, de nous faire une juste idée des conditions qui déterminent cet équilibre.

116. Supposons une matière homogène, telle qu'une masse d'air pénétrée de calorique. Ce fluide se répandra uniformément dans toute la masse; en sorte qu'à quelque endroit de cette masse que l'on place un thermomètre, il marquera le même degré de chaleur; et c'est dans cette distribution uniforme du calorique que consistera son équilibre, relativement au cas que nous considérons ici.

Concevons maintenant que l'on place dans la même atmosphère différens corps qui aient entre eux une température égale, mais plus basse que celle de cette atmosphère; une partie du calorique dont celle-ci étoit pénétrée, l'abandonnera pour s'introduire dans ces différens corps, où elle continuera de s'accumuler, jusqu'à ce qu'il y ait partout uniformité de température dans le système composé de ces corps et de l'atmosphère environnante. Alors le calorique sera encore en équilibre avec lui-même; mais il ne s'ensuivra pas que les différens corps dont il s'agit aient enlevé des quantités égales de calorique à l'atmosphère dans laquelle ils étoient plongés. La quantité de calorique enlevée par chaque corps, dépendra de la disposition plus ou moins grande de ce corps à admettre et à retenir le calorique dans son intérieur, à raison de son affinité particulière pour ce fluide, de la figure de ses pores et autres circonstances. C'est cette disposition plus ou moins grande d'un corps, pour se prêter

à l'accumulation du calorique, que l'on nomme en général *capacité de chaleur*.

Voici donc la manière dont on peut concevoir que l'équilibre s'établit au moyen de la répartition qui se fait entre différens corps du calorique cédé par les uns et enlevé par les autres. A mesure que le calorique s'accumule dans ceux-ci, leur affinité pour ce fluide va en diminuant : car on sait que c'est une loi générale de l'affinité, que son action s'assouplit à proportion que le corps qui l'exerce se rapproche de son point de saturation. Le contraire arrive à l'égard des premiers corps qui cèdent de leur calorique ; leur affinité pour ce fluide va en augmentant. Or, c'est au terme où il y a équilibre entre les affinités des différens corps pour le calorique, que le système entier, considéré sous ce rapport, se trouve lui-même parvenu à l'état d'équilibre.

117. Une cause particulière influe sur la durée du passage à cet état d'équilibre : cette cause est la faculté conductrice de la chaleur, c'est-à-dire, la facilité ou la promptitude plus ou moins grande avec laquelle le calorique se propage dans l'intérieur des corps de diverses natures : par exemple, les métaux sont de très-bons conducteurs de la chaleur, tandis que le verre, la résine et autres substances semblables ne possèdent que foiblement la faculté de la conduire. L'artiste qui souffle une boule à l'extrémité d'un tube de verre, tient impunément ce tube à une distance assez petite de la partie qui est dans un état d'incandescence, tandis qu'il lui seroit impossible de supporter la chaleur qu'acquéreroit, dans le même cas, un tube de fer ou de quelqu'autre métal.

118. Nous n'avons pas fait connoître tout ce qui se passe dans le phénomène que nous considérons ici. Indépendamment de la portion de calorique , dont la communication entre différens corps dépend de leur affinité pour ce fluide , il en existe une autre qui n'est point soumise à cette affinité , et que nous nommons *calorique rayonnant* , parce qu'elle s'échappe en vertu de sa seule force expansive , sous la forme de rayons susceptibles d'être réfléchis par la surface des corps , et surtout par celle des métaux polis. Le calorique rayonnant a encore cela de commun avec la lumière , qu'il traverse librement l'air , en sorte que ce fluide le transmet en ligne droite d'un corps à l'autre ; et alors , suivant les circonstances , il conserve sa propriété rayonnante , ou redevient susceptible de s'unir , par affinité , aux corps qui se présentent sur son passage. Dans le changement de température que subissent différens corps qui tendent vers l'équilibre , la quantité de calorique rayonnant enlevée par chaque corps est plus grande ou plus petite que celle qu'il cède aux autres. Or , l'équilibre a lieu , lorsque toutes les affinités des corps pour le calorique sont satisfaites , comme nous l'avons dit , et lorsque , en même temps , chaque corps renvoie aux autres autant de calorique rayonnant qu'il en reçoit ; et cette répartition égale persévère tant que le système reste à la même température.

119. Schéele est le premier qui ait considéré en physicien le calorique rayonnant (1) ; et l'on est étonné de

(1) Traité chimique de l'air et du feu , traduit par Dietrich , 1781 , p. 118 et suiv.

la sagacité avec laquelle il en a saisi tous les caractères, à une époque où ce sujet étoit entièrement neuf. Pour mieux étudier la manière d'agir de ce fluide ainsi modifié, il avoit choisi une des circonstances où les phénomènes qu'il produit se montrent d'une manière plus sensible, savoir, celle où il sort d'un poêle où le bois brûle avec activité, et dont on a laissé la porte ouverte. Le calorique, dans cet état, s'élance comme un torrent à travers l'air environnant, sans s'unir avec lui et même sans l'échauffer. Si l'expérience se fait pendant l'hiver, l'observateur apercevra distinctement la vapeur de son haleine ; ce qui n'arriveroit pas au milieu d'un air échauffé, et ce qui effectivement n'a pas lieu pendant l'été, à cause de la chaleur, qui alors est réellement combinée avec l'air, et lui communique la faculté de tenir en dissolution une plus grande quantité d'eau, comme nous l'expliquerons dans la suite. Cette émission du calorique a une si forte tendance pour se faire en ligne droite, que sa direction n'est point changée par le courant d'air qui se meut constamment vers la bouche du poêle, pour remplacer celui que la chaleur intérieure a dilaté ; en vain même agite-t-on fortement l'air situé devant la porte du poêle, la marche des rayons calorifiques n'en est pas plus dérangée que celle des rayons solaires.

120. Les métaux polis réfléchissent le calorique rayonnant suivant les mêmes lois que la lumière. Si le miroir est concave, l'action du calorique se concentre à son foyer, et un morceau de soufre, placé à ce foyer, s'allume à l'instant ; cependant le miroir ne s'échauffe pas : mais si on le met en contact avec un corps chaud,

il lui enlève une partie de sa chaleur ; de plus , si on enduit la surface du miroir d'un peu de suie , en le passant au-dessus d'une chandelle allumée , le calorique qui tombe sur ce miroir , perd sa forme rayonnante , et s'unit au métal , qui s'échauffe bientôt jusqu'au point de ne pouvoir plus être manié impunément . Les phénomènes ne sont plus les mêmes , lorsqu'on se sert d'une lame de verre ; le calorique , au lieu d'être réfléchi , pénètre le verre qui le retient engagé dans son intérieur , et dont il élève la température , en quoi il diffère de la lumière qui , dans le même cas , est en partie réfléchie , et en partie transmise .

121. D'autres expériences servent à rendre plus évidente la différence qui existe , à plusieurs égards , entre le calorique rayonnant et la lumière . Que l'on interpose un carreau de verre entre le poêle et le foyer d'un miroir concave de métal ; il se formera à ce foyer un point lumineux , mais qui sera dépourvu de chaleur . Le même effet aura lieu , si l'on reçoit immédiatement les émanations du poêle sur une des faces d'une lentille ; ce corps analysera , pour ainsi dire , les émanations , dont la partie formée de calorique rayonnant restera engagée dans la lentille , tandis que la partie formée de lumière ira produire derrière la lentille un foyer qui sera simplement lumineux sans être chaud . Tel est le précis des observations de Schéele : elles se mêloient dans son esprit à des idées sur la nature du feu , qui n'avoient pas la même justesse . Mais c'étoient des matériaux précieux qui devoient un jour se placer comme d'eux-mêmes dans l'édifice de la véritable théorie du calorique .

122. Saussure et Pictet ont confirmé , par de nouvelles

expériences, la propriété qu'ont les miroirs métalliques de réfléchir le calorique rayonnant. Ces deux savans ayant fait rougir fortement un boulet de fer de 54 millimètres, ou deux pouces, de diamètre, le laissèrent refroidir au point qu'il n'étoit plus lumineux, même dans l'obscurité. Ils avoient préalablement disposé deux miroirs concaves l'un vis-à-vis de l'autre, à environ quatre mètres ou douze pieds de distance; ils fixèrent le boulet au foyer de l'un, tandis qu'ils tenoient un thermomètre d'air au foyer de l'autre. La chambre où se faisoit l'expérience étoit exactement fermée, et toutes les précautions avoient été prises pour écarter tout ce qui auroit pu occasionner des variations accidentnelles dans la température de l'air. A peine le boulet eût-il été placé à l'un des foyers, que le thermomètre qui occupoit l'autre, et qui auparavant marquoit quatre degrés au-dessus de zéro, commença à monter, et parvint en 6 minutes à 14 degrés  $\frac{1}{2}$ , tandis qu'un second thermomètre suspendu hors du foyer, à la même distance et du boulet et de l'observateur, ne monta qu'à 6<sup>4</sup>; d'où il résulte que, dans cette expérience, la réflexion de la chaleur rayonnante a élevé la température de huit degrés et demi. Pour écarter encore mieux le soupçon que ce phénomène fut l'effet d'une lumière imperceptible pour l'œil, Pictet a répété l'expérience, en substituant au boulet de fer un matras rempli d'eau bouillante, et le thermomètre situé à l'autre foyer a indiqué une élévation de température de plus d'un degré (1).

---

(1) Saussure, Voyage dans les Alpes, No. 926.

123. Ces expériences ont été suivies d'une autre très curieuse , capable d'en imposer à un observateur moins éclairé , qui n'eût pas été persuadé d'avance que le froid ne peut être réfléchi (1). L'appareil ayant été disposé comme dans les expériences précédentes , on plaça un thermomètre d'air au foyer d'un des miroirs , et un matras plein de neige au foyer de l'autre ; à l'instant le thermomètre descendit de plusieurs degrés , et remonta ensuite , aussitôt qu'on eût enlevé le matras : celui-ci ayant été remis au foyer du même miroir , on versa de l'acide nitrique sur la neige , et l'augmentation de froid qui en résulta fit descendre le thermomètre de cinq ou six degrés.

Le premier moment fut celui de la surprise ; et l'explication du phénomène suivit de près. Pour la concevoir , supprimons par la pensée les deux miroirs ; il arrivera au thermomètre la même chose qu'aux corps environnans , c'est-à-dire , qu'il cédera une partie de son calorique , qui , de proche en proche , ira se communiquer à la neige , en vertu de l'affinité qu'elle exerce pour attirer à elle ce fluide : une autre quantité de calorique s'échappera du thermomètre sous forme rayonnante , et se distribuera entre le matras et les corps environnans. Replaçons maintenant les deux miroirs : alors la portion de calorique rayonnant qui eût été perdue pour la neige , tombant sur le miroir , au foyer duquel se trouve le thermomètre , sera réfléchie vers l'autre

---

(1) Essais de physique , par Pictet ; Genève , 1790 , p. 81 et suiv. On trouve aussi dans cet ouvrage les détails relatifs aux expériences précédentes.

miroir, et de là au matras, qui l'absorbera aussitôt; et cet effet, qui se répétera continuellement, déterminera une émission beaucoup plus abondante et plus rapide du calorique rayonnant fourni par le thermomètre, que celle qui auroit eu lieu sans l'intervention des miroirs. On a ici le même avantage pour diminuer la chaleur du thermomètre, qu'on avoit pour l'accroître, lorsqu'au lieu d'un corps plus froid que lui, on plaçoit au foyer de l'autre miroir un corps plus chaud; seulement, dans l'expérience du matras, les rayons du calorique prennent une route opposée à celle qu'ils suivent dans l'expérience du boulet; et c'est ce changement de direction qui en impose à l'imagination, en lui offrant une véritable réflexion du calorique sous l'apparence d'un froid réfléchi.

### *De la Chaleur spécifique.*

124. Nous n'avons aucun moyen pour évaluer la quantité absolue de calorique d'un corps; nous ne pouvons même déterminer les rapports entre les quantités de calorique des différens corps, comme nous déterminons ceux qui existent entre leurs densités, quoiqu'il n'y ait aucun corps dont la densité absolue nous soit connue. Nous sommes réduits à comparer entre elles les augmentations de chaleur reçues par divers corps dont la température s'est élevée d'un égal nombre de degrés, ce qui ne peut même avoir lieu qu'entre certaines limites. Voici le principe sur lequel est fondée cette comparaison.

125. Des observations , dont nous parlerons plus bas , prouvent que dans le thermomètre à mercure , les dilatations sont proportionnelles aux accroissemens de chaleur que reçoit le liquide , du moins depuis le degré de la congélation jusqu'à celui de l'eau bouillante ; il en résulte que si l'on chauffe un corps de plus en plus , de manière que sa température reste entre les deux limites dont nous venons de parler , les dilatations du mercure , dans un thermomètre pris pour indice de l'élévation de température , seront aussi en rapport avec les augmentations de chaleur acquises par le corps soumis à l'expérience . Si l'on suppose , par exemple , que la température soit d'abord à zéro , lorsqu'ensuite le thermomètre sera monté à dix degrés , l'augmentation de chaleur que le corps aura reçue sera double de celle qui avoit lieu , au moment où le thermomètre ne marquoit que cinq degrés .

126. Concevons maintenant que l'on mêle ensemble un kilogramme ou deux livres d'eau à la température de 34 degrés au-dessus de zéro , avec un kilogramme de mercure à la température de zéro ; l'eau cédera au mercure une partie de sa chaleur , jusqu'à ce qu'il y ait équilibre , c'est-à-dire , jusqu'à ce que la température des différentes parties du mélange soit parvenue à l'uniformité ; or , à ce terme , un thermomètre plongé dans le mélange , indiqueroit une température de 33 degrés . Nous en concluerons que l'eau a perdu la quantité de chaleur nécessaire pour éléver sa température d'un degré , et que cette même quantité de chaleur est capable d'éléver de 33 degrés la température du mercure ; d'où il suit que la quantité requise pour éléver celle-ci d'un

degré, n'est que la 33.<sup>e</sup> partie de celle qui produiroit le même effet par rapport à l'eau.

127. On a appelé *chaleurs spécifiques* ces quantités de chaleur capables de produire dans des corps égaux en masse, des élévarions égales de température, en prenant un degré du thermomètre pour terme de comparaison ; et parce que ces élévarions de température dépendent du plus ou moins de disposition qu'ont les corps pour s'unir au calorique, on a donné aussi aux quantités de chaleur dont il s'agit, le nom de *capacités relatives de chaleur*. Mais nous préférerons la première dénomination, comme offrant une expression plus exacte de l'idée qu'on y attache.

128. Si l'on représente par l'unité la quantité de chaleur capable d'élever d'un degré la température de l'eau commune, on aura pour la quantité de chaleur correspondante, relativement au mercure, 0,0303, et l'on pourra, de cette manière, déterminer en unités et en parties de l'unité les chaleurs spécifiques des différens corps rapportées à celle de l'eau, qui servira ici de mesure commune, comme dans la comparaison des densités.

129. Ainsi, dans l'incertitude où nous sommes sur les quantités absolues de chaleur que renferment les corps, nous nous bornons à comparer les différences que subissent ces quantités entre deux points d'équilibre. Le rapport de ces différences donneroit celui des quantités absolues elles-mêmes, si nous étions sûrs que les degrés du thermomètre en-dessous du terme de la congélation, et au-dessus du terme de l'eau bouillante, mesurassent des quantités proportionnelles de chaleur perdue ou acquise, comme cela a lieu entre les deux

limites dont il s'agit. Mais cette hypothèse est au moins très-hasardée, et auroit besoin d'être vérifiée par un grand nombre d'expériences.

130. La méthode de Crawford, et de plusieurs autres physiciens, pour déterminer les chaleurs spécifiques de différentes substances, étoit semblable à celle dont nous avons parlé (126), en citant pour exemple le mercure mêlé avec l'eau : on avoit alors égard à la chaleur spécifique particulière du vase que l'on employoit, et on ramenoit le résultat à l'hypothèse où son influence auroit été nulle ; mais il eût fallu encore tenir compte de la chaleur dérobée par l'air et les autres corps environnans ; et, d'ailleurs, il étoit difficile de s'assurer si toutes les parties du mélange avoient la même température. Ces inconveniens disparaissent dans l'usage du calorimètre, imaginé par Lavoisier et Laplace, et qui réunit au mérite de la précision, celui d'être seul applicable aux cas où les substances exercent une action chimique les unes sur les autres (1). Nous décrirons cet instrument lorsque nous aurons développé quelques principes, dont la connoissance est nécessaire pour avoir une juste idée de sa manière d'agir.

131. Revenons un instant sur les sensations variées que produit en nous le calorique, suivant les diverses températures des corps qui sont à notre portée. Une

(1) Voyez le Mémoire publié par ces deux savans célèbres, parmi ceux de l'Académie des sciences, pour l'année 1780, p. 355 et suiv., où l'on trouve la réunion de ce que la théorie et l'expérience peuvent offrir de plus satisfaisant sur les phénomènes produits par la chaleur.

substance qui est en contact avec notre main , et dont la température est plus élevée que celle de cette main , lui cède une portion de son calorique , qui dépend du rapport entre les chaleurs spécifiques ; et à l'occasion de la sensation qui en résulte , nous disons de cette substance qu'elle est chaude ; au contraire , une substance que nous touchons , et dont la température est plus basse que celle de notre main , lui enlève une portion de son calorique ; et à l'occasion de la sensation qu'excite en nous cette privation de calorique , nous disons que cette substance est froide . Ainsi , la température de notre corps est à notre égard la limite du chaud et du froid ; mais , au fond , il n'y a ici qu'une différence du plus au moins entre deux modifications qui nous paraissent opposées , d'après le témoignage de nos sens : aussi , à proportion que la limite varie , c'est-à-dire , que la température de notre corps s'élève et s'abaisse , nous jugeons froide la même substance , qui nous aurait paru chaude dans une autre circonstance , et réciproquement .

Tout le monde sait que nous trouvons les caves froides pendant l'été , et chaudes pendant l'hiver . Le contraste de ces deux sensations provient de ce que la température des souterrains dont il s'agit étant à peu près constante , son degré est intermédiaire entre ceux auxquels répond la température de notre corps dans les deux saisons .

*Des effets du Calorique , pour produire dans  
les Corps un changement d'état.*

132. Les molécules d'un corps que nous supposons à l'état de solidité , sont réunies par la force d'affinité , qui produit leur adhérence mutuelle ; mais cette adhérence est plus ou moins affoiblie par la force élastique du calorique interposé entre les molécules , et qui tend à les écarter les unes des autres. Ainsi ces molécules sont continuellement sollicitées par deux forces contraires , dont les actions se balancent : à ces deux forces il s'en joint une troisième ; savoir , la pression des fluides environnans , qui s'oppose à l'effet du calorique pour écarter les molécules ; mais l'action de cette dernière force n'est sensible que dans le passage d'un corps de l'état de liquide à celui de fluide élastique.

133. Tant que la force élastique du calorique augmente assez peu la distance entre les molécules du corps , pour que l'affinité conserve une grande partie de son énergie (1) , en sorte qu'on ne puisse vaincre l'adhérence qui en résulte , sans employer un effort plus ou moins considérable , le corps reste à l'état de

(1) On peut supposer que la force élastique du calorique décroisse dans un plus grand rapport que l'affinité , à mesure que les molécules du corps s'écartent les unes des autres. Lorsque la première de ces forces , qui d'abord étoit prépondérante , sera parvenue à l'équilibre avec la seconde , le corps cessera de se dilater s'il ne reçoit plus de calorique. Or , il est évident que si , à ce terme , une force quelconque

solidité; seulement, à mesure qu'il reçoit de petites quantités additionnelles de calorique, il passe par différens degrés de dilatation, qui font varier son volume sans altérer sensiblement sa consistance.

134. Mais lorsque le calorique est accumulé dans un corps, au point de balancer assez la force de l'affinité, pour que les molécules puissent se mouvoir librement en tous sens, et céder à la plus légère pression, le corps devient liquide.

A ce terme, il se présente un phénomène remarquable, qui consiste en ce que les nouvelles quantités de calorique qui surviennent, depuis l'instant où commence la liquidité, sont absorbées par le corps à mesure qu'il les reçoit, et se trouvent uniquement employées à fondre de nouvelles couches; en sorte qu'un thermomètre, placé dans la glace qui commence à se résoudre en eau, reste stationnaire au degré de zéro, jusqu'à ce que cette glace soit entièrement fondue.

135. Maintenant, si l'on suppose que le calorique continue de s'introduire dans le corps déjà parvenu à l'état de liquide, alors son effort se déploira contre l'obstacle que lui oppose la pression de l'atmosphère; et lorsque cet obstacle sera vaincu, le calorique entraînera avec lui les molécules du liquide, et les convertira en fluide élastique,

---

agissoit pour séparer davantage les molécules, elle éprouveroit, de la part de l'affinité, une résistance qui ne seroit pas balancée par l'élasticité du calorique, puisque celle-ci perdroit plus que l'affinité; d'où il suit que le corps doit rester à l'état de solidité, tant que l'accumulation du calorique ne passera pas un certain degré,

Ici, le phénomène qui avoit déjà eu lieu pendant la conversion du solide en liquide, se reproduit avec les mêmes circonstances, c'est-à-dire, que, pendant tout le temps du passage à l'état élastique, les nouvelles quantités de calorique qui arrivent au corps sont uniquement employées à convertir de nouvelles couches en fluide élastique; en sorte, par exemple, que la température de l'eau, dans le cas dont il s'agit ici, se maintient constamment à quatre-vingts degrés du thermomètre dit de Réaumur.

136. Dans le retour des mêmes corps à leur état précédent, la chaleur absorbée reparoît toute entière avec ses caractères. Ainsi l'on sait, par expérience, que quand on a mêlé un kilogramme ou deux livres de glace avec un kilogramme d'eau à 60°, on a deux kilogrammes d'eau à zéro, pour résultat du mélange; d'où il suit que la glace, en passant à l'état de liquide, absorbe 60° de chaleur qu'elle enlève à l'eau chaude en contact avec elle. Maintenant si l'on suppose que l'eau retourne à l'état de glace, elle développera, pendant sa congélation, une égale quantité de chaleur mesurée par 60°, et qui se communiquera aux corps environnans; de même lorsque l'eau réduite en vapeurs redévient liquide, elle remet en activité toute la quantité de chaleur qu'elle avoit absorbée et qu'elle tenoit déguisée.

137. On a donné le nom de *chaleur latente* à celle qui est uniquement employée à faire passer un corps d'un état à un autre, et dont l'effet devient nul par rapport au thermomètre; et l'on a appelé *chaleur sensible*, celle qui est susceptible d'agir sur cet instrument.

Ainsi, lorsque la glace devient liquide, il y a une quantité de chaleur de 60<sup>d</sup> qui se convertit en chaleur latente ; en sorte qu'elle est à l'égard des corps environnans et du thermomètre, comme si elle n'existoit plus : réciproquement, lorsque l'eau liquide devient glace, une pareille quantité de chaleur latente reprend le caractère de chaleur sensible ; elle se transmet aux corps voisins, et sa présence est indiquée par le thermomètre.

138. La chaleur sensible est combinée, jusqu'à un certain point, avec le corps qui la renferme ; de manière cependant que ce corps conserve une disposition prochainé à en céder une partie aux corps environnans, dont la température seroit plus basse que la sienne. A l'égard de la chaleur latente, les physiciens l'ont envisagée sous deux points de vue différens : suivant les uns, elle se fixe dans le corps qui change d'état, et cet effet est analogue à ce qui se passe dans la cristallisation d'un sel, qui s'approprie une portion du dissolvant ; en sorte que celle-ci, engagée dans le cristal, perd toutes ses apparences et n'a plus rien de ce qui caractérise une substance humide. Les autres pensent que la capacité du corps qui a passé de l'état de solide à celui de liquide, ou de ce dernier à l'état de vapeurs, se trouve augmentée. Or, de deux substances qui ont différentes capacités de chaleur, celle qui jouit le plus de cette faculté, a besoin d'une plus grande quantité de chaleur pour être tenue à la même température ; et de là vient, dans l'opinion dont il s'agit ici, que la glace qui se résoud en eau absorbe 60<sup>d</sup> de chaleur, qui forment comme le com-

plément de celle qu'exige son nouvel état. Par une raison semblable, la capacité de chaleur d'un corps qui a passé de l'état de vapeurs à celui de liquide, ou de ce dernier à l'état de solide, se trouve diminuée. Mais nous ne connaissons jusqu'ici aucune observation qui fournisse une raison de préférence en faveur de l'une ou de l'autre opinion.

139. Nous sommes maintenant à portée de concevoir les effets du calorimètre : ils consistent, en général, à déterminer la chaleur spécifique d'un corps, d'après la quantité de glace que ce corps échauffé d'un certain nombre de degrés au-dessus de zéro, est capable de fondre par son contact, pendant que sa température descend à zéro. La quantité de glace fondue dans ce cas est exactement proportionnelle à la chaleur perdue par le corps, et par conséquent à celle qu'il faudroit employer pour éléver la température de ce corps du même nombre de degrés dont elle s'est abaissée.

Rappelons-nous ici que si l'on mêle un kilogramme d'eau échauffée à  $60^{\circ}$ , avec un kilogramme de glace, on aura après la fonte de la glace deux kilogrammes d'eau à zéro. Il en résulte que la quantité de chaleur nécessaire pour fondre un kilogramme de glace donne la mesure de celle qui seroit capable d'éléver la température d'un kilogramme d'eau, depuis zéro jusqu'à  $60^{\circ}$ . Donc, si un kilogramme d'une autre substance ne fond qu'un demi-kilogramme de glace, en passant à la température de zéro, nous en concluerons que sa chaleur spécifique est à celle de l'eau comme 0,5 est à l'unité. Si elle n'en fond qu'un

quart de kilogramme, le rapport sera celui de 0,25 à 1; et ainsi l'unité, dans le cas présent, sera la quantité de chaleur, qui, relativement à un kilogramme d'eau, répond à l'intervalle entre zéro et 60<sup>d</sup> au-dessus.

Cela posé, si l'on divise la quantité de glace qu'un corps quelconque a fondue en se refroidissant jusqu'à zéro, par le produit de la masse du corps rapportée au kilogramme, et du nombre de degrés auquel s'élevoit la température primitive, on aura d'abord la quantité de glace qu'un kilogramme du même corps est susceptible de fondre, par un abaissement d'un simple degré de température. Multipliant ensuite le résultat par 60, on aura la quantité de glace qui auroit été fondue, si la température étoit descendue de 60<sup>d</sup> à zéro, ce qui donnera en même temps la chaleur spécifique du corps rapportée à celle de l'eau, prise pour unité.

L'instrument est une espèce de cage, dont l'intérieur est partagé en trois cavités renfermées l'une dans l'autre. La cavité intérieure, ou la plus voisine du centre, est formée d'un grillage de fer, sur lequel repose le corps dont on veut connoître la chaleur spécifique; la suivante, ou la cavité moyenne, est destinée à contenir de la glace pilée qui doit environner la cavité intérieure, et être fondue par la chaleur du corps soumis à l'expérience; la troisième, ou la cavité extérieure, reçoit une autre quantité de glace, dont l'effet est d'arrêter la chaleur de l'air et des corps environnans. Au moment de l'expérience, la température de la glace doit être à zéro; et il est bon que celle de l'appartement ne soit pas au-dessous de ce terme. La quantité d'eau produite

par la fonte de la glace renfermée dans la cavité moyenne s'écoule , à l'aide d'un robinet , dans un vase situé sous la machine ; et l'on est bien sûr que cette eau provient uniquement de la chaleur perdue par le corps soumis à l'expérience , puisque la glace qui est dans la même cavité se trouve garantie par celle qui l'environne de l'impression de toute chaleur étrangère . L'air et les corps voisins ne peuvent agir que sur la couche de glace située à l'extérieur , et l'eau qui , dans ce cas , est le produit de leur action , coule le long d'un tuyau qui la reçoit séparément .

140. Rendons sensible par un exemple , la manière de soumettre au calcul le résultat de l'observation . Supposons qu'un corps du poids de 7,7 , échauffé à 78° au-dessus de zéro , ait fondu 1,1 kil. de glace , en passant à la température de zéro ; si l'on divise 1,1 par le produit de 7,7 et de 78 , on aura 0,0018 pour la quantité de glace qu'un kilogramme du même corps seroit capable de fondre , en se refroidissant d'un degré . Ce résultat multiplié par 60 donnera 0,1080 pour la chaleur spécifique du corps rapportée à celle de l'eau .

Si le corps est lui-même un liquide , on le renfermera dans un vase dont on aura déterminé la chaleur spécifique . On soustraira de la quantité de glace fondue la partie que le vase a dû produire , ce qui donnera la quantité obtenue par le refroidissement du liquide ; et du reste l'opération sera la même que pour les corps solides .

141. Nous avons dit que la pression des fluides environnans se joint à l'affinité , pour balancer la force du

du calorique, qui tend à écarter les molécules des corps, mais que l'effet de cette pression n'est sensible que dans le passage d'un corps à l'état élastique. Si après avoir placé sous le récipient un vase qui renferme un liquide, on supprime la pression de l'air au moyen de la machine pneumatique, le liquide se convertira en vapeurs, par une température beaucoup plus basse que dans le cas où il se trouveroit exposé à l'air libre. Il résulte même des expériences de Prony, que l'on peut pousser le vide assez loin pour déterminer le passage de l'eau à l'état élastique, par une température qui s'élève à peine au-dessus de zéro, tandis que ce liquide a besoin d'une chaleur mesurée par  $80^{\circ}$ , pour arriver à l'état élastique, sous la pression de l'atmosphère. Par une suite des mêmes principes, si on s'élève sur une montagne, avec un vase rempli d'eau, la colonne d'air devenant plus courte à mesure que l'on monte, la diminution de pression qui en résulte, peut être assez sensible pour donner lieu à la conversion du liquide en fluide élastique.

142. Cette gradation de passages d'un corps solide, d'abord à l'état de liquidité, et ensuite à l'état de fluidité élastique, n'a été vue et présentée, pendant long-temps, par les physiciens, que d'une manière imparfaite. On ne considéroit, dans ces passages, que l'action du feu qui commençoit par dilater un corps, puis le mettoit en fusion, ou le convertissoit en liquide, et enfin le réduisoit en vapeurs. La chimie moderne a complété le tableau du phénomène, en réunissant, sous un même point de vue, les actions de ces différentes forces, qui luttent sans cesse entre

elles , et qui , suivant qu'elles dominent tour à tour , déterminent tous les passages entre l'état d'un corps dont toutes les molécules forment une masse solide et compacte , et l'état du même corps , atténué au point de devenir impalpable et de disparaître à nos yeux.

143. Ce point de vue peut servir encore à présenter , sous un nouveau jour , la théorie du calorique , en ce qu'il met en regard des phénomènes que le commun des hommes ne rapproche pas , et que l'on a même distingués par le langage : telle est , par exemple , d'une part , la conversion du fer solide en fer liquide , par l'action du feu , ou son retour au premier état , par le refroidissement ; et d'une autre part , la fonte de l'eau glacée , ou le passage de l'eau liquide à l'état de glace. Ces phénomènes ne diffèrent que par les circonstances et par le plus ou moins de calorique employé à les produire ; en sorte qu'il est vrai de dire que la liquéfaction du fer , par la chaleur , est le *dégel* du fer , et que son retour à l'état de consistance , par le refroidissement , est la *congélation* du fer. Le physicien s'accoutume ainsi à considérer sous un même aspect , et à rapprocher dans ses conceptions , des effets , dont l'un est l'image fidèle de l'autre.

144. Les résultats de l'action du calorique pour balancer l'affinité des molécules d'un corps solide , au point d'amener d'abord le passage à l'état de liquide , et d'entraîner enfin avec lui les molécules sous la forme de vapeurs , sont limités par l'observation à un certain nombre de substances. Mais ils ont reçu de la théorie une

généralité à laquelle on ne pouvoit se refuser , et on en a tiré la conséquence , que tous les corps de la nature sont susceptibles par eux-mêmes des trois états dont nous venons de parler ; et qu'une grande partie de ces corps ne paroissent fixes , que faute de pouvoir acquérir ou perdre la quantité de calorique suffisante pour déterminer leur passage d'un état à l'autre . La plus grande différence qui puisse exister entre la température des climats où l'on ressent les plus vives ardeurs du soleil , et de ceux que la grande obliquité de ses rayons laisse exposés au froid le plus rigoureux , ne produit guères d'effets sensibles , que par rapport à l'eau , qui conserve constamment sa liquidité dans les régions voisines de l'équateur , et ne la perd que par intervalles dans nos climats , tandis que vers le pôle , d'énormes glaçons ne peuvent échapper à l'action constante de la cause qui les a durcis , qu'en venant , comme des montagnes flottantes , se fondre dans les mers des régions tempérées .

145. La puissance de l'art a surpassé de beaucoup celle de la nature . Nous verrons , en parlant de l'eau , jusqu'à quel point on a poussé l'action d'un froid artificiel , au delà de celui qui répond à la congélation de ce liquide . Mais c'est par les effets de la chaleur , pour reculer la limite opposée , que la plupart des passages à un nouvel état ont été déterminés . En concentrant l'action des rayons solaires dans le foyer d'un verre ardent , on a réussi à fondre des corps qui avoient résisté jusqu'alors à toute l'activité du feu de nos fourneaux , et à volatiliser l'or et différentes substances métalliques .

146. Il sembloit que ce fut le dernier effort de l'art pour augmenter l'intensité de l'action du calorique. La chimie moderne a été encore plus loin, en substituant au feu céleste un feu ordinaire, auquel on fournit l'air vital, son aliment, dans l'état de pureté; au moyen de la flamme, animée par un courant de ce gaz, on a volatilisé les métaux plus promptement et plus facilement qu'au foyer de la lentille; et quelques-uns, tels que le cuivre, qui s'étoient seulement oxydés par ce dernier moyen, ont été volatilisés en entier. Plusieurs pierres très-réfractaires ont été fondues, d'autres ont subi seulement un premier degré de ramollissement, et de ce nombre, sont le quartz pur et une partie des pierres gemmes.

147. Mais ces limites sont encore très-éloignées de celles qu'il faudroit que les forces de la nature ou de l'art fussent capables d'atteindre, pour que les trois degrés de solidité, de liquidité ou de fluidité élastique pussent être réalisés relativement à chaque substance; en sorte que plusieurs corps, dans l'ordre actuel des choses, peuvent être considérés, les uns, comme étant à l'état de permanence, les autres, comme étant tout au plus susceptibles de passer à l'un des états voisins de celui dans lequel ils existent habituellement. Ainsi, nous ne pouvons pas présumer que l'on voie jamais le quartz se volatiliser, ou l'alkohol et l'éther se congeler; et l'air atmosphérique est pour nous placé, sans retour, dans la classe des fluides élastiques et invisibles.

148. Un autre fait qui est lié avec ceux que nous avons exposés, c'est que tout corps qui se dilate,

quelle que soit la cause de cette dilatation , enlève du calorique aux corps environnans ; et au contraire , tout corps dont le volume se resserre , quelle que soit de même la cause de cette contraction , cède de son calorique aux corps environnans. Lorsqu'on dilate l'air renfermé sous un récipient , en faisant le vide au moyen de la machine pneumatique , un thermomètre , placé au milieu de cet air , baisse à l'instant ; si au contraire on comprime l'air , on verra le thermomètre monter. Ordinairement ces variations du thermomètre n'excèdent guères un ou deux degrés ; mais il paroît que la quantité de chaleur absorbée ou dégagée dans ces expériences , surpassé de beaucoup celle que l'on pourroit conclure de la simple indication du thermomètre ; car elle doit correspondre à une différence de température beaucoup plus grande à l'égard de l'air , que par rapport à l'instrument , dont la masse l'emporte considérablement sur celle de l'air ; et d'ailleurs , les corps voisins restituent , en partie , la chaleur qui a disparu , ou dérobent de celle qui s'est dégagée ; ce qui tend encore à diminuer l'effet indiqué par le thermomètre.

149. Ici revient le même partage d'opinions entre les physiciens , dont les uns pensent que la quantité de chaleur qui disparaît dans la dilatation , se combine avec le corps , et que celle qui reparoît dans la condensation , se dégage de la combinaison ; tandis que les autres , pour expliquer les mêmes effets , supposent que la capacité de chaleur augmente lorsque le corps se dilate , et diminue lorsqu'il se condense. Dans le cas d'une dilatation toujours croissante ,

la capacité de chaleur , suivant cette hypothèse , devoit croître elle-même de plus en plus ; et l'on a été jusqu'à en conclure que le vide , quoiqu'il ne fût qu'un simple espace , avoit une capacité de chaleur plus grande que celle d'un égal volume d'air , quelque dilaté que fût ce fluide ; c'est-à-dire , que le vide donnoit le *maximum* de ce genre de variations.

150. Ce qui précède peut servir à rendre raison de plusieurs effets très-connus.

Par exemple , si l'on enveloppe d'un linge fin la boule du thermomètre , et qu'on humecte ce linge avec de l'éther , en agitant le thermomètre dans l'air , pour renouveler les points de contact et faciliter l'évaporation , qui n'est autre chose , ainsi que nous le verrons dans la suite , qu'une espèce de raréfaction , on parviendra à faire descendre très-sensiblement la liqueur du thermomètre ; de là encore la sensation de froid que l'on éprouve pendant l'évaporation d'une goutte de liqueur spirituuse que l'on a versée sur la main. Il sera de même facile d'expliquer un fait , qui présente une espèce de paradoxe , et qui a lieu , lorsqu'aux premiers rayons du soleil , c'est-à-dire , à la renaissance de la chaleur , le thermomètre baisse pendant un instant. Cet effet provient de ce que la petite quantité de rosée dont le thermomètre est humecté , venant à s'évaporer , par l'action du soleil , le thermomètre lui cède une portion de son calorique. On sait , d'une autre part , que quand on bat une barre de fer chaud , chaque coup de marteau , en rapprochant les molécules , fait sortir des jets de calorique rayonnant , qui deviennent sensibles par l'impression de chaleur qu'ils excitent tout à l'entour.

On a énoncé ces différens effets par cette espèce d'axiome, que *les corps sont des éponges de chaleur*.

151. Plusieurs physiciens ont essayé d'expliquer, d'après les mêmes principes, le développement de chaleur qui a lieu par le frottement des corps. On considéroit ce frottement comme une espèce d'écrouissement, qui tendoit à condenser les parties sur lesquelles il agissoit, et exprimoit plus ou moins le calorique contenu dans le corps, suivant que les molécules se trouvoient plus ou moins rapprochées.

Nous allons maintenant reprendre les divers états dont nous venons d'établir la gradation d'une manière générale, pour les considérer successivement par rapport à différens corps particuliers.

### *Des Dilatations de divers Solides.*

152. On a cherché à déterminer les dilatations de plusieurs substances solides, surtout de celles à l'égard desquelles cette détermination devenoit intéressante par la précision qui peut en résulter dans certaines opérations des arts; ainsi l'on a trouvé que, pour chaque degré du thermomètre dit de Réaumur, le fer se dilate d'environ  $\frac{1}{75000}$  de chacune de ses dimensions, le cuivre de  $\frac{1}{43000}$ , et le verre de  $\frac{1}{10000}$ .

153. Pour estimer la dilatation d'une des surfaces d'un solide, lorsque l'on connaît le rapport de dilatation de la substance dont il est composé, on multiplie la fraction qui représente ce rapport par le nombre de degrés dont la température a été élevée, puis l'on prend la

double du résultat ; et pour évaluer la dilatation de tout le volume , on triple le même résultat ; par exemple , si l'on a une masse de fer qui se soit dilatée , en passant d'une température de  $10^{\circ}$  du thermomètre dit de Réanmur à celle de  $15^{\circ}$  , ce qui fait 5 degrés d'élévation pour la température , on multiplie par 5 la fraction  $\frac{1}{5000}$  , qui exprime le rapport de dilatation du fer ; et en triplant le résultat , on a  $\frac{15}{5000}$  ou  $\frac{1}{3333}$  , ce qui fait connoître que le corps s'est dilaté d'une quantité égale à  $\frac{1}{3333}$  de son volume. Les géomètres verront aisément que cette méthode se réduit à considérer le corps comme un parallélipipède , dont la solidité seroit le produit des trois dimensions de ce corps , et à chercher ensuite l'accroissement de cette solidité , en faisant varier chaque dimension d'après la loi donnée de la dilatation , et en rejetant du résultat les quantités affectées des puissances qui passent le premier degré. L'erreur produite par cette omission est censée nulle par rapport à ce genre de résultats. On suppose , dans ces évaluations , que les degrés de dilatation suivent sensiblement les variations de la température ; supposition permise dans le cas présent , parce que les corps que l'on considère ont une température modérée , et sont encore loin de la fusion , où l'action du calorique acquiert une si grande prépondérance sur l'affinité , que la dilatation prend une marche beaucoup plus rapide que celle de la température.

154. Sgravesande a imaginé l'expérience suivante pour prouver la dilatabilité des métaux par la chaleur. Il se servoit d'une lame de cuivre évidée en forme d'anneau , et d'un globe du même métal , dont le dia-

mètre étoit précisément égal à celui de l'ouverture de l'anneau , en sorte que quand celui-ci étoit à la température ordinaire , le globe passoit par son ouverture sans laisser d'interstice sensible ; lorsqu'ensuite ce globe avoit été chassé , il étoit soutenu par l'anneau , quelque position qu'on lui fit prendre .

155. La dilatabilité du verre se prouve à l'aide d'une expérience , dont le résultat excite toujours la surprise de ceux qui la voient pour la première fois . On prend un tube de verre d'un petit diamètre , terminé par une boule de la grosseur d'une orange ; on remplit la boule et une partie du tube d'une liqueur colorée , et l'on marque sur le tube l'endroit où elle s'arrête ; on plonge la boule dans un vase rempli d'eau prête à bouillir , puis on la retire : au moment de l'immersion , la liqueur du tube descend précipitamment d'une quantité considérable ; mais elle remonte un peu plus haut que la marque faite sur ce tube , dès que l'on a retiré la boule de l'eau chaude . Dans cette expérience , la chaleur qui se communique d'abord au verre en dilate les parties , ce qui augmente la capacité de la boule , et fait descendre la liqueur ; la boule retirée ensuite de l'eau chaude , et remise en contact avec l'air , se resserre , et la liqueur qui a déjà acquis une petite quantité de chaleur , s'élève un peu au-dessus de son premier niveau .

156. La matière des poteries que l'on fabrique pour nos usages , étant par elle-même un mauvais conducteur de la chaleur , surtout si son tissu est compacte et serré , il en résulte un inconvénient qui devient plus ou moins sensible , lorsque nous exposons ces vases à l'action de

la chaleur. Ce fluide, par une suite de la lenteur avec laquelle il se distribue, s'accumulant aux endroits qui lui offrent un plus libre accès, tend à y produire un écartement entre les molécules ; et en supposant que par des précautions on évite les ruptures qui mettent un vase hors de service, il s'y fait, dès la première fois qu'on l'expose au feu, une multitude de petites gerçures, qui s'annoncent par une espèce de pétillement, et qui deviennent apparentes à l'œil, en formant comme un réseau sur la surface du vernis dont le vase est enduit. Un tissu plus lâche et plus poreux obvierait à cet inconvénient, mais le vase en deviendroit plus frêle ; en sorte qu'on ne peut obtenir l'une de ces deux qualités, la solidité et la résistance à l'action du feu, qu'aux dépens de l'autre.

157. L'influence du calorique sur les dimensions des corps se montre dans une multitude d'autres faits, dont l'observation nous est familière. Un changement sensible de température altère le degré de tension des cordes dans les instrumens de musique, suivant un autre rapport que celui qui a été réglé par l'accordeur, et enlève aux sons cette justesse, sans laquelle il n'y a plus d'harmonie.

158. On sait combien la dilatation et la condensation des métaux, par les variations de la température, nuisent à la régularité du mouvement des horloges, en augmentant ou en diminuant la longueur de la verge du pendule. On est parvenu, par un procédé ingénieux, à tourner cette cause d'irrégularité contre elle-même, et à faire naître de ses anomalies la constance et l'uniformité. Le procédé consiste, en général, à combiner avec la verge de fer du pendule, un autre

corps métallique, qui est ordinairement de cuivre, et à disposer le tout de manière que quand la verge de fer à laquelle est suspendue la lentille, s'allonge ou se raccourcit, le cuivre éprouvant de semblables variations en sens contraire, établisse une exacte compensation, dont l'effet soit de maintenir le centre d'oscillation constamment à la même hauteur.

### Du Thermomètre.

159. Les dilatations des liquides ont donné naissance à un instrument précieux pour le physicien, qu'il dirige dans une multitude d'expériences, et qui est même devenu d'un usage presque général, par l'intérêt qu'ont tous les hommes à le consulter. Cet instrument est le thermomètre, qui sert à mesurer les degrés de la chaleur. Avant son invention, on n'avoit que des indications incertaines et confuses sur les variations de la température; on se bornoit à comparer entre eux les hivers les plus rigoureux et les étés les plus brûlans, d'après certains effets généraux qui offroient un rapprochement presque aussi vague que le sont par eux-mêmes les termes de froid et de chaud. Le thermomètre nous a mis à portée de tenir un journal fidèle et détaillé des différentes saisons de chaque année, et des effets gradués de leur température.

160. Cet instrument, dont on attribue la première idée à un Hollandais nommé Drebbel, étoit d'abord très-imparfait, comme le sont la plupart des inventions humaines à leur naissance. Il consistoit en un tube de verre, terminé d'un côté par une boule, et ouvert à

l'extrémité opposée. On le plongeait, par cette même extrémité, dans une liqueur colorée ; puis, en appliquant la main sur la boule, pour échauffer et dilater l'air intérieur, on déterminoit une portion de cet air à s'échapper à travers la liqueur ; en sorte que, quand on retiroit ensuite la main, l'air qui restoit, venant à se condenser par le refroidissement, permettoit à la liqueur de s'introduire jusqu'à une certaine hauteur par la pression de l'air extérieur. L'instrument se trouvoit alors en état de servir, et c'étoit la dilatation de l'air intérieur, ou sa contraction, en vertu des variations de la température, qui, en faisant descendre la liqueur suspendue dans le tube, ou en la laissant remonter, indiquoit ces mêmes variations. Mais il est aisé de sentir que cet instrument, dont la marche étoit compliquée à la fois des effets du thermomètre et de ceux du baromètre, ne pouvoit donner que des indications équivoques.

161. Bientôt les physiciens s'occupèrent de perfectionner cette première ébauche, et d'amener l'instrument à n'être plus qu'un simple thermomètre. Tel étoit celui qu'on a nommé *thermomètre de Florence*, et qui consiste dans un tube de verre, terminé de même par une boule, mais que l'on scelloit hermétiquement par le hant, après l'avoir rempli d'une liqueur colorée jusque vers le milieu de sa hauteur.

On appliquoit ensuite ce tube sur une planche graduée, et l'on jugeoit de la dilatation ou de la contraction de la liqueur par le nombre des degrés parcourus. Mais comme tout étoit arbitraire, et dans la construction de l'instrument, et dans les divisions de l'échelle,

chaque thermomètre ne pouvoit être comparé qu'à lui-même, et deux instrumens ainsi construits ne s'accordaient point entre eux, et parloient différens langages.

162. On fit dans la suite diverses tentatives pour rendre les thermomètres comparables ; et enfin Réaumur parvint à ce but, d'une manière plus avantageuse qu'on ne l'avoit fait jusqu'alors (1), au moyen d'une construction dans laquelle on retrouve la sagacité ordinaire de ce célèbre physicien, et qui mérite d'être exposée, même après qu'on a trouvé encore mieux. Réaumur, en imaginant son thermomètre, s'étoit proposé de remplir trois conditions : l'une, que la graduation partît d'un terme constant où il plaçoit le zéro du thermomètre ; la seconde, que les degrés eussent un rapport déterminé avec la capacité, tant de la boule, que de la partie du tube située entre cette boule et le point de zéro ; la troisième, que l'alcohol qu'il employoit eût un degré connu de dilatabilité anquel on pût toujours l'amener. Il avoit à choisir entre deux termes constans, qui dès lors avoient été remarqués ; savoir, la chaleur de l'eau bouillante, et le froid produit par la congélation de l'eau. Il se décida en faveur du dernier, comme étant celui qui sembloit donner la limite naturelle entre le chaud et le froid, et il choisit, pour le déterminer, l'instant de la congélation artificielle de l'eau, à l'aide d'un mélange de glace et de sel marin. On a substitué depuis

---

(1) Mém. de l'Acad. des Sc., 1730, T. 452 et suiv.

à ce terme celui de la glace fondante, qui est pour le moins aussi fixe.

Réaumur se servoit d'eau commune pour graduer son thermomètre. Il remplissoit d'abord de cette eau la boule et une partie du tube, et s'arrangeoit de manière, que la quantité d'eau employée fût mille fois aussi grande que celle qui pouvoit être contenue dans une très-petite mesure prise pour unité. Ayant marqué zéro à l'endroit où l'eau s'étoit arrêtée, il se disposoit à tracer les degrés, en commençant par ceux de condensation. Dans cette vue, il faisoit d'abord sortir du tube une telle quantité d'eau, qu'elle pût remplir exactement une mesure qui contenoit un certain nombre de fois l'unité. Supposons que cette mesure fût de 25 unités; il devoit y avoir, dans ce cas, 25 degrés de condensation sur le thermomètre. Il se servoit de la mesure élémentaire pour obtenir ces degrés, en sorte que chaque élévation de l'eau, dans l'intérieur du tube, produite par le versement d'une mesure élémentaire, déterminoit la mesure d'un degré. Dans cette seconde opération, Réaumur substituoit le mercure à l'eau, parce qu'il ne s'attache point au verre, et qu'il en résulte une plus grande précision. Le mercure, en tombant au fond de la boule, faisoit monter d'autant le liquide contenu dans le tube. À l'aide du même procédé, Réaumur poussoit la graduation jusqu'à 80<sup>d</sup> au-dessus de zéro. Il préféroit de graduer ainsi le tube, en y faisant entrer successivement des quantités égales de liquide, plutôt que de continuer la division, d'après la grandeur connue d'un seul degré, pour n'avoir rien à craindre des

inégalités intérieures du tube et des variations de son diamètre.

La graduation une fois établie, Réaumur vidoit le tube, et y versoit de l'alkohol jusqu'à la hauteur de 4 ou 5 degrés au-dessus de zéro, puis il plongeoit la boule dans l'eau que contenoit un vase de fer blanc qu'il entourroit de glace artificielle. Au moment où l'eau entroit en congélation, Réaumur observoit le point où s'arrêtroit l'alkohol, et suivant que ce liquide se trouvoit un peu au-dessus ou au-dessous de zéro, il en faisoit sortir ou en ajoutoit, jusqu'à ce que sa hauteur dans le tube coïncidât exactement avec le point de zéro.

On voit par ces détails, que pour un degré de chaleur, l'alkohol se dilatoit d'une quantité égale à la milleième partie de celle qui, au moment de la congélation, remplissoit la boule et la partie du tube comprise entre cette boule et le point de zéro.

L'opération se seroit bornée aux procédés que nous venons de décrire, si tous les alkohols avoient la même qualité et la même dilatabilité. Mais comme on ne devoit pas s'attendre à ces avantages, il avoit fallu fixer la quantité de dilatation dont l'alkohol, employé dans la construction du thermomètre, devoit être susceptible. Voici comment Réaumur avoit été conduit à cette détermination. Ayant plongé à plusieurs reprises un tube rempli d'alkohol jusqu'à une certaine hauteur dans de l'eau qui s'échauffoit toujours de plus en plus, et finissoit par bouillir, il avoit remarqué que quand les bouillonnemens que la chaleur avoit excités dans l'alkohol lui-même s'étoient appaisés, après que le tube

avoit été retiré de l'eau, l'alkohol se trouvoit toujours plus haut qu'avant l'immersion ; mais cette dilatation n'avoit lieu que jusqu'à un certain terme , passé lequel , aussitôt que l'ébullition avoit cessé , la liqueur reprendoit son niveau. Il avoit regardé comme un terme fixe pour chaque espèce d'alkohol , cette dilatation , qui étoit la plus grande que le liquide pût éprouver par la chaleur de l'eau bouillante , lorsque lui-même ne bouilloit pas ; il résultoit de là qu'il y avoit , relativement à un alkohol donné , un rapport constant entre le volume du liquide , qui répondroit au terme de la congélation , et celui du même liquide , dilaté le plus qu'il étoit possible , sans bouillir. Ce rapport étoit plus grand pour l'alkohol rectifié , et diminuoit lorsqu'on avoit affoibli l'alkohol par un mélange d'eau. Or , Réaumur s'en étoit tenu au rapport de 1000 à 1080 , qui ne pouvoit convenir qu'à un alkohol un peu étendu d'eau , et il falloit chercher par tâtonnement le degré de mélange qui donnoit ce rapport.

On voit par là que Réaumur n'avoit employé que secondairement la chaleur de l'eau bouillante , et que le degré 80 sur son thermomètre étoit nécessairement situé plus bas que sur le thermomètre ordinaire , puisqu'il faut une chaleur moindre que celle de l'eau bouillante pour amener l'alkohol au degré où il est sur le point de bouillir.

La construction dont nous venons de parler fut généralement accueillie. On ne parla presque plus que du thermomètre de Réaumur ; et il se forma une liaison si intime entre ces noms , qu'aujourd'hui même encore , les thermomètres dont nous nous servons sont appelés *thermomètres*

*thermomètres de Réaumur*, quoiqu'ils ne soient pas faits d'après sa méthode.

163. La marche de ces derniers se rapporte à deux termes fixes, dont l'un, qui sert de point de départ, n'est pas précisément la température de l'eau qui se congèle, comme dans le thermomètre de Réaumur, mais celle de la glace fondante ; l'autre, qui donne la limite opposée, est la chaleur de l'eau bouillante. On choisit le tube le mieux calibré qu'il est possible, et on divise d'abord en 80<sup>d</sup> la distance comprise entre les deux termes fixes, puis on continue la même division au-dessous de zéro. Dans le thermomètre que l'on appelle *centigrade*, la distance dont nous venons de parler est divisée en cent parties.

Cette méthode réunit au mérite d'une plus grande exactitude, celui de la simplicité, en ce qu'elle ramène uniquement la construction du thermomètre à la cause même des variations de cet instrument, et aux deux époques où l'eau, prenant tout à coup une nouvelle forme, avertit le physicien de l'existence du point fixe qu'il cherche à saisir. Nous devons observer, à ce sujet, que la pression de l'air n'influe pas sensiblement sur la première limite, qui est le degré de la glace fondante, au lieu qu'il est nécessaire d'avoir égard à cette pression pour déterminer la limite opposée, parce qu'à proportion que l'eau est plus ou moins comprimée, elle entre en ébullition par une température plus haute ou plus basse. On a choisi la pression qui répond à une hauteur de 28 pouces dans le baromètre, parce que c'est la pression moyenne, ou celle qui a lieu communément aux bords de la mer.

Il est aisé de voir maintenant que les deux limites étant les mêmes dans différens thermomètres construits d'après ces principes, et les degrés de l'échelle, dans tous ces thermomètres, étant des parties proportionnelles à la distance entre les deux limites, les indications données par les mouvemens de la liqueur se rapporteront entre elles, quelle que soit d'ailleurs la distance dont il s'agit. La graduation deviendra ainsi comme une langue de commerce entre tous les thermomètres; en sorte que si deux de ces instrumens placés, l'un à Paris, l'autre à Amsterdam, indiquent le même degré, on sera sûr que la température est la même dans les deux endroits, et que s'ils marquent différens degrés, chacun d'eux parlera précisément comme auroit fait l'autre dans la même position.

164. Le choix de la liqueur est une circonstance importante, soit pour donner à chaque thermomètre une marche plus conforme à celle de la température, soit pour mettre les différens thermomètres plus exactement d'accord entre eux. Pendant long-temps on a employé l'alcool; mais en supposant que l'on pût parvenir, par un procédé semblable à celui de Réaumur, à mettre toujours ce liquide dans un état où sa dilatation extrême conservât le même rapport avec celle qui répondroit à zéro, il resteroit un inconvénient auquel on n'a pas fait d'abord assez d'attention, et qui consiste en ce que les dilatations progressives de la liqueur marquent des degrés sensiblement inégaux par des variations égales de température. Les expériences de Deluc ont servi en même temps à prouver cette inégalité, et à mettre en évidence l'avantage qu'a le mercure, d'être

parmi tous les liquides connus, celui qui approche le plus de subir des dilatations exactement proportionnelles aux accroissemens de chaleur, du moins entre le zéro et le degré de l'eau bouillante. Un exemple suffira pour donner une idée de la manière dont le célèbre physicien de Genève a été conduit à ce résultat.

Supposons que dans un appartement dont la température est de  $6^{\circ}$  au-dessus de zéro du thermomètre divisé en 80 parties, on mèle avec une certaine masse d'eau qui ait cette même température une nouvelle masse égale d'eau échauffée à  $75^{\circ}$ , et qu'on agite fortement le mélange; l'excès de la chaleur de l'eau la plus chaude sur celle qui l'étoit moins se partagera également entre les deux masses d'eau; en sorte que la température du mélange, parvenue à l'uniformité, sera égale aux  $6^{\circ}$  qui étoient communs aux deux masses, plus à la moitié de la différence  $69$  entre les deux températures, c'est-à-dire, qu'elle sera de  $40^{\circ} \frac{1}{2}$ . Donc, si l'on plonge alors dans le mélange le thermomètre qui a servi à déterminer les températures particulières des deux masses d'eau, et si la liqueur de ce thermomètre s'arrête à  $40^{\circ} \frac{1}{2}$ , on en conclura que sa dilatation est proportionnelle à l'accroissement de chaleur. C'est à des épreuves de ce genre que Deluc a soumis le mercure, et il a trouvé qu'il les soutenoit d'une manière satisfaisante; seulement il se tenoit un peu au-dessous du point où il auroit dû être pour indiquer la véritable température du mélange. Or, en comparant la marche de l'alkohol avec celle du mercure, entre les mêmes points fixes, on observe qu'en général le premier de ces liquides s'élève toujours à une moindre hauteur que l'autre; et cette

seule observation suffit pour prouver que les indications du mercure sont celles qui approchent le plus de la vérité. Ainsi, il est à désirer que l'usage des thermomètres à mercure devienne général , puisque ce sont les seuls comparables. On n'emploieroit le thermomètre à alkohol que dans le cas où l'on voudroit faire des observations par un froid artificiel plus grand que celui de 32<sup>d</sup>, qui détermine la congélation du mercure. A l'égard de ce dernier effet , nous nous réservons à l'exposer, lorsque nous parlerons de la congélation de l'eau , qui est accompagnée de circonstances , dont le contraste avec celles que présente le mercure dans le même cas , nous ont engagés à réunir les deux phénomènes sous un même point de vue.

165. Quelques physiciens ont pensé que quand on laissoit de l'air entre la liqueur du thermomètre et le haut du tube , les dilatations de ce fluide , par l'action de la chaleur , opposoient à celles du mercure ou de l'alkohol , un obstacle qui altéroit la régularité de ces dernières. Cependant l'observation fait voir que cet obstacle est nul , et la théorie seule indique qu'il doit l'être; car l'air ne pourroit agir, dans ce cas, sur les liquides , que comme force comprimante. Or, on sait que les liquides résistent sensiblement à la compression , et cette résistance a lieu également à toutes les températures ; et parce que les fluides , au contraire , se laissent comprimer avec beaucoup de facilité , ce sera le mercure ou l'alkohol qui forcera l'air de se contracter et de lui céder la place.

166. On trouve fréquemment dans les ouvrages des physiciens étrangers , des résultats d'observations relatives

à deux autres thermomètres , dont il ne sera pas inutile de donner ici une notion , pour mettre chacun à portée de traduire leur langage en celui du thermomètre en usage parmi nous .

Le premier est le thermomètre de Farenheit , qui est à mercure , et qui a pour termes fixes le degré de la congélation forcée par le muriate ammoniacal , et celui qui répond à la chaleur de l'eau bouillante . L'intervalle entre ces deux termes est divisé en 212 parties ; il en résulte que le 32<sup>e</sup>. degré coïncide avec le zéro de notre thermomètre , ce qui donne 180<sup>d</sup> depuis ce même terme jusqu'à celui de l'eau bouillante . Ainsi , 9 degrés de Farenheit valent 4 degrés du thermomètre divisé en 80 parties , et 5 degrés du thermomètre centigrade ; ce qui suffit pour faire le rapprochement entre les résultats donnés par les deux instrumens .

167. L'autre thermomètre est celui de Delisle , dans lequel ce physicien employoit aussi le mercure ; il n'avait qu'un seul terme fixe , savoir , celui de la chaleur de l'eau bouillante , où étoit placé le zéro . Les degrés de condensation au-dessous de ce terme étoient des dix millièmes de la capacité de la boule et de la partie du tube qui se terminoit au zéro . Le degré auquel se rapportoit la température de la glace fondante , et qui correspond à notre zéro , étoit le 150.<sup>e</sup> de l'échelle descendante sur le thermomètre de Delisle ; d'où il suit que 15<sup>d</sup> de ce thermomètre répondent à 8<sup>d</sup> du thermomètre divisé en 80 parties , et à 10<sup>d</sup> du thermomètre centigrade ; en sorte qu'à l'égard de ce dernier , le rapport réduit à sa plus grande simplicité est celui de 3 à 2 .

Les recherches multipliées entreprises par les physiciens, dans la vue de perfectionner le thermomètre, suffroient seules pour prouver le mérite de cet instrument. Il a servi à nous dévoiler une multitude de faits intéressans. Sa présence est indispensable dans une infinité d'expériences, pour comparer les températures des corps que l'on emploie, ou déterminer les changemens qui surviennent dans celle qu'ils avoient primitivement. Il est souvent utile d'avoir recours à ses indications pour connoître la chaleur qui convient à la chambre d'un malade, à l'eau d'un bain, à une étuve, à une serre chaude, soit qu'on veuille hâter la végétation des plantes indigènes, ou conserver les plantes étrangères. C'est, pour ainsi dire, un instrument de société, que chacun se plaît à interroger sur un point aussi important que les variations qu'éprouve la température du fluide au milien duquel nous vivons; et lorsque ces variations s'étendent beaucoup au delà des limites ordinaires, l'indication du thermomètre devient d'un intérêt général; le récit que chacun fait de ce qu'il a observé sur le sien, est un des sujets qui s'emparent le plus promptement des conversations familières.

Quant aux dilatations des liquides, par l'accumulation du calorique, nous nous réservons à en parler, lorsque nous traiterons des propriétés de l'air.

### *De la Combustion.*

168. Quoique la théorie relative à la manière dont le calorique agit dans la combustion appartienne proprement à la chimie, nous ne pouvons nous dispenser, en

terminant ce qui regarde ce fluide, de donner, sur cet objet, quelques détails qui sont liés à l'histoire de la physique. La combustion présente, en général, l'aspect d'un corps qui se dissipe, en produisant ce qu'on appelle communément *chaleur* et *lumière*. Dans le langage vulgaire, *feu* et *combustion* sont presque synonymes l'un de l'autre; mais dans les idées des anciens philosophes, le feu étoit l'agent de la combustion. Ils le regardoient comme un principe fixé dans les corps, dont le dégagement produisoit la dissipation des molécules de la substance embrasée; et c'étoit à ce même principe que Stahl avoit donné le nom de *phlogistique*. La manière dont les physiciens qui ont adopté la doctrine de cet homme célèbre expliquoient la combustion, étoit d'autant plus séduisante, que la cause dont ils faisoient dépendre ce phénomène s'offroit sous l'air d'une cause mécanique. Les molécules du feu élémentaire étoient logées dans celles des corps, comme dans autant de petites enveloppes, où elles éprouvoient une compression semblable à celle d'un ressort bandé. Dans la combustion, le feu, en s'échappant par sa force expansive, des particules par lesquelles commençoit la déflagration, imprimoit aux particules voisines une secousse qui occasionnoit leur rupture, par le débandement du feu qu'elles receloient; et ainsi, de proche en proche, la commotion et, par une suite nécessaire, l'embrasement se communiquoit à toute la masse. L'air contribuoit à entretenir et à accélérer l'action du feu, en réagissant contre lui, et en opposant à sa dissipation un obstacle qui concentrroit son action dans un espace plus étroit, et en augmentoit l'énergie.

169. Les découvertes des chimistes modernes , et surtout celles de l'illustre Lavoisier , ont entièrement changé le point de vue sous lequel la combustion doit être envisagée. Elles ont démontré que ce phénomène consiste dans une combinaison des molécules propres d'un corps avec celles de l'oxygène que ce corps enlève à l'air environnant , accompagnée du dégagement de la lumière et du calorique , qui tenoient l'oxygène à l'état de fluide élastique. Cette doctrine a fait disparaître le phlogistique comme étant au moins inutile ; et l'air atmosphérique , que l'on avoit regardé comme un simple stimulant , par rapport à la combustion , fournit le principe qui en est l'agent principal et immédiat.

### III. DE L'EAU.

DANS l'exposé que nous avons fait jusqu'ici des propriétés générales des corps , nous nous sommes bornés à citer quelques exemples tirés de ceux qui manifestent ces propriétés d'une manière plus sensible. Nous allons reprendre successivement certains liquides ou certains fluides particuliers qui ont une influence remarquable dans les phénomènes de la nature.

Le premier est l'eau , que nous considérerons d'abord dans son état ordinaire , qui est celui de liquidité , ensuite dans l'état de glace , puis dans celui de vapeurs , qui sont comme les extrêmes entre lesquels se trouve l'eau liquide.

## 1. De l'Eau à l'état de Liquidité.

170. Les principales propriétés physiques de l'eau liquide, consistent en ce qu'elle est insipide, inodore, transparente, sans couleur, et susceptible de mouiller la plupart des corps qu'on met en contact avec elle.

171. Tout le monde sait avec quelle abondance ce liquide est répandu dans la nature, et combien sont diversifiées les fonctions qu'il y exerce. Rassemblé en masses immenses dans les bassins des mers, entraîné par un mouvement progressif sur le lit des fleuves et des rivières, il sert de véhicule aux navires et à différentes espèces de bâtimens, pour établir, par les voyages et par le commerce, une communication entre les peuples des diverses contrées. Il devient, par son impulsion, le moteur d'une multitude de machines aussi utiles qu'ingénieuses; et si l'homme a en sa disposition une puissance supérieure encore à celle qui agit dans ce cas, il la doit au même liquide converti en vapeurs. L'eau est l'élément dans lequel vivent une infinité d'êtres organisés; elle sert de boisson à l'homme et aux animaux qui peuplent la terre et les airs; elle est un des principaux agents de la végétation; c'est dans son sein que se sont formés une multitude de minéraux, et ces précieuses substances métalliques auxquelles l'industrie humaine semble donner une nouvelle existence, en les élaborant pour nos usages.

172. L'eau a été regardée, pendant long-temps, comme

une substance simple ; et, sous ce rapport, les anciens philosophes en faisoient un des quatre élémens qui donnoient naissance à tous les corps de la nature ; savoir, la Terre , l'Eau , l'Air et le Feu. Cette opinion, quoique éloignée de la vérité , avoit cela de séduisant , qu'elle faisoit concourir à la formation de tous les autres êtres , ceux qui existent le plus généralement dans l'univers , qui occupant comme autant de domaines distincts , l'un dans les espaces célestes , les trois derniers dans la région qu'habite l'homme , sont néanmoins toujours en commerce les uns avec les autres et avec le reste de la nature , qui enfin sembloient seuls être fixes et inaltérables , au milieu des alternatives qui faisoient varier sans cesse la scène des animaux , des plantes et des minéraux.

La chimie moderne a substitué , à ces systèmes nés de considérations abstraites , des théories fondées sur des faits ; et parmi ces derniers , un des plus remarquables est la décomposition en oxygène et en hydrogène de ce même liquide que l'on avoit rangé parmi les substances élémentaires. Nous nous bornons encore ici à indiquer ce résultat , dont le détail n'entre pas dans notre plan.

173. L'eau de pluie est celle qui approche le plus de l'état de pureté. Chaptal a observé que celle qui accompagne les orages est plus mélangée que celle d'une pluie douce , et que cette dernière devient plus pure à proportion de sa durée (1). L'eau qui baigne la

(1) Élémens de Chimie , 3<sup>e</sup>. édit. , t. I, p. 139.

surface du globe, ou coule dans son intérieur, est toujours chargée de matières hétérogènes. On sait que celle de la mer et de plusieurs fontaines contient plus ou moins abondamment un sel qu'on en retire par l'évaporation, et qui est connu sous le nom de *sel marin*. On appelle *eaux minérales*, celles qui renferment différentes substances salines, métalliques ou autres; elles sont employées, avec succès, dans le traitement de diverses maladies: elles empruntent des substances unies avec elles une saveur et quelquefois une odeur particulière. A l'égard de l'eau des rivières, elle tient en dissolution diverses matières pierreuses, et en particulier des molécules calcaires; et celle qui coule dans le sein de la terre forme des incrustations de ces mêmes molécules, tantôt à l'intérieur des canaux qui la reçoivent, tantôt autour des corps organisés qui y sont plongés.

174. On a tenté inutilement de comprimer l'eau en employant une très-grande force; et cette propriété d'être sensiblement incompressible est générale pour tous les liquides. Une des expériences qui ont servi à la reconnoître, par rapport à l'eau, consiste à charger ce liquide d'une colonne de mercure, en employant un tube recourbé en forme de syphon, dont la branche la plus courte est fermée par sa partie supérieure, et contient de l'eau, en même temps que la branche la plus longue est occupée par le mercure, qui presse la surface de l'eau. La colonne formée par ce dernier liquide ne se raccourcit pas de la plus petite quantité sensible, lors même que celle de mercure a 227 centimètres ou sept pieds de hauteur,

auquel cas elle exerce sur l'eau un effort triple de celui d'une colonne d'eau de près de 10 mètres  $\frac{4}{10}$ , ou 32 pieds de hauteur. Il y a tout lieu cependant de présumer que l'eau est réellement compressible, mais dans un degré inappréhensible, au moins par les efforts que l'on a employés jusqu'ici pour la condenser; car la faculté qu'elle a de transmettre les sons, prouve qu'elle est élastique, et cette qualité suppose nécessairement la compressibilité.

### *De l'Hygrométrie.*

175. L'observation des divers phénomènes produits par ce qu'on appelle *humidité*, a donné naissance à une branche de physique qui porte le nom d'*hygrométrie*. Nous allons exposer les principes relatifs à la théorie générale de ces phénomènes, et nous décrirons ensuite l'*hygromètre*, ou l'instrument qui sert à mesurer l'humidité de l'air.

176. Tous les corps susceptibles de s'imbiber d'eau, ont une disposition plus ou moins grande à s'unir avec ce liquide, par l'effet d'une attraction semblable à l'affinité chimique, jointe à la texture de leurs parties et aux autres circonstances.

Si l'on plonge dans l'eau plusieurs de ces corps, tels que du bois, une éponge, du papier, etc., ils s'approieront une quantité de ce liquide, qui variera d'un corps à l'autre; et comme à mesure qu'ils tendent vers le point de saturation, leur affinité pour l'eau va en diminuant, lorsque ceux qui attiroient l'eau plus puissamment seront parvenus au point où leur force attrac-

tive se trouvera seulement égale à celle des corps qui agissoient plus faiblement sur le même liquide, il s'établira entre tous ces corps une espèce d'équilibre, en sorte qu'à ce terme l'imbibition s'arrêtera.

On voit qu'il y a ici une parité entre la manière dont les corps enlèvent le calorique, et celle dont ils s'imbibent d'eau; que la principale condition qui détermine l'équilibre est la même de part et d'autre, et qu'elle dépend des différentes capacités des corps pour le fluide qui échauffe ou pour celui qui mouille.

Que l'on mette en contact deux corps humectés, dont les affinités pour l'eau ne soient pas en équilibre; celui dont l'affinité sera plus foible cédera de son fluide à l'autre, jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse; et c'est dans cette disposition d'un corps à mouiller un autre corps qui le touche, que consiste proprement ce qu'on appelle *humidité*.

177. L'air est celui de tous les corps dont nous ayons le plus d'intérêt de connoître les différens degrés d'humidité, et c'est aussi vers les moyens propres à nous procurer cette connaissance, que les physiciens ont dirigé principalement leurs recherches; de là les diverses espèces d'instrumens que l'on a imaginés pour mesurer l'humidité de l'air.

178. On connaît une multitude de corps dans lesquels l'humidité, à mesure qu'elle augmente ou diminue, occasionne divers degrés de dilatation ou de contraction, suivant que le corps se prête à l'un ou à l'autre de ces effets, à raison de son organisation, de son tissu, ou de la disposition des fibres dont il est l'assemblage.

Par exemple , l'eau , en s'introduisant dans l'intérieur des cordes faites de fibres tortillées et situées obliquement , produit entre ces fibres un écartement qui fait gonfler la corde , et par une suite nécessaire , la raccourcit . Les fils tords dont on fabrique les toiles , peuvent être considérés comme de petites cordes qui éprouvent de même un raccourcissement par l'action de l'humidité ; ce qui fait que les toiles , surtout lorsqu'on les mouille pour la première fois , se retirent dans les deux sens où leurs fils se croisent ; au contraire , le papier , qui n'est qu'un assemblage de filaments très - déliés , très - courts , et disposés irrégulièrement dans toutes sortes de directions , s'allonge dans toutes les dimensions de sa surface , à mesure que l'eau , en s'insinuant dans les intervalles de ces mêmes filaments , agit , pour les écarter , en allant du milieu vers les bords .

179. On a employé successivement à la construction des hygromètres , différens corps choisis parmi ceux dans lesquels l'humidité produit les mouvements les plus sensibles . On a cherché aussi à mesurer l'humidité de l'air par l'augmentation de poids que subissent certaines substances , telles qu'un flocon de laine , ou un sel , en absorbant l'eau contenue dans l'air .

Mais , outre que ces moyens étoient par eux-mêmes très - imparfaits , les corps qu'on y employoit étoient sujets à des altérations qui leur faisoient perdre plus ou moins promptement leur qualité hygrométrique ; ils avoient le double inconvénient , de servir mal , et de n'être pas d'un long service .

180. Pour tirer de l'hygromètre des avantages réels , il falloit le mettre en état de rivaliser avec le ther-

momètre, en offrant une suite d'observations exactes, et qui fussent comparables dans les différens hygromètres.

Le célèbre Saussure, à qui nous devons un ouvrage très-estimé sur l'hygrométrie, est parvenu à remplir cet objet, par un procédé dont nous allons donner une idée.

La pièce principale de cet hygromètre est un cheveu, auquel Saussure fait d'abord subir une préparation, dont le but est de le dépouiller d'une espèce d'onctuosité qui lui est naturelle, et qui le garantiroit, jusqu'à un certain point, de l'action de l'humidité. Cette préparation se fait en même temps sur un certain nombre de cheveux formant une touffe, dont l'épaisseur ne doit pas excéder celle d'une plume à écrire, et renfermés dans une toile fine qui leur sert d'étui. On plonge les cheveux ainsi enveloppés dans un matras à long col, rempli d'eau, qui tient en dissolution à peu près un centième de son poids de sulfate de soude, et l'on fait bouillir cette eau pendant trente minutes; on passe ensuite à deux reprises les cheveux dans l'eau pure, pendant qu'elle est aussi en ébullition; on les retire de leur enveloppe, et on les sépare, puis on les suspend pour les faire sécher à l'air, après quoi il ne reste plus qu'à faire un choix de ceux qui étant plus nets, plus doux, plus brillans et plus transparens, méritent d'être employés de préférence.

On sait que l'humidité allonge le cheveu, et que le desséchement le raccourcit. Pour rendre l'un et l'autre effet plus sensibles, Saussure attache un des deux bouts du cheveu à un point fixe, et l'autre à la circonférence

d'un petit cylindre mobile, qui porte à l'une de ses extrémités une aiguille légère. Le cheveu est bandé par un contre-poids de 16 centigrammes, ou d'environ trois grains, suspendu à une soie déliée, qui est roulée en sens contraire autour du même cylindre. A mesure que le cheveu s'allonge ou se raccourcit, il fait tourner le cylindre dans un sens ou dans l'autre, et, par une suite nécessaire, la petite aiguille, dont les mouvements se mesurent sur la circonference d'un cercle gradué, autour duquel l'aiguille fait sa révolution comme dans les cadrans ordinaires. De cette manière, une variation très-petite dans la longueur du cheveu, devient sensible, par le mouvement beaucoup plus considérable qu'elle occasionne dans l'extrémité de l'aiguille; et l'on conçoit aisément qu'à des degrés égaux d'allongement ou de raccourcissement dans le cheveu, répondent des arcs égaux parcourus par l'aiguille.

Pour donner à l'échelle une base qui puisse mettre en rapport tous les hygromètres construits d'après les mêmes principes, Saussure prend deux termes fixes, dont l'un est l'extrême de l'humidité, et l'autre celui de la sécheresse : il détermine le premier, en plaçant l'hygromètre sous un récipient de verre, dont il a mouillé, exactement, avec de l'eau, toute la surface intérieure; l'air, en se saturant de cette eau, agit par son humidité sur le cheveu, pour l'allonger. On humecte de nouveau l'intérieur du récipient, autant de fois qu'il est nécessaire; et l'on reconnoît que le terme de l'humidité extrême est arrivé, lorsque, par un séjour plus long sous le récipient, le cheveu cesse de s'étendre.

Pour obtenir le terme de l'extrême sécheresse, le même

même physicien se sert d'un récipient chaud et bien desséché , sous lequel il renferme l'hygromètre ; avec un morceau de tôle pareillement échauffé et couvert d'alkali fixe. Ce sel , en exerçant sa faculté absorbante sur ce qui reste d'humidité dans l'air environnant, détermine le cheveu à se raccourcir jusqu'à ce qu'il ait atteint le dernier terme de sa contraction.

L'échelle de l'instrument est divisée en cent degrés. Le zéro indique le terme de l'extrême sécheresse , et le nombre cent , celui de l'humidité extrême. L'inventeur a senti les avantages de la division décimale , pour la facilité des calculs , et n'a pas balancé à l'adopter.

Les effets de l'humidité et de la sécheresse sur le cheveu , sont modifiés par ceux de la chaleur , qui agit sur lui , tantôt dans le même sens , et tantôt en sens contraire ; en sorte que si l'on suppose , par exemple , que l'air s'échauffe autour de l'hygromètre , d'une part , cet air , dont la faculté dissolvante à l'égard de l'eau sera augmentée , ainsi que nous l'exposerons dans la suite , enlèvera au cheveu une portion de l'eau dont celui-ci étoit imbibé , ce qui tendra à raccourcir le cheveu ; tandis que d'une autre part la chaleur , en le pénétrant , agira , quoique beaucoup plus soiblement , pour l'allonger ; et ainsi l'effet total se trouvera compliqué de deux effets partiels et contraires , l'un hygrométrique , et l'autre pyrométrique. Dans les observations qui exigent une certaine précision , il est donc nécessaire de consulter le thermomètre en même temps que l'hygromètre ; et en conséquence l'inventeur a construit , d'après l'observation , une table de correction qui mettra les physiciens à portée de démêler toujours l'ef-

et principal , ou le degré d'humidité de l'air , d'avec l'effet accessoire produit par la chaleur.

181. Deluc , qui s'est occupé du même objet , a suivi une méthode différente. Ce physicien emploie , pour la construction de ses hygromètres , une bandelette très-mince de baleine , qui fait le même office que le cheveu dans l'hygromètre de Saussure. Il maintient cette baleine tendue au moyen d'un ressort , dont il préfère l'action à celle d'un poids ; il détermine le degré d'humidité extrême , en plongeant la bandelette de baleine tout à fait dans l'eau ; et pour fixer la limite opposée , qui est celle de l'extrême sécheresse , il se sert de chaux calcinée , qu'il renferme avec l'hygromètre sous une cloche de verre. Le choix de cette substance est fondé sur ce que la calcination l'ayant amenée au plus haut degré de sécheresse , si on la laisse ensuite refroidir , jusqu'au point de pouvoir être placée , sans inconvenient , sous la cloche de verre destinée à l'expérience , elle se trouvera encore sensiblement dans le même état de sécheresse , parce qu'elle est très-lente à reprendre de l'humidité ; et ainsi , toute sa faculté absorbante sera employée à dessécher peu à peu l'air renfermé sous le récipient , et à faire passer l'hygromètre lui-même à un état qui se rapprochera le plus qu'il est possible de l'extrême sécheresse .

182. L'hygromètre a été long-temps négligé dans les observations météorologiques ; il est nécessaire de l'associer au thermomètre et au baromètre , pour être en état de débrouiller la complication des différentes causes qui influent sur les variations de l'atmosphère ; et ce n'est qu'à l'aide d'une longue suite d'observations ,

faites par le concours de ces divers instrumens, jointes à toutes les indications qui se tirent de l'état du ciel, que nous obtiendrons des données pour présager, avec une grande vraisemblance, les changemens de temps, et parvenir à une théorie plausible sur cet objet si intéressant, et naturellement fait pour piquer notre curiosité. Nous sommes dans une dépendance continue de l'atmosphère et de l'alternative des jours sereins et pluvieux, pour les travaux de l'agriculture, pour nos voyages, pour nos diverses entreprises, et même pour nos fêtes. Nous trouverions à la fois l'utile et l'agréable dans un art qui nous mettroit à portée de nous précautionner contre ce qui fait nos craintes, et d'aller au-devant de ce qui fait nos espérances.

### *Des Tubes capillaires.*

183. Les phénomènes des tubes capillaires sont liés, jusqu'à un certain point, à ceux des hygromètres, par l'analogie qu'ont entre elles les causes qui produisent les uns et les autres. Nous allons essayer d'éclaircir l'espèce de paradoxe qu'ils présentent, en ce qu'ils semblent faire exception aux lois ordinaires de l'hydrostatique.

Si l'on plonge dans l'eau un tube ouvert par ses deux extrémités, et dont le diamètre intérieur ait une certaine étendue, le niveau subsistera encore; mais si le tube est capillaire, c'est-à-dire, si sa cavité représente un cylindre assez délié pour être comparé à un cheveu, au moment de l'immersion, l'eau s'élancera dans son

intérieur, et y demeurera suspendue à une hauteur très-sensible au-dessus du niveau.

Nous venons de supposer l'expérience dans un des cas où le phénomène est le plus frappant; mais ce phénomène est soumis à la loi de continuité, et marche, par nuances, comme les autres. Dans les tubes d'un diamètre ordinaire, déjà la surface de l'eau intérieure forme une petite concavité, dont les bords s'élèvent un peu au-dessus du niveau, en s'appliquant contre le verre. Si l'on emploie des tubes toujours plus étroits, il y aura un terme où l'axe même de la colonne commencera à dépasser visiblement le niveau; et cet effet ira toujours en croissant, à mesure que le diamètre du tube sera plus petit.

184. La loi du phénomène, telle que la donne l'expérience, consiste en ce qu'un même fluide s'élève, dans différens tubes homogènes, à des hauteurs qui sont en raison inverse des diamètres de ces tubes.

185. L'observation fait voir encore que les hauteurs, auxquelles différentes liqueurs s'élèvent dans un même tube, ne sont pas proportionnelles aux densités de ces liqueurs; par exemple, l'alcool s'y élève moins que l'eau.

186. Le mercure, au contraire, se tient au-dessous du niveau, et son abaissement est en raison inverse du diamètre du tube. Mais ces effets supposent que l'on prenne le tube tel qu'il se présente; car nous verrons bientôt qu'au moyen de certaines précautions on peut obtenir de même l'élévation du mercure au-dessus du niveau.

187. Enfin, si l'on enduit l'intérieur du tube d'une

couche de matière grasse , telles que l'huile ou le suif , les mêmes effets cesseront d'avoir lieu , et le fluide conservera son niveau.

188. L'explication de ces phénomènes a fort exercé la sagacité des physiciens. Les uns ont essayé d'en rendre raison , en supposant que l'air ne pouvant s'introduire dans le tube que difficilement et en petite quantité , y exerçoit sur la colonne intérieure , une pression moins forte que celle de l'air environnant sur le liquide extérieur ; et si on leur objectoit que les mêmes effets ont lieu dans le vide , ils répondroient que , comme on ne pouvoit jamais faire un vide parfait , l'air qui restoit sous le récipient dans toutes les parties extérieures au tube , conservant le même rapport avec l'air intérieur , l'inégalité de pression et la différence de niveau qui en étoit la suite , devoient encore subsister : d'autres avoient recours à un fluide subtil , pour expliquer le phénomène , et les opinions se partageoient de nouveau sur la manière d'agir de ce fluide. Suivant les uns , ses parties étoient d'une forme globuleuse qui ne leur permettoit pas de s'arranger exactement dans un tube d'un petit diamètre , pour exercer , sur la colonne qui occupoit ce tube , une pression égale à celle que les colonnes extérieures éprouvoient de la part du même fluide ; selon d'autres , la matière subtile formoit de petits tourbillons , dont les molécules ayant un mouvement circulaire dans des plans qui passoient par l'axe du tube , et venant à rencontrer l'orifice inférieur , pousoient de bas en haut la colonne renfermée dans ce tube .

Une seule considération suffisroit pour renverser toutes ces hypothèses ; c'est que les hauteurs aux-

quelles s'élèvent différentes liqueurs dans un même tube, ne sont pas proportionnelles aux densités de ces liqueurs, ce qui auroit pourtant lieu dans ces mêmes hypothèses, puisque le fluide subtil qui produiroit les phénomènes, de quelque manière qu'il agit, devroit favoriser davantage l'élévation des liquides moins denses, qui seroient par là moins susceptibles de s'opposer à son action.

Ainsi, les physiciens s'agitoient inutilement pour trouver, dans des agents extérieurs et invisibles, la véritable cause du phénomène; tandis que cette cause existoit dans le tube même qu'ils avoient entre les mains, et dépendoit de cette espèce d'attraction que l'on a désignée par le nom d'*attraction dans les petites distances*.

189. Newton, après avoir trouvé, dans la gravitation universelle, le principe des mouvements célestes et des phénomènes où la nature agit en grand sur des masses, quelquefois séparées par d'immenses intervalles (49), avoit observé aussi les effets d'une certaine attraction qui n'agissoit que près du contact, et de molécule à molécule. Les chimistes, qui avoient continuellement sous les yeux des exemples de l'action de cette force, dans la composition et la décomposition des corps, l'adoptèrent sous le nom d'*affinité*. Les physiciens ont été plus tardifs à la reconnoître dans d'autres effets, où les substances qu'elle sollicite conservent leur état naturel, comme cela a lieu par rapport au phénomène des tubes capillaires. Ils aimoient mieux attribuer ces effets à la pression de quelque effluve, ou de quelque tourbillon de ma-

tière subtile , qui s'offroit sous l'apparence spacieuse d'une cause mécanique , mais que les phénomènes démentoient toujours par quelque endroit , quoiqu'on fût le maître de l'y adapter d'avance , en la modifiant à volonté . C'étoit comme le dernier refuge des tourbillons qui , après avoir été bannis des espaces célestes , cherchoient à se maintenir dans les recoins de la nature où l'attraction , reproduite sous une autre forme , leur disputoit encore la place . On comparoit cette attraction à la première ; et comme elle sembloit en différer par sa manière d'agir , à raison des distances , et que d'ailleurs elle se modifie suivant la diversité des circonstances où elle agit , on accusoit les physiciens qui l'adoptoient , de la multiplier arbitrairement , et d'imaginer autant d'attractions particulières qu'il se présentoit de nouveaux faits à expliquer . Mais un examen attentif suffissoit pour faire reconnoître qu'en supposant même que cette attraction soit distinguée de la gravitation universelle , elle n'en est pas moins une force unique dans son genre , qui s'étend à une classe nombreuse de phénomènes , et dont les diversités dépendent de celles qui existent entre les corps mêmes sur lesquels son action s'exerce . Newton remarquoit que cette force une fois admise , la nature entière devenoit simple et partout d'accord avec elle-même ; tandis que l'astronomie physique d'une part , et la physique ordinaire de l'autre , avoient chacune leur attraction , et partageoient entre ces deux forces l'explication des mouvemens qui , de loin , frappent nos regards , et de ceux qui demandent à être suivis de près . Mais peut-être même n'étoit-ce pas en dirô

assez , puisqu'à l'aide d'une hypothèse plausible dont nous avons parlé plus haut (55) , on parviendroit à simplifier encore le tableau , en ramenant les deux attractions à l'unité.

190. Pour revenir maintenant aux phénomènes des tubes capillaires , il n'est pas difficile de concevoir d'abord par le simple raisonnement , comment un liquide s'y élève au-dessus du niveau , quoique dans les tubes d'un plus grand diamètre , il reste sensiblement à la même hauteur que le liquide environnant ; sur quoi il faut observer que l'attraction du tube , qui n'est sensible que près du contact , n'agit que sur la couche presque infiniment mince de liquide qui adhère , sous la forme d'un cylindre creux , à sa surface intérieure . Les molécules de cette première couche agissent ensuite par leur attraction propre sur celles de la seconde , et ainsi de proche en proche , jusqu'aux molécules qui répondent à l'axe de la colonne .

Or , plus le tube est étroit , et plus sa courbure est rentrante ; d'où il suit que les molécules exercent sur le liquide des actions plus rapprochées ; en sorte que si l'on suppose une molécule de ce liquide placée à la même distance d'un point attirant , pris sur les courbures de deux tubes différens , le petit arc dont ce point occupera le milieu dans le tube le plus étroit , s'infléchira davantage vers la même molécule , en agissant sur elle par des attractions plus voisines du contact : d'où l'on voit qu'il pourra y avoir un terme de rétrécissement , où l'attraction du tube devienne capable de tenir le liquide suspendu à une hauteur

sensible : par une suite nécessaire , les attractions mutuelles des couches qui vont de la surface à l'axe , partiront d'un plus haut degré de force , dans un tube plus étroit ; elles diminueront plus lentement ; enfin , elles auront à parcourir un moindre nombre de degrés décroissans , entre la surface et l'axe : d'où il résulte que leur effet total sera de même plus considérable.

191. Plusieurs des physiciens qui ont attribué à l'attraction les effets des tubes capillaires , ont cru pouvoir démontrer rigoureusement le rapport inverse entre la hauteur et le diamètre de la colonne , lorsqu'on plonge différens tubes dans un même liquide. Jurin , qui a fait une suite d'expériences intéressantes sur les phénomènes dont il s'agit , attribue la suspension du liquide à l'action de l'anneau de verre situé immédiatement au-dessus de la colonne de liquide. D'autres physiciens pensent que le même effet provient , au contraire , de l'anneau qui termine inférieurement le tube , en supposant que l'orifice de ce tube soit contigu à la surface de l'eau. Or , en combinant la force de l'anneau attirant avec la quantité de liquide qui s'élève dans le tube , on parvenoit à un résultat qui s'accordoit assez bien avec l'observation. Par exemple , dans la seconde hypothèse , les attractions des deux tubes étoient comme les circonférences de ces tubes , ou , ce qui revient au même , comme leurs diamètres ; mais elles étoient en même temps comme les poids des cylindres de liquide , suspendus dans les tubes , c'est-à-dire , comme les carrés des diamètres multipliés par les hauteurs ,

ce qui donne le rapport inverse entre le diamètre et la hauteur (1).

192. La vérité est que quand on compare l'élévation d'un même liquide dans deux tubes différens, l'attraction de chaque surface est le résultat de toutes les attractions particulières exercées par les différentes molécules du verre sur toutes celles du liquide, qui sont à des distances assez petites pour subir l'effet de ces attractions. C'est la remarque de Clairault, dans son excellent ouvrage sur la figure de la terre (2), où cet illustre géomètre traite la question des tubes capillaires d'après les lois générales de l'hydrostatique, en faisant entrer comme élémens, dans l'expression de la force qui tient le fluide suspendu, les différentes actions qui concourent à la production de l'effet.

Nous allons essayer de donner une idée de la manière dont il parvient à exprimer généralement ce concours d'actions combinées.

Soit ABCDEFGH (*fig. 21, Pl. III*) une section du tube capillaire faite à l'aide d'un plan qui passe par l'axe, MNP le niveau de l'eau dans laquelle il est plongé,  $I$  la hauteur à laquelle ce liquide s'élève dans le tube, YIZ la petite concavité que forme sa surface, par l'effet de l'attraction; concevons, à l'endroit de l'axe du tube, une colonne infiniment déliée IK, dont l'extré-

(1) Soient  $D$ ,  $d$  les diamètres, et  $H$ ,  $h$  les hauteurs. On aura, par l'hypothèse,  $D : d :: D^2 \times H : d^2 \times h$ ; d'où l'on tire  $H : h :: d : D$ .

(2) P. 105 et suiv.

mité inférieure K soit hors de la sphère sensible d'activité du tube, et prenons de même dans l'eau environnante une colonne ML située aussi verticalement, à une telle distance du tube que celui-ci ne puisse agir sur aucun de ses points; enfin, imaginons un petit canal horizontal LK, à l'aide duquel les deux colonnes soient en communication. L'objet du problème est de rechercher si, en combinant les différentes forces qui sollicitent ces deux colonnes, on parviendra à quelque cas d'équilibre possible entre l'une et l'autre.

Or, la colonne extérieure ML est sollicitée par deux forces différentes: l'une est la force de la pesanteur qui agit dans toute l'étendue de cette colonne; l'autre est l'attraction réciproque des molécules qui agit de même dans tous les points de la colonne, mais qui n'a d'effet que vers l'extrémité M. Pour représenter l'élément de cette action, on suppose une molécule *e* située dans la colonne, à une distance du niveau moindre que celle où se termine en général l'attraction du liquide, et l'on imagine en dessous un plan *mn* parallèle au niveau, à la même distance de la molécule: il est visible que celle-ci sera également attirée en bas et en haut par l'eau comprise entre les deux plans MN, *mn*, puisqu'il y a égalité entre les quantités de liquide situées de part et d'autre. Mais l'eau qui est en dessous du plan inférieur, et dont l'action n'est balancée par aucune autre, attirera la molécule à elle, et cet effet aura lieu jusqu'à la distance où l'attraction devient nulle.

Maintenant, si nous considérons les forces qui sollicitent l'autre colonne IK prise à l'endroit de l'axe

du tube, nous avons d'abord la force de la pesanteur qui agit aussi dans toute l'étendue de cette colonne. A l'égard des autres forces, il faut distinguer entre celles qui sont relatives à la partie supérieure de la colonne, et celles qui concernent la partie voisine de l'extrémité inférieure du tube.

Or, il y a deux forces qui agissent vers la partie supérieure ; savoir, l'attraction du tube sur les molécules de l'eau, et l'attraction réciproque de ces mêmes molécules. Mais le tube étant supposé d'une longueur indéfinie par sa partie élevée au-dessus de l'eau, et son extrémité inférieure CDGH étant à une distance des molécules aqueuses voisines du point I, beaucoup plus grande que celle à laquelle peut s'étendre l'attraction du verre, chaque molécule située vers le même point est autant attirée vers le haut que vers le bas par la force du tube ; et ainsi on peut faire ici abstraction de cette force. Maintenant, pour évaluer l'attraction réciproque des molécules aqueuses, on mène un plan horizontal VX, qui soit tangent à la petite concavité formée par la partie supérieure de l'eau. Cela posé, une molécule *p* située infiniment près de I est attirée par toutes les molécules situées au-dessus de VX, à la distance convenable pour que cette attraction ait lieu, et en même temps par toutes les molécules situées en dessous de VX, qui sont dans le même cas ; mais parce que le liquide forme un vide à sa partie supérieure, il y aura de ce côté moins de molécules attirantes dans un espace donné, entre deux plans parallèles à VX, que dans la partie inférieure ; d'où il suit que la force réelle qui sollicite

les molécules situées vers l'extrémité I , s'exerce de haut en bas.

Reste à considérer ce qui se passe vers la partie inférieure O du tube. Or , pour évaluer les forces qui agissent en cet endroit , il faut supposer que le tube ait un prolongement , jusqu'au fond du vase , qui soit d'une matière égale à l'eau en densité ; ce qui met à portée de tenir compte de l'action qu'exerce la surface de l'eau qui fait continuité avec la surface intérieure du tube. Cela posé , on considère les actions que subissent deux molécules attirées , R , Q , dont l'une est située en dedans du tube , un peu au-dessus de son extrémité , et l'autre extérieure au tube et à la même distance en dessous de cette extrémité. Il est d'abord évident que les actions exercées sur les molécules situées en cet endroit , par l'eau renfermée entre les parois BD , EG du tube , et entre le prolongement fictif du même tube , se détruisent mutuellement , parce que l'eau s'étend autour de ces molécules , bien au delà du rayon de sa sphère d'activité. Nous n'avons donc à considérer que l'action du tube et de son prolongement sur chacune des molécules R , Q. Or , la première est attirée de bas en haut par les parties supérieures du tube , dont cette molécule est plus éloignée que de l'anneau inférieur du même tube ; ce que l'on concevra , en appliquant ici ce qui a été dit par rapport à l'action du liquide , c'est-à-dire , en supposant deux plans *cdgh* , CDGH , qui interceptent de part et d'autre les parties qui se font équilibre : mais la même molécule est attirée de haut en bas , quoique plus faiblement , par le prolongement que

l'on a supposé au tube ; et c'est la différence entre les deux actions qui donne l'effet réel. D'une autre part, la molécule Q située en dessous de l'extrémité du tube, est attirée de bas en haut par le tube, et avec la même force que la première molécule, puisque par l'hypothèse elle est autant éloignée des points D, G, situés à la naissance du tube, que la molécule R est éloignée des points d, g, où commence, à son égard, l'attraction réelle du tube. Mais elle est pareillement attirée de haut en bas par le prolongement du tube, et la différence entre les deux actions est encore ici la même. Ainsi, en la doublant, on a la somme des actions qui s'exercent vers le bas du tube ; ces actions réunies à celles qui sont relatives à la partie supérieure du tube, et à celle de la pesanteur qui sollicite la colonne entière, donnent l'expression totale qui doit être comparée avec celle des forces qui agissent sur la colonne extérieure.

Or, quoique ces expressions ne représentent que d'une manière générale les intensités des attractions et les fonctions de la distance, qui sont inconnues, on voit cependant qu'il y a une infinité de lois d'attraction possibles, dont chacune donnera une quantité sensible pour l'élévation au-dessus du niveau, lorsque le diamètre du tube sera très-petit ; et au contraire, une quantité presque nulle pour les cas où le diamètre du tube seroit un peu considérable ; et parmi les mêmes lois d'attraction, on pourra en choisir une qui donne le rapport inverse entre le diamètre du tube et la hauteur du liquide, à partir du niveau, conformément à l'expérience.

L'expression obtenue par Clairault conduit à cette conséquence singulière , que quand même l'attraction du tube capillaire auroit une intensité moindre que celle de l'eau , pourvu que cette intensité ne fût pas deux fois plus petite , l'eau ne laissoit pas de monter.

193. A l'égard de l'abaissement du mercure au-dessous de son niveau , lorsqu'on y plonge un tube capillaire , on a supposé qu'il provenoit de ce que les molécules de ce métal liquide s'attiroient beaucoup plus fortement les unes les autres , qu'elles n'étoient attirées par le tube ; et effectivement , dans cette hypothèse , on doit avoir des effets contraires à ceux qui ont lieu par rapport aux liquides ordinaires .

Mais les expériences faites à Metz , par le professeur Casbois , prouvent que quand le tube et le mercure sont l'un et l'autre parfaitement desséchés , le métal s'élève au - dessus du niveau , comme les liquides aqueux. Ce physicien a soudé ensemble deux tubes de verre , dont l'un , qui avoit un diamètre sensible , sur une longueur d'environ trois pouces , étoit fermé à l'une de ses extrémités ; l'autre extrémité , qui étoit ouverte , communiquoit avec un tube capillaire d'environ  $\frac{1}{4}$  de ligne de diamètre , et d'environ 36 pouces de longueur. L'ensemble des deux tubes étoit courbé à l'endroit de leur jonction , comme dans le syphon , et le tube capillaire se replioit vers son extrémité , qui portoit un réservoir en forme de boule ouverte , comme dans plusieurs des baromètres ordinaires. On a rempli le tout de mercure , que l'on a fait bouillir , à plusieurs reprises , pour le dépouiller , autant qu'il étoit possible , de son humidité. Ayant ensuite dis-

posé les tubes de manière que la branche capillaire étoit située verticalement , et que la partie qui portoit le réservoir étoit tournée vers le bas , on a vu le mercure descendre à peu près à la hauteur de 28 pouces dans la branche capillaire. Au moyen de la lampe d'émailleur , on a détaché de cette branche la portion qui excédoit la longueur de 30 pouces ; et l'extrémité de cette portion , ainsi que celle de la branche dont elle avoit été séparée , ont été fermées hermétiquement par l'opération même. On avoit alors , d'une part , un baromètre capillaire , et de l'autre , un syphon composé d'une grosse branche et d'une branche capillaire , toutes deux scellées à leur extrémité ; et comme une partie du mercure étoit restée suspendue dans la grosse branche , tandis que le reste descendoit dans le baromètre capillaire à la hauteur de 28 pouces , lorsqu'ensuite ce syphon étoit situé de manière que sa convexité regardoit la terre , le mercure s'y élevoit en même temps dans les deux branches.

Or , en comparant le baromètre capillaire avec les autres baromètres , on remarquoit que le mercure s'y tenoit deux ou trois lignes plus haut ; et à l'égard du syphon , la hauteur de la colonne de mercure qui occupoit la branche capillaire , excédoit de la même quantité celle de la colonne correspondante (1).

Il paroît , d'après ces expériences , que l'abaissement

(1) Dictionnaire Encyclopédique , supplément , tom. IV , p. 981.

du mercure au-dessous du niveau, dans le cas ordinaire, est l'effet d'une petite couche d'humidité qui s'attache à la surface intérieure du tube, et dont l'interposition suffit pour affaiblir sensiblement la vertu attractive du verre à l'égard du mercure, et pour rendre prépondérante l'affinité mutuelle des molécules de ce métal. Lorsqu'on parvient à supprimer cette humidité, le mercure rentre dans l'analogie des autres liquides. Ceux-ci ont aussi leur cas d'exception, qui est celui où l'on enduit l'intérieur du tube d'une couche de matière grasse, qui, ne permettant pas au liquide de parvenir à une assez grande proximité du verre, et n'ayant, par elle-même, que peu d'action sur le liquide, détruit l'influence du tube, pour troubler l'effet des lois ordinaires de l'hydrostatique.

194. On peut, en poussant à l'extrême le dessèchement du mercure et celui du tube qui le renferme, se procurer des baromètres, dans lesquels la colonne de mercure se terminera par une face plane. Laplace et Lavoisier ont construit de ces baromètres, et même ils sont parvenus à rendre concave la surface du mercure; mais ils ne regardoient pas ces instrumens comme plus parfaits que les baromètres ordinaires, parce que si, d'une part, le dessèchement donnoit de l'avantage à la pression de l'atmosphère, en supprimant l'action contraire de la petite vapeur qui se forme ordinairement au-dessus du mercure, d'une autre part, l'excès d'adhérence que ce liquide contractoit avec le verre, ôtoit à la colonne de sa mobilité; en sorte qu'il falloit secouer le baromètre pour faire disparaître l'effet de cette adhérence; et ainsi on ne faisoit que substituer une gêne d'une

nouvelle espèce à celle dont on avoit débarrassé l'instrument.

Nous avons dit (185) que les hauteurs auxquelles s'élèvent différentes liqueurs dans un même tube, ne suivent pas le rapport des densités ; et il est facile d'en concevoir la raison , au moins d'une manière générale, lorsqu'on attribue le phénomène à l'attraction, parce que cette force varie suivant la forme et la disposition des molécules, suivant la figure des pores , et autres circonstances qui peuvent déterminer une plus grande intensité d'attraction , relativement à des liquides d'une moindre pesanteur spécifique.

195. On a cherché à comparer les hauteurs auxquelles s'élevoient différens fluides dans un même tube, avec le diamètre de ce tube. Les résultats donnés sur cet objet, par différens physiciens, varient sensiblement entre eux ; ce qui provient des différences compositions des verres employés aux expériences ; mais ils ont cela de commun , que les hauteurs des colonnes , au-dessus du niveau, ne sont pas proportionnelles aux densités. Dans les expériences faites par Musschenbroek, avec un tube de verre, composé de plomb et de caillou , ayant une longueur de sept pouces, mesure du Rhin (1), sur un diamètre intérieur de  $\frac{1}{5}$  de pouce, l'eau monta à 13 lignes  $\frac{1}{2}$  au-dessus du niveau , le vin rouge à 8 lignes  $\frac{1}{2}$  , et l'alkohol à 6 lignes.

Newton cite une expérience faite au moyen de deux lames de verre , situées parallélement , à une distance

(1) Le pied du Rhin vaut à peu près 11 pouce  $\frac{1}{2}$  de notre ancienne mesure.

d'environ  $\frac{1}{160}$  de pouce , mesure de Londres (1), entre lesquelles l'eau s'élevoit à un pouce au-dessus du niveau.

196. On peut disposer les deux lames de verre de manière qu'elles se touchent par un de leurs bords , et forment entre elles un angle très-aigu : si on les plonge dans l'eau de manière que leur ligne de jonction soit perpendiculaire à la surface de ce liquide , on le verra s'élever subitement entre les deux lames , en formant une courbe qui tournera sa convexité vers la ligne de jonction , et qui passera par les extrémités des différentes hauteurs auxquelles doit s'élever le liquide , à proportion que l'intervalle diminue entre les deux lames de verre. Or , il est facile de concevoir que cette courbe doit être une hyperbole. Soit  $aa'x'x$  (fig. 22) une des deux surfaces de l'eau contiguës aux parois intérieures des lames de verre ,  $ax$  étant la ligne de jonction de cette même surface avec celle de l'eau , dans laquelle les lames de verre sont plongées , et  $b'x'$  la courbe formée par les points les plus élevés de l'eau renfermée entre ces lames. Nous pouvons considérer cette eau comme un assemblage d'une infinité de petits cylindres , qui auront pour hauteurs les perpendiculaires  $xx'$ ,  $tt'$ ,  $rr'$ , etc. , menées sur la ligne  $ax$  jusqu'à la rencontre de la courbe. Soit  $zax$  (fig. 23) la surface inférieure de l'eau renfermée entre les lames de verre , auquel cas la ligne  $ax$  sera la même que fig. 22. Si nous menons  $xz$ ,  $tu$ ,  $rs$ , etc. , (fig. 23) perpendiculaires sur  $ax$  , de ma-

(1) Le pied de Londres répond à environ 11 pouces 3 lignes de notre ancienne mesure.

nière que les distances  $xt$ ,  $tr$ ,  $ro$ , etc., soient les mêmes que *fig. 22*, ces perpendiculaires pourront être considérées comme les diamètres des bases des petits cylindres, dont les hauteurs sont les lignes  $xx'$ ,  $tt'$ ,  $rr'$ , etc. Or, d'après la loi à laquelle est soumis le phénomène, les hauteurs  $xx'$ ,  $tt'$ ,  $rr'$ , etc., sont en raison inverse des diamètres  $xz$ ,  $tu$ ,  $rs$ , etc., (*fig. 23*) des bases ; mais ces diamètres sont entre eux comme leurs distances  $ax$ ,  $at$ ,  $ar$ , etc., au point  $a$ . Donc les lignes  $xx'$ ,  $tt'$ ,  $rr'$ , etc., (*fig. 22*) sont aussi en raison inverse des lignes  $ax$ ,  $at$ ,  $ar$ , etc. ; d'où il suit que la courbe  $b'x'$  est une hyperbole, qui a pour asymptotes les lignes  $ax$ ,  $aa'$ , de manière que les lignes  $xx'$ ,  $tt'$ ,  $rr'$ , etc., sont les ordonnées à l'asymptote  $ax$ , et les lignes  $ax$ ,  $at$ ,  $ar$ , etc., les abscisses. C'est une suite du rapport inverse dont nous avons déjà parlé. Cette expérience, comme on le voit, est intéressante, en ce qu'elle généralise son objet, et présente une expression géométrique du phénomène tracée par le liquide même qui le produit.

197. On peut ramener les effets des tubes capillaires à une autre expérience très-facile à faire. Elle consiste à incliner un de ces tubes et à laisser tomber sur sa surface une goutte de liquide, puis à redresser le tube au moment où cette goutte, entraînée par son poids, arrive à l'orifice inférieur ; on la voit à l'instant s'élanter par cet orifice dans l'intérieur du tube.

Cette expérience, qui présente le phénomène dégagé, autant qu'il est possible, des lois de l'hydrostatique, qui se combinent toujours plus ou moins avec l'affinité, dans le cas où il a lieu, peut servir de transition pour

arriver à l'explication d'une multitude d'effets analogues, qui se passent continuellement sous nos yeux. Tels sont ceux que présentent un tronçon de branche d'arbre plongé dans l'eau par une de ses extrémités, et qui s'imbibe de cette eau; un morceau de sucre que l'on plonge de même par une pointe dans le café, et qui, en un instant, se trouve humecté jusqu'au haut; un monceau de sable ou de cendre, dont le pied est dans l'eau, qui y monte peu à peu, et parvient jusqu'à la cime; la mèche de coton, qui attire de bas en haut l'huile d'une lampe, et ainsi d'une infinité de corps que Musschenbroek appeloit *les aimans des fluides*, dénomination très-impropre, si ce physicien l'eût prise à la rigueur. Toutes les différentes substances hygrométriques viennent ici se ranger sur une même ligne, qui commence aux tubes capillaires.

198. Les dendrites ou herborisations qui ornent la surface de certaines pierres calcaires ou argileuses, sont dues à une cause semblable. Parmi ces pierres, les unes sont pleines de fissures, dans lesquelles un fluide chargé de molécules ferrugineuses ou autres s'est introduit, et a laissé de petits dépôts métalliques; et comme les fissures forment des espèces de ramifications, qui, même assez souvent, communiquent à une fissure principale, l'artiste a soin de couper la pierre dans le sens convenable, pour que toutes ces ramifications se développent sur un même plan; en sorte qu'elles ressemblent à un petit arbre, dont la fissure principale représente le tronc. Il y a d'autres pierres composées de feuillets, entre lesquels un fluide semblable a pénétré, et s'est étendu par veines, en formant des dendrites

composées de globules métalliques, rangés à la file les uns des autres. Dans ce cas, on se contente de détacher les feuillets, et l'on a un petit tableau qui est tout entier l'ouvrage de la nature.

199. C'est encore à des actions du genre de celles qui produisent les phénomènes des tubes capillaires, que l'on doit attribuer les mouvements à l'aide desquels deux petits corps qui flottent sur un liquide, à une petite distance l'un de l'autre, s'approchent jusqu'au contact, ou se fuient, suivant les circonstances. Ces corps étant de ceux qui sont à l'état de solidité, ne peuvent exercer l'un sur l'autre aucune attraction ou répulsion sensible; et ce qui se passe dans les actions dont il s'agit ici, est uniquement dû à l'action des molécules du liquide en contact avec ces mêmes corps.

200. Si aucun des deux corps n'est susceptible d'être mouillé par le liquide; si ce sont, par exemple, deux globules de cire qui flottent sur l'eau, et que la distance qui les sépare soit assez petite, on les verra s'approcher et se réunir. Pour en entrevoir la raison, on peut observer que, dans ce cas, la surface *bd* (*fig. 24, Pl. IV*) du liquide commence à s'infléchir en partant d'un point *d* où *g* situé à une certaine distance de celui où se fait l'immersion du globule *a*; en sorte qu'elle forme en cet endroit une courbe, dont la convexité est tournée vers le haut. La même chose a lieu par rapport au globule *c*, qui flotte sur le même liquide. Tant que les deux globules sont à une distance respective assez grande, pour qu'une partie de la surface intermédiaire du liquide, telle que *db*, conserve son niveau, les pressions latérales que ce liquide exerce de part et d'autre

sur chaque globule étant égales, l'équilibre subsiste ; mais si l'on suppose que la distance diminue continuellement entre les deux globules, il y aura un terme où les deux courbes tendront à s'entrecouper ; alors la partie du liquide située entre les deux globules éprouvera un abaissement qui rompra l'équilibre, et les pressions latérales qui agissent du côté opposé devenant prépondérantes, pousseront les deux globules l'un vers l'autre.

201. Si l'un des deux globules, tel que *a* (fig. 25), est susceptible d'être mouillé, et que l'autre globule *b* ne le soit pas ; par exemple, si le premier est de liège, et l'autre de cire, le liquide s'élèvera autour du globule *a*, tandis qu'au contraire il formera un enfoncement autour du globule *b* ; en sorte que si on les fait avancer l'un vers l'autre jusqu'à une petite distance, la pression qui agit latéralement sur *b*, du côté de *d*, étant plus forte que celle qui a lieu dans la partie opposée *g*, à cause de l'élévation du liquide entre *d* et le globule *a*, l'autre globule *b* sera forcé de reculer, comme s'il étoit repoussé par le globule *a*.

On peut varier cette expérience, en plaçant sur l'eau un globule de cire, puis en plongeant dans cette eau, à quelques millimètres du globule, l'extrémité d'un corps susceptible d'être mouillé, tel qu'un petit bâton de bois, de même diamètre que le globule. Celui-ci s'éloignera du bâton ; et si l'on réitère les immersions toujours à la même distance, on pourra diriger à volonté le mouvement du globule, par une action qui paroîtra s'exercer à distance sur ce petit corps.

202. Enfin, si les globules sont tous les deux susceptibles d'être mouillés, ils se porteront l'un vers

l'autre, et finiront par s'unir. Dans ce cas, l'intervalle entre les deux globules peut être considéré comme un tube capillaire dans lequel l'eau s'élève à une plus grande hauteur que dans les parties opposées à celles par lesquelles les globules se regardent. Or si, pour aider nos conceptions, nous imaginons, à la place des globules, deux lames de verre plongées dans l'eau, par une de leurs extrémités, et situées parallèlement entre elles à une petite distance; parmi les différentes actions qui se combinent dans ce cas, il y en a une qui dépend de ce que la surface intérieure de chaque lame est attirée dans le sens latéral par la couche d'eau en contact avec elle; cette couche, à son tour, est de même attirée par celle qui lui est contiguë, et ainsi de suite, de manière que les deux lames sont sollicitées l'une vers l'autre par l'intermédiaire des couches aqueuses qui les séparent; et le résultat fait voir que cette action l'emporte sur les autres qui tendent à la balancer. A mesure que la distance diminue entre les lames, l'eau s'élève à une plus grande hauteur, et la force qui agit pour rapprocher les lames augmente en même temps que la surface de contact entre le liquide et le verre. On a la limite de l'effet, que nous considérons ici, lorsque l'on presse tellement l'une contre l'autre deux lames de verre, que leur contact immédiat n'est empêché que par une couche d'eau presque infiniment mince qui reste entre elles. Dans cet état elles contractent, l'une pour l'autre, une forte adhérence, qui est due à l'attraction qu'exercent sur elles les molécules de la couche aqueuse qu'elles interceptent.

203. On peut substituer aux globules deux aiguilles

déliées que l'on posera doucement sur l'eau, où elles flotteront, par l'effet de la petite couche d'air qui est adhérente à leur surface, comme cela a lieu en général pour tous les corps. Le volume de cet air étant comparable au volume de l'aiguille, fait croître ce dernier dans un rapport plus grand que celui de l'augmentation de poids ; en sorte que le tout est spécifiquement plus léger qu'un pareil volume d'eau. Si l'on fait avancer une des aiguilles vers l'autre, dans une direction oblique, jusqu'à ce que les deux extrémités se touchent, elles s'inclineront l'une vers l'autre, de manière que l'angle qu'elles formoient, au moment du contact, diminuera peu à peu, et elles finiront par adhérer entre elles dans toute leur longueur. Si lorsqu'elles se sont rencontrées, l'extrémité de l'une a touché un point situé, par exemple, au milieu de la longueur de l'autre, le point de contact restera fixe jusqu'à ce que les deux aiguilles adhèrent ensemble, en se dépassant mutuellement de la moitié de leur longueur, et à l'instant elles glisseront l'une sur l'autre pour se mettre de niveau par leurs extrémités.

Tous ces divers phénomènes, que plusieurs physiciens ont attribués aux actions réciproques des corps qui les présentent, dépendent donc uniquement de l'attraction qu'exercent les molécules de l'eau, soit entre elles, soit par rapport aux corps eux-mêmes ; et ce liquide est ici le véritable moteur déguisé sous l'apparence d'un simple véhicule (1).

---

(1) Voyez le Traité du Mouvement des eaux, par Mariotte, Paris, 1700, p. 118 et suiv. ; et un Mémoire du célèbre Monge, inséré parmi ceux de l'Acad. des Sc., an. 1787, p. 506 et suiv.

Dans l'exposition que nous avons faite de ces phénomènes, nous n'avons pu donner, relativement aux forces dont ils dépendent, que les aperçus qui se présentent comme d'eux-mêmes, lorsqu'on fait attention aux différentes figures que prend, suivant les circonstances, le liquide sur lequel flottent les corps. Mais la détermination précise des résultats donnés par l'expérience, seroit l'objet d'un calcul analytique très-compliqué, et qui exigeroit une main dont l'habileté répondit à la délicatesse du problème.

## 2. De l'Eau à l'état de Glace.

La congélation de l'eau, dont nous allons maintenant nous occuper, est de tous les phénomènes produits par le passage de la liquidité à la solidité, le plus général, et celui qui mérite le mieux de nous intéresser. Nous joindrons au développement des circonstances qui le déterminent et l'accompagnent, quelques détails relatifs au même phénomène offert par d'autres corps, lorsqu'il en résultera des rapprochemens propres à fixer l'attention.

204. Lorsqu'une masse d'eau exposée dans un vase à une température convenable, passe à l'état de solide, et que la congélation n'est pas trop hâtée, on voit d'abord se former, à la surface, de petites aiguilles triangulaires, dont une des faces est de niveau avec l'eau. A mesure que ces aiguilles se multiplient, elles s'insèrent les unes sur les autres, et les interstices qu'elles laissent se trouvant occupés successivement

par de nouvelles aiguilles, tout cet assemblage finit par ne plus former qu'un même corps.

Dans le cas d'une congélation très-lente, les aiguilles ont des espèces de dentelures, et imitent, par leur assortiment, les cristallisations ébauchées que le refroidissement qui succède à la fusion fait naître sur la surface de la plupart des métaux, et que l'on a comparées à des rameaux de fougère. On observe aussi de ces congélations ramifiées à la surface des vitres pendant les temps de gelée.

Une circonstance remarquable de ces mêmes assortimens, est la tendance des aiguilles à se réunir sous l'angle de 120 degrés ou de  $60^{\circ}$ . Cette disposition se montre, avec un caractère particulier de symétrie, dans la neige, qui tombe assez souvent en forme de petites étoiles à six rayons, exactement situés comme ceux d'un hexagone régulier.

205. Descartes, pour expliquer ce phénomène, pensoit que les molécules de l'eau étant sphériques, six globules de cette eau s'arrangeoient d'abord autour d'un septième, et servoient ensuite comme de points d'attache à des files de globules semblables, dirigées suivant des lignes qui passoient par les centres des premiers et par celui du globule du milieu. Mais cette explication ressemblait à beaucoup d'autres, qui amènent le fait à elles, au lieu d'être amenées par le fait lui-même.

206. Mairan, dans sa Dissertation sur la glace, où l'on trouve une suite d'observations très-soignées, réunie à ce que la théorie pouvoit alors dire de mieux, se borne à regarder la disposition angulaire dont il s'a-

git, comme l'effet d'une certaine tendance qui dépend de la figure des molécules, qu'il présume être de petites aiguilles ; et il cite, entre autres exemples qui viennent à l'appui de son opinion, celui de la pyrite cubique, dont les faces sont striées alternativement dans trois directions perpendiculaires l'une à l'autre (1). Cette pyrite n'est, selon lui, qu'un assemblage d'aiguilles déterminées, par elles-mêmes, à affecter constamment ces directions croisées ; mais nous avons prouvé depuis (2), que la pyrite striée est, comme les autres, un assemblage de molécules cubiques, et doit être regardée comme une cristallisation ébauchée du dodécaèdre à plans pentagones (101).

On pourroit plutôt présumer que les molécules de la glace sont des tétraèdres réguliers, composant des octaèdres, par un assortiment semblable à celui qui a lieu pour la chaux fluatée, ou le spath fluor (3), puisque les congélations qui offrent des indices de formes régulières, ont un rapport marqué avec les dendrites métalliques, que nous savons être des assemblages d'octaèdres implantés, dont la structure ressemble à celle du spath dont il s'agit : ce sont les mêmes traits de part et d'autre, les mêmes dentelures, les mêmes apparaîances de triangles équilatéraux aux extrémités.

Or, telle est la structure de l'octaèdre régulier, que si on le coupe parallélement à deux de ses faces op-

(1) P. 156 et suiv.

(2) Traité de Minér., t. IV, p. 75.

(3) *Ibid.*, t. II, p. 249.

posées, et à égale distance entre l'une et l'autre, on mettra à découvert un hexagone régulier, et que, de plus, six des tétraèdres qui le composent auront chacun une de leurs faces située sur le plan de cet hexagone. Si donc on suppose des files de petits cristaux implantés, qui, en partant des différens côtés de l'hexagone, aient leurs faces analogues de niveau avec lui, ce qui n'est autre chose qu'une continuation d'un effet qui est dans le sens de la structure, ces files formeront nécessairement entre elles des angles de 60 degrés ou de 120 degrés, suivant qu'elles naîtront des côtés adjacens à l'hexagone, ou des côtés pris de deux en deux. On peut même supposer que le cristal situé à l'origine de ces différentes files soit une portion d'octaèdre terminée par un hexagone. Il n'est pas rare de rencontrer de ces portions d'octaèdre, même parmi les cristaux isolés. Au reste, ce n'est ici qu'une hypothèse, à laquelle nous n'attachons que le degré de valeur qu'elle nous paraît avoir, comme étant puisée dans l'analogie, et indiquée par l'observation.

207. Nous avons parlé plusieurs fois du degré de la congélation, et nous avons désigné par là le terme où, soit que la glace commence à se fondre, soit que l'eau liquide commence à se glacer, la liqueur du thermomètre répond à zéro; c'est effectivement ce qui a toujours lieu. Mais il ne s'ensuit pas que la température de l'eau ne puisse descendre au-dessous de zéro, sans que cette eau ne se congèle. Farenheit observa, le premier, et ce ne fut pas sans surprise, que l'eau contenue dans un matras de verre, dont le tube étoit fermé par le haut, conservoit encore sa fluidité, après avoir

été exposée, pendant un jour et une nuit, à une température de beaucoup inférieure au terme de la congélation. Ayant cassé la pointe du tube, il vit à l'instant une multitude de petits glaçons se former au milieu de l'eau, et il attribua d'abord cet effet au contact de l'air; mais une autre fois qu'il portoit un semblable matras, où l'eau étoit encore liquide, il fut tiré d'erreur par un accident assez singulier, en faisant un faux pas, qui produuisit dans l'eau une agitation suivie d'une congélation subite.

Cet effet est analogue à ce qui se passe dans la cristallisation des sels. Un mouvement léger, imprimé au vase dans lequel est contenue une dissolution saline, où l'on ne voyoit encore rien paroître, quoique elle eût déjà passé le point de saturation, suffit pour déterminer tout à coup la naissance d'une multitude de petits cristaux.

On peut concevoir que, dans ce cas, l'agitation du liquide, en même temps qu'elle aide les molécules salines à se dégager d'entre les molécules aqueuses, qui opposent encore un petit obstacle à leur réunion, occasionne, dans les premières, une multitude de mouvements divers, d'où résultent, pour un certain nombre d'entre elles, les positions qui donnent le plus d'avantage à l'affinité.

208. On a remarqué aussi qu'un petit cristal de sel, placé dans une dissolution du même sel, favorise la cristallisation, parce que les molécules qui composent ce cristal ayant déjà les positions respectives qu'exige l'affinité pour être satisfaite, sollicitent ensuite leurs voisines aux mouvements les plus favorables à l'action

de la même force , et cette disposition se communique , de proche en proche , à toutes celles qui faisoient effort pour cristalliser. La présence d'un petit glaçon , que l'on place de même dans une eau qui est déjà au-dessous du degré de la congélation , devient comme le signe de ralliement de toutes les molécules qui ont une tendance prochaine à se réunir.

209. Les deux effets dont nous venons de parler , savoir , l'abaissement de température que l'eau peut subir au-dessous du terme de la congélation , en restant toujours liquide , et le passage subit à l'état solide , en vertu de certaines circonstances , ont été le sujet d'une suite intéressante d'observations faites par M. Blagden , de la Société Royale de Londres (1). Ce savant a remarqué qu'en général les substances qui altèrent la pureté et la transparence de l'eau , déterminent un moindre abaissement dans la température que ce liquide peut atteindre , sans se congeler , que s'il eût été pur et limpide. Ainsi l'eau distillée étoit celle qui donnoit , à cet égard , comme le *maximum* d'abaissement de température ; et , de plus , il y avoit cette différence entre l'eau distillée que l'on avoit fait bouillir et celle qui n'avoit point subi l'ébullition , que la première pouvoit être refroidie plus que l'autre sans se congeler. Le terme ordinaire auquel la première parvenoit avant d'entrer en congélation , répondait à 24 degrés à peu près de Farenheit , ou  $4^{\frac{1}{2}}$  au-dessous de zéro sur le thermomètre divisé en 80 parties ; mais l'eau qui n'avoit point bouilli arrivoit à une température de

---

(1) Philosophical transactions , vol. LXXXVII , p. 125.

21<sup>d</sup> de Farenheit, près de 5<sup>d</sup> de l'autre thermomètre, avant de se congeler. M. Blagden attribue cette différence à l'air que l'eau renferme naturellement, et qui se dégage pendant l'ébullition. L'eau qui n'avoit point été distillée se congeloit, après être parvenue à une température toujours moins basse, à proportion que cette eau étoit moins pure; et M. Blagden ayant soumis à l'expérience de l'eau de rivière très-chargée de particules limoneuses, ne put jamais l'amener à descendre au-dessous de 32<sup>d</sup> de Farenheit, ou du zéro du thermomètre en 80 parties, avant de se congeler.

On entend dire assez communément que l'eau qui a bouilli se gèle plus facilement que celle qui n'a point été exposée au feu. M. Blagden aperçoit, dans les résultats de ses observations, ce qui a pu donner naissance à cette opinion: car si l'eau contient de la terre calcaire qui y soit tenue en dissolution par l'acide carbonique, ce qui a lieu très-fréquemment par rapport aux eaux de source, la terre calcaire, en se précipitant, par l'effet de l'ébullition, troublera la transparence de l'eau, qui acquerra ainsi une disposition plus prochaine à entrer en congélation.

Ces expériences faites sur l'eau commune ont été suivies de beaucoup d'autres où l'eau étoit modifiée par différentes substances salines, acides ou alkalines, susceptibles d'être dissoutes par ce liquide, ou combinées chimiquement avec lui. On savoit déjà que l'union de ces substances avec l'eau avoit la propriété de faire baisser plus ou moins son point de congélation. M. Blagden a observé de plus qu'en vertu de cette même union, l'eau pouvoit aussi être refroidie au-dessous de

son nouveau point de congélation, en restant toujours liquide, et il détermine l'abaissement de température qui a lieu dans chaque cas particulier.

210. Pour compléter le tableau de toutes les circonstances relatives à cet objet, nous remarquerons qu'il y a ici deux effets distincts qui dépendent du calorique : d'abord la température du liquide s'abaisse au-dessous de zéro, parce que les corps environnans, qui sont plus froids que l'eau, lui enlèvent le calorique, par leur affinité prépondérante pour ce fluide ; mais dès qu'une fois l'eau est déterminée à se congeler, en vertu d'une cause quelconque, il se fait un dégagement particulier de la quantité de calorique qui doit se développer, pour que la congélation ait lieu.

211. On sait que l'eau congelée absorbe, en se fondant, 60<sup>d</sup> de chaleur ; car si l'on mêle ensemble un kilogramme d'eau à 60<sup>d</sup>, et un kilogramme de glace à zéro, toute la chaleur de l'eau sera employée à fondre la glace : par un effet contraire, une masse d'eau qui se congèle développe 60<sup>d</sup> de chaleur.

D'après cela on peut expliquer pourquoi l'eau, dont la température descend au-dessous de zéro, reste liquide ; car si les circonstances sont telles, que le calorique qui se dévelloperoit par l'effet de la congélation dût mettre beaucoup de lenteur à se communiquer aux corps environnans, il en résultera une cause de retard par rapport à la congélation elle-même, parce que plus la portion de calorique qui, en la supposant développée, tendroit à rester dans la masse est considérable, et plus elle contrarie une des conditions nécessaires à la congélation ; savoir, que la température ne s'élève pas

au-dessus de zéro , puisqu'à ce terme la glace commence à se fondre.

Cet obstacle , que la transmission lente du calorique forme à la congélation , est tel , que si l'on suppose l'eau exactement renfermée dans un vase non conducteur du calorique , elle ne pourra se congeler toute entière , dans cette hypothèse mathématique , qu'à une température au moins de  $66^d \frac{2}{3}$  au-dessous de zéro , en supposant , avec M. Kirwan et plusieurs autres physiciens , que les chaleurs spécifiques de la glace et de l'eau à l'état de liquide , soient entre elles dans le rapport de 9 à 10 ; car la quantité de chaleur que développe l'eau pendant qu'elle se congèle , est , comme nous l'avons dit , égale à celle qui élèveroit de  $60^d$  la température de ce liquide. Or , lorsque le développement de cette quantité de chaleur , que nous supposons rester toute entière dans l'eau , a déterminé le point de la congélation , la glace est dans le même cas que si sa température ayant été primitivement d'un nombre  $n$  de degrés au-dessous de zéro , elle s'étoit élevée jusqu'à zéro , par un accroissement de chaleur capable de faire monter de  $60$  degrés la température de l'eau. Donc , puisque les élévarions de température de deux corps , par un même accroissement de chaleur , suivent le rapport inverse des chaleurs spécifiques (126) , on aura cette proportion ,  $60^d : n :: 9 : 10$  , ce qui donne  $n = 66^d \frac{2}{3}$  ; c'est-à-dire , que l'élévation de température qui feroit naître la congélation dans l'hypothèse présente , seroit de  $66^d \frac{2}{3}$  , ou , en d'autres termes , il faudroit que la température de l'eau eût été originairement de ce nombre de degrés.

Si, dans la même hypothèse , la température étoit plus voisine de zéro , il pourroit encore y avoir congélation , mais seulement par rapport à une partie de l'eau ; et l'on trouveroit une infinité de cas possibles d'équilibre , en supposant que tout ce qui seroit susceptible de congélation se congelât en effet ; en sorte que l'on pourroit déterminer , à l'aide d'un calcul simple , la partie qui se congeleroit par chaque degré de température . Mais ces circonstances n'ont point lieu dans la nature , parce que les corps environnans prennent toujours leur part du calorique développé (1) .

212. A l'égard de la congélation occasionnée par l'agitation de la liqueur , M. Blagden , en essayant des mouvemens de différentes espèces , est parvenu à distinguer ceux dont l'effet est le plus sûr pour commander , en quelque sorte , la réunion subite des molécules aqueuses . Il a observé qu'en général cet effet dépend d'une agitation particulière produite dans le liquide , plutôt que d'un mouvement rapide imprimé à toute la masse . Ainsi l'on réussira , en frappant légèrement avec le fond du vase la table qui le soutient , ou en froissant les parois intérieures ou le fond du même vase avec un tube ou avec une plume . Mais de tous ces excitateurs de la congélation , celui qui manque le plus rarement son effet , est un petit morceau de cire avec lequel on frotte les parois du vase , dans quelques points inférieurs au niveau de l'eau , de manière à faire

---

(1) Voyez le Mémoire publié par Lavoisier et Laplace , parmi ceux de l'Acad. des Sciences , 1780 , p. 355 et suiv.

naître des espèces de vibrations sonores. On voit paraître à l'instant une croûte de glace à l'endroit du vase situé au-dessous de la cire.

213. Pendant que l'eau passe à l'état de glace, son volume subit différentes variations, dont la marche mérite d'être suivie avec attention. Si on expose à la gelée un matras rempli d'eau jusque vers le milieu de sa hauteur, on verra cette eau descendre d'abord à mesure qu'elle se refroidira ; arrivée à un certain terme, elle y restera stationnaire pendant quelques instans, puis elle commencera à monter; en sorte qu'au moment de sa congélation, elle se trouvera au-dessus de son premier niveau.

On voit par là que le volume de l'eau congelée est plus grand que n'étoit celui de la même eau à l'état de liquide. Il en résulte que la pesanteur spécifique de l'eau diminue par la congélation, ce qui est d'ailleurs prouvé par la propriété qu'ont les glaçons de nager sur l'eau qui les charie.

214. L'observation que nous venons de citer indiquoit déjà que la dilatation de l'eau, à l'état de glace, n'étoit pas produite tout à coup, et comme par un saut brusque, au moment même de la congélation, mais qu'elle commençoit plutôt; en sorte que le point de la plus grande contraction étoit à quelques degrés au-dessus du zéro du thermomètre.

On pouvoit objecter, cependant, qu'il y avoit ici un effet qui n'étoit qu'apparent, et qui provenoit de ce que le verre se condensant en même temps que l'eau, à mesure qu'il se refroidissoit, éprouvoit, aux approches de la congélation, une contraction qui étoit plus

grande à proportion que celle de l'eau. C'est ainsi que le fait a été expliqué par plusieurs physiciens, qui ont pensé que, dans ce cas, l'eau paroisoit seulement acquérir une extension de volume, qui étoit due à l'excès de la contraction du verre sur celle de l'eau elle-même.

Mais les expériences faites par Lefèvre-Gineau, avec le cylindre qui lui a servi à déterminer la nouvelle unité de poids, ne laissent aucun lieu de douter que la dilatation de l'eau ne soit réelle. Ce physicien a pesé le cylindre dont il s'agit, à diverses reprises et avec un soin extrême, tandis que la température de l'eau dans laquelle cet instrument étoit plongé, varioit en se rapprochant du terme de la glace fondante. Il a trouvé que le cylindre commençoit à perdre toujours davantage de son poids, à mesure que l'eau se refroidissoit, et cela jusque vers le quatrième degré au-dessus de zéro du thermomètre centigrade, qui répond à  $3^{\frac{1}{2}}$  sur le thermomètre en 80 parties. Depuis ce terme, la perte de poids diminuoit à mesure que la température approchoit du point de la congélation. Dans le premier cas, la force de l'eau, pour soutenir le cylindre, alloit en croissant; d'où il suit que ce liquide se contractoit de plus en plus. La même force diminuoit dans le second cas, ce qui indiquoit une dilatation dans le liquide; et ainsi, le *maximum* de densité répond à peu près au quatrième degré de chaleur sur le thermomètre centigrade.

215. La marche ordinaire du thermomètre est toujours un peu compliquée du double effet de la température, pour dilater ou resserrer en même temps le liquide et le verre qui le contient; en sorte que la va-

riation du mercure paroît moindre qu'elle n'est réellement ; mais cette différence n'influe pas sur les résultats des observations ordinaires , parce qu'on suppose qu'entre les deux termes fixes auxquels se rapporte la construction du thermomètre , les degrés de dilatation ou de contraction du mercure et du verre suivent sensiblement le même rapport.

216. Selon les observations de M. Blagden , la dilatation que subit l'eau , par l'effet du refroidissement , depuis un certain terme , est susceptible de s'accroître encore , lorsque le liquide continue de se refroidir au-dessous du point de la congélation , sans passer à l'état de solidité. Il a paru même à ce savant que l'expansion avoit une marche croissante , en sorte qu'elle étoit beaucoup plus grande vers les derniers degrés du refroidissement qu'elle ne l'avoit été au commencement.

217. Une circonstance remarquable , qui accompagne la formation de la glace , est le dégagement de l'air renfermé dans l'eau. Cet air s'échappe sous la forme de petites bulles qui se réunissent plusieurs ensemble , pour former des bulles plus considérables , dont le diamètre a quelquefois jusqu'à six lignes , ou même un pouce de longueur.

Quelquefois les bulles ont la forme de petits tubes plus ou moins inclinés , par rapport à l'axe du vase où s'opère la congélation : c'est ce qu'on observe en particulier dans l'eau distillée qui passe à l'état de glace.

218. L'augmentation de volume que subit cette glace peut être attribuée , en partie , au dégagement de l'air. Il en seroit ici de l'eau et de l'air , comme de certaines substances qui paroissent se pénétrer en se mê-

lant, de manière que la somme de leurs volumes, pris séparément, étoit plus grande avant le mélange.

Mais l'eau que l'on a purgée d'air le plus exactement qu'il a été possible, avant de la faire congeler, ne laisse pas d'augmenter sensiblement de volume; ainsi, cet effet dépend en grande partie du nouvel arrangement que prennent entre elles les molécules intégrantes du liquide, en se réunissant par leur force d'affinité; et l'on sait que ce même effet n'est point particulier à l'eau. Réaumur a observé que le fer acquiert un volume plus considérable par le refroidissement qui suit la fusion de ce métal et qui le congèle, tandis que le mercure, au contraire, dans le même cas, se contracte d'une quantité très-sensible.

219. Mairan attribue la dilatation de l'eau congelée à une espèce de désordre produit par le mouvement plus ou moins rapide qui agite les molécules tandis qu'elles se réunissent. Il en résulte, selon lui, qu'elles se croisent et s'embarrassent mutuellement sous une infinité de positions différentes, en laissant de petits vides entre elles, ce qui tend à leur faire occuper un plus grand espace que dans l'état de simple liquidité.

On conçoit effectivement que, toutes choses égales d'ailleurs, une cristallisation confuse, en donnant lieu à une multitude de petits interstices qui auraient été remplis, dans le cas d'une cristallisation plus lente et mieux graduée, puisse tendre à augmenter le volume de la masse solide produite par cette opération. Mais il paraît que l'acte seul de la cristallisation est, par lui-même, au moins relativement à certaines substances, et en particulier à l'égard de l'eau, une cause immé-

diate d'augmentation de volume. Telle est, dans ces sortes de cas, la figure des molécules, jointe aux autres circonstances, que pour suivre les espèces d'alignemens qui déterminent leurs nouvelles positions respectives, elles sont forcées de se développer dans un espace plus étendu que celui qu'exigeoit l'état de liquidité.

220. Mairan ayant cherché la pesanteur spécifique de la glace, au moyen de la balance hydrostatique, a trouvé que le volume de l'eau augmentoit d'environ  $\frac{1}{4}$  par la congélation : mais cet effet varie suivant les circonstances ; et comme il provient en général d'un arrangement particulier que prennent tout à coup les molécules de l'eau, en vertu de l'affinité qui, dans ce cas, agit très-puissamment pour les fixer, on entrevoit comment il peut en résulter dans la glace une force expansive considérable. De là les efforts qu'elle exerce contre les parois des différens vases qui la contiennent. Si le vase est d'une forme plate et présente une large ouverture, la force de la glace s'exerce en partie sur la croûte supérieure, qu'elle soulève vers le milieu, en lui faisant prendre une figure convexe ; en sorte que les parois du vase n'ayant à soutenir que le résidu de la même force, lui opposent ordinairement une résistance suffisante : mais si le vase est étroit, il arrive rarement qu'il ne soit pas rompu par l'effort de la glace, qui alors agit presque entièrement dans le sens latéral ; et il n'est personne qui n'ait en plus d'une fois sous les yeux des vases d'un usage ordinaire mis hors de service par la congélation du liquide que l'on y avoit laissé séjourner.

221. Plusieurs physiciens ont désiré d'éprouver jusqu'où pourroit aller cette force d'expansion. Un canon de fer , épais d'un doigt , rempli d'eau et fermé exactement , ayant été exposé , par Buot , à une forte gelée , se trouva cassé en deux endroits au bout de douze heures. Les philosophes de Florence firent crever , par la même cause , une sphère de cuivre très-épaisse , et Musschenbroek ayant calculé l'effort qui avoit dû occasionner la rupture , a trouvé qu'il auroit été capable de soulever un poids de 27720 livres.

222. Lorsqu'à la suite d'un dégel , le retour de la gelée convertit en glace l'eau dont la terre étoit imbibée , cette glace , qui a subi une augmentation de volume , serre les végétaux naissans par le collet de leur racine , et attaque d'une manière funeste cette partie , qui leur sert à pomper les sucs nourriciers que la terre leur fournit. Un froid vif qui survient pendant le printemps produit aussi des effets nuisibles , dans l'intérieur même des plantes qui déjà commençoient à se développer. La séve , composée d'eau en grande partie , se dilate en se congelant , tandis qu'au contraire , les fibres de la plante éprouvent une contraction ; et il en résulte des espèces de déchirures qui occasionnent un dérangement dans l'organisation.

223. La même cause étend son influence destructive jusque sur les êtres inorganiques. Les pierres qui ont été mouillées avant la gelée s'exfolient ; les marbres que l'on a fait sauter au moyen de la poudre à canon , et où il s'est formé des gerçures , par l'ébranlement qu'ils ont éprouvé , sont sujets , dans le même cas , à éclater en divers endroits. Il est bon que les artistes connoissent

la cause de ces accidens , pour être à portée de les prévenir.

224. L'eau qui tient un sel en dissolution le laisse précipiter lorsqu'elle se convertit en glace. Dans quelques contrées du nord , on profite du froid de l'atmosphère , comme d'un moyen préparatoire , pour extraire le sel des eaux de la mer. On fait entrer une couche d'eau peu épaisse dans des fosses préparées à cet effet. Une partie de cette eau , en se congelant , abandonne les molécules salines , qui se concentrent dans la portion encore fluide , en sorte que celle-ci n'a plus besoin que d'être exposée à une chaleur modérée , pour que son évaporation permette au sel , dont elle est chargée , de se cristalliser.

### *De la Congélation du Mercure.*

225. Le mercure est , après l'eau , celui de tous les liquides dont la congélation ait donné lieu aux observations les plus intéressantes. Cette substance , qui paroît jouer un rôle si singulier dans la nature , n'est réellement qu'un métal capable d'entrer en fusion par une température incomparablement moins élevée que celle qu'exigent les métaux ordinaires pour se fondre , ce qui seul indique que le degré de froid nécessaire pour le solidifier , est bien en deçà du zéro de nos thermomètres. Déjà Delisle et Gmelin avoient vu le mercure se congeler naturellement en Sibérie , dans les thermomètres dont ils faisoient usage. Mais ce phénomène étoit resté inconnu , ou avoit été révoqué en doute , lorsqu'au mois de décembre 1759 , M. Braun , membre de l'Aca-

démie de Pétersbourg , ayant profité d'un froid très-rigoureux qui régnoit alors dans ce pays , et qui étoit de — 34<sup>d</sup> de Farenheit ( ce qui répond à 29  $\frac{1}{3}$  au-dessous du zéro du thermomètre en 80 parties), parvint , à l'aide d'un mélange de glace pilée et d'acide nitrique , à faire descendre le mercure dans le tube de son thermomètre , jusqu'à — 69<sup>d</sup> de Farenheit ( — 44<sup>d</sup>  $\frac{2}{3}$  du thermomètre en 80 parties ). Il vit alors qu'une partie du mercure s'étoit congelée , et encouragé par ce premier succès , il poursuivit ses expériences , en substituant de la neige à la glace ; le mercure continua de descendre , et parvint , dans une dernière expérience , jusqu'à — 352<sup>d</sup> ( — 170<sup>d</sup>  $\frac{2}{3}$  du thermomètre en 80 parties ). M. Braun ayant retiré du mélange son thermomètre , et en ayant soigneusement examiné la boule , n'y aperçut aucune fissure ; en même temps il vit que le mercure étoit immobile , ce qui dura pendant environ douze minutes . Quelques jours après , il répéta l'expérience avec *Æpinus* , et étant encore parvenu à fixer le mercure , il brisa la boule de son thermomètre , et en retira le métal sous la forme d'une masse solide brillante , qui s'étendit par la percussion , en rendant un son sourd semblable à celui du plomb , dont elle se rapprochoit aussi beaucoup par sa dureté (1).

On ne pouvoit plus douter alors que le mercure ne fut susceptible d'une congélation proprement dite , mais on étoit loin de connoître le véritable degré de froid qui suffisoit pour la produire , M. Braun et plusieurs

---

(1) Nov. Commenta. Acad. Scient., imper. Petropol., t. XI.

autres physiciens ont jugé ce degré beaucoup plus bas qu'il n'étoit en effet, pour avoir confondu deux effets très-distincts, savoir, la température qu'avoit ce métal au moment de la congélation, et la contraction considérable qu'il éprouvoit en achevant de se fixer, ce qui le mettoit en contraste, sous ce rapport, avec l'eau, qui, comme nous l'avons vu, éprouve au contraire une dilatation, avant d'atteindre le terme où elle se congèle.

226. L'idée qui devoit conduire à la détermination de cette limite, qui est relativement au mercure ce qu'est à l'égard de l'eau le zéro du thermomètre en 80 parties, se présenta en même temps à Black et à Cavendish, deux des hommes les plus faits pour se rencontrer. Ils raisonnèrent du mercure comme de l'eau elle-même, dont la température est sensiblement constante, depuis le moment où ce liquide commence à se congeler, jusqu'à celui où toute la masse est devenue solide. M. Cavendish, pour rendre encore plus frappante l'analogie suggérée par cette observation, en fit l'application à des métaux aisément fusibles, tels que le plomb et l'étain; et il trouva qu'un thermomètre plongé dans l'un ou l'autre de ces métaux, demeuroit stationnaire pendant tout le temps du passage de la liquidité à la solidité (1).

L'appareil destiné pour les expériences relatives au mercure, consistoit en un petit thermomètre à mercure, que l'on introduisoit dans un matras de verre dont la boule étoit remplie du même métal, et environnée d'un mélange de matières frigorifiques. On voyoit le mercure descendre progressivement dans le tube du

---

(1) Philosoph. transact., 1783, p. 313.

thermomètre, jusqu'au moment où commençoit la congélation de celui qui étoit dans le matras, et s'arrêter ensuite au même point, pendant tout le temps qu'elle continuoit de s'opérer. On trouva que le terme indiqué alors par le mercure du thermomètre répondait environ à  $-39^{\circ}$  de Farenheit ( $-31^{\circ} \frac{1}{2}$  du thermomètre en 80 parties). Si l'on employoit un thermomètre à alkohol construit d'après cette même division, on avoit à peu près 28 degrés au-dessous de zéro, pour le terme correspondant.

227. L'expérience de la congélation du mercure a été répétée plusieurs fois à Paris, depuis quelques années. Les personnes qui ont eu le courage de prendre avec la main le métal figé, ont éprouvé une sensation douloureuse, dont elles n'ont pu donner une plus juste idée qu'en la comparant à celle que produit une forte brûlure. Rien ne justifioit mieux le langage des poëtes qui, pour peindre un froid très-vif, l'ont appellé un *froid brûlant*.

228. Plusieurs métaux, en se solidifiant après avoir été fondus, subissent une cristallisation régulière. Le calorique agit ici par rapport à un métal en fusion, comme les liquides ordinaires à l'égard d'un sel qu'ils tiennent à l'état de dissolution. Dans l'un et l'autre cas, c'est la retraite de la substance d'abord interposée entre les molécules métalliques ou salines, qui leur permet de se rapprocher et de s'unir sous des formes géométriques, lorsqu'elle se fait assez lentement pour leur donner le loisir de prendre l'arrangement qui s'accorde avec les lois de la cristallisation.

Les premiers indices que l'on ait observés de ces

phénomènes, paroissent avoir été ces espèces d'étoiles branchues qui se forment sur la surface de l'antimoine. Ce fut aux yeux des alchimistes qu'elles se présentèrent d'abord, et ils expliquèrent le fait en alchimistes : c'étoit une étoile d'heureux présage, qui leur promettoit la métamorphose de l'antimoine en or.

Les expériences faites sur le bismuth par Brongniart, professeur au Muséum d'histoire naturelle, ont offert le premier exemple d'un métal converti en cristaux saillans, par un procédé semblable à celui que Rouelle avoit employé par rapport au soufre, et qui consiste à laisser d'abord figer la surface du métal, puis à percer cette espèce de croûte et à survider le creuset. Lorsqu'on brise ensuite ce creuset, après l'entier refroidissement, on en trouve la cavité toute tapissée de cristaux, qui présentent, suivant les circonstances, des groupes d'octaèdres ou de cubes disposés sur des lignes perpendiculaires entre elles, et rentrantes comme les contours d'une volute.

On a cru que le vide laissé par le métal qui étoit sorti du creuset, en donnant accès à l'air, favorisoit la production des cristaux. La vérité est que ces cristaux se forment au milieu même du métal encore en fusion, par le rapprochement des parties qui se refroidissent les premières. Il en est de ce métal, à peu près comme de l'eau qui se congèle au milieu de l'eau même encore fluide. On ne fait autre chose, en survidant le creuset, que mettre à nu les cristaux déjà formés, et les dégager de la matière métallique enveloppante, avec laquelle ils ne feroient bientôt plus qu'une masse solide après le refroidissement. C'est ce dont on peut s'assurer en cer-

nant, avec la pointe d'un canif, la croûte qui s'est formée à la surface ; on retirera cette croûte couverte en dessous de cristallisations semblables à celles que nous avons décrites. Le bismuth est un des métaux qui se prête le plus facilement à cette observation.

### 3. De l'Eau à l'état de Vapeur.

229. Nous avons déjà parlé (135) d'un phénomène qui présente comme le dernier résultat de l'accumulation du calorique entre les molécules d'un corps, et qui consiste dans la conversion de ces molécules en fluide élastique. On a distribué ces sortes de fluides en deux classes : l'une comprend ceux qui conservent leur fluidité élastique sous les plus fortes pressions que nous puissions leur faire subir, et à tous les degrés connus de refroidissement : on leur a donné le nom de *fluides aériformes*, emprunté de celui de l'air atmosphérique, qui semble tenir le premier rang parmi eux. On les a aussi appelés *fluides élastiques permanens* ou *gaz*. Dans l'autre classe sont renfermés les fluides élastiques qui perdent facilement leur état par la pression ou par le refroidissement : de ce nombre sont l'eau commune, l'alkohol, l'éther, etc. Ces fluides ont été appelés *vapeurs* ou *fluides élastiques non permanens*, et le phénomène qui consiste dans le passage d'un corps de l'état de liquidité à celui de vapeur, prend le nom de *vaporisation*, lorsqu'il est uniquement dû à l'action du calorique, et celui d'*éaporation*, lorsque l'air intervient dans sa production, par l'affinité

qu'il exerce sur les molécules de la vapeur. Nous nous bornerons ici à ce qui concerne le premier de ces effets, et nous le considérerons surtout par rapport à l'eau. Quant à l'autre effet, nous nous réservons à le faire connître plus particulièrement, lorsque nous traiterons des propriétés de l'air atmosphérique.

230. L'ébullition est, en général, par rapport aux liquides, le signe de la vaporisation naissante. Elle s'annonce par des bulles qui partent du fond du vase, et se succèdent rapidement à travers le liquide, dont elles soulèvent la surface. Ces bulles ne sont autre chose que des portions du liquide déjà converties en vapeur par l'action du calorique, et qui tendent à s'échapper en vertu de leur force élastique. Lorsque l'ébullition est produite au moyen du feu que nous supposons agir en dessous du vase qui contient le liquide, la couche inférieure de celui-ci recevant immédiatement le calorique qui s'introduit dans le vase, doit aussi être la première à se vaporiser. Mais le même effet a lieu sous un récipient où l'on fait le vide, pour déterminer l'ébullition par une température beaucoup plus basse que celle qui seroit nécessaire sous la pression de l'atmosphère (141). Dans ce cas, le refroidissement occasionné par la raréfaction de l'air renfermé sous le récipient (148), agit sur la couche supérieure, et de proche en proche sur les suivantes, par des degrés toujours décroissans ; d'où il suit que la couche la plus basse qui conserve le plus de chaleur, doit encore fournir les premières bulles.

231. On a observé les différentes températures auxquelles répond l'ébullition de certaines substances, par une

une pression de 28 pouces de mercure. D'après les recherches faites par Deluc sur l'alkohol, l'ébullition de ce liquide commence à 67 degrés du thermomètre en 80 parties. Les CC. Laplace et Lavoisier ont trouvé que, dans le même cas, l'éther entre en ébullition à 32 ou 33 degrés. Une autre expérience des mêmes savans fait voir avec quelle rapidité l'éther se dilate en se vaporisant dans le vide. L'expérience consiste à couvrir d'une couche de ce liquide la surface du mercure renfermé dans la cuvette d'un baromètre ordinaire, puis à incliner légèrement le tube en le soulevant un peu, de manière qu'il reste plongé, et que ce petit mouvement détermine une goutte d'éther à s'introduire dans la partie inférieure du tube : cette goutte s'élève à travers la colonne de mercure ; arrivée à la surface, elle se vaporise, et à l'instant on voit baisser le mercure d'une quantité considérable.

252. Mais la vapeur de l'eau est de tous les fluides élastiques que l'on a soumis à l'expérience, celui qui a fourni les résultats les plus intéressans, par l'application qu'on a faite de sa force expansive à la mécanique, ainsi que nous l'exposerons bientôt.

La vaporisation de l'eau commence, comme l'on sait, à 80<sup>d</sup> du thermomètre dit de Réaumur, sous la pression moyenne de l'atmosphère; et nous avons fait voir, de plus, que la température reste la même pendant tout le temps de la conversion du liquide en vapeur (135). Mais cette uniformité de chaleur n'a lieu qu'autant que la vapeur est libre de s'échapper à mesure qu'elle se forme; car si l'eau qui se vaporise est renfermée dans un vase qui ne lui laisse aucune issue, alors la vapeur,

en s'accumulant dans la partie supérieure du vase , exerce sur l'eau encore liquide une pression qui , étant parvenue à un certain terme , s'oppose à l'effet de la force élastique du calorique , pour vaporiser de nouvelle eau ; en sorte que le calorique s'accumule à son tour, soit dans le liquide, soit dans la vapeur elle-même, et que la température continue de s'élever bien au delà du terme de 80°.

C'étoit sur ce principe qu'étoit construite la machine si connue sous le nom de *marmite de Papin* , et dont ce physicien a publié une description à Paris , en 1682 , sous le nom de *machine propre à amollir les os , pour en faire du bouillon*. La chaleur qui se produit dans cette machine est si forte , que l'eau y devient capable , non-seulement de dissoudre des os , d'en extraire la gélatine , mais encore de fondre le plomb , et même le cuivre , ainsi que l'ont observé différens physiciens.

233. Lorsque l'eau vaporisée rencontre les corps voisins dont la température est beaucoup plus basse que la sienne , elle leur cède à l'instant une grande partie du calorique qui la tenoit à l'état de fluide élastique , et reprenant l'état de liquide , elle adhère à la surface de ces corps sous la forme d'une couche d'humidité. De là cette vive impression de chaleur que ressent la main ou toute autre partie du corps qui se trouve exposée subitement à la vapeur de l'eau.

234. L'extinction du feu , produite par l'injection de l'eau sur le corps embrasé , n'est autre chose , dans les idées du vulgaire , que l'effet d'une espèce de lutte entre deux substances ennemis , dont l'une arrête les

progrès de l'autre. La véritable explication du phénomène est que l'eau intercepte d'une part le contact de l'air avec le corps combustible , et d'une autre part enlève , en se vaporisant , une partie du calorique nécessaire pour produire entre les molécules du même corps un écartement qui les dispose à s'unir avec l'oxygène de l'air.

235. Lorsque l'eau encore liquide s'échanffe de plus en plus, ses dilatations varient dans un rapport sensiblement plus grand que les accroissemens de chaleur , et cette différence est surtout marquée aux approches de l'ébullition. C'est ce que l'on concevra en faisant attention que quand la distance entre les molécules aqueuses s'est accrue à un certain point , par la force élastique du calorique, l'affinité, qui n'agit très-sensiblement que près du contact , doit diminuer toujours plus rapidement , même en supposant des augmentations égales de chaleur; en sorte que les dilatations , au contraire , croîtront dans un très-grand rapport. Cependant l'effet total de la dilatation , depuis le terme de la glace fondante jusqu'à celui de l'eau bouillante , se borne à augmenter d'environ  $\frac{1}{10}$  le volume de l'eau. Mais au moment de l'ébullition , la dilatation fait un saut brusque ; et suivant les expériences les plus modernes , la vapeur se développe rapidement dans un espace dix-sept cent vingt-huit fois plus grand que celui qu'occupoit l'eau dans l'état de simple liquidité , en sorte que chaque pouce cube de cette eau produit un pied cube de vapeur.

236. C'est à cette grande expansion de l'eau vaporisée qu'est dû l'effet de l'éolipile , que l'on a si long-temps attribué à la dilatation de l'air. On appelle ainsi un vase

de métal en forme de poire creuse , dont la queue est un tube étroit. On chauffe le vase pour chasser une grande partie de l'air qu'il renferme , puis on plonge l'orifice du tube dans l'eau , jusqu'à ce que ce liquide , que la pression de l'air environnant introduit dans la capacité du vase , en remplisse la moitié ou au plus les deux tiers. On place ensuite l'éolipile , le fond tourné en bas , sur des charbons ardens , et l'on anime le feu , jusqu'à ce qu'un souffle violent sorte par l'orifice du tube. Enfin , on incline l'éolipile de manière que son tube soit situé verticalement , l'orifice en haut , et l'on continue de le chauffer. Aussitôt la partie de l'eau encore liquide , chassée par la vapeur , s'élance sous la forme d'un jet qui s'élève quelquefois à la hauteur de 8 mètres ou d'environ 25 pieds. Si la liqueur est de l'alkohol , on aura un jet de feu en présentant un flambeau allumé à peu près à un décimètre au-dessus de la naissance du jet.

237. La vapeur de l'eau devient capable de produire des effets beaucoup plus étonnans par sa force expansive. On trouve dans les Mémoires de l'Académie des Sciences pour l'année 1707 , des observations communiquées par Vauban , d'où il résulte que 140 livres d'eau convertie en vapeur , produisent une explosion capable de faire sauter une masse de 77000 livres , tandis que 140 livres de poudre , ne peuvent opérer un semblable effet que sur une masse de 30000 ; en sorte que la force de l'eau en vapeur , seroit plus que double de celle de la poudre.

*Des Machines à Vapeur.*

238. Des effets aussi puissans que ceux dont nous venons de parler ne devoient pas demeurer stériles pour les besoins des arts : c'étoit une nouvelle force motrice que la mécanique demandoit au génie qui l'avoit créée , et en avoit mesuré l'énergie. Cette science , pendant long-temps , n'avoit employé l'eau , sous ce rapport , qu'en profitant de son cours naturel , ou en lui ménageant une chute , pour lui soumettre le jeu des machines qu'elle dirigeoit par une impulsion toujours renaissante. Les expériences entreprises sur la force de l'eau réduite en vapeur , firent naître l'idée de l'appliquer avec d'autant plus d'avantage au même objet , qu'indépendamment de sa grande énergie , elle peut-être transportée partout où l'appelleront les intérêts du commerce et de l'industrie.

239. L'exécution des machines à vapeur a eu , comme celle de toutes les autres machines , ses différentes époques , auxquelles répondent successivement de nouveaux degrés de perfection. Diminuer , autant qu'il est possible , la quantité de la vaporisation nécessaire à l'effet qu'on a en vue , et par là ménager le combustible ; joindre à cette première économie celle de la matière et de la main d'œuvre , en resserrant les dimensions des pièces , sans nuire aux résultats ; prévenir les explosions , par de sages précautions prises contre un agent dont la puissance devient destructive quand elle n'est pas limitée : tels sont en général les objets qui ont fixé l'at-

tention des constructeurs, et excité entre eux une sorte de rivalité. Nous nous bornerons aux moyens de perfection qui marquent le plus, et nous n'entrerons dans la description des machines, qu'autant qu'elle sera nécessaire pour l'intelligence de l'effet principal.

Tous les mouvements de la machine à vapeur, tirent leur origine du jeu d'un piston qui s'élève et s'abaisse alternativement dans un tuyau cylindrique, en communication avec une chaudière où la vapeur se forme par l'action du feu que l'on entretient en dessous. La manière dont la vapeur contribue au jeu du piston varie suivant les différentes méthodes; et notre objet est surtout de comparer ces méthodes, et de faire voir les nouveaux avantages qu'elles amenoient avec elles à mesure qu'elles se succédoient l'une à l'autre.

240. La première méthode dont le succès se soit annoncé par un empressement général à l'imiter, est celle qu'on attribue communément à un Anglais, nommé Savery, mais dont l'invention est due à deux autres Anglais; l'un s'appeloit Newcomen, et l'autre Jean Cawley. La machine qui appartient réellement à Savery, avoit beaucoup de rapport avec la fontaine de compression que nous décrirons à l'article de l'Air, et dans laquelle ce fluide condensé exerce sur l'eau une pression qui la détermine à s'élanter par un canal qui lui offre une libre issue: toute la différence consistoit en ce que Savery substituoit la force de la vapeur à celle de l'air comprimé. Savery, en s'associant Newcomen, s'empara de sa découverte, et son ambition éclipsa bientôt l'homme simple et modeste qui bornoit la sienne à bien faire.

Pour concevoir le jeu de la machine dont il s'agit, supposons que le piston soit descendu au point le plus bas de sa course; à l'instant la communication s'ouvre entre la chaudière et le fond du cylindre, par un mouvement de côté que fait un cercle nommé *régulateur*, qui, auparavant, fermoit cette communication; la vapeur s'introduit en dessous du piston, et le pousse de bas en haut par sa force expansive. Lorsqu'il a fini de monter, le régulateur se remet à sa place et, au moyen d'un robinet qui s'ouvre à l'instant, un jet d'eau froide sort d'un tuyau abouché au cylindre, et va frapper la base inférieure du piston, d'où retombant sous la forme d'une pluie, il condense la vapeur, et en détruit l'effet. Alors l'air atmosphérique, qui agit par sa pression sur la base supérieure du piston, le détermine à descendre; après quoi l'émission de la vapeur et les autres effets se succèdent de nouveau, de manière à perpétuer les mouvements alternatifs du piston.

Le haut de la tige du piston est attaché à l'une des extrémités d'un balancier, dont l'autre extrémité opposée fait mouvoir en sens contraire la tige d'un second piston adapté à une véritable pompe, dans laquelle l'eau s'élève à l'ordinaire.

Cette machine avoit surtout deux inconvénients dont on ne tarda pas à s'apercevoir: d'une part, l'injection d'eau froide en se faisant dans le cylindre même, en refroidissoit les parois; d'une autre part, on étoit obligé de tenir la base supérieure du cylindre toujours couverte d'eau, tant pour empêcher le desséchement des cuirs, que pour fermer tout accès à l'air dans la partie inférieure du cylindre où s'introduisoit la vapeur;

d'où il arrivoit que le piston , pendant sa descente , humectoit à son tour les parois du cylindre. Pour compenser l'effet du refroidissement produit par les deux causes dont nous venons de parler , il falloit fournir une plus grande quantité de vapeurs , d'où résultoit un double défaut d'économie dans l'emploi du métal dont on faisoit la chaudière qui devoit avoir une plus grande capacité , et dans la consommation du combustible.

241. La machine imaginée par le célèbre Wats , réunit à l'avantage de faire disparaître ces inconveniens , une perfection qui semble l'avoir rendue neuve sous tous les rapports. Ce qui la distingue principalement , est le double emploi de la vapeur , dont une partie s'introduit en dessous du piston , comme dans la machine attribuée à Savery , et l'autre en dessus du même piston ; en sorte que l'intérieur du cylindre n'a aucune communication avec l'air atmosphérique , qui n'entre pour rien dans le jeu de la machine. De plus , l'extrémité du balancier , opposée à celle qui conduit le piston du cylindre à vapeur , est chargée d'un contre-poids dont nous verrons l'usage dans un instant. Enfin , le bas du cylindre communique avec un tuyau nommé *condenseur* , qui est placé de côté , et dans lequel s'opère la condensation.

Supposons maintenant le piston arrivé au point le plus haut de sa course , en sorte qu'il y ait un vide dans toute la partie du cylindre située en dessous , et que le piston ne soit retenu dans sa position que par l'action du contre-poids dont nous avons parlé. Dans cet état de choses , la vapeur entre par dessus le piston , et

sa force prépondérante , à l'égard de celle du contre-poids , détermine le piston à descendre jusqu'à ce qu'il ait terminé son jeu. A l'instant une nouvelle vapeur s'introduit en dessous du piston , et le force de monter , jusqu'à ce qu'il se trouve en équilibre entre les deux vapeurs : alors il continue de s'élever par l'action du contre-poids , que rien n'empêche plus d'obéir à la pesanteur. A mesure que le piston monte , il refoule la vapeur qui est en dessus , et qui va se rendre sous sa base inférieure , pour remplir l'espace qu'il laisse vide par son ascension. Ce mouvement terminé , le condensateur s'ouvre , et permet à la vapeur de s'introduire dans sa cavité , où elle est condensée par une injection d'eau froide. Le piston redescend ensuite , et remonte alternativement , en vertu d'une combinaison semblable des différentes actions produites par les deux vapeurs et par le contre-poids.

On voit aisément que cette construction est beaucoup mieux ordonnée que la précédente , pour prévenir la dépense superflue de vapeur et de combustible occasionnée par le refroidissement du cylindre. La machine de Chaillot , près Paris , dans laquelle on l'a employée , et dont l'exécution est due aux talens des frères Perrier , a pour objet , comme l'on sait , d'élever l'eau d'un puisard qui communique avec la Seine , pour la distribuer ensuite dans différens quartiers de Paris. Suivant le prospectus publié par les auteurs , cette machine peut fournir , dans l'espace de 24 heures , environ treize mille sept cent onze mètres cubes , ou quatre cent mille pieds cubes d'eau.

242. On ne connoissoit encore ici rien de plus par-

fait en ce genre , lorsqu'en 1788 , Betancourt ayant fait un voyage à Londres , y vit une nouvelle machine à vapeur , exécutée par les soins de Wats et de Bolton. On se contenta de lui dire que cette machine avoit beaucoup d'avantages sur les autres ; mais du reste , on lui fit mystère du mécanisme , et le secret étoit bien gardé par la machine elle-même , pour un observateur qui ne faisoit guère que passer devant un ensemble de pièces , les unes tout-à-fait intérieures , les autres masquées en partie par la disposition du bâtiment. Cependant Betancourt devina le principe , et , de retour à Paris , il construisit un modèle , où il fit l'application de ce principe par des moyens également simples et ingénieux :

Dans cette nouvelle machine , la vapeur s'introduit aussi en dessous et en dessus du piston ; mais la perfection du mécanisme consiste en ce que l'injection d'eau froide se répète des deux côtés , en sorte qu'elle condense tour à tour la vapeur supérieure , en laissant à celle qui agit par dessous toute sa force pour éléver le piston , et la vapeur inférieure , pour donner lieu à celle qui passe dans le haut du cylindre d'exercer de même tout son effort sur la base supérieure du piston. Il en résulte que le piston est poussé avec la même force , en montant et en descendant ; et de là naissent plusieurs avantages très-marqués.

D'abord le contre-poids se trouve supprimé , et c'est une surcharge de moins pour la machine ; ensuite , l'égalité d'impulsion qui a lieu dans quelque sens que se meuve le piston , permet de l'appliquer comme une puissance uniforme à un mouvement de rotation qui

agit sans interruption pour produire l'effet que l'on a en vue. Ainsi, au lieu que, dans la première machine, le piston ne contribue à l'effet principal, que quand il s'abaisse, ici le piston, soit en montant, soit en descendant, agit toujours efficacement. Supposons que celui de la première machine ait une base double de celle du piston de la seconde ; la colonne de vapeur, qui presse sur la base de celui-là, exercera, toutes choses égales d'ailleurs, une pression double de celle qu'éprouve la base de l'autre. Mais dans les deux mouvements du premier, il y en a un qui n'est que de renvoi ; d'où il suit que si le second piston, qui travaille sans cesse utilement, agit sur un levier double, il fera en deux temps ce que l'autre ne produit que pendant sa descente.

De là résulte d'abord une épargne sur la matière du cylindre, et ensuite sur celle des pièces qui en dépendent. De plus, on peut diminuer la capacité et l'épaisseur de la chaudière, parce que la vapeur n'a pas besoin de s'y accumuler comme dans l'autre, d'où elle ne sort que par intervalles. Enfin, la surface de l'eau, encore liquide dans la chaudière, y étant moins comprimée par la vapeur qui se forme au-dessus, cette eau se vaporise à son tour par un moindre degré de chaleur, ce qui, joint aux autres causes, procure une grande économie de combustible.

On voit à Paris, dans l'île des Cygnes, une machine construite d'après le principe que nous venons d'exposer, et qui est employée à faire mouvoir des moulins à blé.

Nous n'avons pu qu'ébaucher la description de cette machine, ainsi que des précédentes. Nous passerions

les bornes que nous sommes obligés de nous prescrire, si nous entreprenions de parcourir tous les différens accessoires employés à introduire ou à condenser la vapeur, et de faire connoître les moyens qui ont été pris pour entretenir l'uniformité du mouvement, pour prévenir les accidens que pourroit occasionner une trop forte condensation, etc. Nous devons observer, à ce sujet, que dans les premiers essais de la machine à feu, il falloit des hommes spécialement chargés de tourner à chaque instant les robinets qui donnent passage à la vapeur ou à l'injection de l'eau froide. Aujourd'hui, tout se réduit à la surveillance de celui qui entretient le feu; le reste marche de soi-même. La force de la vapeur qui anime le corps de la machine, se transmet aux différentes pièces qui lui tiennent lieu de bras et de mains; et le même génie qui a su convertir un peu d'eau pénétrée de chaleur en un agent capable de produire les mouvemens qui exigent de puissans efforts, est parvenu encore à pouvoir s'en reposer sur cette cause aveugle, de ceux même qui semblent demander une attention vigilante et des soins assidus.

Ainsi, en comparant les effets de l'eau dans ses deux états extrêmes, celui de solidité et celui de fluidité élastique, on voit, avec une double surprise, la grande énergie qu'elle déploie pour rompre ses barrières, soit lorsque ses molécules restent abandonnées à la force qui agit pour les enchaîner, soit lorsqu'elles sont lancées par la force qui tend à les écarter les unes des autres.

## IV. DE L'AIR.

243. Après avoir exposé les propriétés du liquide , qui baigne la surface de notre globe ou coule dans son intérieur , nous allons considérer celles du fluide invisible qui l'environne jusqu'à une grande hauteur. Ici un intérêt très-vif se mêle à celui que la science inspire par elle-même , pour nous solliciter vers l'étude de ce fluide , au milieu duquel nous sommes continuellement plongés , qui agit sur nous de tant de manières différentes , et auquel nous sommes redevables à la fois et de la conservation de notre vie , et de ce qui en fait un des principaux agréments , puisque c'est à lui que nous confions d'abord nos pensées , pour les transmettre à nos semblables , avec la parole qui en est le signe.

244. On avoit remarqué , de tout temps , que l'air est toujours chargé d'une quantité plus ou moins considérable de principes hétérogènes , d'émanations de différentes espèces , et surtout de vapeurs aqueuses. Mais l'air , en le supposant dégagé de toutes ces matières étrangères qui altèrent sa pureté , étoit regardé comme un être simple , et un des quatre élémens dans lesquels tous les corps se résolvoient en dernière analyse. Il est prouvé aujourd'hui que ce fluide est formé de deux principes très-différens , dont l'un a été nommé *gaz oxygène* , et l'autre *gaz azote*. Le premier , s'il existoit seul , seroit trop respirable et consumeroit notre vie ; le second , lorsqu'on l'a obtenu isolément , suffoqua les animaux qui y sont plongés. Du mélange des deux se forme un fluide

parfaitement assorti aux fonctions de l'économie animale. Les détails relatifs à cet objet , ainsi que la manière dont l'air se décompose par la respiration , appartiennent encore à la science qui nous a dévoilé la véritable nature de ce fluide. Nous ne l'envisagerons ici que dans son état ordinaire , et nous ramènerons à quatre points de vue les connaissances que nous avons à développer. Le premier nous offrira les propriétés dont l'air jouit le plus constamment , telles que sa pesanteur et son élasticité ; le second comprendra celles qui résultent de sa dilatation par une surabondance de calorique ; le troisième sera relatif à son union avec l'eau , dont il est le dissolvant ; le dernier aura pour objet ce mouvement particulier de vibration , à l'aide duquel l'air devient le véhicule du son.

### 1. De la Pesanteur et du Ressort de l'Air.

245. Galilée , dont le nom se présente comme de lui-même , toutes les fois qu'il s'agit des premières recherches sur la pesanteur , avoit vérifié celle de l'air , qui étoit niée presque généralement avant lui , quoiqu'elle eût été reconnue par quelques philosophes de l'antiquité. Ce célèbre physicien , ayant injecté de l'air dans un vaisseau de verre , de manière qu'il y restât comprimé , trouva que le vaisseau pesoit davantage que quand l'air y étoit dans son état naturel. Il chercha même , par une autre expérience , la pesanteur de ce fluide comparée à celle de l'eau ; mais il la trouva seulement dans le rapport de l'unité à 400 , beaucoup trop faible , comme nous le verrons dans l'instant.

246. On ne connoissoit point encore la machine pneumatique. C'est à Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, que nous sommes redevables de l'invention de cette belle machine, qui n'a pas, comme les autres, un rang à part dans la physique expérimentale, dont presque toutes les branches ont besoin d'elle.

Cette machine, réduite à sa plus grande simplicité, est composée d'un cylindre vertical de cuivre, dans lequel se meut un piston, et dont la base supérieure porte un robinet, au-dessus duquel est soudée une platine circulaire, située horizontalement. C'est sur cette platine que l'on place les récipients que l'on veut purger d'air, ce qui s'exécute en faisant descendre et monter alternativement le piston. Dans le premier cas, le robinet est ouvert de manière à établir une communication entre la capacité du récipient et celle du cylindre; lorsque le piston est descendu, on ferme le robinet, dont la clef est percée d'une ouverture tellement disposée, qu'elle donne une issue à l'air que le piston chasse en se relevant, sans lui permettre de rentrer dans le récipient. On a beaucoup varié la construction de cette machine, et les Anglais en ont imaginé une à deux corps de pompe, dont les pistons jouent au moyen d'une manivelle et d'une roue dentée; diverses soupapes ouvrent et ferment alternativement la communication entre le récipient et les corps de pompe, et entre ces derniers et l'air extérieur, en sorte que l'on ne fait mouvoir le robinet que deux fois, l'une avant l'expérience, pour donner un passage à l'air qui doit sortir du récipient, l'autre à la fin, pour maintenir le vide.

247. En se servant de cet instrument, on a constaté la

pesanteur de l'air , par une expérience très-simple , qui consiste à peser d'abord un ballon plein d'air , puis à le peser de nouveau , après y avoir fait le vide : on s'aperçoit d'une diminution sensible dans le poids du ballon.

248. On a cherché aussi à déterminer , avec précision , la pesanteur spécifique de l'air. Suivant les résultats de Deluc , le rapport entre les poids de l'air et de l'eau distillée , à la température de la glace fondante , sous une pression moyenne de 28 pouces de mercure , est celui de 1 à 760 ; et d'après les expériences de Lavoisier , le pouce cube d'air , pris à dix degrés de Réaumur , pèse 0,46005 grains ; et le poids d'un pied cube du même fluide , est d'une once , trois gros et trois grains.

249. La pesanteur de l'air une fois reconnue , il semble qu'il n'étoit pas difficile d'apercevoir que c'est à la pression de ce fluide qu'est due l'ascension de l'eau dans les corps de pompe. Mais il a fallu , pour amener là les physiciens , une de ces observations inattendues , faites pour exciter dans les esprits cette espèce d'inquiétude et d'agitation favorable aux découvertes.

On se rappelle que les anciens philosophes , quand on leur demandoit pourquoi l'eau montoit dans les pompes , se tiroient d'affaire , en répondant que la *nature avoit horreur du vide* ; ce qui n'étoit autre chose qu'une manière pompeuse et imposante d'avouer qu'ils n'en savoient rien. Des fontainiers italiens , s'étant avisés de vouloir faire des pompes aspirantes , dont les tuyaux avoient plus de trente-deux pieds de hauteur , remarquèrent , avec surprise , que l'eau refusoit de s'élever au-dessus de cette limite. Ils demandèrent à Galilée l'explication de ce fait singulier ; et l'on prétend que ce philosophe ,

philosophe, pris au dépourvu, répondit que la nature n'avoit horreur du vide que jusqu'à trente-deux pieds. Torricelli, disciple de Galilée, ayant médité sur le phénomène, conjectura que l'eau s'élevoit dans les pompes par la pression de l'air extérieur, et que cette pression n'avoit que le degré de force nécessaire pour contrebalancer le poids d'une colonne d'eau de trente-deux pieds.

Il vérifia cette conjecture par une expérience, dont la physique lui a doublement obligation, parce qu'en servant à mettre en évidence une découverte importante, elle nous a procuré le baromètre. Torricelli vit le mercure s'arrêter à 28 pouces dans un tube de verre scellé à sa partie supérieure et situé verticalement; et la hauteur dont il s'agit, étant à celle de trente-deux pieds dans le rapport inverse des densités de l'eau et du mercure, il en conclut que le phénomène appartenait à la statique, et que c'étoit réellement, comme il l'avoit deviné, la pression de l'air qui déterminoit l'eau ou le mercure à s'élever jusqu'à ce qu'il y eût équilibre.

Ceci se passoit en 1643. L'année suivante, la nouvelle de l'expérience de Torricelli se répandit en France par une lettre écrite d'Italie au père Mersenne. L'expérience fut faite de nouveau en 1646, par Mersenne et Pascal; et celui-ci imagina, en 1647, un moyen de la rendre encore plus décisive, en la faisant à différentes hauteurs. Il invita, en conséquence, son ami Périer à la répéter sur la montagne du Puy-de-Dôme, et à observer si la colonne de mercure descendroit dans le tube à mesure qu'on s'élevoit davantage. On voit par la lettre de Pascal à Périer, où il semble éviter de nommer Torricelli, qu'il n'avoit pas encore tout-à-fait

renoncé à la chimère de l'horreur qu'on avoit attribuée à la nature pour le vide , et qu'en convenant que cette horreur n'étoit pas invincible , il n'osoit assurer qu'elle n'eût pas lieu dans quelques circonstances. Le plein succès de l'expérienceacheva de le désabuser. Mais cette expérience n'étoit que confirmative de celle de Torricelli , et ajoutoit seulement un rayon de plus au trait de lumière qui en étoit sorti.

250. La pression de l'atmosphère sur une surface donnée , étant à peu près la même qu'exerceroit sur cette surface une colonne d'eau de trente-deux pieds de hauteur , on a calculé , d'après cette donnée , l'effet de la pression dont il s'agit , par rapport à un homme de moyenne grandeur , et on a trouvé qu'elle équivaut à un poids de 33600 livres , environ 16000 kilogrammes. Voilà le poids dont étoient chargés les anciens philosophes , qui nioient sérieusement la pesanteur de l'air.

Quelque considérable que soit ce poids , sa pression s'exerce , pour ainsi dire , à notre insu , parce qu'elle est continuellement balancée par la réaction des fluides élastiques renfermés dans les cavités intérieures du corps ; et quoique l'air soit sujet à des variations continues , qui augmentent ou diminuent sa densité , par une suite du changement de température et de l'action de diverses causes naturelles , comme ces variations , en général , sont renfermées entre des limites peu étendues , et qu'elles se font successivement et avec lenteur , elles ne nous affectent , pour l'ordinaire , que d'une manière peu sensible. Mais s'il arrive un changement brusque , comme lorsque l'homme s'élève à de grandes

hauteurs, la rupture d'équilibre qui en résulte a une influence très-marquée sur l'économie animale. On éprouve alors une fatigue extrême, une impuissance absolue de continuer sa marche, un assoupiissement auquel on succombe malgré soi : la respiration devient pressée et haletante; les pulsations du pouls prennent un mouvement accéléré (1). Pour expliquer ces effets, on a considéré que l'état de bien être, dans tout ce qui dépend de la respiration, exige qu'une quantité d'air déterminée traverse les poumons dans un temps donné. Si donc l'air que nous respirons devient beaucoup plus rare, il faudra que les inspirations soient plus fréquentes à proportion; ce qui rendra la respiration pénible, et occasionnera les divers symptômes dont nous avons parlé.

A l'égard des inconveniens qui résulteroient d'un air trop condensé, l'homme n'y est pas exposé par l'action des causes naturelles; et il paroît qu'en général ils sont moindres que ceux qui ont pour cause la raréfaction de l'air. On ne peut citer ici comme une preuve de la grandeur de ces inconveniens ce qui arrivoit aux plongeurs, lorsqu'ils étoient renfermés sous une cloche qui descendoit verticalement dans l'eau, et où l'air, pressé par le poids des colonnes environnantes, se contractoit de plus en plus, à mesure que le vase se trouvoit à une plus grande profondeur. Les accidens qui survenoient à l'homme qui avoit séjourné, pendant un certain temps, sous la cloche, provenoient, en grande partie, de l'altération produite dans l'air par la respiration, et ce

---

(1) Saussure, Voyage dans les Alpes, Nos. 559 et 2021.

qu'avoit de plus dangereux ce fluide, étoit le défaut de renouvellement.

### *Du Baromètre.*

251. Les détails relatifs à la construction du baromètre, trouvent naturellement ici leur place. Cet instrument, ramené à sa plus grande simplicité, consiste dans un tube de verre de plus de trente pouces de hauteur, et scellé par le haut. On remplit ce tube de mercure, que l'on a soin de faire bouillir, pour le purger d'air; puis en tenant le doigt appliqué sur l'orifice inférieur, on renverse le tube, et on le plonge, par le même côté, dans une cuvette de verre, où l'on a versé pareillement du mercure. On retire le doigt, et l'on voit à l'instant le mercure descendre dans le tube, à la hauteur d'environ 28 pouces; on applique ensuite le tube avec sa cuvette sur une planche divisée en pouces et en lignes, à partir du niveau que donne le mercure renfermé dans la cuvette. On a ainsi un moyen d'observer les variations que subit la pression de l'air, en vertu des causes d'où dépendent les phénomènes de la météorologie.

252. Cette construction est sujette à une imperfection qui empêche que les mouvements de la colonne de mercure, estimés d'après les indications de l'échelle, ne soient exactement proportionnels aux différentes pressions de l'air; car, à mesure que cette colonne monte ou descend, elle détermine une petite portion du mercure que renferme la cuvette, à passer dans le tube, ou à rentrer dans cette cuvette, ce qui fait varier la posi-

tion du niveau; en sorte qu'il ne répond pas constamment au zéro de l'échelle, qui est cependant le terme de départ auquel se rapporte l'observation de la hauteur à laquelle répond l'extrémité de la colonne sur la même échelle. Cette imperfection est d'autant moins sensible, que la cuvette a plus de largeur vers l'endroit de la ligne de niveau. On a imaginé différens moyens pour la faire disparaître: par exemple, dans certains baromètres, on a rendu l'échelle mobile dans le sens de sa hauteur; de manière qu'à l'aide d'une vis de rappel, on est toujours maître de ramener la ligne de niveau à se trouver exactement vis-à-vis le zéro de l'échelle. On substitue alors à la cuvette une portion du tube même de l'instrument, qui, dans ce cas, est recourbé par sa partie inférieure, la variation sensible de niveau qui en résulte, pouvant toujours être corrigée par le mouvement de l'échelle. D'autres physiciens emploient une seconde cuvette d'une plus grande capacité, et remplie en partie de mercure, dans laquelle la cuvette du baromètre est entièrement plongée. Lorsqu'on veut faire une observation, on élève le baromètre avec sa cuvette au-dessus du mercure environnant; et comme alors cette cuvette se trouve toujours pleine, la ligne de niveau donnée par la surface supérieure du mercure qu'elle contient, conserve une position fixe, par rapport à la graduation.

253. On voit par ce qui précède, que l'échelle du baromètre est réglée d'après un tout autre principe que celle du thermomètre. Les mouvements de la liqueur, dans ce dernier instrument, se mesurent en parties proportionnelles à la distance entre les deux limites données par l'observation; ils diffèrent dans les divers

thermomètres , quoique par des degrés semblables , quand les circonstances sont les mêmes : dans le baromètre , au contraire , où il n'y a qu'un terme fixe , savoir , le niveau qui s'établit de lui-même dès le premier instant , la hauteur de la colonne se mesure d'une manière absolue ; et elle augmente ou diminue par des degrés égaux , dans les différens baromètres soumis aux mêmes variations de l'atmosphère .

Si l'on veut introduire la division décimale dans l'échelle du baromètre , les limites des variations de la colonne , qui s'étendent dans l'espace compris à peu près entre le 26<sup>me</sup>. et le 29<sup>me</sup>. pouces , répondront , l'une à 70 , et l'autre à 78 centimètres , depuis la ligne de niveau , ce qui fait huit centimètres pour le champ de l'observation : dans le même cas , la hauteur moyenne de 28 pouces répondra à 758 millimètres .

### *Du Ressort de l'Air.*

254. L'élasticité de l'air , dont nous allons maintenant nous occuper , est constatée par diverses expériences très-connues . Une des plus ordinaires , est celle dans laquelle on emploie la machine appelée *fontaine de compression* . Elle consiste en un vase de métal d'une forme arrondie , dont le sommet est percé d'une ouverture , au moyen de laquelle on le remplit d'eau jusqu'aux deux tiers environ de sa capacité . On visse ensuite à l'endroit de la même ouverture un tube qui descend dans le vase jusqu'à une petite distance du fond , et dont la partie supérieure qui dépasse l'ouverture est garnie d'un robinet . On adapte à cette même

partie une pompe foulante, et le robinet étant ouvert, on injecte une grande quantité d'air dans l'intérieur du vase : cet air, plus léger que l'eau, s'élève au-dessus, et son ressort augmente avec sa densité, à mesure qu'on donne de nouveaux coups de piston. On ferme le robinet, on dévisse la pompe, et on lui substitue une espèce de petit cône creux, ouvert par son sommet, qui est tourné en haut; dès que l'on ouvre de nouveau le robinet, l'air condensé déployant sa force sur la surface de l'eau, la chasse par le canal plongé dans ce liquide, qu'on voit s'élanter au dehors, sous la forme d'un jet de dix mètres (environ trente pieds) de hauteur, ou davantage.

255. On peut obtenir un effet analogue, par le seul débandement du ressort naturel de l'air, en plaçant sous le récipient de la machine pneumatique un petit vase où tout soit semblable à ce qu'offre la fontaine de compression, au moment où l'on ouvre le robinet pour donner un libre passage à l'eau, excepté que l'air situé au-dessus de ce liquide est dans son état ordinaire. Tandis que l'on fait le vide, l'air renfermé dans le vase, et dont la pression sur l'eau n'est plus balancée par celle de l'air extérieur, se dilate, et fait naître un jet qui s'élève sous le récipient.

256. Mais l'expérience la plus intéressante qui soit relative à cet objet, est celle de Boyle et de Mariotte, pour faire voir que l'air se resserre, à peu de chose près, dans le rapport des poids dont il est chargé. Ces sortes d'expériences méritent d'être préférées, parce qu'elles ne se bornent pas à prouver l'existence d'un phénomène, mais qu'elles nous font connoître encore com-

ment il existe, en déterminant la loi à laquelle il est soumis.

On prend un tube de verre recourbé, dont la branche la plus courte, qui doit être partout d'une égale épaisseur, est d'environ 32 centimètres ou 12 pouces de hauteur, et scellée hermétiquement à son extrémité. L'autre branche, qui est ouverte, doit avoir au moins 26 décimètres, ou huit pieds de hauteur. Le tout est fixé sur une planche qui porte une division adaptée aux deux tubes. On fait d'abord couler un peu de mercure dans la partie recourbée, pour avoir une ligne de niveau, et l'on compte le nombre de degrés compris entre cette ligne et l'extrémité supérieure de la branche la plus courte. Dans cet état de choses, l'air qui occupe cette branche fait équilibre, par son ressort, à la pression de la colonne d'air atmosphérique qui pèse dans l'autre branche, et dont la pression se transmet au moyen du mercure renfermé dans la courbure inférieure. Cette pression, ainsi que nous l'avons vu, est égale à celle d'une colonne de mercure d'environ 76 centimètres ou 28 pouces de hauteur. On verse ensuite du mercure dans la branche la plus longue, et en même temps l'air se resserrant dans l'autre branche, par l'excès de pression qui en résulte, le mercure s'élève dans cette même branche jusqu'à ce qu'il y ait encore équilibre. On mesure alors, d'une part, la longueur de cette colonne d'air comprimé, et de l'autre, l'excès de la colonne de mercure renfermée dans la branche la plus longue, sur celle qui occupe la plus courte. Supposons, pour plus de simplicité, que cet excès soit de 76 centimètres; on trouve que, dans ce cas, la colonne

d'air comprimé est réduite à la moitié de la hauteur qu'elle avoit avant qu'on eût introduit le mercure. Or, cette colonne est chargée d'un poids double du premier, puisque l'on a ajouté une pression de 76 centimètres de mercure, à une égale pression exercée par l'air atmosphérique, et qui n'est pas censée avoir diminué; car on peut négliger la petite différence qui résulte de ce que les 76 centimètres qui terminent inférieurement cette colonne, sont actuellement occupés par le mercure. En général, si l'on prend le rapport entre la première pression due à la colonne de l'atmosphère, et une autre pression quelconque exercée par cette même colonne et par le mercure sur-ajouté, les espaces correspondans, occupés par l'air comprimé, seront entre eux dans le rapport inverse des pressions; d'où l'on voit que l'air se contracte, ainsi que nous l'avons dit, à proportion des poids qui le compriment. Si l'on retire ensuite du mercure à plusieurs reprises, l'air s'étendra par son ressort, et les espaces qu'il occupera successivement en sens contraire, suivront encore le rapport inverse des pressions.

Cependant, il est vraisemblable que ce rapport n'est sensiblement exact qu'entre certaines limites, même en supposant que l'air soumis à l'expérience soit sec et reste toujours à la même température, comme cela est nécessaire. Nous trouvons dans les auteurs de physique plusieurs résultats d'expériences qui tendroient à prouver que l'on a poussé très-loin la contraction et la dilatation de l'air, par l'augmentation ou la diminution de pression; mais il ne paroît pas que l'on doive compter beaucoup sur la précision de ces résultats.

*Divers Phénomènes produits par la Pesanteur et par le Ressort de l'Air.*

257. Si l'on suppose , pour un instant , que l'air de l'atmosphère ait partout la même densité , et que l'on fasse attention ensuite à l'effet de la pesanteur sur les différentes couches de ce fluide élastique , il est aisé de concevoir que chaque couche , comprimée par le poids des couches supérieures , se resserrera dans le sens de sa hauteur , et que , de plus , la densité des couches diminuera à mesure qu'étant à une plus grande distance de la surface de la terre , elles seront pressées par un plus petit nombre de couches supérieures . C'est effectivement ce qui a lieu par rapport à l'atmosphère . Nous ferons connoître , dans la suite , la loi de ce décroissement , et le parti qu'on en a tiré pour mesurer les hauteurs , à l'aide du baromètre .

258. On concevra de même qu'une partie quelconque d'une colonne de l'atmosphère , prise à la surface de la terre , doit toujours faire équilibre , par son ressort , à la pression de la partie supérieure . Ainsi , l'air , exactement renfermé dans une coupe que l'on auroit posée dans une situation renversée , sur un plan parfaitement uni , feroit autant d'effort pour pousser le fond du vase de bas en haut , que l'air extérieur pour le pousser en sens contraire ; de sorte que l'on n'éprouveroit aucune difficulté à soulever ce vase , ce qui est d'ailleurs conforme à l'observation .

Mais si l'on supprime une quantité plus ou moins considérable d'air intérieur , comme cela a lieu lors-

qu'on fait le vide sous le récipient de la machine pneumatique , alors la pression de l'air extérieur n'étant plus équilibrée par l'action contraire de celui qui reste sous le récipient , il en résultera une difficulté d'autant plus grande pour détacher ce récipient de la platine , que le vide approchera plus d'être parfait,

259. Il suit encore des principes établis précédem-  
ment , que si l'on prend à la surface de la terre une  
certaine quantité d'air dont le ressort fera par con-  
séquent équilibre à une pression d'environ 76 centi-  
mètres de mercure , et qu'on introduise cet air dans un  
espace vide où il puisse se dilater , sa force de ressort ,  
diminuée par la dilatation , sera à la force primitive ,  
en raison inverse des volumes ou des espaces relatifs  
aux deux états successifs de ce fluide. Cette consé-  
quence peut être vérifiée à l'aide d'une expérience in-  
téressante , qui consiste à introduire dans un baromètre  
ordinaire une quantité d'air déterminée , en employant  
pour mesure un tube de même diamètre que celui du  
baromètre , et dont la hauteur soit connue. Cet air ,  
parvenu au-dessus de la colonne de mercure , s'éten-  
dra , par son ressort , dans le vide qui se trouve en cet  
endroit , et fera baisser le mercure jusqu'à ce que sa  
force de ressort , jointe au poids de ce qui restera de  
mercure dans le tube , fasse équilibre à la pression de  
l'atmosphère. On pourra déterminer d'avance , par un  
calcul simple , la hauteur de l'espace dans lequel cet  
air doit se répandre , ou , ce qui revient au même , la  
hauteur à laquelle s'arrêtera la colonne de mercure.  
Par exemple , si le tube a 90 centimètres de hauteur ,  
et qu'on y introduise 8,25 d'air , on trouve , en sup-

posant que la pression de l'air atmosphérique à laquelle étoit d'abord soumis le mercure fût de 76 centimètres, que ce liquide descendra à 57 centimètres au-dessous du niveau; en sorte que l'espace occupé par l'air sera de 33 centimètres (1).

---

(1) Soit, en général,  $h$  la hauteur du tube, à partir de la ligne de niveau,  $p$  la pression de l'atmosphère,  $n$  la quantité d'air, ou la partie de la hauteur du tube qu'occuperoit ce fluide s'il conservoit sa densité primitive, et soit  $x$  la hauteur à laquelle le mercure s'arrêtera après la dilatation de l'air;  $h-x$  sera la partie de la hauteur du tube dans laquelle l'air se répandra en se dilatant. Or, les espaces occupés par l'air dans ses deux états étant en raison inverse des densités, on aura  $h-x : n :: p : \frac{np}{h-x}$ , qui exprimera la densité ou la force de l'air dilaté. Mais cette dernière quantité, augmentée de  $x$ , qui exprime la hauteur et en même temps la force du mercure, doit faire équilibre à la pression de l'atmosphère. Donc  $\frac{np}{h-x} + x = p$ , d'où l'on tire  $x^2 - (h+p)x + np = hp$ , et  $x = \frac{h+p}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{4np + (h-p)^2}$ .

Si l'on fait  $h = 90$  cent.,  $p = 76$  cent.,  $n = 8,25$  comme ci-dessus, on trouve  $x = 57$  et  $x = 109$ . La première valeur convient à la supposition présente, et elle donne  $76-57$ , ou 19 centimètres, pour l'expression de la force de l'air dilaté. La seconde valeur est relative à un autre problème, dans lequel on supposeroit un tube fermé par le bas, ouvert par le haut, et d'une hauteur égale à  $h$ . On supposeroit de plus, au fond du tube, une colonne de mercure, dont la hauteur, ou, ce qui revient au même, la pression fût égale à  $p$ , puis au-dessus une colonne d'air qui, sous la pression de l'atmosphère, occuperoit l'espace  $n$ , et enfin, au-dessus de cette dernière, une nouvelle colonne de mercure qui rempliroit le reste du tube. On

260. Ceci nous conduit à l'explication des effets produits par la fontaine à laquelle on a donné le nom d'*intermittente*, et dont voici la construction : ABC (fig. 26, Pl. IV) est un globe de verre ou de toute autre matière, percé de plusieurs trous, auxquels sont adaptés de petits tubes *n*, *o*, *r*, *s*, et traversé dans le sens de son axe vertical par un tube CZ, dont la partie supérieure *i* s'élève jusqu'à une petite distance du sommet *o*, et dont la partie inférieure s'emboîte exactement dans un cylindre creux SD, fixé au fond d'une cuvette MT. Le bas de ce cylindre est échancré latéralement en *u*, en sorte qu'il y a une communication libre entre l'air renfermé dans le vase ABC et l'air extérieur. La cuvette MT est percée d'un petit trou, au moyen duquel elle communique avec un réservoir K placé en dessous. Lorsqu'on veut faire usage de cette fontaine, on retire le tube CZ du cylindre SD, puis on le renverse, et l'on s'en sert pour introduire de l'eau dans le vase ABC, jusqu'à ce qu'il soit plein. On retourne ensuite le tube, et on le fait rentrer dans le cylindre SD : à ce moment l'air extérieur qui entre librement par l'échancrure *u*, exerce sa pression sur la surface *ab* du liquide ; mais il agit avec une force sensiblement égale sur l'eau qui tend à sortir par les tubes

---

considéreroit ce tube comme placé sous un récipient où l'on feroit le vide ; alors l'air renfermé dans le tube se dilateroit, en chassant une portion de la colonne de mercure qui peseroit sur lui, jusqu'à ce que son ressort fit équilibre à ce qui resteroit de la même colonne. Dans ce cas, la quantité *x*, qu'il s'agiroit de déterminer, seroit la distance entre le bas du tube et le bas de la colonne supérieure de mercure, après la dilatation de l'air.

*n, o, r, s*, en sorte qu'à cet égard l'eau est en équilibre entre les deux forces de l'air. Elle s'écoulera donc par les petits tubes, en vertu de son propre poids. A mesure que cette eau tombe dans la cuvette MT, il en sort une partie par le trou dont elle est percée; mais comme elle reçoit plus qu'elle ne perd, il y a un terme où l'échancrure *n* se trouve obstruée, en sorte qu'il ne peut plus entrer d'air dans le vase ABC. Cependant l'eau continue de couler pendant un instant, tandis que l'air intérieur se dilate, jusqu'à ce que son ressort soit tellement affaibli, que ce qui lui en reste, joint au poids de l'eau, soit en équilibre avec la pression de l'air, à l'orifice des tubes *n, o, r, s*; alors l'écoulement qui se fait par ces tubes s'arrête tout à coup. Mais la cuvette MT continuant de se vider, il arrive bientôt que l'échancrure *n* redévient libre, et que l'air s'introduit de nouveau dans le vase ABC, en sorte que les petits tubes recommencent à jeter de l'eau. La fontaine coule ainsi et tarit alternativement, jusqu'à ce que le vase qui fournit l'eau soit épuisé.

### *Des Pompes.*

261. Nous nous sommes bornés à indiquer l'air en général, comme cause de l'élévation de l'eau dans les corps de pompe. Mais la manière dont la pression extérieure de ce fluide se combine avec une autre action, qu'il exerce à l'intérieur et qui dépend de son ressort, est susceptible de quelques détails d'autant plus propres à intéresser, qu'ils tendent à mieux faire connaître une des plus belles et des plus utiles productions de la mécanique.

Toutes les pompes peuvent se rapporter à trois espèces; savoir, la pompe *foulante*, la pompe *aspirante*, et celle qu'on nomme *foulante et aspirante*, parce qu'elle réunit les effets des deux premières.

262. La pompe foulante a son piston placé inférieurement au niveau de l'eau. Elle se construit de deux manières: dans l'une, la tige *t* (fig. 27) du piston *P* est située en dessous, et celui-ci est percé d'une ouverture verticale, dont l'orifice supérieur est garni d'une soupape *s* à charnière. Lorsqu'il est en repos, il occupe le fond du corps de pompe, dans l'intérieur duquel l'eau s'introduit d'elle-même, à travers le piston, dont elle soulève la soupape, par sa tendance à chercher le niveau. Vers l'endroit *m n* de ce niveau, le corps de pompe est garni pareillement d'une soupape *s'* à charnière, qui fait l'office d'un second fond mobile de bas en haut; cette soupape se nomme *dormante*. Tandis que le piston s'élève au moyen du mouvement communiqué à la tige, la soupape *s* demeure fermée, et l'eau dont il est chargé, monte avec lui jusqu'à la soupape dormante *s'*, qui est forcée de s'ouvrir pour donner un passage à cette eau. La même soupape retombe ensuite par son poids, et empêche le liquide de sortir. Le piston va chercher, en descendant, une nouvelle charge d'eau, avec laquelle il remonte, pour la déposer au même endroit que la première; en sorte que l'eau peut être élevée ainsi à une hauteur arbitraire, pourvu que le moteur ait une force suffisante.

263. Les pompes de la seconde construction diffèrent de la précédente, par la position de la tige, qui est située au-dessus du piston, et de plus, en ce que le piston

est plein , et repose sur une soupape qui garnit le fond de la pompe. Lorsque le piston s'élève , l'eau le suit , pour se mettre de niveau ; pendant sa descente , il resoule cette eau dans un tuyau latéral , où elle s'ouvre un passage en soulevant une soupape , qui s'abaisse dès que le piston est arrivé au bas de sa course.

264. La pompe aspirante représentée *fig. 28* , a son piston *P* élevé au-dessus du niveau *mn* de l'eau , à une hauteur qui doit être moindre que 32 pieds. Ce piston est percé et garni d'une soupape *s* en dessus. Le corps de pompe a une séparation formée par une autre soupape *s'* , à une certaine distance au-dessous du point *k* , où nous supposons que se termine inférieurement le jeu du piston. Quand celui-ci est en repos à ce même point , l'air intérieur , compris entre la soupape dormante *s'* et le niveau *mn* de l'eau , fait équilibre par son ressort à la pression de l'air extérieur. Quant à l'air renfermé dans l'espace *klzo* , au-dessus de la soupape dormante , et dont le ressort est sensiblement égal à celui de l'air inférieur , son effet se borne , pour le moment , à tenir cette soupape fermée. Lorsqu'ensuite le piston monte , l'air contenu dans l'espace *klzo* se dilate ; celui qui est au-dessous de la soupape dormante la soulève par l'excès de son ressort , et une partie de cet air se répand dans l'espace *klzo*. En même temps l'eau s'élève jusqu'au terme où le ressort de l'air , affoibli par la dilatation , joint au poids de l'eau qui a dépassé le niveau , fait une somme égale à la pression de l'atmosphère. Ce terme ayant lieu au moment où le piston cesse de monter , la soupape dormante , qui se trouve entre deux airs également dilatés , se referme par son poids. Le piston , en descendant

descendant, resserre le volume de l'air compris entre sa base et la soupape dormante; et comme le volume de cet air excède le volume primitif d'une quantité égale à celle qui est entrée dans l'espace *klzo*, il est évident qu'il y a un point où il devient plus dense que dans son premier état, et alors il soulève, par son ressort, la soupape placée au-dessus du piston, et une partie s'échappe au dehors, jusqu'à ce que le reste ait repris sa densité naturelle. A mesure que les deux mouvements du piston se répètent, l'eau, continuant de monter, parvient jusqu'au piston, qui, en s'abaissant, la force de passer à travers son ouverture, pour l'élever ensuite avec lui; et ainsi successivement, jusqu'à ce qu'elle arrive à la hauteur désirée.

La construction de cette espèce de pompe exige des précautions, pour obvier à un inconvénient qui paraît d'abord singulier. C'est qu'il est possible que l'eau, avant de parvenir au piston, s'arrête tout à coup, et refuse de monter davantage, quoique le piston continue ses mouvements. Pour concevoir cette possibilité, remarquons que le poids de l'eau, à partir du niveau, va toujours en augmentant, à mesure qu'elle monte, tandis que la quantité d'air qui reste entre l'eau et la base du piston, et dont le ressort se déploie pendant que celui-ci s'élève, va au contraire en diminuant. Il en résulte que le rapport entre les deux forces qui réagissent ensemble contre la pression de l'atmosphère varie continuellement; et ainsi il peut se faire que la somme de ces forces devienne, à un certain terme, capable d'opposer à cette pression une plus grande résistance qu'auparavant. Supposons, par exemple, que l'eau soit arrivée en *hr*, et imaginons

qu'elle y soit retenue par une puissance quelconque , tandis que le piston s'élève de *kl* en *fg*, qui est la limite de son mouvement. Si l'espace *hrgf* que celui-ci laissera vide est tel que le ressort de l'air , après sa dilatation , joint au poids de l'eau qui excède le niveau , fasse équilibre à la pression de l'atmosphère , il est aisé de voir que l'eau ne seroit pas montée , dans le cas même où rien ne l'auroit retenue , puisque la condition requise pour l'équilibre est remplie par la seule dilatation de l'air.

Donc si la pompe est tellement construite qu'il y ait un point où l'hypothèse , que nous venons de faire , puisse être réalisée , l'eau restera stationnaire à ce point. Pour que l'hypothèse ne soit jamais admissible , et que la pompe fasse son service dans tous les cas , il faut qu'il y ait entre le jeu du piston et sa plus grande hauteur au-dessus du niveau , un certain rapport que l'on détermine facilement à l'aide du calcul (1).

265. L'eau s'élève dans la pompe aspirante et foulante , comme dans celle qu'on nomme simplement *aspirante*. Mais ici le piston est plein , et lorsque l'eau est parvenue jusqu'à sa base , il refoule cette eau en s'abaissant , et la force de passer dans un tuyau latéral , comme cela a lieu pour la seconde pompe foulante , dont nous avons parlé.

Cette pompe ne diffère de la précédente qu'en ce que

(1) La règle à laquelle conduit le calcul , est que le carré de la moitié de la plus grande hauteur du piston au-dessus du niveau de l'eau , ou de la distance entre *fg* et *mn* , doit être plus petit que trente-deux fois le jeu du piston , qui est mesuré par la distance entre *fg* et *kl*.

l'eau , au lieu de passer à travers le piston pendant qu'il s'abaisse , est chassée dans un tuyau particulier ; en sorte qu'on a considéré cet effet du piston comme ayant quelque chose de plus marqué , et qui semble caractériser davantage l'action de fouler.

### *Du Syphon.*

266. C'est encore à la pression de l'air que sont dus les effets du syphon , qui sert à transvaser les liqueurs. On appelle ainsi un tube de verre recourbé , dont une des branches est plus longue que l'autre. On tient cet instrument , de manière que la partie recourbée tourne sa convexité vers le haut. On plonge la branche la plus courte dans le vase qui contient la liqueur ; on applique la bouche à l'orifice de la plus longue branche , et l'on sucre la liqueur , c'est-à-dire , qu'on enfile la poitrine , de manière à produire une dilatation dans l'air qui occupe l'intérieur du syphon ; la liqueur s'introduit à l'instant dans celui-ci , par la pression de l'air extérieur. Lorsque le syphon est plein , on retire la bouche , et la liqueur continue de s'écouler par la longue branche , jusqu'à ce que le vase soit vide.

On conçoit aisément la raison de cet effet , en considérant que l'air qui répond à l'orifice de la plus longue branche , presse de bas en haut , suivant la loi de tous les fluides , la colonne d'eau contenue dans cette branche , tandis que l'air , qui repose sur la surface du liquide renfermé dans le vase , agit par l'intermédiaire de ce liquide pour presser dans le même sens la colonne qui occupe la branche la plus courte ; et il est clair qu'il n'a besoin de

soutenir que la partie de cette colonne , qui s'élève au-dessus du niveau. Or , la différence entre cette même partie et la colonne renfermée dans la branche la plus longue , donne à celle-ci un excès de poids qui n'est pas , à beaucoup près , balancé par l'excès de longueur de la colonne d'air qui répond à l'orifice de la même branche , et ainsi toute la partie de la liqueur , qui n'est pas soutenue par l'air , tombera ; et comme elle est sans cesse remplacée par celle qui vient du vase , l'écoulement ne finira qu'avec la liqueur elle-même.

267. On connaît depuis long-temps une multitude de faits que l'on attribuoit à l'horreur de la nature pour le vide , et dont l'explication s'offre comme d'elle-même , d'après les détails dans lesquels nous sommes entrés sur la pesanteur et l'élasticité de l'air. Lorsqu'on essaye de tirer le piston d'une seringue dont on a bouché l'ouverture , on éprouve une forte résistance , comme s'il étoit attaché au fond par un certain pouvoir , tandis que c'est le poids de l'air qui , en pressant sa base supérieure , l'empêche de monter. Par la même raison , on écarte difficilement les panneaux d'un soufflet , dont on a fermé les ouïes et le tuyau. Lorsque l'on place entre les lèvres un tube dont la partie inférieure est plongée dans l'eau , et que l'on aspire l'air intérieur , pour déterminer l'ascension du liquide , la succion semble être une force qui agit par attraction , tandis qu'on ne fait autre chose que rendre prépondérante l'action de l'air extérieur pour faire monter l'eau dans le tube. On pourroit citer beaucoup d'autres effets du même genre , dont les apparences sont comme des pièges tendus à l'imagination.

*De la Mesure des Hauteurs par le Baromètre.*

Après avoir montré combien la découverte de la pression que l'air exerce sur la surface des autres corps a contribué à perfectionner la théorie de ce fluide , il nous reste à faire connoître une application de cette découverte , qui a doublé les avantages du baromètre.

L'expérience de Torricelli ayant donné cet instrument à la physique , pour les observations journalières relatives à l'état de l'air. L'expérience de Pascal fit naître l'idée de le substituer , dans certaines circonstances , aux moyens géométriques pour la mesure des hauteurs.

268. La méthode la plus simple d'appliquer le baromètre à cet usage , est fondée sur une observation qui ne peut être regardée que comme un premier aperçu. Elle consiste à supposer qu'en général une ligne de diminution dans la colonne de mercure , répond à une différence de douze toises et demie en hauteur verticale. Ce résultat , traduit dans le langage des nouvelles mesures , donne 108 décimètres d'élévation pour chaque millimètre dont le mercure s'abaisse. L'emploi de ce moyen doit être limité à des hauteurs peu considérables , comme celles qui n'excèdent pas mille ou douze cents toises au-dessus du niveau de la mer.

269. La loi suivant laquelle décroissent les densités de l'air , a fourni une autre méthode qui approche beaucoup plus de la précision , et qui s'étend à toutes les hauteurs auxquelles nous pouvons parvenir. En partant du principe donné par l'observation , que l'air se comprime

en raison des poids dont il est chargé , on prouve que quand les hauteurs sont en progression arithmétique , les densités correspondantes sont en progression géométrique ; et il est visible que ces densités , à leur tour , sont en rapport avec les abaissemens du mercure dans le tube du baromètre.

270. On peut démontrer d'une manière fort simple cette relation entre les hauteurs et les densités de l'air qui leur correspondent. Soit *abzs* (fig. 29) une tranche d'air prise depuis la surface *ab* de la terre jusqu'à la limite *sz* de l'atmosphère. Divisons cette tranche en une infinité d'autres tranches d'une épaisseur infiniment petite , par des parallèles *dc* , *ef* , *gh* , etc. , à la ligne *a'* , dont les distances respectives , *ad* , *de* , *eg* , etc. , soient égales entre elles ; il est évident que les densités de ces différentes tranches iront en diminuant depuis la ligne *ab* , et que de plus , elles seront successivement comme les poids des quantités d'air situées au-dessus de chacune d'elles , en sorte , par exemple , que la densité de la tranche *abcd* sera à celle de la suivante *dcfe* , comme le poids de l'air contenu dans *dczs* est à celui de l'air contenu dans *efzs*.

Concevons maintenant une courbe *bpxs* tellement tracée que si l'air contenu dans chaque espace *abcd* , *dcfe* , etc. , étoit réduit à n'occuper que l'espace correspondant *abnd* , *dnoe* , etc. , pris dans l'intérieur de la courbe , le fluide se trouvât distribué uniformément dans l'espace total terminé par cette courbe. On conçoit comment cette hypothèse peut avoir lieu , puisque les densités primitives de l'air et les espaces *abnd* , *dnoe* , situés dans l'intérieur de la courbe , étant de

part et d'autre en progression décroissante , on est le maître de choisir une courbe d'une telle nature , que les portions d'air qui passeront des espaces  $bnc$ ,  $ncfo$ , etc. , dans les espaces voisins  $abnd$ ,  $dnoe$ , fassent croître les densités de l'air qui occupoit d'abord ces derniers espaces , de manière que leurs différences deviennent nulles.

Cela posé , il est visible que les espaces  $abnd$ ,  $dnoe$ , etc. , étant d'autant plus petits que les densités primitives étoient elles-mêmes plus petites , leur rapport sera le même que celui de ces densités ; de plus , les espaces  $dns$ ,  $eos$ , etc. , situés au-dessus des premiers , seront entre eux successivement comme les poids des quantités d'air qui compriment celui que renferment les espaces  $abnd$ ,  $dnoe$ , etc. Et puisque l'air se condense en raison des poids dont il est chargé , il en résulte que les espaces  $dns$ ,  $eos$ , etc. , seront aussi proportionnels aux espaces  $abnd$ ,  $dnoe$ , etc. Mais ceux-ci sont les différences entre les premiers , et il est démontré que quand des quantités sont entre elles comme leurs différences , ces quantités , et par conséquent leurs différences , sont en progression géométrique (1) ; donc les espaces  $abnd$ ,  $dnoe$ ,  $eopg$ , etc. ,

(1) Soit  $abs=a$ ,  $dns=b$ ,  $eos=c$ ,  $gps=d$ , etc., nous aurons , par l'hypothèse ,  $b:a-b::c:b-c::d:c-d$ , etc. Donc  $ac-bc=b^2-bc$ , et  $bd-cd=c^2-cd$ , d'où l'on tire  $ac=b^2$  et  $bd=c^2$ . Donc  $a:b::b:c$ , et  $b:c::c:d$ , c'est-à-dire , que les quantités  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , etc., sont en progression géométrique ; d'où il suit que les différences  $a-b$ ,  $b-c$ ,  $c-d$ , etc., forment aussi une progression géométrique.

ou , ce qui revient au même , les densités de l'air qui répondent aux hauteurs  $ad$  ,  $ae$  ,  $ag$  , etc. , suivent la loi d'une progression géométrique ; et puisque ces hauteurs sont évidemment en progression arithmétique , à cause de l'égalité des distances  $ad$  ,  $de$  ,  $eg$  , etc. , nous en concluerons que quand les hauteurs forment une progression arithmétique , les densités correspondantes de l'air sont en progression géométrique.

Or , les élévationes du mercure dans le baromètre sont proportionnelles aux densités de l'air , qui répondent aux différentes hauteurs où ces élévationes ont lieu. Donc , si d'une part on exprime ces densités par les nombres de lignes qui les mesurent , à partir de la ligne de niveau , et si d'une autre part on représente en toises les hauteurs auxquelles correspondent les élévationes du mercure , on pourra considérer les nombres de toises comme les logarithmes des nombres de lignes.

Supposons , pour un instant , que l'on eût une table construite d'après ce système de logarithmes ; voici comment on parviendroit à mesurer la hauteur d'une montagne. On prendroit les deux nombres de lignes que marquoit le baromètre au point le plus bas et au point le plus haut ; on chercheroit dans la colonne des logarithmes les nombres de toises correspondans , et la différence entre ces deux nombres donneroit la distance verticale entre les deux stations , ou la hauteur cherchée.

271. Mais les physiciens ont senti que l'on pouvoit se dispenser d'un pareil travail , et faire servir les logarithmes ordinaires à la détermination des hauteurs par le baromètre. Pour y parvenir , il ne s'agissoit que

d'avoir un facteur constant , dont la valeur fût telle que son produit , par les logarithmes de nos tables , donnât des mesures conformes à l'observation. Les premières déterminations de ce genre étoient fondées sur l'observation elle-même ; c'est-à-dire , qu'après avoir choisi parmi les résultats de diverses opérations trigonométriques ceux qui paroisoient mériter le plus de confiance , on cherchoit la valeur du facteur qui devoit être introduit dans le calcul relatif aux indications du baromètre , pour que les résultats de ce calcul s'accordassent avec ceux dont la trigonométrie avoit fourni les données. Deluc , en suivant cette marche , a été conduit à une détermination d'une heureuse simplicité , en ce qu'elle ne laisse presque rien à faire , pour ramener aux nombres que ce savant regarde comme les véritables , ceux que donnent les tables ordinaires ; elle consiste en ce que les logarithmes de ces tables , pris avec sept décimales , n'ont besoin que d'être multipliés par 10000 , pour représenter en toises les vrais logarithmes des nombres de lignes qui mesurent les observations correspondantes du baromètre. Ainsi , après avoir pris la différence entre les deux logarithmes tabulaires des nombres de lignes dont il s'agit , on reculera de quatre rangs , vers la droite , la virgule qui suit la caractéristique , et l'on aura la distance verticale entre les deux stations , exprimée en toises et en parties décimales de la toise.

272. Mais ce résultat , et tous les autres du même genre , exigent plusieurs corrections , dont deux surtout ont fixé l'attention des physiciens. On sait que la température varie dans les différens points d'une même

colonne d'air , de manière qu'en général les couches supérieures sont plus froides que les inférieures. Or , les densités de l'air , qui répondent à des hauteurs verticales en progression arithmétique , ne sont censées être exactement en progression géométrique , qu'autant que la température de l'air est uniforme ; d'où l'on voit que dans le cas ordinaire où elle varie , il est nécessaire de corriger les hauteurs du baromètre. Mais d'une autre part l'inégalité de température influe immédiatement , par un effet thermométrique , sur la colonne même de mercure renfermée dans le baromètre , et y produit une augmentation ou une diminution de longueur , qui est étrangère aux indications de cet instrument , ce qui exige une nouvelle correction.

273. On a imaginé différens moyens de faire disparaître ces anomalies. En procédant par la méthode de Deluc , on supprime d'abord l'effet qui a pour cause l'influence immédiate de la température sur le baromètre , et l'on ramène les indications de cet instrument à ce qu'elles auroient été dans le cas d'une variation due à la seule pression de l'atmosphère. On cherche ensuite le nombre de toises qui donne l'élévation proposée , en partant des hauteurs corrigées du baromètre , puis on applique à ce même nombre la correction relative à l'action variable de la chaleur sur la colonne d'air renfermée entre les deux stations.

Pour déterminer la première correction , Deluc avoit cherché , par l'observation , à quel degré de température la hauteur du baromètre n'exigeroit aucune correction. Ce degré répondoit au dixième au-dessus de zéro , sur le thermomètre en 80 parties. Deluc avoit

aussi déduit de l'expérience la quantité dont la variation de température allongeoit ou raccourcisoit la colonne de mercure du baromètre , par chaque degré du thermomètre. Cette quantité étoit de  $0,075$ , en supposant que le baromètre eût été d'abord à 27 pouces. Dans le cas d'une hauteur différente , une réduction donnoit la quantité de la variation. Il étoit facile ensuite d'ajouter à la hauteur observée ce qui lui manquoit , ou d'en retrancher ce qu'elle avoit de trop , à proportion que la température différoit de celle de 10 degrés , qui servoit de terme fixe.

A l'égard de l'autre correction, Deluc avoit cherché de même à quelle température il n'y auroit eu aucun changement à faire dans le nombre de toises donné par les logarithmes des hauteurs modifiées d'après la première correction. Cette température étoit de  $16^{\frac{3}{4}}$  au-dessus de zéro. Le même savant avoit ensuite supposé que la température varioit , dans l'étendue d'une même colonne d'air , de manière à croître ou à décroître en progression arithmétique , et il résultoit de ses expériences que l'air augmentoit ou diminuoit de  $\frac{1}{715}$  de son volume , par chaque degré du thermomètre. En combinant ces données avec les observations de la température qui avoit lieu dans les deux stations , on déterminoit l'erreur , en plus ou en moins , du nombre de toises obtenu à l'aide des logarithmes.

274. Laplace a proposé une méthode qui fournit des moyens plus directs pour arriver au même but , et qui ne laissera plus rien à désirer , lorsque la détermination des quantités qui lui servent de bases , aura été prise

de nouveau , avec toute la précision dont elle est susceptible.

Dans cette méthode , le coëfficient constant par lequel on doit multiplier le nombre que donnent les logarithmes tabulaires , dépend du rapport entre le poids d'un volume déterminé de mercure , et celui d'un égal volume d'air , à la température de la glace fondante , et à la hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer. Cette hauteur est à très-peu près de 76 centimètres ( 28 pouces ) , et la pesanteur spécifique de l'air comparée à celle du mercure , telle que l'indiquent les expériences faites jusqu'ici , est dans le rapport de l'unité à 10283. D'après cette donnée , le coëfficient constant de la différence entre les logarithmes des nombres de centimètres qui mesurent les élévations du baromètre aux deux stations , est égal à 17972,<sup>mt. I.</sup>

275. Mais l'hypothèse d'une température uniforme égale à zéro , exige de même ici deux corrections , pour être ramenée aux indications offertes par le thermomètre pendant l'opération même. La première porte sur le coëfficient constant. Pour mieux concevoir en quoi elle consiste , supposons que la température , à la station la plus basse , soit , par exemple , de 16<sup>d</sup> au-dessus de zéro , et qu'à la station la plus haute elle soit de 4<sup>d</sup> au-dessus de la même limite. La chaleur étant censée décroître en progression arithmétique , à mesure que la température s'abaisse , tel sera son effet sur l'air compris entre les deux stations , que les différences entre les densités réelles des diverses

couches de cet air prises de bas en haut, et celles qui auroient lieu en vertu des seules pressions, suivront elles-mêmes une progression arithmétique.

On pourra donc considérer l'opération comme étant faite par une température uniforme de  $10^{\circ}$ , qui étant la demi-somme des températures extrêmes, donne le terme moyen de la progression. Ainsi, l'effet sera le même que si la température ayant été d'abord à zéro, s'étoit élevée subitement de  $10^{\circ}$  dans toute la masse d'air renfermée entre les deux stations. Or, dans cette hypothèse, la dilatation subie par l'air auroit fait monter ses différentes couches au-dessus de leur premier niveau, d'où il suit que la colonne de mercure du baromètre, à mesure que l'observateur s'élève, étant pressée par une plus grande quantité d'air que si la température étoit zéro, le baromètre descendra moins que dans le cas de cette même température, et par conséquent le calcul, fait sans aucune correction, donneroit un résultat trop foible. Il faudra donc, pour compenser l'erreur, augmenter le coëfficient constant d'une certaine quantité qu'il s'agit de déterminer. Or, on a observé que, vers la température de la glace fondante, l'air se dilate d'environ  $\frac{1}{250}$  de son volume par chaque degré du thermomètre centigrade, qui est celui dont on se servira pour les opérations de ce genre. Donc la quantité dont il faudra augmenter le coëfficient constant est égale au produit de ce coëfficient par  $\frac{1}{250}$ , et par le nombre de degrés qu'indique la température moyenne. Mais celle-ci étant la demi-somme des températures observées aux deux stations, on voit que l'opération se réduit à multiplier la somme entière par

<sup>nt.</sup>  
35,944 ; qui est le produit du coëfficient 17972,<sup>1</sup>  
par  $\frac{1}{2250}$  ou par  $\frac{1}{180}$  (1).

La seconde correction dépend de l'effet thermométrique de la chaleur par rapport au mercure du baromètre. Or, on sait que ce liquide se dilate d'environ  $\frac{1}{5412}$  de son volume, par chaque degré du thermomètre centigrade. Il en résulte que si l'on part de la température qui avoit lieu à la station la plus froide, l'effet thermométrique dont il s'agit sera mesuré par la 5412<sup>e</sup>. partie de la longueur qu'avoit la colonne de mercure, à la même station, prise autant de fois qu'il y a de degrés dans la différence entre les deux températures. En ajoutant le produit au nombre de centimètres que donnoit le baromètre à la station la plus froide, on ramènera l'opération à ce qu'elle eût été, si la colonne de mercure avoit conservé constamment sa densité, en partant de la station la plus chaude.

276. Appliquons cette méthode à la détermination de la hauteur du Mont-Blanc, au-dessus du lac de Genève, d'après les données suivantes indiquées par Saussure (2). Le baromètre, placé à 3 pieds au-dessous

(1) L'effet total qui détermine la correction étant la somme des termes de la progression relative aux quantités dont les densités de l'air sont altérées par la chaleur, on a cette somme, en prenant le moyen terme, qui est le produit de la température moyenne par le rapport  $\frac{1}{2250}$  de dilatation pour un degré, et en le multipliant par le coëfficient constant qui représente le nombre des termes.

(2) Voyage dans les Alpes, No. 2003.

de la cime du Mont-Blanc, étoit à 16 pouces et  $\frac{1}{2}$  ligne,  
qui font  $0,4342$ , et le thermomètre en 80 parties, à  
 $-2^{\circ},3$ , qui équivalent à  $-2^{\circ},87$  du thermomètre  
centigrade.

En même temps, le baromètre placé à Genève, à  
13 toises au-dessus du lac, étoit à 27 pouces, 3 lignes,  
 $5,83$ , qui font  $0,7385$ , et le thermomètre en 80 parties  
à  $22^{\circ},6$ , qui répondent à  $28^{\circ},25$  du thermomètre cen-  
tigrade.

Pour avoir la quantité dont le coëfficient constant  
doit être augmenté, on multipliera la somme  $25^{\circ},33$   
des deux températures  $28^{\circ},25$  et  $-2^{\circ},87$  par  $35,944$ , et  
on ajoutera le produit  $912,259$  au coëfficient constant  
 $17972,1$ , ce qui donnera pour le véritable coëfficient  
 $18884,359$ .

Pour corriger ensuite la hauteur du baromètre à la  
station la plus froide, ou celle du Mont-Blanc, d'a-  
près la variation de la température, on prendra la  
différence  $31^{\circ},12$  entre les deux températures; on la  
multipliera par la hauteur  $0,4342$  du baromètre à la  
station la plus froide, et on divisera le produit par  
 $5412$ , ce qui donnera  $0,0025$  à ajouter à  $0,4342$ . Ainsi  
la hauteur corrigée sera  $0,4367$ .

Maintenant, la différence entre les logarithmes de  
 $0,7385$  et  $0,4367$  est  $2281673$ , laquelle quantité mul-  
tipliée par le coëfficient corrigé  $18884,359$ , donne  
pour la distance verticale entre les deux stations

4308,79<sup>mt.</sup>, qui sont à peu près 2211 toises (1). Pour avoir la hauteur totale du Mont-Blanc au-dessus du lac de Genève, il ne s'agit plus que d'ajouter 51,65<sup>mt.</sup>, ou 13 toises, 3 pieds, ce qui fait d'une part 4360,44<sup>mt.</sup>, et de l'autre 2224,5<sup>t.</sup>.

On connaît deux mesures trigonométriques de la même hauteur, l'une par Pictet, l'autre par Schuchburg. La première a donné 2238 toises, et la seconde 2257 toises ; le résultat de Laplace donne 13,5 de moins que celui de Pictet, et 32,5 de moins que celui de Schuchburg. Mais comme ces deux derniers résultats diffèrent eux-mêmes d'une quantité très-sensible égale à 19 toises, tout ce que l'on peut conclure de la comparaison que nous venons de faire, c'est que la formule du célèbre géomètre français paroît conduire à des évaluations trop faibles. C'est une suite de ce que les quantités numériques qu'elle renferme n'ont pas été déterminées, ainsi que nous l'avons dit, avec une assez grande précision. D'ailleurs, on a négligé jusqu'ici une correction à laquelle l'auteur se propose aussi d'avoir

(1) Soient  $H$  la hauteur du baromètre à la station la plus basse,  $h$  celle qui répond à la station la plus élevée, que l'on suppose en même temps la plus froide,  $T$  la hauteur du thermomètre à la station la plus chaude,  $t$  celle qui répond à la station la plus froide, et  $x$  la différence de hauteur entre les deux stations ; toutes ces quantités étant exprimées en mètres et en fractions du mètre, la règle dont nous venons de faire une application sera représentée par cette formule :

$$x = 17972,1 \left( 1 + \frac{2(T+t)}{1000} \right) L \left( \frac{H}{h + \frac{(T-t)a}{5412}} \right).$$

égard,

égard, savoir, celle qui dépend de la vapeur aqueuse que l'air tient en dissolution, et qui ajoute à l'action de la température une nouvelle cause des altérations que subit la loi des densités de l'air, telle que la donne la seule différence des pressions. Des expériences faites avec soin acheveront de perfectionner cette méthode, qui a, sur toutes les autres, l'avantage de ramener à leurs véritables limites les quantités dont la formule offre la combinaison.

277. Le même savant a conçu l'idée heureuse de faire concourir les observations du baromètre avec les mesures géographiques, pour déterminer, d'une manière plus fixe, la position des différens lieux. Cette position, telle que l'offrent les mesures dont nous venons de parler, dépend de l'intersection de deux coordonnées perpendiculaires entre elles, dont l'une est la distance au premier méridien, ou la longitude, et l'autre la distance à l'équateur, ou la latitude. On supposeroit une troisième coordonnée perpendiculaire aux deux précédentes, qui mesureroit la distance verticale entre le même point d'intersection et le niveau de la mer. On prendroit, pour la France, ce niveau à Brest, où la hauteur moyenne du baromètre est à peu près de 76 centimètres. On feroit dans chaque lieu un grand nombre d'observations barométriques, pendant un an ou deux, et la moyenne entre toutes ces observations donneroit l élévation du lieu proposé au-dessus du niveau de la mer. On pourroit choisir, dans chaque pays, pour le niveau auquel se rapporteroient les observations, la hauteur moyenne de la rivière la plus voisine. Un pareil travail, exécuté par des observateurs exercés,

et avec des baromètres bien construits, offriroit des résultats intéressans pour la topographie des divers pays.

## 2. Des effets du Calorique sur l'Air.

278. Nous avons maintenant à considérer les phénomènes qui résultent de la force du calorique, soit pour dilater l'air, soit pour augmenter son ressort. Si nous supposons d'abord une masse d'air échauffé, qui ne soit coercée par aucun obstacle, il est facile de concevoir que cet air, en se dilatant, acquerra une augmentation de volume qui diminuera sa pesanteur spécifique, en sorte que, s'il est environné d'un air plus froid, il s'élèvera, et sera aussitôt remplacé par une portion de l'air environnant; et si la chaleur continue d'agir dans le même espace, il s'établira une espèce de circulation, en vertu de laquelle un air plus dense prendra continuellement la place d'un air raréfié.

279. L'action qu'exerce la chaleur sur l'air des appartemens à cheminée, nous fournit un exemple familier de ce phénomène. Les molécules de cet air, répandues autour du brasier, devenant respectivement plus légères par la raréfaction, une partie s'élève dans le tuyau de la cheminée, et l'autre va gagner le haut de l'appartement; en même temps un nouvel air arrive par le bas, pour remplacer l'air descendant, et il en résulte une succession non interrompue de deux courans contraires; l'un supérieur, qui s'éloigne de la cheminée; l'autre inférieur, qui se porte vers elle. Les vitesses de ces deux courans diminuent à mesure que les couches se rapprochent d'une certaine hauteur moyenne où l'air est stationnaire. On peut observer les

effets de ce double courant, en ouvrant la porte de l'appartement, et en plaçant tour à tour la flamme d'une bougie vers le bas et vers le haut de l'ouverture, on verra la flamme s'incliner d'abord en dedans, puis en dehors, et à une certaine hauteur intermédiaire, elle restera immobile.

280. La succession perpétuelle de ces deux airs, tant que l'action de la chaleur est entretenue, a fourni une explication plausible d'une espèce de vent qui souffle continuellement dans la zone torride, et qui est connue sous le nom de *vent d'Est*. Quelques auteurs avoient cru en trouver la cause dans l'attraction que le soleil et la lune exercent sur l'atmosphère; mais il est prouvé que cette attraction ne peut produire dans l'air que de simples oscillations analogues à celles du flux et reflux, et presque insensibles, et non pas un mouvement sensible et uniforme dans sa direction.

L'opinion la plus générale est que le vent d'Est provient de la dilatation de l'air raréfié par l'action du soleil; et parmi les diverses manières dont on a imaginé que cette action s'exerce, nous nous bornerons à exposer celle qui paroît la plus simple et la plus naturelle.

Le soleil, que nous supposons dans le plan de l'équateur, échauffe et raréfie très-sensiblement la partie de l'atmosphère qu'il domine. Cet air raréfié s'élève au-dessus du niveau, et, d'après la tendance qu'ont tous les fluides à reprendre leur niveau, il se répand sur les colonnes situées vers les pôles, tandis qu'un air frais, parti de ces mêmes colonnes, afflue en dessous vers l'équateur, pour remplir l'espèce de vide produit par la dilatation. Il se formera donc, dans chaque hémisphère boréal ou

austral, deux courans, l'un supérieur, qui va de l'équateur vers le pôle, l'autre inférieur, qui vient du pôle à l'équateur. Les molécules de ces courans sont sollicitées à la fois par deux forces, dont l'une agit dans la direction même du courant, et l'autre provient du mouvement de rotation de l'atmosphère; et il est clair que la vitesse produite par ce second mouvement étoit originairement d'autant plus petite dans chaque molécule, que le parallèle dont celle-ci est partie se trouvoit plus éloigné de l'équateur.

Maintenant, si nous considérons une molécule prise dans le courant inférieur, dont la direction tend vers l'équateur, il sera aisé de concevoir que cette molécule arrive à chacun des parallèles situés sur son trajet, avec une vitesse angulaire (1), moindre que celle du point correspondant pris à la surface de la terre. Les objets terrestres qui se présentent au passage du courant inférieur, doivent donc le frapper avec l'excès de leur vitesse; il en sera de même d'un spectateur qui, se croyant immobile, et rapportant l'excès de sa propre vitesse, en sens opposé, au courant qu'il rencontre, recevra l'impression d'un vent qui lui paroîtra venir de l'Est, puisque le mouvement de rotation est dirigé de l'Ouest vers l'Est.

Ce sera le contraire par rapport au courant supérieur qui va vers le pôle. Chacune de ses molécules, ayant

(1) On appelle ainsi la vitesse d'un corps qui se meut circulairement autour d'un point. Quand la rotation est uniforme, la vitesse est proportionnelle à l'angle que mesure l'arc, décrit par ce corps dans un temps donné.

plus de vitesse que celle du point de la terre au-dessus duquel elle arrive , devancera ce même point en allant vers l'Est , et il doit résulter de cet excès de vitesse un vent d'Ouest réel , au lieu que le vent inférieur est une simple apparence , mais qui produit une illusion complète.

281. La chaleur qui augmente le volume de l'air lorsqu'il a la faculté de s'étendre , ajoute à sa force de ressort , lorsque son volume reste fixe , c'est-à-dire , qu'alors il exerce un plus grand effort contre l'obstacle qui le captive. Nous avons , sur cet objet , plusieurs résultats intéressans , obtenus par Amontons , l'un des savans qui ait le mieux connu l'art de mettre la nature en action par l'expérience , et de la faire parler en même temps aux yeux et à l'esprit .

282. Ce physicien célèbre , ayant cherché à mesurer l'augmentation de ressort que l'air éprouvoit entre certaines limites de chaleur , a trouvé que , depuis la température modérée qui règne pendant le printemps ou l'automne , jusqu'au degré de l'eau bouillante , le ressort de l'air , tendu d'abord par la pression moyenne de l'atmosphère , augmente d'environ un tiers ; en sorte que la force nécessaire pour contenir l'air dans le même espace , sans accroissement sensible de volume , est équivalente au poids de 28 pouces de mercure , plus 9 pouces  $\frac{1}{3}$  , ou de 37 pouces  $\frac{1}{3}$  , lorsque l'air a pris la chaleur de l'eau bouillante .

Quelle que fût la masse d'air employée , pourvu qu'on la chargeât du même poids , l'augmentation de ressort avoit toujours lieu dans le même rapport ; d'où résultoit ce principe , que si des masses d'air inégales

sont chargées de poids égaux , leur force de ressort s'accroitra également par des degrés égaux de chaleur.

L'expérience faisoit voir encore que , si des masses d'air égales étoient chargées de poids inégaux , leur force de ressort s'accroissoit proportionnellement à ces mêmes poids , par une même augmentation de chaleur. Ainsi , une masse d'air qui , étant d'abord chargée d'une pression de 30 pouces , avoit acquis un surcroît de force de ressort égal à 10 pouces , dans le passage d'une température d'environ 14 degrés , à celle de l'eau bouillante , en acquéroit un égal à 20 pouces , lorsque la pression primitive étoit de 60 pouces.

283. Amontons , en appliquant la théorie à ces principes , avoit aperçu le lien qui les unissoit , soit entre eux , soit avec les résultats de Mariotte , sur le rapport entre les degrés de contraction de l'air et les poids dont il est chargé.

Car lorsque , dans les expériences de Mariotte , des masses d'air inégales , que l'on supposoit toujours avoir été prises dans le même état de densité , supportoient des poids égaux , elles se contractoient proportionnellement aux volumes qu'elles avoient d'abord ; d'où il suit qu'après la contraction elles conservoient la même densité ; en sorte que , si le volume de l'une d'elles étoit primitivement de quatre pouces cubes , et qu'il se trouvât réduit à trois pouces , une autre dont le volume répondroit d'abord à huit pouces cubes , n'en occupoit plus que six. Or , lorsqu'on appliquoit à ces mesures également serrées , un même degré de chaleur , le feu n'agissoit pas plus pour écarter les molécules de l'une que celles de l'autre ; et ainsi l'augmentation de la force de ressort ,

qui dépendoit de cet écartement, devoit être la même.

D'une autre part, des masses d'air égales, chargées de poids inégaux, se contractoient dans le rapport de ces poids; et lorsqu'on leur appliquoit un même degré de chaleur, plus il y avoit de particules d'air ramassées dans un même espace, et plus l'effort de la chaleur pour les écarter étoit considérable; et ainsi, l'augmentation de la force de ressort devoit suivre le rapport des condensations, c'est-à-dire, qu'elle étoit proportionnelle aux forces comprimantes.

Si l'on considère qu'Amontons écrivoit en 1702, à l'époque d'une physique qui a vieilli de bien des manières, on conviendra qu'il y avoit beaucoup de finesse d'esprit dans ces vues, qui préparoient, comme de loin, les découvertes que des connoissances plus développées ont amenées dans ces derniers temps.

Nous ne devons pas omettre que c'étoit encore Amontons qui, le premier, avoit observé le phénomène remarquable que présente l'eau qui, parvenue une fois à l'ébullition, cesse de s'échauffer, quelque long-temps qu'on la laisse sur le feu, et quelle que soit l'activité de ce feu.

284. Amontons conçut l'idée d'appliquer ces différentes découvertes à la construction d'un thermomètre comparable, au moyen duquel on pût transmettre, disoit-il, à la postérité les observations que l'on auroit faites sur la température des différens climats; au lieu que, jusqu'alors, les divers instrumens de ce genre n'avoient aucune relation entre eux, et n'offroient que des indications locales et isolées. L'exposé que nous allons faire du procédé d'Amontons, servira à donner une idée

de celui qu'il avoit employé pour déterminer l'augmentation de ressort que l'air acquiert par l'action de la chaleur.

Il se servoit d'un tube dont la partie inférieure , qui étoit recourbée , se terminoit par une boule : la branche ouverte avoit environ 47 pouces de hauteur. Il choisissait , pour construire son thermomètre , la température modérée dont nous avons parlé , c'est-à-dire , celle du printemps ou de l'automne. Par un procédé ingénieux , qui consistoit à souder avec du mastic , au haut de la branche ouverte , un second tube pareillement recourbé , et qui avoit un renflement près de l'endroit de sa jonction avec l'autre tube , il parvenoit à introduire dans celui-ci environ 28 pouces de mercure , et en même temps à condenser l'air renfermé dans la boule , de manière que le niveau fût situé vers la naissance de cette même boule ; on enlevoit alors le tube qui avoit servi à introduire le mercure , et il ne restoit plus qu'à appliquer le premier sur une planche divisée en pouces et en lignes , à partir du niveau.

On avoit eu soin de donner à la boule un diamètre incomparablement plus grand que celui du tube ; et ainsi , lorsque l'air renfermé dans cette boule venoit à s'échauffer par la température de l'atmosphère , il s'étendoit , à la vérité , dans la branche la plus courte , et forçoit une partie du mercure qu'elle renfermoit à passer dans la branche la plus longue. Mais la quantité de la dilatation pouvant être négligée , à cause de la grande capacité de la boule , le volume de l'air n'étoit pas censé avoir changé , en sorte que l'augmentation de ressort , qui étoit mesurée par l'allongement de la colonne de

mercure, étoit sensiblement proportionnelle à l'accroissement de la force de ressort.

L'air intérieur avoit donc à supporter, au moment de la construction, une pression d'environ 56 pouces; savoir, la pression de l'atmosphère, et celle de 28 pouces de mercure introduits dans le tube. Le même air, en passant à la chaleur de l'eau bouillante, auroit été capable de soutenir une pression d'environ 74 pouces, c'est-à-dire, d'un tiers plus forte que celle de 56 pouces. C'étoit là le terme fixe auquel se rapportoit la construction de l'instrument, de manière que la hauteur de la colonne faisoit connoître que la température correspondante approchoit plus ou moins de celle de l'eau bouillante.

Quoique la quantité d'air renfermée dans la boule fût indifférente, cependant il convenoit, pour rendre les différens thermomètres plus comparables, de prendre des boules dont le diamètre fût toujours dans le même rapport avec celui du tube, ce qui ajoutoit à la difficulté de la construction. D'ailleurs, la température moyenne d'où l'on partoit, n'offroit pas un terme assez fixe. Il falloit de plus, en consultant l'instrument, avoir égard à la hauteur du baromètre, pour faire la correction qu'exigeoit la variation de la colonne de mercure au-dessus ou au-dessous de 28 pouces. Enfin, ce thermomètre devenoit embarrassant par la grandeur de ses dimensions; mais c'étoit le premier dont l'exécution eût été dirigée vers la véritable perfection de cet instrument, et il renfermoit un terme fixe de chaleur que Réaumur n'a employé que secondairement, et auquel les physiciens sont revenus.

285. Les résultats d'Amontons , sur l'augmentation de ressort que l'air éprouvoit lorsqu'il étoit échanssé , donnoient en même temps la quantité dont ce fluide se dilatoit , par l'action de la même cause. Cette dilatation étoit aussi d'un tiers , depuis la température moyenne jusqu'à celle de l'eau borillante ; mais le peu de fixité de la première température jetoit nécessairement de l'incertitude sur la conséquence déduite de l'observation. Plusieurs savans se sont occupés depuis du même objet , en prenant le degré de la glace fondante et celui de l'eau bouillante , pour limites de la température , et la pression moyenne de l'atmosphère , pour celle qui devoit agir uniformément sur l'air ; mais la grande diversité qui se trouve entre leurs résultats , faisoit désirer que ce point de physique fût soumis à un examen plus rigoureux. Gay-Lussac a entrepris de remplir cette tâche , et , par une suite d'expériences faites avec beaucoup de soin et de précision , est parvenu à déterminer non-seulement la dilatation de l'air atmosphérique , entre les deux limites dont nous avons parlé , mais même celle de divers autres gaz solubles et non solubles ; et , ce qui ajoute un nouveau degré de mérite aux résultats qu'il a obtenus , c'est l'uniformité de la loi de dilatation à laquelle il a été conduit (1).

286. Avant d'exposer les résultats dont il s'agit , ce savant discute les différens moyens employés jusqu'alors pour arriver au même but , et il remarque que la cause qui a le plus contribué à les rendre fautifs , a été la

---

(1) Annales de Chimie , par Guyton , Monge , Berthollet , etc. , N°. 128 , p. 137 et suiv.

présence de quelques gouttes d'eau qui étoient restées dans les appareils. Cette eau , en occupant , par sa vaporisation , un volume près de 1800 fois plus considérable que dans l'état de liquidité , déplaçoit une grande partie de l'air renfermé avec elle dans le même ballon , en sorte que l'on attribuoit à l'air une dilatation beaucoup trop forte , en supposant qu'il remplissoit seul la capacité du ballon où la température étoit parvenue au degré de l'eau bouillante. Gay-Lussac a employé des procédés différens par rapport aux gaz insolubles et à ceux qui sont solubles.

287. Voici d'abord à quoi se réduit sa méthode , relativement aux premiers : on prend un ballon très-sec , dans lequel on introduit le gaz dont on veut déterminer la dilatation ; on fait ensuite chauffer ce ballon jusqu'au terme de l'eau bouillante , et quand la dilatation a produit tout son effet pour faire sortir une partie du gaz , on refroidit celui-ci au degré de la glace fondante , et on laisse entrer en même temps dans le ballon autant d'eau que le permet la présence du gaz qui y reste ; sur quoi il est à remarquer que le gaz , dans ses différens états , doit toujours être ramené à l'équilibre avec la pression constante de l'atmosphère. Cela posé , le volume de l'eau qui s'est introduite dans le ballon , représente la quantité dont l'air qui y reste est susceptible de se dilater , depuis le degré de la glace fondante , jusqu'à celui de l'eau bouillante. On pèse le ballon d'abord dans cet état , puis après l'avoir rempli d'eau , et enfin après l'avoir vidé. La différence entre le poids du ballon vide et celui du ballon plein d'eau , donne la capacité du ballon ; et la différence entre le poids du ballon

vide et celui du ballon contenant un volume d'eau égal à l'espace que l'air a laissé libre en se contractant, donne la mesure de ce volume, après quoi il est facile de déterminer le rapport entre les volumes de l'air dans les deux températures extrêmes.

288. En opérant de cette manière, Gay-Lussac a trouvé que l'air atmosphérique se dilate depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante dans le rapport de 100 à 137,50, un peu plus fort que celui de 2 à 3 ; il en résulte que la dilatation, entre les mêmes limites, est de  $\frac{37,5}{100}$  ou de  $\frac{80}{213,33}$  du volume primitif. Le gaz hydrogène, le gaz oxygène et le gaz azote soumis aux mêmes expériences, ont donné des résultats absolument semblables.

289. Pour déterminer la dilatation des gaz solubles, Gay-Lussac a eu recours à un moyen aussi simple qu'ingénieux, en prenant pour terme de comparaison la dilatation d'un des gaz insolubles, qui avoient été l'objet des expériences précédentes. Son appareil étoit composé de deux tubes exactement gradués sur leur longueur et plongés verticalement dans un bain de mercure ; l'un contenoit de l'air atmosphérique, et l'autre le gaz qu'on vouloit éprouver, et les deux fluides s'élevoient dans les tubes à la même hauteur. On portoit cet appareil dans une étuve dont on élevoit progressivement la température, et on yoyoit les deux gaz monter dans leurs tubes de manière à correspondre toujours très-exactement aux mêmes divisions, ce qui prouvoit l'égalité des dilatations. Les fluides qui ont été l'objet de cette comparaison sont le gaz acide carbonique, le gaz acide mu-

riatique, le gaz sulfureux et le gaz nitreux. Cette uniformité dans la marche que suivoient les différens gaz en se dilatant, offroit déjà une forte raison d'analogie, pour penser que les vapeurs devoient être soumises à la même loi. Gay-Lussac s'est contenté, à cet égard, d'une seule expérience, qui devoit servir plutôt d'exemple que de preuve. Il a choisi la vapeur de l'éther sulfuré; et en employant le même procédé que pour les gaz solubles, il a observé que le progrès de la dilatation étoit absolument égal de part et d'autre.

Ces résultats s'accordent avec ceux des expériences que Dalton avoit entreprises, vers le même temps, en Angleterre, relativement au même objet, mais dont le chimiste Français ne pouvoit avoir eu connoissance, lorsqu'il fit part de son travail à l'Institut national des Sciences et Arts. Charles avoit déjà obtenu, il y a environ quinze ans, des résultats semblables pour les gaz insolubles; mais ses expériences, sur les gaz solubles, lui avoient offert une dilatation particulière à chacun d'eux, et sous ce point de vue, ses résultats différoient beaucoup de ceux de Gay-Lussac.

Ainsi, la dilatabilité des divers gaz et des vapeurs, par l'action de la chaleur, ne dépend en aucune manière de leur nature, mais seulement de leur état élastique. Jamais la physique n'est plus intéressante, que quand l'étude des phénomènes naturels la conduit à ces propriétés qui les généralisent, et nous les montrent tous renfermés dans un seul.

290. On peut rendre raison de cette uniformité de la loi à laquelle sont soumises les dilatations des gaz et des vapeurs, en considérant que les affinités qu'exerçoient entre

elles les molécules de chacun de ces corps , dans l'état de liquidité , et qui balançoient diversement la force élastique du calorique , suivant les différentes natures des mêmes corps , sont entièrement détruites , en vertu du passage à l'état de fluidité. Il ne reste donc plus alors que la force élastique du calorique , qui trouvant les molécules de tous les fluides , pour ainsi dire , également disposées à lui obéir , doit déterminer une marche uniforme dans les dilatations qui ont lieu entre les mêmes limites de température.

291. Les recherches que nous venons d'exposer ne donnent le rapport de dilatation que pour les deux limites qui répondent aux extrêmes de la température. Il reste à déterminer avec précision le coëfficient qui représente la dilatation relative à chaque degré du thermomètre. Gay-Lussac a déjà trouvé que ce coëfficient n'étoit pas constant , et il se propose d'entreprendre un nouveau travail , pour connoître la loi de ses variations.

292. Dalton , en continuant ses expériences sur les fluides , est parvenu à un autre résultat non moins remarquable , en ce qu'il ramène aussi à une même échelle la loi que suivent les forces élastiques des divers fluides comparées entre elles , à mesure qu'elles varient avec la température (1). Voici en quoi consiste ce résultat : si l'on prend pour terme commun la force qui fait équilibre à une pression donnée , telle que la pression moyenne de l'atmosphère , la variation de cette force , entre deux températures déterminées , est la même pour tous les fluides. Ainsi la vapeur aqueuse qui , à une température

---

(1) Bibliothèque Britan. , N°. 160 , vol. XX , p. 343 et suiv.

de  $100^d$  (C) (1), ( $80^d$  R), ou au terme de l'ébullition de l'eau, est capable de soutenir une pression de  $76^{cent}$ . ( $28^{po}$ .), perd la moitié de sa force, par une diminution de  $16^d,6$  (C), ( $13^d,3$  R), dans sa température, et cette même force se trouve doublée, par un accroissement de température égal à  $22^d,2$  (C), ( $17^d,8$  R). Or, la vapeur de tout autre fluide perd également la moitié de sa force, en se refroidissant de  $16^d,6$ , au-dessous du terme particulier de son ébullition, et acquiert une force double en s'échauffant de  $22^d,2$ , au-dessus du même terme.

293. Choisissons un autre rapport, et faisons en l'application à la vapeur de l'éther et à celle de l'eau. On sait que l'éther entre en ébullition à  $38^d,8$  (C), ( $31^d,4$  R), c'est-à-dire, qu'alors sa vapeur soutient une pression de  $76^{cent}$ . ( $28^{po}$ .) ; la même vapeur, refroidie jusqu'à  $16^d,6$  (C), ( $13^d,3$  R), ne soutient plus qu'une pression de  $30^{cent}$ . Telle est aussi la pression que soutient la vapeur aqueuse, à  $77^d,8$  (C), ( $62^d,2$  R); or, si l'on prend la différence entre  $16^d,6$  et  $38^d,8$ , qui indiquent, par rapport à l'éther, le terme de l'ébullition, on trouve qu'elle est de  $22^d,2$ , comme celle qui existe entre  $77^d,8$  et  $100^d$  qui répondent à la chaleur de l'eau bouillante.

D'une autre part, la vapeur de l'éther échauffée jusqu'à  $63^d,8$  (C), ( $51^d,4$  R), fait équilibre à une pres-

(1) Dans toutes les indications de température que nous donnons ici, la lettre C désigne le thermomètre centigrade, et la lettre R, le thermomètre dit de Réaumur.

sion de  $16^{\text{dclm.}}$ ; et la vapeur aqueuse a la même force, lorsque sa température est de  $125^{\text{d}}$  (C), ( $100^{\text{d}}$  R). Or, chacune de ces deux températures diffère de  $25^{\text{d}}$  de celle qui répond à l'ébullition du fluide auquel elle se rapporte, cette différence étant égale à  $63^{\text{d}},8 - 38^{\text{d}},8$  pour la vapeur de l'éther, et à  $125^{\text{d}} - 100^{\text{d}}$  pour la vapeur aqueuse. Nous aurons bientôt occasion d'exposer d'autres résultats qui offriront de nouvelles preuves de la sagacité du même physicien.

### 3. De l'Évaporation.

294. Nous voici arrivés à celui des effets de l'air, dans la connaissance duquel la marche de la physique ait été la plus tardive. On sait que l'eau exposée à découvert dans un vase diminue peu à peu de volume, et que ses molécules, à mesure qu'elles abandonnent la masse, s'élèvent dans l'atmosphère. Cet effet est connu sous le nom d'*éaporation*. Mais par quel mécanisme la nature le produit-elle ? Ici, les physiciens se partageoient entre différentes opinions, qui tendoient toutes à donner au feu la principale influence dans le phénomène; soit parce que l'on confondoit l'éaporation avec la vaporisation, soit parce qu'on avoit d'ailleurs observé qu'il s'évaporoit une plus grande quantité d'eau lorsque l'air étoit plus échauffé.

295. Les uns pensoient que les molécules de l'eau, extrêmement divisées par le feu, et acquérant une augmentation considérable de surface, eu égard à leur volume, donnoient prise à l'air pour s'emparer d'elles, en les heurtant et en les enveloppant dans les contours des petites

petites lames spirales dont il étoit composé. Selon d'autres, le feu, en dilatant les molécules de l'eau, les rendoit spécifiquement plus légères que l'air, en sorte que leur ascension dans ce fluide n'étoit qu'un phénomène ordinaire d'hydrostatique.

296. Au milieu de ce conflit d'opinions auxquelles nous pourrions encore en ajouter d'autres aussi peu fondées, le vrai mot avoit échappé à Musschenbroek. « L'air et l'eau, dit ce célèbre physicien, s'attirent réciproquement, et sont dissous l'un par l'autre. Aussitôt que les parcelles de l'eau commencent à se séparer, elles sont attirées par l'air, dans lequel elles se dispersent, comme il arrive dans toutes les dissolutions, où il y a de même mélange et dispersion de parties » (1). Mais Musschenbroek se contente d'indiquer cette cause, et lui fait le tort de lui en associer plusieurs autres.

297. Il étoit réservé à Leroi, de Montpellier, de présenter cette cause dans toute sa généralité, d'en rendre l'existence palpable, de la suivre dans ses différentes modifications, et de montrer ainsi, sous un nouveau jour, la simplicité du tableau de la nature, en faisant rentrer un de ses phénomènes les plus étendus sous la puissance universelle de l'attraction (2).

298. Toute la doctrine de ce physicien se réduit au principe suivant : l'air dissout l'eau, de la même manière et avec les mêmes circonstances que l'eau dissout les sels ; en sorte que comme l'eau en s'échauffant de-

(1) Essai de Physique ; Leyde, 1751, tome II, p. 721.

(2) Mélanges de Physique et de Médecine, p. 1 et suiv.  
TOME I.

vient capable de dissoudre une nouvelle quantité de sel, et abandonne, en se refroidissant, une partie de celui qu'elle avoit dissous; ainsi, à proportion que l'air s'échauffe ou se refroidit, il lui faut plus ou moins d'eau pour arriver à son point de saturation.

Les expériences qui ont offert au même physicien la preuve de ce principe, sont de celles qui se répètent spontanément tous les jours. Elles avoient été vues mille fois; mais personne ne les avoit encore regardées.

299. L'auteur exposa sur sa fenêtre une bouteille de verre blanc, exactement bouchée; la température étoit alors de 20 degrés au-dessus de zéro du thermomètre en 80 parties. Quelque temps après, le thermomètre étant descendu, pendant la nuit, à quinze degrés, Leroi s'aperçut qu'une partie de l'eau contenue dans l'air dont la bouteille étoit remplie, s'étoit déposée en forme de gouttelettes, sur ses parois supérieures qui, étant les plus exposées, avoient dû se refroidir les premières. Cette espèce de rosée devint beaucoup plus abondante, lorsque le thermomètre fut descendu à six degrés. L'air, en se réchauffant pendant le jour, dissolvoit ensuite l'eau qui s'étoit précipitée pendant la nuit. Cet air présentoit tout le reste de l'atmosphère; le vase, soumis à l'expérience, ne faisoit que montrer aux yeux ce qui se passoit ailleurs d'une manière insensible. Cette expérience, répétée et variée avec toutes les attentions convenables pour la rendre décisive, a donné constamment des résultats analogues.

Leroi a cherché ensuite le moyen de déterminer le degré de saturation de l'air relatif à un état donné de l'atmosphère. Pour y parvenir, il versoit dans un

grand gobelet de cristal bien sec par dehors , de l'eau assez froide pour occasionner sur les parois extérieures, refroidies par le voisinage de cette eau , un précipité de celle qui étoit en dissolution dans l'air environnant ; à mesure que la température de l'eau s'élevoit d'un demi-degré , il versoit de cette eau dans un nouveau vase , et observoit le terme où le précipité s'arrêtroit : ce terme indiquoit le degré de saturation de l'air. L'auteur a reconnu , à l'aide de cette expérience , que la direction et la force du vent faisoient varier très-sensiblement le degré de saturation , qu'il étoit plus bas par le vent de nord que par celui de nord-ouest , et que dans l'un et l'autre cas , la force du vent contribuoit encore à l'abaisser.

300. Quoique la comparaison faite par Leroi , de la manière dont l'air dissout l'eau avec celle dont l'eau dissout les sels , soit exacte quant au fond , elle ne se soutient cependant pas sous tous les rapports. Il y a cette différence entre les deux phénomènes , qu'un sel qui se dissout dans l'eau passe de l'état de solidité à celui de liquidité , en sorte que sa pesanteur spécifique ne varie pas d'une quantité considérable ; tandis que l'eau , en s'évaporant , passe de l'état de liquidité à celui de fluide élastique , ce qui diminue sa densité dans le rapport de l'unité à plus de mille.

301. Nous sommes maintenant à portée d'établir une comparaison exacte entre la vaporisation et l'évaporation. La première dépend de ce que l'élasticité du calorique , qui agit sur les molécules de l'eau , est assez puissante pour vaincre la pression de l'air. Dans l'évaporation , ce même air qui , d'un côté , s'oppose par sa

pression à la force élastique du calorique, pour réduire l'eau en vapeur, la seconde, d'un autre côté, par l'affinité qu'il exerce sur ce liquide.

302. L'évaporation est d'autant plus abondante, toutes choses égales d'ailleurs, que l'eau, en se présentant à l'air par une plus grande surface, multiplie davantage ses points de contact avec ce fluide. On profite, dans certains pays, de cette observation, pour extraire plus promptement le sel marin de l'eau qui le tient en dissolution. On fait d'abord tomber cette eau sur des fagots d'épines, où elle se divise en une pluie très-fine, qui offrant à l'air qu'elle traverse la facilité d'agir sur elle par de nombreux contacts, s'évapore en grande partie, de manière que celle qui arrive au fond se trouve très-chargée de sel. Cette eau est ensuite portée dans de grandes chaudières, qu'on expose à l'action du feu pour achever l'évaporation.

303. Les parties situées à la surface de l'eau étant les seules qui soient soumises à l'évaporation, la quantité de celle-ci, dans des vases pleins, dont les orifices sont inégaux, est proportionnelle à la grandeur de ces orifices, pourvu que la chaleur et les autres circonstances soient les mêmes relativement à tous les vases. Musschenbroek a trouvé, il est vrai, qu'à surfaces égales, l'eau renfermée dans un vase plus profond s'évaporoit plus promptement que dans un vase qui avoit moins de profondeur (1). Mais cette différence proveoit vraisemblablement de ce que parmi les causes des

---

(1) Additions aux Mémoires de l'Acad. *del cimento*, t. II, p. 62.

variations que subissoit la température de l'air environnant , celles qui tendoient à la faire baisser étoient les plus fréquentes. Il en résultoit que l'eau renfermée dans le vase le plus profond , étant composée d'un plus grand nombre de couches depuis le fond jusqu'à la surface , suivoit plus lentement les variations de la température , et par là perdoit moins promptement la chaleur qu'elle avoit une fois acquise , et dont la présence accéléroit l'évaporation (1). Aussi la différence dont il s'agit n'est-elle sensible qu'en plein air , et l'on a observé qu'elle étoit nulle dans des appartemens où la température n'éprouvoit que de légères variations.

304. La glace est aussi susceptible d'évaporation , mais d'autant moins qu'elle est plus froide : si quelques physiciens ont cru apercevoir le contraire , c'est probablement parce qu'ils ont fait leurs expériences par un vent très-sec , qui , en renouvelant les contacts , fairoit croître la faculté dissolvante , plus que le froid ne tendoit à la diminuer. Cependant , Musschenbroek et Wallerius ont observé que l'évaporation de l'eau augmente pendant la congélation. Mais cet effet n'est qu'instantané ; il provient de la chaleur qui se développe alors , et qui , en passant dans l'air environnant , élève sa température.

305. D'après le principe établi par les expériences de Leroi , plusieurs phénomènes , dont l'observation est familière , s'expliquent avec une grande facilité. Le seul énoncé de ces expériences fait concevoir la

---

(1) Novi commentar. Petropol. , t. II , p. 134.

manière dont la rosée se précipite de l'air, lorsque la température de ce fluide, peu éloignée, pendant le jour, du degré de saturation, est descendue, pendant la nuit, au-dessous de ce degré. Tout le monde sait que pendant les temps de gelée les vitres des appartemens sont mouillées en dedans. Comme l'air extérieur est alors plus froid que celui du dedans, le calorique renfermé dans la partie de ce dernier, qui est en contact avec les vitres, ayant la facilité de passer à travers leur petite épaisseur, se répand au dehors pour satisfaire sa tendance vers l'équilibre. Il en résulte que l'air intérieur abandonne une partie de l'eau qu'il tenoit en dissolution, et la dépose sur la surface des vitres. C'est le contraire dans le temps de dégel, où la température extérieure est plus haute, ce qui fait dire que l'on a froid dans les appartemens; l'humidité paroît alors en dehors sur les vitres. On conçoit aussi pourquoi l'haléine des animaux, plus chaude pendant l'hiver, que l'air où elle se répand, devient visible sous la forme d'une vapeur produite par l'eau qu'elle abandonne en se refroidissant. Toute la nature est pleine de ces sortes de faits, dont il sera aisément, au premier coup d'œil, de saisir l'analogie avec les précédens.

306. La manière dont l'eau influe sur l'état de l'air, après que ce fluide l'a enlevée par l'évaporation, avoit déjà fixé l'attention de plusieurs physiciens célèbres. Dalton, au milieu de ses nombreuses recherches sur les gaz et les vapeurs, a entrepris, relativement à ce point de physique, un travail dont les résultats sont d'autant plus intéressans, qu'il les a étendus à la constitution de tous les mixtes que les fluides élastiques sont suscep-

tibles de former, en s'unissant les uns avec les autres.

307. Arrêtons-nous d'abord un instant sur ce qui étoit connu par rapport à l'évaporation. L'eau qui a subi cet effet n'est plus à l'état de liquidité; elle a passé à celui de fluide élastique, et se trouve dans le même cas que si elle avoit subi la vaporisation, sous un air assez raréfié pour ne point faire obstacle à l'ébullition. Saussure avoit même reconnu que sa présence augmentoit l'élasticité de l'air, et avoit fait des expériences dont le but étoit d'évaluer l'accroissement d'élasticité qui avoit lieu, par le mélange d'une quantité donnée de vapeurs, à une température donnée (1). Pour parvenir à cette évaluation, il introduisoit, à plusieurs reprises, un linge mouillé dans une masse d'air déterminée, qu'il avoit préalablement desséchée le plus qu'il étoit possible; et il observoit que cet air, à mesure qu'il dissolvoit de l'eau, faisoit monter graduellement une colonne de mercure soumise à sa pression. Il avoit trouvé, entre autres résultats, qu'à une température de 15<sup>d</sup> du thermomètre dit de Réaumur, la quantité de vapeur capable de saturer l'air, faisoit croître l'élasticité de ce fluide, de manière qu'au lieu d'une pression de 27 pouces, à laquelle il faisoit auparavant équilibre, il en soutenoit alors une de 27 pouces 6 lignes. Il concluoit de cette observation, que la vapeur répandue dans l'air soumis à l'expérience étoit un fluide élastique capable de soutenir seul une pression égale à l'accroissement d'élasticité qu'il communiquoit

---

(1) Essais sur l'Hygrométrie, Nos. 108 et suiv.

à l'air ; en sorte que , dans le vide , il auroit soutenu réellement cette pression.

308. Saussure avoit trouvé de plus , qu'à la même température de 15<sup>d</sup> un pied cube d'air , d'abord très-sec , se saturoit d'une quantité de vapeur du poids d'environ 10 grains .

309. Il suit de ce que nous venons de dire , qu'une masse d'air saturée d'eau en vapeurs , à 15<sup>d</sup> , a besoin d'une pression de 27 pouces , 6 lignes , pour continuer d'être resserrée dans l'espace qu'elle occupoit auparavant sous une pression de 27 pouces . Donc , si elle n'est encore chargée que de cette dernière pression , les molécules de la vapeur écarteront celles de l'air , par leur force élastique , en même temps que ce fluide , par son affinité , les tiendra dans un état de suspension , et le volume de la masse se trouvera augmenté de  $\frac{1}{34}$  ; et parce que la densité de la vapeur est à celle de l'air , suivant Saussure , à peu près comme 10 à 14 , le volume s'accroîtra dans un rapport plus grand que celui de l'augmentation de masse ; d'où il faut conclure que la pesanteur spécifique de l'air diminue à mesure qu'il tient une plus grande quantité d'eau en dissolution . Newton , dans ses questions d'optique , où l'on trouve une foule d'aperçus , qui sont comme autant de germes précieux dont le développement étoit réservé à d'autres temps , remarque que le véritable air est plus pesant que les vapeurs , et qu'une atmosphère humide est plus légère qu'une atmosphère sèche , à quantités égales (1) .

310. Venons maintenant aux résultats des recherches

---

(1) *Optice lucis* , lib. III , quest. 31 , p. 322 .

entreprises par Dalton. Ce célèbre physicien s'est proposé de chercher, par une méthode générale, de combien un gaz se dilate, ou, ce qui revient au même, de combien son élasticité se trouve augmentée, à une température donnée, par son union avec une vapeur dont on connoît l'élasticité, à la même température.

311. Dans les expériences relatives à cet objet (1), il se sert d'un tube de verre droit, fermé à une extrémité, et divisé en parties égales. Il introduit au fond de ce tube quelques gouttes du liquide, tel que l'eau, qu'il veut soumettre à l'expérience, et renferme dans le même tube un gaz, tel que l'air, en chargeant celui-ci d'une colonne de mercure plus ou moins haute, selon l'objet qu'il a en vue. Il plonge ensuite l'extrémité fermée du tube dans une eau d'une température donnée, puis il observe, par le mouvement du mercure, l'expansion du gaz et de la vapeur unie avec ce gaz. Nous allons développer la formule à laquelle il a été conduit par ses observations.

312. Nommons  $P$  la pression que soutenoit le gaz seul, avant l'expérience, à la température donnée,  $P'$  celle que la vapeur seule étoit capable de soutenir, à la même température,  $V$  le volume primitif du gaz, et  $V'$  le volume, après la dilatation, au terme où le mélange est en équilibre avec la pression  $P$ . Supposant les trois premières quantités connues, il s'agit de déterminer  $V'$ .

Or on doit concevoir que, dans le premier instant

---

(1) Bibliothèque Britan., N°. 160, vol. XX, p. 338 et suiv.

où l'air n'occupoit encore que le volume  $V$ , il s'y est introduit un égal volume de vapeur, et parce que la force de cette vapeur faisoit seule équilibre à la pression  $P'$ , qui peut aussi représenter l'élasticité de la vapeur, nous sommes libres de supposer que cette élasticité étoit employée à soutenir une partie  $P'$  de la pression  $P$  dont le gaz seul étoit chargé auparavant, en sorte que ce fluide n'est plus pressé que par une force égale à  $P-P'$ . Il se dilatera donc par son excès d'élasticité. Mais à mesure qu'il se dilate, il se forme une nouvelle quantité de vapeur, qui est toujours proportionnelle à l'augmentation de volume, en sorte que la pression à laquelle cette vapeur fait équilibre à toutes les élévations, ou, ce qui revient au même, son élasticité est constamment égale à  $P'$ . Le gaz continuera donc de se dilater jusqu'au terme où ce qui lui restera de sa force élastique ne soit plus capable que de balancer la pression  $P$ ; et puisque les dilatations ou les volumes sont en raison inverse des pressions, on aura

$$V' : V :: P : P - P'; \text{ d'où l'on tire, } V' = \frac{VP}{P - P'}, \text{ et}$$

$$V' = V + \frac{VP'}{P - P'}$$

Supposons que le gaz étant l'air commun, et la vapeur celle de l'eau, on ait  $P=27$  pouces,  $P'=\frac{1}{2}^{\text{po}}$ . et faisons  $V=1$ . La formule donnera  $V' = \frac{27}{27 - \frac{1}{2}} = \frac{54}{53}$ , c'est-à-dire, que dans ce cas l'air s'est dilaté dans le rapport de 53 à 54, ce qui conduit au résultat de Saus-sure (309).

Soit  $P=20^{\text{po}}$ . et  $P'=10^{\text{po}}$ , on aura  $V'=2$ , c'est-à-dire, que le volume de l'air est doublé.

Lorsque  $P'$  est égal à  $P$ , la force élastique de la vapeur détruit entièrement l'effet de la pression que soutenoit l'air, et comme elle est constante pendant tout le temps de la dilatation, à cause de la nouvelle vapeur qui se forme continuellement, la dilatation n'a plus de terme, et c'est ce qu'indique la formule dans laquelle la valeur de  $V'$  devient alors  $\frac{P}{\infty}$ , qui exprime une quantité infinie.

313. Tout ce qui précède nous conduit à deux conséquences; la première que, dans l'union d'une vapeur avec un gaz, l'élasticité du mixte est la somme des élasticités qu'auroient les composans, si chacun d'eux occupoit l'espace rempli par le mixte. Car l'élasticité du mixte est  $P$ , qui égale l'élasticité  $P - P'$  du gaz, plus l'élasticité  $P'$  de la vapeur.

314. L'autre conséquence nous apprend que le volume du mixte, après la dilatation, est la somme des volumes que les composans occuperoient séparément, sous la pression primitive  $P$  que le gaz soutenoit. Car dans la formule  $V' = V + \frac{VP'}{P-P'}$ ,  $V$  représente le volume primitif de l'air. Soit  $v$  le volume dans lequel se resserreroit la vapeur par la pression  $P$ . On aura  $v : V' :: P' : P$ . Ou,  $v : \frac{V P}{P-P'} :: P' : P$ . D'où l'on tire  $v = \frac{VP'}{P-P'}$ , quantité qui, ajoutée à  $V$ , donne le volume total.

315. Ces résultats sont du plus grand intérêt pour la théorie des fluides élastiques. Mais la manière dont l'auteur les envisage n'est pas à l'abri des difficultés. Il pense

que quand une vapeur, telle que la vapeur de l'eau, se mêle, par exemple, à l'air atmosphérique, les molécules de chaque fluide se repoussent mutuellement, sans exercer aucune action sur celles de l'autre fluide. Ainsi, à l'instant même du mélange, l'élasticité de la vapeur décharge l'air d'une partie de la pression qu'il soutenoit. Cet air se dilate donc par l'excès de sa force élastique, jusqu'à ce que la partie qui lui en reste, jointe à l'élasticité de la vapeur, soit en équilibre avec la pression. Dans cet état de choses, les molécules de chaque fluide sont interposées entre celles de l'autre, de manière que si vous supprimez, par la pensée, celles de la vapeur, et que l'air n'ait plus à supporter que la pression  $P - P'$ , il ne se fera aucun changement dans la disposition de ses molécules. La même chose aura lieu pour la vapeur, si vous supposez que l'air soit nul. Ce sont deux parties d'un même système qui agissent indépendamment l'une de l'autre, comme feroient de petits ressorts de deux espèces intercalés les uns entre les autres, de manière que ceux de chaque espèce exerçassent leur force séparément. Si quelque molécule d'un des fluides éprouve une résistance de la part des molécules de l'autre, ce ne peut être qu'une résistance, pour ainsi dire, de rencontre, semblable à celle qui a lieu dans le choc des corps solides, et qui ne peut en conséquence exister qu'accidentellement, par une suite du contact.

316. On a opposé à cette doctrine plusieurs objections tirées de la chimie, et personne n'a mieux défendu ici les droits de l'affinité, que Bertholet, dans le bel ouvrage où il a présenté la théorie de cette force d'une manière si

neuve et si digne de son génie (1). Mais pour nous borner ici à une seule considération puisée dans la physique, nous observerons que la manière de voir du célèbre physicien anglais, ne paroît pas s'accorder avec ce principe d'hydrostatique, que la pression à laquelle est soumis un fluide se distribue également dans tous les sens, en sorte que chaque point du fluide la supporte toute entière. Il en résulte que dans l'hypothèse de Dalton, chacun des composans ne pouvant résister qu'à une partie de la pression, céderoit à la force de celle-ci : l'air se condenseroit, et la vapeur se réduiroit en eau.

Pour ramener les choses à leur véritable point de vue, imaginons, au lieu de la vapeur qui s'est introduite dans l'air, une nouvelle quantité de cet air, qui ait le même degré d'élasticité que la vapeur. Ce nouvel air écartera, par sa force élastique, les molécules du premier, et toute la masse prendra une densité uniforme, qui sera telle, que cette masse, après sa dilatation, fera équilibre à la pression qui se distribuera également sur toutes ses parties. Or, la vapeur unie à l'air est dans le même cas que cette nouvelle quantité d'air dont nous venons de parler. Elle écarte de même les molécules de l'air entre lesquelles elle s'introduit, et ses propres molécules se mettent au degré de densité qu'exige l'équilibre avec la pression : la seule différence consiste en ce que l'air qui, comme nous l'avons vu (296), exerce son affinité sur l'eau qu'il enlève par l'évaporation, continue de l'exercer sur la vapeur dont il est saturé ; et l'effet de cette affinité est d'empêcher la vapeur de céder à la

---

(1) Essai de Statique Chimique, 1<sup>re</sup>. partie, p. 485 et suiv.

pression , qui , sans cela , forceroit cette vapeur de repasser à l'état de liquidité.

317. En partant des résultats que nous avons exposés , et en les réunissant à ceux que Gay-Lussac a obtenus , par rapport à la dilatation des fluides élastiques , on parvient à un rapprochement remarquable , dont l'idée est due au célèbre Laplace. Saussure a trouvé , par une expérience directe , ainsi que nous l'avons dit ( 308 ) , que la quantité d'eau en vapeur contenue dans un pied cube d'air , à la température de 15<sup>d</sup> du thermomètre en 80 parties , est d'environ 10 grains. Or , cette vapeur est ici dans le même état que si elle occupoit seule un espace égal à un pied cube sous une pression de 6 lignes ( 307 ). Cherchons maintenant , d'après la théorie de la dilatation , quelle seroit dans cette hypothèse le poids de la même vapeur.

On sait qu'à la température de 80<sup>d</sup> , et sous une pression de 28 pouces de mercure , la vapeur de l'eau est environ 1600 fois plus légère que l'eau liquide. Un pied cube de celle-ci pèse 70 livres ; d'où il suit que le poids d'un pied cube de vapeur aquenue , à 80<sup>d</sup> et sous une pression de 28 pouces , est de  $\frac{70 \text{ liv.}}{1600}$ . Supposons que cette quantité de vapeur , en restant toujours à une température de 80<sup>d</sup> , ne soutienne plus qu'une pression de 6 lignes. Son nouveau volume sera au volume primitif dans le rapport inverse des pressions , c'est-à-dire , comme 28 pouces est à 6 lignes , ou comme 56 est à l'unité. Donc , après la dilatation , un pied cube de cette vapeur ne pesera plus que  $\frac{70 \text{ liv.}}{56 \cdot 1600}$  ou  $\frac{1}{1280}$  de livre.

Mais ce volume étant calculé d'après la supposition d'une température de 80<sup>d</sup> , il faut le ramener à ce qu'il

seroit par une température de 15°, qui est celle qu'avoit la vapeur de l'eau, dans l'expérience de Saussure. Or, Gay-Lussac a trouvé que les gaz se dilatent de  $\frac{3}{213}$  de leur volume (288), en passant de la température de la glace à celle de l'eau bouillante ; d'où il suit que si l'on se contente d'un à peu près, on pourra supposer que la dilatation est de  $\frac{1}{213}$  du volume, pour chaque degré de chaleur. Donc la densité d'une quantité de vapeur dont la température est de 80° est à celle de la même quantité à 15° comme  $1 + \frac{8}{213}$  est à  $1 + \frac{15}{213}$ , ou comme 293 est à 228. Donc puisque, à égalité de volume, les poids sont comme les densités, le poids d'un pied cube de vapeur à 15° sera à  $\frac{1}{228}$  de livre, qui est le poids du même volume à 80°, comme 293 à 228, ce qui donne pour le poids d'un pied cube de vapeur à 15°,  $\frac{293 \text{ liv.}}{228,1280}$ , ou environ 9gr.3 (1), résultat peu différent de celui de Saussure ; et tel est l'avantage des expériences même isolées, quand elles sont bien faites, qu'elles n'attendent que les théories pour se rallier autour d'elles.

### *Des Vents et des Météores Aqueux.*

318. L'atmosphère est continuellement sollicitée par l'action de diverses causes, telles que la chaleur, les vapeurs, etc., qui, agissant inégalement sur ses diffé-

(1) Voyez dans le Bulletin des Sciences de la Société Philomath., ventôse an 11, p. 189, un article de Biot, où ce savant géomètre, après avoir exposé les résultats et la théorie de Dalton, donne le calcul relatif au rapprochement dont il s'agit ici.

rentes parties, tendent à faire varier le rapport de leur pesanteur spécifique et celui de leur élasticité; et ce sont, en général, ces mêmes causes qui font naître les *vents*, en déplaçant une portion de l'air, et en lui communiquant un mouvement progressif. On a désigné les vents avec beaucoup de justesse, en les appelant *des courans d'air*.

319. L'intensité de la force du vent varie entre des limites très-étendues, depuis l'agitation légère qui produit le zéphir, jusqu'au mouvement impétueux d'où résultent les ouragans. M. Kraaf, qui a fait, à Pétersbourg, des observations sur la vitesse du vent, dit l'avoir trouvée une fois de 109 pieds (35<sup>mt.</sup>4), et une autre fois de 120 pieds (39<sup>mt.</sup>) par seconde (1).

320. Les vents suivent une infinité de directions différentes, les unes obliques, les autres parallèles à l'horizon. Mais dans l'estimation ordinaire de la direction du vent, on se borne à considérer le point de l'horizon d'où il est censé partir, pour arriver à l'observateur, qui se regarde comme étant au-dessus du centre de ce cercle; et l'on suppose la circonférence du même cercle divisée en 32 parties égales par seize diamètres, ce qui donne, en allant de la circonférence au centre, 32 directions, que l'on a nommées *airs* ou *rumb's* de vents, et dont l'ensemble forme ce que l'on appelle la *rose des vents*. Voyez la figure 30, Pl. V.

L'un des diamètres, qui coïncide avec le méridien du lieu où se trouve l'observateur, indique le Nord par

---

(1) Encyclop. Méthod. Marine, t. III, 2<sup>e</sup>. part., p. 813.

une de ses extrémités, et le Sud par l'extrémité opposée. Le diamètre qui coupe le précédent à angle droit, indique l'Est d'un côté, et l'Ouest de l'autre. Ces quatre points se nomment en général *points cardinaux*.

Les noms des points intermédiaires entre les points cardinaux, participent de ceux de ces mêmes points, combinés deux à deux, trois à trois, sans addition, ou trois à trois, avec interposition de la fraction  $\frac{1}{4}$ , à mesure que les points correspondans soudisent, en parties toujours plus petites, l'espace compris entre deux points cardinaux voisins. Cette nomenclature est fondée sur les principes suivans: 1<sup>o</sup>. dans les combinaisons binaires, comme Nord-Est, Sud-Est, etc., le nom de *Nord* ou celui de *Sud* tient toujours la première place. 2<sup>o</sup>. Chaque combinaison ternaire, sans addition, telle que Nord-Nord-Est, Est-Nord-Est, etc., est donnée par le nom du point cardinal le plus voisin, suivi de la combinaison binaire la plus voisine. 3<sup>o</sup>. A l'égard des combinaisons ternaires avec addition de la fraction  $\frac{1}{4}$ , il y a une distinction à faire. Si le point auquel répond la combinaison est voisin d'un point cardinal, la combinaison se forme du nom de ce point, et ensuite de la fraction  $\frac{1}{4}$ , à laquelle on ajoute le nom de la combinaison binaire la plus voisine. Ainsi, Nord quart de Nord-Est, signifie que le point indiqué par cette combinaison est voisin du Nord, et que sa distance à ce même point est le quart de celle qui le sépare du Nord-Est. Si, au contraire, le point auquel appartient la combinaison est voisin d'un autre point qui réponde à une combinaison binaire, ce qui est le cas du point Nord-Est quart de Nord, la combinaison

se forme du nom de cette même combinaison binaire, et de la fraction  $\frac{1}{4}$ , avec le nom du point cardinal le plus voisin; d'où l'on voit que ce mode de combinaison est l'inverse du précédent. Parmi les directions variables à l'infini des différens vents, on a choisi les trente-deux dont nous venons de parler, comme des espèces de limites auxquelles on rapporte toutes les autres.

321. Les vents, considérés relativement à leur durée, à leurs retours et autres circonstances semblables, se divisent en vents généraux, vents périodiques et vents irréguliers.

Les vents généraux, ou ceux dont l'action est continue et suit une direction constante, règnent entre les deux tropiques, et rarement au delà. Tel est le vent d'Est, dont nous avons donné l'explication la plus naturelle, en la faisant dépendre de la raréfaction de l'air, produite par la chaleur du soleil (280).

Les vents périodiques, que l'on a nommés aussi *vents alisés* et *moussons*, soufflent constamment pendant plusieurs mois, et sont ordinairement suivis de vents contraires d'une égale durée.

Les vents irréguliers sont ceux qui soufflent de différens côtés dans un même pays, sans observer aucune époque ni aucune durée déterminée : ce sont les plus ordinaires dans les climats tempérés. Il arrive assez communément que deux ou trois de ces vents soufflent en même temps l'un au-dessus de l'autre dans des directions différentes (1); et quelquefois on éprouve un vent

(1) *Musschenbroek, Essai de Physique ; Leyde, 1751, T. II,*  
p. 879.

violent sur une montagne au pied de laquelle l'air est tranquille, ou c'est le cas contraire qui a lieu (1).

322. Les accidens qu'occasionne quelquefois la violence des vents, sont compensés bien au delà par les avantages que nous procurent ces courans d'air. Ce sont eux qui, dans les grandes villes, font succéder un air sain à un air vicié par des émanations nuisibles. Ils transportent les nuages destinés à répandre sur la terre les pluies qui la fertilisent : ils sont les véhicules d'une multitude de graines qui, pourvues d'ailes ou d'aigrettes, voltigent de toutes parts pendant l'automne, et entretiennent, entre les différens sols, une circulation de richesses végétales.

323. L'industrie humaine a trouvé dans la force des vents un puissant moteur, dont l'impulsion sur les voiles des navires dirige ces édifices flottans vers les lieux où la nature abonde en productions intéressantes pour le commerce, ou utiles aux progrès de l'histoire naturelle. Avant l'invention de nos moulins, que de bras et d'efforts étoient employés à moudre le grain dont nous tirons notre plus solide nourriture ! L'action du vent y supplée, en s'exerçant sur quatre ailes qui font l'office de l'évier, et dont les surfaces, inclinées deux à deux en sens contraire, reçoivent, à l'aide de cette ingénieuse disposition, des mouvements qui conspirent pour déterminer la rotation de l'axe sur lequel sont fixées les ailes (2).

(1) Deluc, Recherches sur les Modific. de l'Atmosphère, N°. 730.

(2) Soit AB (*fig. 31*) la projection de la surface antérieure du moulin, *mn* celle de l'une des ailes que nous supposons être

324. On a donné le nom de *météores* à tous les corps qui , suspendus ou en mouvement dans notre atmosphère , y deviennent les agens de quelque phénomène. Il ne s'agit ici que de ceux qui doivent leur origine au fluide aqueux.

325. Lorsque les vapeurs répandues dans l'air se

---

parvenue au plus haut point de sa rotation ,  $m'n'$  celle de l'aile opposée à la précédente , et qui , dans le même cas , se trouve au point le plus bas de sa rotation ; soit de plus  $fg$  la direction du vent , à laquelle la surface  $AB$  , dont on peut faire varier à volonté la position , est toujours perpendiculaire. La force du vent , qui agit obliquement sur l'aile  $mn$  , suivant  $or$  , se décompose en deux autres forces , dont l'une , représentée par  $os$  , et parallèle à  $mn$  , est nulle pour l'effet ; et l'autre , représentée par  $ot$  , et perpendiculaire à  $mn$  , pousse l'aile de gauche à droite , ou en allant de A vers B. En faisant le même raisonnement par rapport à l'aile inférieure  $m'n'$  , on en conclura que la force  $o't'$  , qui fait la même fonction que  $ot$  , agit pour faire tourner l'aile  $m'n'$  de droite à gauche , ou en allant de B vers A. Or , cette action concourt avec celle qui s'exerce sur l'aile supérieure , pour produire un même mouvement de rotation ; au lieu que si l'aile inférieure étoit disposée sur le même plan que celle d'en haut , les deux mouvements se détrairoient. Ce que nous disons ici des actions relatives à la position la plus élevée ou la plus basse des ailes , s'applique également à toutes les autres positions.

Il est facile de voir que les ailes resteroient encore immobiles , si  $mn$  et  $m'n'$  étant parallèles à  $AB$  , recevoient directement l'impulsion du vent , ou si , étant perpendiculaires sur  $AB$  , elles avoient la même direction que le vent. Il y a donc , entre ces deux limites , une position oblique sous laquelle la force du vent est un *maximum* , et le calcul démontre que le *maximum* a lieu lorsque l'angle  $orn$  que fait la direction du vent avec la surface de l'aile , est de  $54^{\circ} 44' 8''$ .

séparent de ce fluide par l'effet du refroidissement ou de quelque autre cause, elles se rapprochent et tendent vers leur retour à l'état de liquidité; et lorsque leur pesanteur spécifique, qui se trouve augmentée, est seulement à peu près égale à celle de l'air, elles restent suspendues dans cet air, sous la forme de brouillards ou de nuages. Mais si leur condensation devient assez grande pour que les gouttes d'eau qui en résultent ne puissent plus être soutenues par l'air, cette circonstance détermine leur précipitation, qui, dans les cas ordinaires, produit une pluie plus ou moins abondante.

326. La neige provient d'une semblable précipitation, dans laquelle l'eau est réduite en très-petits globules qui se congèlent au milieu d'un air froid, et, se réunissant plusieurs ensemble pendant leur chute, arrivent à terre sous la forme d'une espèce d'étoile à six rayons (204), si leur cristallisation s'opère au milieu d'un air calme, ou sous la forme de flocons irréguliers, si l'agitation de l'atmosphère donne lieu aux cristaux de se heurter et de se réunir en groupes.

327. La grêle diffère de la neige par plusieurs circonstances, dont une des plus remarquables est l'époque même de sa formation, qui n'a lieu que pendant les saisons chaudes. Elle provient d'une eau de pluie dont les gouttes se congèlent par l'effet de la température très-froide qui règne alors dans les hautes régions de l'atmosphère. Ces globules de glace présentent ensuite aux molécules aqueuses qu'elles rencontrent sur leur trajet, des espèces de noyaux dont le contact détermine ces molécules à se congeler elles-mêmes, et à s'arranger par couches concentriques autour du noyau

dont elles augmentent le volume. Les grains de grêle sont rarement sphériques ; leur forme présente , pour l'ordinaire , des cavités et des parties anguleuses. Quelques-uns paroissent être un assemblage de plusieurs grains d'un plus petit volume qui se sont groupés pendant leur chute.

328. Un autre phénomène que l'on admireroit s'il étoit moins redoutable , est celui de la trombe. Il provient d'un nuage qui s'offre assez ordinairement sous la forme d'un cône renversé , dont la base adhère à d'autres nuages auxquels le cône est comme suspendu. Lorsque la trombe se forme au-dessus de la mer , l'eau qui lui correspond s'élève en formant un second cône dont l'axe est sur la même direction que celui du cône supérieur. L'eau qui se précipite de toutes les parties de la trombe , et à laquelle se joint quelquefois une grêle abondante , est lancée au loin par les vents impétueux qui se déchaînent à l'entour. Les ravages que produit ce météore sont affreux. Il déracine les arbres les plus forts , et les jette très-loin de l'endroit où ils croissoient. S'il passe au-dessus d'une ville , il renverse les toits , les cheminées , ou même les murs des maisons , et force quelquefois les barres de fer qui portent les girouettes. Les marins , lorsqu'ils aperçoivent une trombe , font tous leurs efforts pour s'en éloigner , dans la crainte que , si elle venoit à tomber sur le vaisseau , elle ne le submergeât à l'instant. Ce météore est beaucoup plus rare sur terre que sur mer ; il se montre assez ordinairement pendant les grandes chaleurs et après un long calme (1).

---

(1) Encyclop. Méthod. , Marine , tome III , 2<sup>e</sup>. part. , p. 791.

329. Les variations de l'atmosphère , en augmentant ou en diminuant la pression que l'air exerce sur le mercure du baromètre , déterminent la colonne de ce liquide à s'allonger ou à se raccourcir , en sorte que la quantité de la pression dont il s'agit est indiquée à chaque instant par le nombre qui répond à la hauteur du mercure ; et parce qu'il arrive assez souvent que le baromètre baisse lorsqu'il y a de l'agitation dans l'air , ou que le temps se dispose à la pluie , et que , au contraire , il monte aux approches d'un temps calme et serein , on a joint à certains degrés de l'échelle des indications de l'état du ciel , que la hauteur à laquelle parvient alors le mercure semble présager le plus communément . Mais l'observation prouve que le beau temps et la pluie n'ont pas une influence constante et réglée sur les variations du baromètre , qui ne sont en rapport exact qu'avec les pressions de l'air ; et l'on peut dire que l'arithmétique de cet instrument est plus sûre que son langage .

En supposant même que les prédictions du baromètre s'accordassent toujours avec les faits , il faudroit pouvoir expliquer cet accord d'une manière satisfaisante . Mais malgré l'habileté des physiciens qui se sont occupés de ce sujet , et en général de tout ce qui concerne les variations de l'atmosphère , il nous semble que la théorie qu'on en a donnée laisse encore beaucoup à désirer . Seulement nous avons des principes solidement établis , dont la liaison avec l'objet de cette même théorie fait espérer qu'ils seront un jour employés avec avantage à la développer . Tels sont ceux qui résultent des expériences de Leroy , de Gay-Lussac et de Dalton .

C'est en combinant ces principes avec des observations suivies sur l'état de l'atmosphère, que l'on parviendra à lever les nombreuses difficultés que présentent, et la diversité des phénomènes dont la théorie doit embrasser l'ensemble, et celle des causes qui souvent se compliquent dans la production d'un seul phénomène.

*De l'origine des Fontaines.*

330. L'évaporation a fourni la véritable explication d'un autre fait qui avoit long-temps embarrassé les physiciens. On voyoit les fleuves et les rivières couler continuellement de leurs sources vers la mer, et ces sources ne tarissoient pas. La mer recevoit de toutes parts les tributs de ces différentes eaux, et la mer ne regorgeoit pas. On en avoit conclu qu'il falloit que les eaux retournassent de la mer aux fontaines, et que la nature eût ouvert, entre les unes et les autres, une communication non interrompue. Mais par quel chemin se faisoit ce retour ? Où étoient les conduits qui reportoient les eaux de la mer aux sources des fleuves ? Comment perdoient-elles leur salure dans ce trajet ? C'étoit là le point de la difficulté, et pour la résoudre, on avoit eu recours à différentes hypothèses plus spécieuses que solides.

Les uns, adoptant l'idée de Descartes, croyoient que les eaux de la mer alloient, par des canaux souterrains, se rendre dans de grandes cavernes situées à la base des montagnes ; qu'ensuite, au moyen de la chaleur qui régnoit dans ces souterrains, elles se vapo-

risoient en se dépouillant de leur sel , et après s'être élevées jusqu'aux parois supérieures de la cavité , s'y condensoient par le refroidissement , et ruisseloient à l'origine des fleuves et des rivières . C'étoit une véritable distillation semblable à celle qui s'opère dans les laboratoires des chimistes .

Selon les autres , les eaux de la mer , poussées par l'action du flux , s'introduisoient dans la terre par une multitude de fissures , où elles éprouvoient une filtration qui leur enlevoit leur sel . Ces espèces de canaux , dont les ramifications s'étendoient de toutes parts , les conduisoient ainsi jusqu'aux endroits où elles formoient des sources par leur réunion .

En appréciant ces hypothèses d'après les idées d'une saine physique , on conçoit aisément qu'admettre dans la nature ces alambics et ces filtres , c'étoit lui prêter les moyens de notre art , et vouloir l'astreindre à le copier , elle qui est souvent pour lui un modèle inimitable . On conjectura enfin qu'il ne falloit point chercher aux fontaines une autre origine que celle des pluies elles-mêmes , et voici ce que l'observation et la raison nous dictent également sur cet objet .

331. L'eau s'élève de toutes parts , dans l'atmosphère , par l'évaporation . Celle de la mer dépose son sel , à mesure qu'elle cède à l'attraction de l'air . Une partie des rosées et des pluies qui proviennent de ces eaux , tombe sur les sommets des montagnes : ces sommets paroissent même agir par affinité sur les nuages , et les fixer . On a observé qu'un nuage qui rencontroit un pic sur son passage , s'effaçoit à mesure que ses différentes parties approchoient du contact . Les eaux s'infiltrent

dans les terres qui recouvrent les montagnes, jusqu'à ce qu'elles rencontrent un lit imperméable pour elles, et de là elles vont sourdre aux différens endroits de la pente et du pied de la montagne où le lit qui les a reçues se montre à découvert.

Dans les montagnes primitives, les eaux coulent le long des pierres dures, qui composent comme la charpente de ces grandes masses, et de leur réunion se forment les torrens. Les montagnes secondaires, dont la matière est plus tendre et comme spongieuse, laissent pénétrer les eaux à une plus grande profondeur, où elles les arrêtent par des couches d'argile dont ces eaux suivent la pente; et c'est dans les joints des couches voisines que se trouvent les issues qui les répandent. Celles qui n'ont pas paru à la surface, continuent de couler dans le sein de la terre, où l'homme va les chercher par les ouvertures des puits qu'il creuse à côté de ses habitations.

332. Mais n'étoit-ce pas trop accorder à l'évaporation que de supposer qu'elle pût fournir seule cette immense quantité d'eau nécessaire à l'entretien de tant de sources, surtout en y joignant celle qui est perdue pour les fleuves et les rivières, et qui sert de boisson aux animaux, ou est absorbée par les plantes? Mariotte, dans son Traité du mouvement des eaux, a discuté cette question, avec son exactitude ordinaire, en comparant la quantité d'eau de pluie qui tombe à Paris et aux environs, pendant le temps d'une année moyenne, avec celle qui passe, dans le même temps, sous le Pont-Royal; et il résulte de ses observations et de ses calculs, que ce qui tombe d'eau excède tellement la quantité qui suffit pour entretenir le cours des rivières et pour remplir les étangs, qu'il faut

supposer que le reste soit employé , avec une profusion pour ainsi dire excessive , aux besoins de la végétation et aux autres dépenses particulières. La solution de la difficulté semble fournir une nouvelle objection en sens contraire.

L'explication que nous venons de donner , ramène ainsi la nature à sa simplicité ordinaire. L'air atmosphérique , par une seule action , attire sans cesse à lui les eaux répandues sur la surface du globe , et après leur avoir servi de véhicule , il les laisse précipiter là et là , et les rend à tout ce qui les redemande , aux plaines et aux prairies qu'elles désaltèrent , aux sources des fleuves qu'elles alimentent , et à l'Océan dont elles réparent les pertes.

333. La région dans laquelle se passent les différens phénomènes dus à l'évaporation , ne s'étend pas à une grande hauteur dans l'atmosphère. Suivant Musschenbroek , les nuages les plus élevés dominent rarement le sommet des plus hautes montagnes. On a cherché à déterminer la hauteur de l'atmosphère elle-même , ce qui seroit très-facile , si l'air avoit partout la même densité qu'auprès de la surface de la terre. Il suffiroit , dans ce cas , de prendre le rapport entre les densités du mercure et de l'air , ou entre leurs pesanteurs spécifiques , et de multiplier ce rapport par 28 pouces , ce qui donneroit à peu près quatre mille dix toises , ou 7815 mètres , pour la hauteur cherchée. Mais cette détermination est bien éloignée de la véritable , à cause de la diminution que subit la densité de l'air , à mesure qu'il s'éloigne de la terre. Lahire a essayé de conclure la hauteur de l'atmosphère , de la durée du crépuscule. On sait que nous

commençons à apercevoir les rayons du soleil, lorsque cet astre est encore abaissé de 18 degrés au-dessous de l'horizon. Or, ces mêmes rayons ne parviennent alors à un spectateur auquel se rapporte l'horizon dont il s'agit, qu'après s'être d'abord réfractés en pénétrant l'atmosphère, et avoir été ensuite se réfléchir sur sa concavité, d'où ils sont renvoyés vers le spectateur. Il y a donc une certaine hauteur que l'atmosphère doit avoir, pour que la réflexion qui produit le crépuscule, commence lorsque le soleil est à 18 degrés au-dessous de l'horizon; et en calculant cette hauteur, Lahire a trouvé qu'elle étoit à peu près de 16 lieues. Mais ce résultat prouve seulement qu'à la distance de 16 lieues l'effet de l'atmosphère, pour réfléchir la lumière, est encore sensible, en sorte que nous sommes seulement certains que l'atmosphère s'étend au moins jusque là sans pouvoir assigner sa dernière limite.

### *Des Aérostats.*

334. Après avoir exposé les connaissances acquises jusqu'ici sur les divers états de l'air, nous ne pouvons nous dispenser de donner quelques détails sur une découverte qui pourra nous en procurer de nouvelles relativement à cet objet, et qui d'ailleurs a des points communs avec la physique. C'est celle des aérostats par laquelle Mongolfier a rendu son nom à jamais célèbre.

L'idée d'un voyage entrepris par l'homme au milieu des airs, promettoit un spectacle si imposant et si propre à exciter l'admiration, que l'on conçoit comment il s'est rencontré plus d'une fois des hommes assez har-

dis pour tenter de la réaliser. Le vol des oiseaux , en inspirant un sentiment de rivalité , sembloit offrir le modèle du mécanisme qui devoit servir à l'exécution du projet. Mais , en premier lieu , l'oiseau trouve des facilités pour exécuter les divers mouvemens relatifs au vol , dans la conformation de son corps , et dans la position et la structure de ses ailes composées de plumes , dont la substance est très-légère , et qui sont des tuyaux creux ; de plus , la grande force musculaire dont il a été pourvu par l'Auteur de la nature , lui donne l'avantage de frapper l'air assez puissamment et assez rapidement , pour s'élever à son gré , s'élancer en avant et planer au-dessus du même endroit. Dans l'homme , au contraire , la force des muscles , loin de compenser le désavantage du poids , est bien inférieure à ce qu'elle devroit être , toutes choses égales d'ailleurs , pour le mettre en état d'agir sur l'air , avec un excès de vitesse qui lui fit trouver un point d'appui dans ce fluide si mobile et si prompt à céder. De là , les tentatives malheureuses de tous ceux qui ont aspiré à la pratique d'un art qu'il falloit laisser aux héros de la fable.

335. On pouvoit viser au même but d'une autre manière , en substituant au mécanisme du vol , celui de la navigation. Pendant le cours du siècle dernier , Lana et Gallien , en se bornant à de simples spéculations , proposèrent deux moyens différens pour remplir ce second objet. Lana composoit son appareil de quatre globes de cuivre , dans lesquels on feroit le vide , et qui étant à la fois très-spacieux et très-minces , deviendroient capables , par leur excès de légèreté , d'enlever un homme avec son support. Mais plusieurs savans ont réfuté cette idée ,

en objectant que les globes ne manqueroient pas de crever par la pression de l'atmosphère.

Gallien étoit parti d'une idée qui paroît d'abord plus plausible en elle-même , et qui consistoit à faire flotter dans l'atmosphère un grand vaisseau occupé par un air respectivement plus léger que celui qui le soutiendroit. La difficulté eût été de mettre ce principe en exécution ; mais comme Gallien ne prétendoit offrir à son lecteur qu'une simple récréation physique , et le faire voyager en idée , rien ne le gênoit du côté des moyens , pourvu qu'ils eussent leur possibilité dans la nature. En conséquence , il faisoit son vaisseau aussi grand qu'une ville , et capable de contenir une armée avec tout son attirail , et des provisions pour un long voyage. Il le supposoit ensuite transporté dans l'atmosphère à une telle hauteur , que l'air dont il se rempliroit fût une fois plus léger que celui au-dessus duquel il flotteroit. Mais quelque élevés qu'eussent été les bords du vaisseau , l'air qui s'y seroit introduit se seroit comprimé par son propre poids , dans le même rapport que l'air environnant , et l'on concevra aisément que dès lors le vaisseau n'auroit pu se soutenir un seul instant au milieu de l'atmosphère.

336. Ainsi l'on n'avoit encore , relativement à l'art de s'élever dans les airs , que des essais infructueux , et des spéculations fausses et romanesques , lorqu'en 1782 , Mongolfier , ayant réfléchi sur le phénomène que présentent les nuages qui se soutiennent , en flottant , dans l'atmosphère , conçut l'idée de donner des enveloppes très-légères à des nuages factices , composés de vapeurs produites par la combustion de diverses substances. Il pensa que ces vapeurs , mêlées à l'air raréfié par la cha-

leur dans l'intérieur des enveloppes , formeroient avec elles un tout spécifiquement plus léger que l'air environnant. Quelques essais qu'il fit en particulier, avec son frère , ayant eu une pleine réussite, ils répétèrent leur expérience à Annonay , l'année suivante , en présence d'un grand nombre de spectateurs ; et là on vit une espèce de grand sac de toile, doublé en papier , et d'abord informe , couvert de plis et affaissé par son poids , se gonfler et se développer par l'action de la chaleur , s'élever ensuite sous la forme d'un ballon de cent dix pieds de circonférence , et parvenir à une hauteur de mille toises.

On sait que depuis, l'expérience fut renouvelée plusieurs fois à Paris , et que la machine servit à éléver des hommes qui entretenoient eux-mêmes le feu dans un réchaud suspendu sous l'ouverture de l'aérostat. Dans les premiers essais , la machine étoit retenue par des cordes qui permettoient seulement à cette machine de s'élever à une certaine hauteur. Enfin , Pilatre des Rosiers et Darlandes , partis avec l'aérostat abandonné à lui-même , parcoururent près de quatre mille toises en dix-sept minutes , et donnèrent le spectacle du premier voyage que l'homme ait fait à travers les airs.

Mongolfier , dans ses expériences , faisoit brûler des matières animales avec de la paille , pour ensler l'aérostat ; et l'on auroit pu croire que l'ascension de la machine étoit due en partie à la présence d'un gaz particulier , composé des différens principes qui se développoient dans la combustion. Mais il est prouvé que cet effet provenoit uniquement de la raréfaction de l'air renfermé dans l'aérostat.

337. Peu après la nouvelle de l'expérience d'Annonay, Charles proposa de substituer à l'air dilaté, le gaz hydrogène , qui , dans le plus grand état de pureté auquel on l'ait amené jusqu'ici, est environ treize fois plus léger que l'air. Il ne s'agissoit que de trouver une enveloppe imperméable à ce gaz, et dans laquelle on put l'emprisonner. Ce procédé étoit plus dispendieux, mais en même temps moins dangereux et plus simple que le premier ; l'aérostat se suffisoit à lui-même, et son volume , ainsi que son poids , se trouvoient sensiblement diminués. Parmi les différentes substances dont on pouvoit composer les enveloppes , Charles préféra le taffetas enduit de gomme élastique , qui provient du suc épaisse d'un arbre de l'Amérique, auquel on a pratiqué des incisions. On fait dissoudre cette gomme dans l'huile de térébentine , avant d'en enduire le taffetas. On lança du Champ-de-Mars un globe construit par ce procédé , et qui avoit environ douze pieds de diamètre. Ce globe s'éleva en deux minutes à près de cinq cents toises ; il se soutint environ trois quarts d'heure dans l'air, et alla tomber à quatre lieues de Paris.

Quelques temps après, Charles et Robert, portés dans une nacelle suspendue à un autre aérostat du même genre, et de vingt-six pieds de diamètre , parcoururent un espace de neuf lieues avant de descendre; et bientôt, Charles resté seul dans la nacelle , par un nouvel essor digne de son zèle et de son courage, s'éleva, en un clin d'œil , à une hauteur de près de dix-sept cents toises, comme pour aller, au nom des physiciens, prendre possession de la région des météores.

A mesure qu'un ballon de cette espèce s'élève davantage

vantage dans des couches d'air dont la densité diminue progressivement, le gaz, moins comprimé, fait effort pour s'étendre, ce qui peut occasionner la rupture du ballon. On prévient cet accident, en adaptant au haut du ballon une soupape, que l'on est le maître d'ouvrir, pour laisser sortir une partie du gaz, lorsque sa dilatation a atteint sa limite. On peut encore modérer la résistance de la soupape, de manière qu'elle soit moindre que celle de l'étoffe ; dans ce cas, la soupape s'ouvrira d'elle-même pour donner une issue au gaz.

Les voyageurs étoient obligés de perdre encore de leur gaz, lorsqu'ils vouloient descendre. On a proposé d'enfermer le ballon dans un autre, occupé par de l'air atmosphérique ; on feroit sortir, à volonté, une portion de cet air, ou l'on en fourniroit de nouveau, au moyen d'un soufflet adapté au ballon extérieur, ce qui donneroit au voyageur la facilité de s'élever ou de descendre, autant de fois qu'il voudroit, en conservant tout son gaz inflammable.

338. L'usage des ballons peut conduire à de nouvelles connaissances intéressantes pour le progrès de la physique. On détermineroit, avec leur secours, à quelle hauteur les vents qui soufflent dans la partie inférieure de l'atmosphère changent de direction, lorsqu'il y a deux courans opposés l'un au-dessus de l'autre ; ces observations seroient surtout importantes dans les contrées où règnent les vents alisés. On iroit puiser de l'air à différentes élévations, ce qui est facile en se servant de vases d'abord remplis d'eau, et que l'on vide ensuite, pour y laisser entrer l'air de la région où l'on se trouve. L'analyse feroit connoître le rapport entre

les quantités de gaz oxygène et de gaz azote , pour chaque hauteur. On cherchoit aussi à déterminer la loi que suit la diminution de la chaleur , à mesure qu'on s'élève plus haut; connoissance utile pour le calcul des réfractions astronomiques; enfin , l'étude de l'électricité de l'air et des différens météores , gagneroit à des observations faites de près , et dans la région même où se produisent les phénomènes.

#### 4. De l'Air considéré comme Véhicule du Son.

339. Nous avons maintenant à considérer l'air comme étant le milieu qui transmet le son. Nous exposerons d'abord les phénomènes généraux des corps sonores : de là nous passerons à la comparaison des sons appréciables , d'après le rapport entre les nombres de vibrations qui leur correspondent , et enfin nous déduirons , des observations relatives aux effets des instrumens à vent , la théorie la plus vraisemblable de la propagation du son.

##### *Du Son en général.*

340. On prouve , par une expérience fort simple , que l'air est le véhicule du son. Elle consiste à placer sous le récipient d'une machine pneumatique , un mouvement d'horlogerie , propre à faire résonner un timbre , et qui repose sur un coussinet rempli de coton ou de laine. On fait le vide , et ensuite au moyen d'une tige

qui traverse le haut du récipient, on appuie sur une détente, qui, en se lâchant, permet au rouage d'agir; on voit alors, sans rien entendre, le marteau frapper continuellement le timbre.

Hauksbée, pour rendre cette expérience encore plus décisive, plaçoit le timbre dans un premier récipient qui restoit plein d'air, et qui étoit recouvert d'un second récipient tellement disposé, que l'on pouvoit faire le vide entre deux. Quoiqu'il se produisît du son dans le récipient intérieur lorsque le marteau étoit mis en mouvement, le timbre demeuroit également muet pour l'observateur.

341. Il suit de là, que dans un air raréfié jusqu'à un certain degré, tel que celui qui repose sur le sommet des hautes montagnes, le son doit perdre de sa force, et si ce sommet est isolé, l'absence des échos diminuera encore l'intensité du son. C'est ce qu'a observé Saussure, lorsqu'il se trouvoit sur la cime du Mont-Blanc, où, suivant son rapport, un coup de pistolet ne faisoit pas plus de bruit qu'une petite pièce d'artifice n'en fait dans une chambre.

342. On a remarqué d'une autre part, que le son acquéroit de la force à travers un air condensé, et que la densité restant la même, la force du son s'accroissoit aussi lorsqu'on augmentoit, au moyen de la chaleur, le ressort de l'air.

343. C'est donc l'air qui apporte le son à l'organe de l'ouïe. Mais en quoi consiste l'espèce de modification que subit l'air, à l'occasion de la percussion imprimée aux corps sonores? Prenons pour exemple une corde d'instrument que l'on pince; à l'instant tous les points

de cette corde s'éloignent plus ou moins de la position qu'ils avoient, lorsque la corde étoit en repos, suivant qu'ils sont plus ou moins éloignés des points d'attache; et la corde entière va et revient alternativement, en deçà et au delà de sa première situation, par un mouvement de vibration qui provient de son élasticité.

Les molécules d'air contiguës aux différens points de la corde, prennent des mouvements semblables à ceux de ces points; elles vont et reviennent avec eux. Chaque molécule communique du mouvement à celle qui est derrière, celle-ci à une troisième, et ainsi de suite, jusqu'aux molécules qui sont en contact avec le tympan de l'oreille. L'air agit à son tour sur cette membrane, en lui communiquant ses vibrations, qu'elle transmet au nerf auditif, et de là résulte la sensation du son.

344. Supposons maintenant que le corps sonore soit un timbre, comme dans l'expérience que nous avons citée. On peut concevoir ce timbre comme formé d'une infinité d'anneaux superposés, depuis la base jusqu'au point culminant: au moment de la percussion, chaque anneau se comprime de manière à prendre une figure ovale, dont le grand axe est perpendiculaire au sens suivant lequel la percussion s'est faite. Le retour de l'anneau à sa première figure, est suivi d'un nouveau changement de figure, qui produit un ovale en sens contraire du premier; et les deux changemens se succèdent ainsi, jusqu'à ce que le son s'éteigne avec le mouvement. Les vibrations des différentes molécules qui composent chaque anneau, excitent de même, dans l'air voisin, une petite agitation qui se communique de proche en proche, jusqu'au terme où l'on

cesse d'entendre le son ; et il en faut dire autant , proportion gardée , de tous les corps ébranlés par la percussion.

A l'égard du degré auquel répond le son rendu par un timbre , il faut concevoir que les anneaux situés plus près de la base , ayant une plus grande circonference , tendent à faire plus lentement leurs vibrations , tandis que les anneaux plus voisins du sommet , où la circonference est plus petite , tendent à produire des vibrations plus fréquentes. Il s'établit donc ici , à peu près comme dans le pendule composé , une compensation en vertu de laquelle les vibrations se trouvent ramenées à une égale durée , qui est une espèce de moyenne entre celle qui auroit lieu pour les anneaux inférieurs , et celle qui mesureroit le mouvement des anneaux supérieurs , si les uns et les autres étoient isolés.

345. Une observation très-facile à faire , et qui nous paroît mériter d'être indiquée , est celle de l'effet que produisent sur l'eau les vibrations d'un verre à boire , rempli de ce liquide presque jusqu'au haut , tandis qu'on fait tourner sur ses bords un doigt mouillé , pour exciter un son connu de tous ceux qui se sont amusés de cette expérience. Voici ce que l'on remarque en pareil cas : l'eau tourne autour du verre , en suivant le mouvement du doigt , et en même temps sa surface est toute parsemée de rides blanchâtres , qui se succèdent rapidement en allant des bords vers le centre ; et si l'on précipite le mouvement , les molécules de l'eau jailliront de tous côtés autour du verre et sur la main de l'observateur. Cette expérience réussit mieux avec un

verre à pied, que l'on maintient dans une position fixe, en appuyant avec la main sur sa base.

On pourra remarquer, en la faisant successivement avec des verres de grandeurs différentes, que les rides deviennent plus petites, et prennent un mouvement plus rapide, à mesure que le son est plus aigu.

346. Le son se fait aussi entendre, mais plus faiblement, à travers l'eau, soit que l'on plonge le corps sonore dans ce liquide, soit que l'observateur s'y trouve plongé lui-même; ce qui indique, comme nous l'avons déjà remarqué (174), que l'eau est compressible et élastique jusqu'à un certain point, quoique jusqu'ici on n'ait pu parvenir à la comprimer sensiblement par des expériences directes.

347. Tous les corps solides dont la structure est telle, que le mouvement de vibration imprimé à quelques-unes de leurs molécules, puisse se communiquer à travers leur masse, seront de même susceptibles de transmettre le son. Un fait assez singulier dans ce genre, et que les philosophes ne dédaignent pas de répéter après les enfants, est celui qui a lieu, lorsqu'ayant l'oreille appliquée à l'un des bouts d'une longue poutre, on entend distinctement le choc d'une tête d'épingle qui frappe le bout opposé, tandis qu'à peine le même son peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la poutre. Cette différence provient de ce que, dans le premier cas, le son suit la direction des fibres longitudinales, où la continuité des parties est plus parfaite que dans le sens transversal; et il est remarquable que ces parties aient assez de ressort, pour que le son perde si peu de sa force en parcourant l'espace qu'elles occupent.

348. Le son se propage de tous côtés en ligne droite, lorsqu'aucun obstacle ne l'arrête; en sorte que l'on peut considérer chaque point du corps sonore, comme étant le sommet commun d'une infinité de cônes très-déliés, et d'une longueur indéfinie. Chacun de ces cônes est ce qu'on appelle un *rayon sonore*; au reste, nous n'avons fait qu'ébaucher ici la théorie de la propagation du son, sur laquelle nous reviendrons avec plus de détails, lorsque nous aurons exposé les connaissances qui doivent en fournir le développement.

349. Les corps qui frappent l'air immédiatement, excitent aussi dans ce fluide des vibrations sonores. Ainsi l'air éclate sous le fouet qui l'agit avec violence, et siffle sous l'impulsion d'une baguette; il devient également capable de résonner, lorsqu'il va lui-même frapper un corps solide avec une certaine vitesse, comme lorsque le vent souffle contre les édifices, les arbres et autres corps qui se trouvent sur son passage.

350. Le son emploie un certain temps à se répandre dans l'air, et parvient plus tard à l'oreille, lorsqu'on s'éloigne davantage du corps qui le rend. Les physiciens ont cherché à déterminer, par l'expérience, la vitesse avec laquelle se fait la propagation du son; et pour y parvenir, ils ont profité de ce que celle de la lumière est, au contraire, sensiblement instantanée, du moins dans les distances auxquelles s'étendent nos mesures. L'explosion du canon étoit propre à donner les résultats cherchés; il ne s'agissoit que d'estimer le temps qui s'écoulloit entre le moment où la lumière indiquoit à l'œil le départ du son et celui où le son lui-même avertissoit l'oreille de son arrivée. L'incertitude

que laissoient encore diverses expériences qui avoient été faites sur cet objet, déterminèrent, en 1738, l'Académie des Sciences à en entreprendre de nouvelles, sur une ligne de 14636 toises, située entre Monthléry et Montmartre.

On trouva que le son avoit une vitesse uniforme, qui lui faisoit parcourir environ 173 toises ou 337 mètres par seconde, en sorte qu'il étoit seulement plus foible à une plus grande distance, mais franchissoit successivement des espaces égaux en temps égaux. La vitesse paroissoit la même par un temps pluvieux ou serein; mais la direction et la force du vent pouvoient la faire varier. Si le vent étoit dirigé perpendiculairement à la ligne qui alloit du corps sonore à l'observateur, la vitesse du son étoit encore la même que dans un temps calme; mais si la direction du vent concouroit avec la ligne dont il s'agit, alors, suivant qu'elle avoit lieu dans le même sens que le son, ou en sens opposé, il falloit ajouter la vitesse du vent à celle du son, ou l'en retrancher. Enfin, la force du son n'apportoit aucun changement dans sa vitesse.

La connoissance de la vitesse du son, fournit un moyen d'estimer à peu près, par la lumière et le bruit du canon, les distances que l'on a intérêt de connoître à l'instant, comme celle où l'on se trouve à l'égard d'une ville assiégée, d'un vaisseau ou d'un port de mer.

On a essayé aussi de déterminer, à l'aide du calcul, la vitesse du son. Mais la théorie donnoit pour cette vitesse une quantité sensiblement plus petite que celle qui résultoit de l'observation, et aucune des hypothèses que l'on avoit imaginées pour rendre raison de

cette différence n'étoit satisfaisante. Laplace , en réfléchissant sur un phénomène dont nous devons la connoissance à la chimie moderne , a conçu la possibilité d'en déduire la solution de la difficulté dont il s'agit. On sait que l'air , à mesure qu'on le condense , développe une partie de la chaleur latente qu'il renfermoit , et qui passe à l'état de chaleur sensible ; et au contraire , lorsqu'on le raréfie , il absorbe une certaine quantité de chaleur sensible , qui devient chaleur latente. Or , dans la propagation du son , les molécules de l'air éprouvent successivement de petites condensations et de petites dilatations , semblables à celles d'un ressort qui , tour à tour , se comprime et se débande. Elles développent donc , au moment de la condensation , une petite quantité de chaleur , qui , en élevant leur température , augmente leur force élastique , d'où résulte une accélération dans la vitesse de leur mouvement vibratoire. Lorsqu'ensuite le débandement , qui est une vraie dilatation , succède à la compression , la petite quantité de chaleur développée redevient insensible ; après quoi , les mêmes effets se répètent , et ainsi de suite ; d'où l'on voit que la propagation du son doit se faire plus rapidement que dans le cas d'une température uniforme.

La manière dont Biot a appliqué l'analyse mathématique à cette idée , lui donne un nouvel air de vérité. Cet habile géomètre a introduit dans la formule qui représente la vitesse du son , d'après la théorie ordinaire , l'expression de l'accroissement de vitesse que doit produire l'action de la chaleur ; et comme les quantités qui entrent dans cette expression ne pourroient être déterminées que très-difficilement par l'expérience , il s'est

proposé le problème inverse, qui consiste à chercher, d'après les connaissances acquises sur la propagation du son, quelle doit être la petite portion de chaleur rendue sensible par chaque condensation, et l'accroissement d'élasticité qui en est la suite, pour que la formule soit d'accord avec l'observation; et il a trouvé que les valeurs auxquelles conduisoit le calcul n'avoient rien qui ne fût compatible avec des résultats d'expériences faites en grand; ce qui promet une solution directe du problème, fondée sur la cause dont nous avons parlé, quand l'observation aura fourni les données nécessaires pour y parvenir.

351. Lorsque le son rencontre un corps qui lui fait obstacle, les molécules d'air qui choquent ce corps, sont réfléchies à la manière des corps élastiques, en faisant leur angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et communiquent ensuite à celles qui sont derrière elles le mouvement qu'elles ont reçu par la réflexion; d'où il suit que le son se répand de nouveau dans toutes les directions, en retournant de l'obstacle vers l'espace qu'il avoit d'abord traversé. Dans les lieux clos, tels que les appartemens, le son est ainsi renvoyé continuellement d'un mur à l'autre, et lorsque le lieu est voûté, ou que ses parois ont une élasticité sensible, on dit que ce lieu devient sonore, ce qui signifie que le son paroît s'y prolonger, en se succédant à lui-même, dans de si petits intervalles, quel'oreille ne fait pas la distinction de toutes ces impressions qui arrivent à elle coup sur coup.

Mais si l'on se trouve en plein air, à une certaine distance de l'obstacle, il s'écoulera un intervalle de temps sensible entre le son direct et le son réfléchi, et l'on

aura ce que l'on appelle un *écho*, et que ceux qui n'y font pas assez d'attention prennent pour une simple répétition des dernières paroles prononcées. On voit aisément pourquoi les poëtes, qui faisoient de l'écho un être animé, avoient placé son habitation près des montagnes, des rochers et des bois.

Suivant que l'obstacle qui réfléchit le son est unique, ou qu'il se trouve plusieurs obstacles placés à des distances convenables, l'écho est simple ou redoublé. Musschenbroek cite un écho de ce dernier genre, qui répétoit le même son jusqu'à quarante fois. Deux murs parallèles qui se renvoient mutuellement le son, peuvent produire un écho redoublé, pour un observateur placé dans l'espace intermédiaire.

L'art a disposé certaines constructions d'édifices, de manière à produire, au moyen du son réfléchi, un effet curieux qui s'explique aisément par la géométrie. On sait que l'ellipse a cette propriété, que deux rayons menés de ses foyers à l'un quelconque des points de sa courbure, font des angles égaux avec la tangente au même point. Si donc on suppose une voûte ou un mur d'une figure elliptique, tous les rayons sonores partis de l'un des foyers, iront, après leur réflexion sur les différens points de la courbe, passer par l'autre foyer où ils concentreront le son. De cette manière, un homme, en plaçant sa bouche à l'un des foyers, pourra prononcer à voix basse des paroles qui seront entendues distinctement par une oreille attentive à l'autre foyer, et qui resteront secrètes pour les témoins situés entre les deux interlocuteurs, en sorte qu'il n'y aura que l'écho qui soit dans la confidence,

*Des Sons comparés.*

352. Après avoir considéré le son dans ses effets les plus généraux , tels que le mouvement de vibration du corps qui le fait naître , ou de l'air qui le propage , la vitesse avec laquelle il parcourt cet air , sa reproduction à la rencontre des corps qui le réfléchissent ; nous avons à traiter maintenant des rapports entre les sons , comparés d'après les nombres de vibrations que font , dans le même temps , différens corps sonores . Les observations qui déterminent ces rapports , sont du ressort de la physique , et l'art du musicien consiste à les employer de la manière la plus propre à flatter l'oreille , soit par la succession bien ordonnée des sons simples , d'où dépend la mélodie , soit par l'heureuse combinaison des sons simultanés , dans laquelle consiste l'harmonie . Le physicien n'envisage que ce qu'on pourroit appeler *la musique de l'esprit* ; c'est à l'artiste qu'appartient *la musique du sentiment* .

353. Les sons ne se prêtent à la comparaison qu'autant qu'ils sont appréciables . C'est cette qualité du son qui fait que l'oreille en saisit le degré , et que chacun a naturellement la facilité , lorsqu'il entend un de ces sons qui est à la portée de sa voix , d'en former un qui l'imiter parfaitement , et qui ne paroît être que le même son rendu par un autre organe .

Cette manière de parler des sons , comme étant placés à différens degrés les uns au-dessus des autres , et de supposer que la voix monte ou descend , n'est qu'un langage figuré qui a été suggéré par les apparences , et auquel la notation de la musique a été assortie .

On donne aussi le nom de *graves* aux sons les plus bas , et celui d'*aigus* à ceux qui sont les plus hauts.

Mais la différence réelle et physique entre un son grave et un son aigu , consiste en ce que le corps qui rend le premier , fait un moindre nombre de vibrations , dans un temps donné , que celui qui produit le second.

354. Les expériences faites sur les cordes sonores ont fourni un moyen facile de trouver le rapport entre les nombres de vibrations , d'où résultent deux sons qui diffèrent entre eux d'un nombre déterminé de degrés. En général , la fréquence des vibrations d'une corde sonore dépend de trois choses , savoir , la longueur de cette corde , sa grosseur et sa tension. La formule à laquelle Taylor a été conduit par le calcul , fait voir qu'à densité égale le nombre de vibrations , dans un temps donné , est proportionnel à la racine carrée du poids qui tient cette corde tendue , divisée par le produit de la longueur de la corde par son diamètre , et c'est ce que confirme l'observation.

Dans les expériences relatives à cet objet , on se sert d'un instrument appelé *sonomètre* , qui est une espèce de caisse oblongue , sur laquelle on tend , avec des poids , deux cordes de laiton , pour comparer les nombres de leurs vibrations. Ordinairement on ne fait varier que l'une des trois quantités dont nous avons parlé ; c'est-à-dire , par exemple , que si l'on tend les cordes avec des poids différens , ou prend ces cordes de la même grosseur , et on leur donne la même longueur. Dans ce cas , le rapport entre les nombres de vibrations , pendant un certain temps , pris pour unité , est indiqué par le rapport des racines carrées des poids tendans.

Si l'on représente de même par l'unité le plus bas des deux sons que l'on compare, on aura les rapports suivans entre le son dont il s'agit, et le son aigu qui est supposé être entendu en même temps que lui.

L'octave sera représentée par 2, c'est-à-dire, que le son aigu fera deux vibrations, tandis que le son grave n'en fera qu'une; c'est l'intervalle entre les deux *ut* de la gamme ordinaire.

La quinte, ou l'intervalle de *ut* à *sol*, en montant, aura pour expression  $\frac{3}{2}$ ; ainsi le son aigu de cette consonnance fera trois vibrations contre deux du son grave.

La quarte, ou l'intervalle de *ut* à *fa*, sera représentée par  $\frac{4}{3}$ ;

La tierce majeure, ou l'intervalle de *ut* à *mi*, par  $\frac{5}{4}$ ;

La tierce mineure, ou l'intervalle de *mi* à *sol*, par  $\frac{6}{5}$ .

Nous nous bornerons ici aux consonnances; on représenteroit de même les dissonances, en faisant varier de plusieurs autres manières les deux termes du rapport.

355. Chaque son, tel qu'il parvient ordinairement à l'oreille, est, au jugement de cet organe, un effet très-simple, une espèce d'élément dont rien ne paroît altérer la pureté; et cependant chaque son renferme réellement une multitude d'autres sons plus aigus, dont quelques-uns deviennent sensibles dans certains cas, pour une oreille tant soit peu délicate, et les autres ont leur existence indiquée par différentes observations.

Supposons d'abord qu'il n'y ait dans un lieu qu'une seule corde d'une certaine longueur, comme l'une de celles qui forment la basse d'un clavecin, ou la grosse corde d'un violoncelle, et qu'après avoir tendu cette corde convenablement, on la fasse résonner. En prêtant

une oreille attentive , à une petite distance de la corde , on entendra , outre le son principal , deux autres sons plus faibles , mais très-distincts ; et si l'on représente toujours le son principal par l'unité , les deux sons concomitans seront représentés , l'un par 3 , et l'autre par 5 ; c'est-à-dire , que le premier étant *ut* , le second sera l'octave de sa quinte *sol* en montant , et le second la double octave de sa tierce majeure *mi*.

Cette expérience réussit de même avec un violon , lorsqu'on passe l'archet sur la grosse corde , à une petite distance du chevalet , dans une direction bien perpendiculaire à la corde , comme pour tirer un son plein et nettement prononcé. On peut à volonté laisser subsister ou supprimer les trois autres cordes , qui ne contribuent en rien à l'effet.

On entend aussi l'octave 2 et même la double octave 4 du son principal ; mais il faut plus d'attention pour les distinguer , parce que les sons placés à l'octave l'un de l'autre , approchent beaucoup plus de se confondre pour l'oreille .

Nous avons donc la suite 1 , 2 , 3 , 4 , 5 qui représente les différens sons sensibles pour l'oreille , dont est composée l'harmonie d'un seul son .

Mais une autre expérience nous porte à croire que ce ne sont ici que les premiers termes de la véritable série qui s'étend indéfiniment. Car , si à côté d'une première corde on en dispose d'autres , dont les nombres de vibrations , qui répondent à une seule vibration de la première , soient 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 , etc. ; et si l'on fait résonner la première corde seule , toutes les autres frémiront et résonneront en même temps , quoique beau-

coup plus foiblement. On peut rendre leur frémissement sensible à l'œil, en plaçant sur chacune d'elles un petit cheyalet de papier, que l'on verra s'agiter, ou même sauter en bas, au moment où l'on pincera la corde principale.

Si les diamètres des différentes cordes sont égaux entre eux, et qu'il y ait de même égalité entre les tensions, les longueurs des cordes que la première fera résonner, en y comprenant l'unisson, devront être, d'après ce qui a été dit, comme les nombres  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}$ , etc. Nous supposerons à l'avenir, pour plus grande simplicité, que les cordes ne varient ainsi que suivant leur longueur.

Or, puisque les premiers sons de la série se distinguent immédiatement dans la résonnance d'une corde que l'on fait vibrer toute seule, il n'y a pas lieu de douter que les suivants n'y soient pareillement renfermés; et si l'organe ne les saisit pas sans intermédiaire, c'est qu'ils sont tellement affoiblis qu'ils échappent à son attention; sur quoi nous remarquerons, que dans certains cas, avec une seule corde, on parvient même à démêler l'impression du son représenté par 7.

On a donné le nom de *son générateur* au son principal, et les sons plus faibles qui l'accompagnent ont été appelés ses *harmoniques*.

Quelques physiciens ont pensé que la corde principale se soudavoit en parties aliquotes, semblables à celles qui représentoient les longueurs des autres cordes; en sorte que le son rendu par chacune de celles-ci, étoit produit, comme unisson, par la partie aliquote qui lui répondoit dans la corde principale

pale. Mais ni l'observation , ni le calcul n'indiquent cette souddivision de la corde génératrice. Tout ce que l'on peut conclure des expériences citées , c'est que les vibrations d'une corde sonore ont la propriété d'exciter dans l'air , non-seulement des vibrations du même ordre , mais d'autres vibrations de différens ordres plus élevés , analogues à celles que les harmoniques y produiroient , si chacun d'eux étoit rendu par une corde distincte.

On pourroit croire encore que , quand on emploie une seule corde , la résonnance des harmoniques provient des corps environnans , dont les fibres se trouvent à leur unisson ; par exemple , de celles du bois même sur lequel la corde est tendue , et avec lesquelles cette corde est censée communiquer ; en sorte que celle-ci commenceroit à agir sur les fibres dont il s'agit , et que ces fibres , à leur tour , produiroient dans l'air les vibrations analogues à la résonnance des harmoniques. Mais nous avons fait l'expérience en plein air , et de manière que les points d'attache n'avoient aucune élasticité sensible , et nous avons entendu encore la résonnance des premiers harmoniques ; d'où il faut conclure que la corde a , par elle-même , la propriété d'exciter dans l'air les vibrations qui les produisent , et que ce sont ces vibrations qui font ensuite frémir et résonner les corps environnans.

356. En partant des faits que nous venons d'exposer , on conçoit pourquoi , lorsqu'on chante dans un lieu où il se trouve des corps susceptibles de rendre des sons appréciables , comme des vases de verre ou de métal , chacun de ces corps résonne , lorsque la voix fait en-

tendre son unisson , ou même lorsqu'elle rend un son qui est à celui que le même corps rendroit par la percussion , comme le son génératuer est à l'octave de sa quinte , ou à la double octave de sa tierce. Ces différens effets sont très-sensibles , lorsqu'on rend un son avec la voix , en présentant la bouche à l'ouverture d'un verre ordinaire. La résonnance la plus marquée est celle de l'unisson , et l'on cite des chanteurs , doués d'une voix juste et en même temps très-forte , qui , en prenant ainsi l'unisson d'un verre , parvenoient à le casser. Le changement de figure qu'éprouvent , dans ce cas , les différens anneaux qui composent le verre , est si considérable , que les parties n'ayant pas la flexibilité nécessaire pour s'y prêter assez promptement , se séparent à différens endroits , comme dans le cas où le verre auroit subi une forte percussion.

357. Tout ce que nous venons de dire nous conduit à parler d'une autre expérience , connue sous le nom d'*expérience de Tartini* ; elle consiste à faire entendre à la fois deux sons forts , justes et soutenus ; il résulte de leurs concours un troisième son plus foible , et qui est tel , selon ce célèbre musicien , que si l'on représente le rapport entre les deux premiers sons par les nombres les plus simples , le son produit sera représenté par 2. Si les deux sons dont il s'agit ont , par exemple , pour expressions les nombres 8 et 9 , auquel cas leur accord donnera une dissonance semblable à celle qui résulte des sons *ut, re* , le son produit étant 2 , répondra à la double octave en dessous de l'*ut* de la dissonance.

En général , il ne faudra que transporter à l'octave l'un des sons de l'accord , ou tous les deux , pour qu'ils

soient compris dans la série des harmoniques, dont le troisième son seroit le son fondamental ; ce qui peut servir à lier cette expérience avec celle de la triple résonnance d'une corde vibrante, dont elle offre en quelque sorte l'inverse.

358. Nous citerons une troisième expérience très-curieuse, qui se trouve indiquée dans Wallis, mais qui étoit oubliée, lorsqu'elle s'offrit aux observations de Sauveur, qui a passé depuis pour en être l'inventeur : voici le détail de cette expérience.

Si l'on tend une corde sur une planche, et qu'on la partage en deux portions inégales et commensurables entre elles, au moyen d'un obstacle léger qui ne la presse que médiocrement, ces deux parties étant pinçées successivement, rendront le même son, qui sera différent de celui de la corde entière : et tel sera ce son, que si l'on représente par les nombres les plus simples le rapport entre les longueurs des deux parties de la corde, le son qu'elles feront entendre sera celui d'une corde qui auroit l'unité pour expression. Ainsi, en supposant la corde divisée en deux parties, qui fussent entre elles comme 3 à 2, auquel cas les sons correspondans seroient dans le rapport d'*ut* à *sol*, en montant, si les longueurs des deux parties déterminoient leur résonnance, le son rendu par chaque corde sera celui de la corde 1, c'est-à-dire, le *sol* à l'octave aigu du son que rendroit la plus petite partie dans le cas ordinaire.

On observe alors que chaque partie se soudivise en autant de portions égales, que le nombre qui lui correspond renferme d'unités. Ainsi, entre deux soudivisions voisines, il y a un point de repos ou un nœud,

et au milieu de la même soudision, l'ondulation forme un ventre, comme dans une corde qui vibre toute entière. Dans l'exemple précédent, la plus grande partie se soudise en trois, et la plus petite en deux, de sorte que le son *ut* est rendu à la fois par toutes les soudisions qui se trouvent ainsi à l'unisson l'une de l'autre. On voit aisément que la plus petite partie ne doit pas se soudiser, lorsque le son, qui lui est analogue, a lui-même l'unité pour expression; alors, c'est ce même son que fait entendre la plus petite partie, ainsi que chacune des soudisions de la plus grande.

Tel est donc le mécanisme d'où dépend la série d'unissons donnée par l'expérience dont il s'agit, que l'obstacle léger qui partage la corde, empêche seulement les vibrations totales, mais laisse subsister une communication, une dépendance mutuelle entre les deux parties, dont les vibrations tendent par-là même à s'accorder parfaitement entre elles, c'est-à-dire, à devenir isochrones. En conséquence, elles sont forcées de se soudiser, mais elles le font le moins qu'il est possible; de manière que le nombre des soudisions est toujours le plus petit, parmi tous ceux qui donneroient pareillement l'isochronisme.

Ainsi, dans l'exemple précédent, si la corde 2 fairoit des vibrations totales, les deux tiers de la corde 3 pourroient bien se mettre à l'unisson avec elle; mais il resteroit un tiers qui feroit ses vibrations séparément: or, c'est ce tiers qui étant seul propre à déterminer l'isochronisme, donne la loi à tout le reste.

Sauveur rendoit sensible à l'œil la distinction des nœuds et des ventres, en plaçant à l'endroit de chaque

nœud un chevron de papier blanc , et un autre de papier coloré à l'endroit de chaque ventre. Au moment où la corde entroit en vibration , on voyoit tomber tous les chevrons colorés , tandis que les blancs restoient à leur place. Cette expérience réussit bien , à l'aide d'une corde de violon , que l'on partage par un chevalet de carton , après l'avoir tendue sur une planche , et que l'on fait vibrer , en passant légèrement l'archet près du chevalet de bois sur lequel repose l'une ou l'autre des extrémités de cette même corde.

359. La première des expériences que nous venons de citer , ou celle qui consiste dans la triple résonnance d'une corde vibrante , nous fournit quelques réflexions sur la formation de notre échelle diatonique , composée des sons *ut* , *re* , *mi* , *fa* , etc. , et qui est connue de tout le monde.

Si l'on désigne toujours par l'unité le premier son *ut* , la série des 8 sons sera exprimée par celle des nombres.

$$1, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6}, \frac{15}{9}, \frac{15}{8}, 2.$$

*ut re mi fa sol la si ut;*

c'est-à-dire , que si l'on faisoit vibrer des cordes dont les longueurs fussent propres à donner les nombres de vibrations qui répondent aux termes de la série précédente , on auroit une suite de sons qui représenteroit très-sensiblement notre gamme , telle que chacun l'a , pour ainsi dire , dans l'oreille et l'exécute par le chant. Cette gamme est très-ancienne , et en remontant jusqu'aux siècles de la Grèce , où le goût pour les arts étoit si délicat , on trouve que les deux tétracordes , qui formoient l'échelle musicale de ce temps , avoient leurs sons pré-

cisément dans les mêmes rapports que ceux de la nôtre.

Or, il est remarquable que la gradation des sons dans ces deux échelles , se trouve soumise au principe de la plus grande simplicité dans les rapports qui les déterminent ; et ce principe paroît avoir été le guide secret dont l'oreille a suivi l'indication. Pour le concevoir , observonsqu'en prenant les sons qui donnent deux , trois , quatre et cinq vibrations , contre une seule du son fondamental , nous aurons successivement l'octave de ce son, puis l'octave de sa quinte, ensuite sa double octave, et enfin la double octave de sa tierce; c'est-à-dire , que nous aurons l'harmonie des sons , qui seuls résonnent sensiblement lorsqu'on fait vibrer une corde isolée. Or , l'octave , la quinte et la tierce sont les consonnances les plus parfaites , et toute notre échelle diatonique porte sur ces consonnances. Car en premier lieu , nous avons dans cette gamme l'accord *ut , mi , sol* , qui est donné immédiatement par la triple résonnance du corps sonore, excepté que le *sol* et le *mi* s'y trouvent transportés l'un à l'octave et l'autre à la double octave en dessous de l'harmonique correspondant , ce qui est toujours permis, à cause de la grande ressemblance entre un son et son octave. Transportons maintenant le *fa* et le *la* de la gamme à l'octave en dessous; si nous joignons l'*ut* fondamental à ces deux sons, nous aurons un nouvel accord *fa , la , ut* , entièrement semblable à l'accord *ut , mi , sol*. Enfin , si nous transportons le *re* à l'octave en dessus , nous aurons , en lui réunissant les sons *sol* et *si* , un troisième accord *sol , si , re* , qui de même représente exactement l'accord *ut , mi , sol*. Voilà donc tous les sons de la gamme distribués entre trois accords composés

d'une tierce et d'une quinte , et tellement liés entre eux , que le son fondamental de chacun est la quinte au grave ou à l'aigu de celui d'un autre ; en sorte qu'en partant du *fa* pris en dessous de l'*ut* fondamental de la gamme , on a cette suite , *fa* , *la* , *ut* , *mi* , *sol* , *si* , *re* , qui forme un enchainement de tierces et de quintes . Ainsi , notre gamme est limitée aux combinaisons que donnent les sons représentés par les cinq premiers nombres naturels ; tous les autres se trouvent exclus , sur quoi Léibnitz disoit assez plaisamment , que *l'oreille ne comptoit que jusqu'à cinq.*

360. D'une autre part , quelques savans ont pensé qu'il y avoit une autre gamme préférable à la précédente , et dont l'adoption élèveroit la musique à son vrai point de perfection . Voici l'observation sur laquelle ils se fondent .

Si dans la série des harmoniques donnés par les différentes cordes qui résonnent à côté d'une première corde que l'on a mise en vibration , on prend ceux qui répondent aux fractions  $\frac{1}{2}$  ,  $\frac{1}{3}$  ,  $\frac{1}{5}$  ,  $\frac{1}{7}$  , etc. , jusqu'à  $\frac{1}{16}$  inclusivement ; on aura une suite de sons semblable à la gamme ordinaire , excepté que le *fa* et le *la* seront un peu plus haut que dans cette gamme ; de plus , l'harmonique  $\frac{1}{3}$  donnera un son surnuméraire entre le *sol* et le *la* .

Les savans dont il s'agit , ont pensé que la véritable gamme devoit être cette dernière , parce qu'elle étoit donnée immédiatement par la nature , et que si l'oreille paroisoit blessée par l'intonation des sons *fa* et *la* , lorsque cette gamme étoit rendue par un instrument propre à cet effet , tel que le *cor de chasse* , c'étoit la

suite d'un préjugé de cet organe gâté par l'habitude, et dont il parviendroit à se désabuser, en se familiarisant avec l'autre, et en laissant agir la nature, qui bientôt reprendroit tous ses droits.

Cependant la raison qui se tire de la simplicité des rapports paroîtra l'emporter, si l'on considère que cette simplicité est liée avec la facilité de percevoir les intervalles entre les sons, laquelle influe à son tour sur le plaisir de l'oreille. C'est pour cela que l'octave est l'accord qui plaît le plus généralement, et qu'ensuite l'accord parfait, composé de la quinte et de la tierce, trouve un accès si facile dans toutes les oreilles qui ne sont pas sauvages à l'égard de l'harmonie. Or, c'est dans cet accord et dans celui d'octave, ainsi que nous l'avons vu, qu'est puisée notre gamme. On s'est arrêté à ces limites, par une espèce d'instinct, et antérieurement à toute étude des propriétés harmoniques du corps sonore. Ce n'est pas que l'oreille compare des nombres; cette comparaison est uniquement du ressort de l'esprit; mais la simplicité de ces nombres tient à un effet physique, savoir, la fréquence des rentrées que font les vibrations des sons comparés, lequel effet semble trouver dans l'organe même une disposition, en vertu de laquelle il s'accorde mieux de ce qui est plus simple, parce qu'il a moins à travailler pour le saisir.

361. L'art, en prenant des intermédiaires entre les sons suggérés par la nature, a répandu une grande variété dans les effets de l'harmonie et de la mélodie, et il est parvenu, par l'ingénieux enchaînement des dissonances et des consonnances, à faire tourner au plaisir de l'oreille, ce qui ne sembloit propre qu'à la chagriner.

362. Rameau a essayé de déduire les lois de l'harmonie de la triple résonnance des corps sonores. Tartini a cru en avoir trouvé l'origine dans l'expérience que nous avons citée sous son nom. Mais ces systèmes ne donnent que des convenances plus ou moins plausibles, et il y a des phénomènes d'harmonie avoués par l'oreille, qu'on ne peut y ramener.

363. Tout ce qui a été dit précédemment, nous conduit à donner une idée de ce qu'on appelle *tempérament*.

Il résulte du principe d'après lequel notre gamme a été formée, que le son aigu de chacun des trois accords parfaits, dont elle est composée, fait une quinte juste avec le son fondamental de cet accord. Mais si l'on compare deux sons pris dans différens accords; savoir, le *re* et le *la*, qui forment aussi une quinte, on trouvera ici une petite altération dans la justesse de cet intervalle. Car le rapport des deux sons dont il s'agit, est celui de  $\frac{2}{3}$  à  $\frac{15}{8}$ , ou de 27 à 40, un peu plus fort que celui de 2 à 3, qui donne une quinte juste. Pour que le *la* fût avec le *re* dans le rapport de cette quinte, il faudroit que son expression devint  $\frac{27}{16}$ . Donnons lui, pour un instant, cette expression, et prenons au-dessus du même *la* un nouveau son *mi*, qui fasse aussi une quinte juste avec lui, on aura l'expression de ce *mi*, en multipliant  $\frac{27}{16}$  par  $\frac{3}{2}$ , qui est le rapport de la quinte; ce qui donne  $\frac{81}{32}$ . Maintenant, s'il n'y avoit aucune altération dans les intervalles, ce *mi* seroit à l'octave juste de celui de la gamme, en allant du grave à l'aigu. Mais il n'en est pas ainsi; car si nous élevons ce dernier *mi* d'un octave, son expression, qui étoit  $\frac{5}{4}$ , deviendra  $\frac{15}{8}$ ,

ou  $\frac{8}{7}$ , moindre que  $\frac{8}{5}$ , dans le rapport de 80 à 81. Il suit de là que le *mi* exprimé par  $\frac{8}{5}$ , ne sera pas non plus à la tierce de l'*ut*, dont l'expression est 2 ; le rapport entre cet *ut* et le *mi* dont il s'agit, ramené à sa plus grande simplicité, est celui de 64 à 81, un peu plus fort que celui de 1 à  $\frac{5}{4}$ , ou de 64 à 80, qui a lieu pour l'*ut* et le *mi* de la gamme.

Sans entrer ici dans un plus grand détail, il nous suffira de dire, en général, que de ces trois intervalles, l'octave, la quinte et la tierce, on ne peut conserver l'un dans toute sa pureté, sans altérer les deux autres ; et il en résulte une difficulté qui a été sentie depuis long-temps, relativement à la manière d'accorder les instrumens à cordes, où chaque touche répond à un son dont le degré est déterminé par l'opération même. On a imaginé, en conséquence, diverses méthodes, pour trouver ici un *tempérament*, c'est-à-dire, pour combiner les altérations de manière que l'harmonie n'en souffrît pas sensiblement ; et toutes ces méthodes conviennent en ce point, qu'il est indispensable de conserver la justesse des octaves, en sacrifiant plutôt quelque chose de celle des quintes et des tierces, parce qu'il en est à peu près de l'octave comme de l'unisson, qui, par sa grande simplicité, est si agréable à l'oreille qu'elle ne peut y tolérer le moindre défaut de précision ; elle ne relâche quelque chose de sa sévérité, qu'à l'égard des intervalles moins simples ; et dans ce cas elle supplée à ce qui leur manque, et suppose nulles des différences qu'elle n'apprécie pas.

Rameau, après avoir varié sur le choix du meilleur tempérament, a fini par adopter celui dans lequel

toutes les quintes se trouveroient également altérées, attendu qu'il n'y avoit pas de raison pour altérer l'une plutôt que l'autre. On a trouvé que dans ce système les tierces devenoient dures et choquantes, et l'on a généralement adopté la méthode à laquelle Rameau lui-même avoit d'abord donné la préférence, et qu'il a ensuite abandonnée. Dans les instrumens accordés par cette méthode, les quintes données par les tons naturels de la gamme conservent presque entièrement leur harmonie; les différences les plus sensibles portent sur les demi-tons intermédiaires; les musiciens ont pris dans la série des quintes, certaines notes qui leur servent à vérifier de temps en temps leur opération, d'après la justesse de quelqu'autre accord, tel que celui de tierce, que chacune de ces notes doit faire avec une des notes déjà accordées. Il résulte de là une grande diversité dans les altérations qu'ont subies les intervalles de quinte et de tierce qui partagent la série des différens sons, et l'on a même regardé cette diversité comme un avantage; car, suivant que l'on choisit tel *son* de préférence pour note tonique, c'est-à-dire, pour celle à laquelle se rapportent toutes les autres, en sorte que la modulation repose, pour ainsi dire, sur cette note comme sur une base, les quintes et les tierces que parcourt le chant ont quelque chose de sombre, qui est propre à inspirer la tristesse, ou je ne sais quoi d'exalté qui excite la joie. Ainsi, la modulation emprunte de la seule manière dont les intervalles qu'elle emploie ont été altérés, une teinte du caractère qu'elle porte par elle-même; et ce qu'on auroit été tenté de regarder comme un défaut, devient, pour

le musicien, un moyen d'ajouter à l'expression du sentiment qu'il cherche à peindre.

364. Il nous reste à établir la théorie des différens phénomènes que présente l'expérience, relativement à la propagation du son, et à expliquer comment le son conserve une vitesse uniforme, depuis le corps sonore jusqu'à l'organe, quoiqu'il perde continuellement de sa force; comment les sons aigus et les sons graves, les sons forts et les sons faibles ont la même vitesse dans leur course; comment enfin différens sons simultanés se croisent dans l'air sans se confondre, et apportent à l'oreille leur harmonie dans toute sa netteté.

Cette théorie se déduit de la manière dont le son se forme dans les instrumens à vent, et nous l'avons tirée d'un excellent Mémoire, où Daniel Bernoulli l'a développée et soumise au calcul. Nous allons essayer de rendre le plus clairement possible les idées de ce célèbre géomètre.

Concevons d'abord un tuyau cylindrique bouché par un bout, et que l'on fasse résonner en soufflant par l'orifice ouvert. L'air renfermé dans ce tuyau se mettra en vibration, de manière que chacune des couches infiniment minces qui composent la colonne de ce fluide s'approchera et s'éloignera tour à tour du fond, en allant et en revenant de part et d'autre de la position qu'elle avoit dans l'état de repos, par de petits mouvements d'oscillation semblables à ceux d'un pendule simple. Les oscillations iront en croissant d'une couche à l'autre, depuis le fond où elles seront nulles, jusqu'à l'ouverture où se trouveront les plus grandes. Celles de chaque couche seront isochrones, et celles des diffé-

rentes couches seront synchrones, c'est-à-dire, qu'elles commenceront et finiront toutes en même temps, sans quoi elles ne pourroient former un son.

Tandis que les différentes couches auront un mouvement progressif vers le fond, la couche qui étoit à l'orifice entrera dans le tuyau, où elle condensera la couche voisine, et ainsi de suite, de manière que la condensation ira toujours en croissant jusqu'au fond, où elle sera la plus grande, parce qu'elle résultera du concours de toutes les actions des couches postérieures. Dans le retour vers l'orifice, il sortira, au contraire, du tuyau une petite portion de l'air qui y étoit renfermé pendant l'état de repos, et les différentes couches subiront de petites dilatations qui iront en diminuant depuis le fond; d'où l'on voit que l'air situé à l'orifice ne sera ni condensé ni dilaté, mais conservera la même densité que l'air environnant.

365. Voilà ce qui a lieu pour les tuyaux bouchés par un bout. Il s'agit maintenant d'appliquer cette hypothèse aux vibrations de l'air dans un tuyau ouvert par les deux bouts. Or, la seule idée qui s'accorde avec les lois de la mécanique et avec l'observation, consiste à supposer, par la pensée, que le tuyau soit divisé en deux moitiés à l'aide d'une cloison, comme s'il étoit composé de deux tuyaux bouchés d'un côté et réunis par leur fond, et que tout se passât dans chacun d'eux conformément à l'hypothèse précédente. Il en résulte que la couche d'air située à l'endroit de la cloison, ou, pour mieux dire, qui en fait l'office, sera immobile, et que toutes les autres couches feront des oscillations qui iront de part et d'autre en croissant, suivant la loi que nous avons exposée.

366. Reste à considérer le cas d'un tuyau fermé par les deux bouts, qui n'a point lieu dans la pratique, mais qui est nécessaire pour la théorie. Si l'on suppose que l'air intérieur soit mis en vibration par une cause quelconque, on pourra concevoir chaque moitié comme un tuyau fermé seulement par un bout, et dans lequel les oscillations seront les mêmes que pour cette dernière espèce de tuyau, mais de manière qu'elles se feront toutes du même côté, depuis un fond jusqu'à l'autre; et ainsi, tandis que les couches renfermées dans une moitié s'y condenseront en s'approchant du fond qui la termine, les couches de l'autre moitié se dilateront, en allant dans le même sens que les premières, et la densité de la couche du milieu sera constante.

On voit que les deux derniers cas ne sont que des conséquences de l'hypothèse faite par rapport au premier; et si cette hypothèse s'adapte comme d'elle-même aux différens faits donnés par l'expérience, on ne pourra se refuser à la regarder comme infiniment probable.

367. Or, on sait d'abord qu'un tuyau ouvert des deux côtés, rend le même degré de son qu'un tuyau bouché d'un seul côté, et qui n'a que la moitié de la longueur du premier. C'est une suite nécessaire dès principes de la théorie, puisque dans le tuyau ouvert par les deux bouts, il y a un repos au milieu; en sorte que les deux moitiés sont à l'unisson, et que les oscillations de l'air dans chacune d'elles sont parfaitement semblables, soit entre elles, soit à celles qui ont lieu dans le tuyau fermé par un bout.

368. Dans certains instrumens à vent, tels que le cor

de chasse, la trompette, où le jeu des doigts n'entre pour rien, la différence des tons dépend de la manière d'augmenter ou de rétrécir l'ouverture des lèvres, suivant qu'on veut obtenir un son plus grave ou plus aigu. Le musicien saisit le degré de cette ouverture, par le sentiment qu'il a du ton qu'il veut faire naître; mais tous les tons ne se prêtent pas à sa volonté. L'instrument ne lui obéit qu'autant qu'il ne veut que ce qui est dans sa nature. En conséquence, si l'on représente par 2 le son principal, le musicien ne pourra faire produire à l'instrument que les sons qui répondent aux nombres 4, 6, 8, 10, etc.

Or, pour expliquer ce progrès déterminé de sons successivement plus aigus, il ne faut que considérer l'instrument comme un tuyau ouvert par les deux bouts. Dans le cas du son fondamental représenté par 2, tel est le degré de pression que le musicien donne à ses lèvres, que l'ordre de vibrations qui en résulte se développe dans une étendue égale à la moitié du tuyau : là il se forme une cloison d'air stationnaire, ou un nœud, passé lequel les mêmes vibrations recommencent en sens contraire.

Le musicien augmente-t-il la pression de ses lèvres jusqu'au degré qui répond à l'octave en dessus du son fondamental? Le nouvel ordre de vibrations relatif à ce son n'occupera plus que la moitié de l'étendue du précédent : il y aura un premier repos au quart du tuyau, puis un second aux trois quarts; en sorte que la première et la dernière partie représenteront un tuyau bouché par un bout, et la partie intermédiaire un tuyau fermé par les deux bouts, mais d'une longueur double;

et ainsi l'ensemble équivaudra à quatre tuyaux bouchés par un bout, qui seront tous à l'unisson, et dont chacun rendra le son 4.

Dans les sons plus élevés, le tuyau se partagera successivement en 6, 8, 10 parties égales que l'on pourra comparer à autant de tuyaux bouchés par un bout. Les tuyaux extrêmes seront seuls, et les intermédiaires s'aboucheront deux à deux, pour composer des tuyaux fermés par les deux bouts, et doubles des tuyaux extrêmes. Il y aura donc un nœud à l'endroit de chaque cloison, et un ventre au milieu de la distance entre deux cloisons voisines. Les vibrations qui auront leur origine à un même nœud, se feront de part et d'autre par des mouvements contraires, mais elles auront lieu dans le même sens des deux côtés d'un même ventre.

Le musicien tentera inutilement de tirer de l'instrument quelqu'autre son, dont le degré ne se trouverait pas sur l'échelle de cette loi ; ou s'il y parvient, ce ne sera que par un artifice particulier, qui produira le même effet que si la forme de l'instrument étoit changée, comme lorsque celui qui joue du cor de chasse met la main dans le pavillon.

369. Une nouvelle expérience, qui confirme la théorie, consiste à percer dans un tuyau sonore un trou latéral situé à l'endroit d'un nœud : quoiqu'on laisse ce trou ouvert, le son restera le même ; mais si le trou est placé ailleurs, le degré du son montera, parce que l'air n'étant pas en repos dans cet endroit, une partie se répandra ou dehors par l'effet des vibrations qui, éprouvant moins d'obstacle que quand le tuyau n'étoit point percé, accéléreront leur mouvement. Ceci peut servir à faire

faire concevoir en général le principe auquel se rapporte la construction des flûtes et autres instrumens semblables, dont on tire différens tons, suivant que l'on ferme ou que l'on ouvre de préférence certains trous.

370. Les oscillations que le son excite dans les tuyaux coniques diffèrent, à quelques égards, de celles qui ont lieu dans les tuyaux cylindriques. Ce qu'elles ont surtout de particulier, consiste en ce que les ébranlemens de l'air dont elles dépendent vont toujours en diminuant depuis le sommet; en sorte que les excursions des différentes couches sont elles-mêmes toujours plus petites, et suivent la raison inverse de la distance au sommet.

Mais cette différence n'altère ni la distance entre les ventres, qui est partout la même, ni la durée des vibrations, qui conservent aussi partout leur isochronisme.

371. Appliquons maintenant cette théorie à la propagation du son. Dans chaque rayon sonore, qui est, comme nous l'avons dit, un cône d'air infiniment mince, tout se passe comme dans un tuyau conique où l'air fait ses vibrations, c'est-à-dire, qu'il y a successivement des nœuds, et des points auxquels répondent les plus grandes excursions.

Comme il y a un ventre à l'origine du cône, et que tous les ventres sont également éloignés, nous pouvons partager, par la pensée, le cône entier en une suite de cônes tronqués, égaux en longueur, dont chacun aura deux ventres à l'endroit de ses bases, et un nœud situé vers le milieu. Bernouilli donne à ces cônes le nom de *concavérations*.

Au moment où le corps sonore sera mis en vibration, tout l'air ne sera point ébranlé à la fois dans chacun des cônes qui ont leurs sommets aux différens points de ce corps; il ne le sera d'abord que dans la première concamération: quand celui-ci aura fait une oscillation, il commencera à ébranler l'air de la seconde concamération; et au bout d'une nouvelle vibration, l'air sera ébranlé dans la troisième, et ainsi de suite. On voit par là, pourquoi la propagation du son n'est pas instantanée, mais exige un certain temps qui devient toujours plus considérable, à mesure que la distance elle-même augmente.

Les oscillations qui ont lieu dans les différentes concamérations successives, sont parfaitement isochrones. De plus, toutes les concamérations sont égales en longueur. Donc le son doit parcourir, avec une vitesse uniforme, la suite de toutes ces concamérations, ce qui étoit encore un des effets à expliquer.

Mais à mesure que les concamérations s'éloignent du sommet, les ébranlemens de l'air qui produisent les petites oscillations partielles dont chaque oscillation totale est composée, vont en diminuant, tandis que l'isochronisme subsiste toujours; d'où il suit qu'à une plus grande distance l'organe sera plus foiblement ébranlé, et le son moins entendu, en sorte que dans un certain éloignement, il finira par s'éteindre.

Que le son soit fort ou faible, la durée des vibrations et la longueur des concamérations resteront les mêmes, parce que c'est le degré seul du son qui détermine l'une et l'autre, ainsi qu'il est facile de le conclure, de ce que le ton rendu par un tuyau est le même, quelle que

soit la force du souffle qui met l'air en vibration, pourvu que l'ouverture des lèvres soit aussi la même.

372. Si l'on suppose deux sons à l'octave l'un de l'autre, qui se fassent entendre successivement ou à la fois, les concamérations relatives au son aigu seront une fois plus courtes que celles qui répondent au son grave; il y en aura donc une fois plus dans un espace donné. Mais les oscillations de l'air s'y acheveront dans un temps une fois plus court, d'où il suit qu'elles emploîront le même espace de temps pour se propager à la même distance; et ainsi le degré du son n'influe pas sur sa vitesse, ce qui s'accorde de même avec l'observation.

373. Voilà pour ce qui regarde les sons solitaires. Mais lorsque plusieurs corps vibrent en même temps; lorsque dans un concert, par exemple, plusieurs instruments et plusieurs voix rendent à la fois des sons de divers degrés, comment arrive-t-il que les différentes vibrations qui en résultent, se rencontrent en passant à travers l'air, sans se détruire ou se dérouler par leur choc mutuel, et que chacune d'elles continue ensuite son trajet vers l'oreille, comme si elle eut trouvé le passage libre?

Les physiciens modernes ont essayé de résoudre cette difficulté, en adoptant l'idée de Mairan, qui supposoit l'air formé de particules d'une infinité de grossesses différentes, dont chacune n'étoit capable que de recevoir et de transmettre les vibrations relatives à un ton particulier. Ainsi, lorsque plusieurs sons concouroient dans une même harmonie, ou de toute autre manière, chacun d'eux ne s'adressoit qu'aux particules qui étoient à son unisson, et exerçoit sur elles une action in-

dépendante de celle que subissoient les molécules d'un diamètre différent. Mais sans recourir à cette supposition gratuite, qui, pour débrouiller un effet compliqué, emploie une complication d'un autre genre, et n'écarte la difficulté qu'en la transportant ailleurs ; nous trouvons, dans la théorie même que nous avons exposée, une manière satisfaisante d'expliquer la distinction des sons simultanés.

374. Cette explication tient à l'observation générale, que tous les petits mouvements qui ont des points de concours se superposent, en quelque sorte, les uns sur les autres sans se confondre. Pour éclaircir cette idée, considérons deux rayons sonores, qui se rencontrent sous deux directions différentes; le mouvement se composera dans le petit espace où ils se croiseront, de manière que les petites oscillations qui ont lieu dans un rayon, donnant une légère impulsion à celles de l'autre rayon, produiront, dans les molécules situées au point de concours, d'autres oscillations en diagonale. Imaginons un observateur dont l'œil seroit capable de saisir le progrès des oscillations, et supposons que cet œil fasse lui-même de petits mouvements oscillatoires semblables à ceux que les molécules de l'un des deux rayons auroient faits sur le côté analogue du parallélogramme, dont la diagonale est décrite en vertu du mouvement réel. Cet œil verra osciller les molécules qui suivent ce dernier mouvement, comme si elles étoient mues dans la direction de l'autre côté du parallélogramme, c'est-à-dire, quel'œil ayant lui-même un des mouvements qui se composent dans la diagonale, et ce mouvement étant censé détruit à son égard, il ne recevra que l'impression de l'autre

mouvement. Or, il est ais<sup>e</sup> d'en conclure que les moléculles d'air situées au delà du concours des deux rayons, auxquelles le mouvement qui existe seul pour l'observateur se seroit communiqué, s'il n'y avoit là que le rayon sonore dirigé suivant ce mouvement, ne laisseront pas de le recevoir encore, puisqu'elles sont sur la direction où les vibrations qui se font dans la diagonale doivent, en se décomposant, produire ce même mouvement. On peut appliquer ce raisonnement à l'autre rayon sonore, d'où l'on voit que les vibrations, après s'être confondues dans un espace presque infiniment petit, doivent se démêler ensuite, et reprendre leur premier alignement, comme si elles n'avoient eu rien de commun (1).

375. C'est par un mécanisme du même genre que les petites oscillations successives qui se produisent dans l'eau, où l'on a jeté plusieurs pierres, passent l'une sur l'autre sans se confondre, et produisent des circonfé-

---

(1) Pour répandre un nouveau jour sur cette explication, concevons que *ac*, *bc* (*fig. 32*), représentent les directions de deux rayons sonores qui se croisent au point *c*, et que *mc*, *hc* mesurent les étendues des petites oscillations qui ont lieu près du point de concours. Les mouvements dus à ces oscillations se composent dans le même point, de manière que le mouvement unique qui en résulte se transporte aux molécules situées immédiatement au-dessous de *c*, et y fait naître d'autres oscillations dans le sens de la diagonale *cr* d'un petit parallélogramme *cnrs*, déterminé par les lignes *cn*, *cs*, situées sur les prolongemens des lignes *hc*, *mc*, et égales à ces dernières. Maintenant les oscillations en diagonale se résolvent au point *r* en deux mouvements dont tel est l'effet, que les molécules situées sur les lignes *rt*, *ru*, parallèles l'une à *bc*, et l'autre à *ac*,

rences qui s'entrecoivent. La même chose n'a pas lieu dans les grands mouvemens, où les molécules situées au point de concours, recevant de fortes impulsions en différens sens, sont emportées à leur tour par un mouvement qui les écarte totalement de leurs premières directions.

376. Tel est le terme où nous conduit la théorie : mais ce qui reste inexplicable, c'est cette espèce de souplesse de l'air, pour prendre, en quelque sorte, l'emprise des différens caractères dont un même ton est susceptible, à raison de la diversité des corps qui le rendent, et pour se modifier de tant de manières en portant à l'oreille les sons tendres et veloutés de tel instrument, les sons plus mâles et plus vigoureux de tel autre, et les accens infiniment variés de la voix humaine. On ne sait lequel on doit plus admirer, ou la nature du fluide qui remplit ces différens messages avec une fidélité si exacte, jusque dans les moindres détails, ou celle de l'organe qui discerne tout avec une si grande finesse de tact, et renferme dans ses fibres les unissons de tant de nuances particulières.

---

sont sollicitées elles-mêmes à faire de petites oscillations égales aux premières, dans le sens des mêmes lignes *rt*, *ru*. Or, l'espace dans lequel tous ces mouvemens s'exécutent étant presque infiniment petit, les lignes *rt* et *ru* sont sensiblement sur les mêmes directions que les lignes *bc* et *ac*; en sorte que les oscillations qui ont lieu dans le sens de ces dernières lignes sont censées se propager, dans leurs prolongemens, au delà du point de concours *c*. Ainsi les résultantes de tous les petits mouvemens décomposés peuvent être considérées comme des lignes infiniment petites ou de simples points, qui ne font qu'transmettre ces mouvemens, sans en altérer les directions.

## V. DE L'ÉLECTRICITÉ.

377. L'ÉLECTRICITÉ est une des branches de nos connaissances que les physiciens modernes aient cultivée avec le plus d'assiduité et de succès. Elle n'étoit encore connue, au commencement du siècle dernier, que par les attractions et les répulsions que le verre, le succin (1), les résines et autres substances semblables exerçoient sur les corps légers que l'on présentoit à leur action, et par une foible lueur que le frottement dégagéoit de ces substances. Environ 30 ans après, les recherches de Dufay et de Grey, amenèrent une de ces époques fécondes, où une science commence à se développer par un progrès rapide, et où les découvertes semblent se presser à la suite les unes des autres. Un examen plus attentif des phénomènes, conduisit à établir la distinction importante entre les corps qui transmettent le fluide électrique, et ceux qui refusent de le propager : la construction des machines, mieux dirigée, donna de nouvelles facilités pour étudier ses différentes manières d'agir : une découverte imprévue fit ressentir aux êtres animés, l'énergie de ce pouvoir intérieur qu'il exerce sur eux, par le simple contact des vases où il s'accumule : enfin, les physiciens soupçonnèrent que ces phénomènes qu'on s'empressoit d'aller voir, même par amusement, n'étoient qu'une imita-

(1) Le nom d'*électricité* a été emprunté du mot *electrum*, par lequel les anciens désignoient le succin, appelé aussi *ambre jaune*.

tion, en raccourci, des explosions de la foudre; et, pour vérifier cette étonnante analogie, Francklin trouva, dans le pouvoir des pointes, le secret, non moins étonnant, de dérober la foudre elle-même au nuage qui la renfermoit dans son sein, et de l'offrir à l'observation, sous la forme et avec tous les caractères du fluide mis en action par nos machines.

378. A mesure que les faits se multipliaient, on cherchoit à en donner des explications et à en saisir la dépendance mutuelle. Dufay avoit reconnu deux électricités différentes; l'une qu'il appeloit *vitrée*, parce qu'elle étoit produite par le frottement du verre; l'autre qu'il nommoit *résineuse*, parce qu'on l'excitoit en frottant la résine et les autres substances analogues. Il remarqua que les substances animées de chaque espèce d'électricité se repousoient, et attiroient celles qui possédoient l'autre espèce d'électricité. Cette idée, qui a été depuis reproduite par Symmer, et ramenée à l'hypothèse de deux fluides co-existans dans un même corps, étoit, pour ainsi dire, la clef de la véritable théorie. Francklin, en présentant les actions électriques sous un point de vue différent, par sa doctrine de l'électricité positive et négative, en fit une application très-heureuse à l'expérience de la bouteille de Leyde, dont il ramena la décharge à un simple rétablissement d'équilibre. Cette manière mécanique de concevoir un fait, qui tenoit alors le premier rang parmi les merveilles de l'électricité, attira une foule de partisans au philosophe de Philadelphie. Æpinus, l'un des plus distingués d'entre eux, en appliquant le calcul à sa doctrine, la rendit plus rigoureuse, et forma un en-

semble mieux lié de toutes les observations déjà connues ; lui-même découvrit plusieurs faits dignes d'attention , et il mérita ainsi doublement de la science , comme géomètre et comme physicien. Il la servoit encore d'une autre manière , en préparant la voie à Coulomb , qui , après être parti du point où Aëpinus s'étoit arrêté , a franchi seul une carrière toute nouvelle. Muni d'un appareil dont l'invention lui est due , et qui réunit au mérite de la simplicité , celui d'une précision jusqu'alors inconnue , il a déterminé , par des expériences décisives , la loi suivant laquelle varient les attractions et répulsions électriques , à raison de la distance ; et cette loi s'est trouvée la même que celle de la gravitation universelle , découverte par Newton dans les espaces célestes. La théorie , établie ainsi sur une base solide , a été appliquée , par le même physicien , à la manière dont le fluide électrique se partage entre différens corps , et à d'autres effets qui n'avoient été qu'entrevus.

379. Tel étoit l'état de nos connaissances relativement à l'électricité , lorsque les expériences de Galvani appellèrent l'attention de toute l'Europe savante , sur des phénomènes très-remarquables par leur liaison intime avec les mouvements de l'économie animale , et qui bientôt inspirèrent un surcroît d'intérêt par leurs rapports avec un des plus beaux résultats de la chimie moderne. La théorie avoit besoin d'être agrandie , pour s'étendre à l'explication de ces nouveaux phénomènes ; et il étoit réservé au célèbre Volta de reculer ici les limites de la science , par la découverte d'un principe qui avoit échappé à la sagacité des physiciens.

## 1. De l'Électricité produite par frottement ou par communication.

---

### *Notions générales.*

Avant d'entrer dans le développement de la théorie, nous rappellerons quelques notions qu'il est nécessaire d'avoir toujours présentes à l'esprit pour la bien concevoir.

380. On distingue en général deux classes de corps, relativement à la communication du fluide électrique. Les uns, qu'on appelle *corps conducteurs*, tels que les métaux et les liquides, à l'exception de l'huile, transmettent plus ou moins facilement ce fluide aux autres corps de la même classe qui sont en contact avec eux. Les autres, qu'on a nommés *corps non conducteurs*, tels que le verre, le succin, le soufre, les résines, la soie, etc., retiennent le fluide comme engagé dans leurs pores, sans lui permettre de se répandre sur les corps environnans.

Nous devons à Grey et à Wheeler, la découverte de cette différence remarquable entre les corps relativement à la communication de l'électricité (1). Ces deux physiciens avoient pensé d'abord que tous les corps con-

---

(1) Histoire de l'Electricité, par Priestley, t. I, p. 55.

duisoient indistinctement la vertu électrique; et pour essayer de la propager à une grande distance, ils avoient imaginé de soutenir une corde de chanvre qui devoit servir de conducteur, sur un cordonnet mince de soie tendu horizontalement, dans la pensée que ce cordonnet ne laisseroit échapper qu'un filet d'électricité, proportionné à la petiteur de son diamètre, en sorte qu'une grande quantité de fluide seroit transmise par la corde de chanvre. Celle-ci avoit quatre-vingts pieds de longueur, et passoit sur le cordonnet, de manière qu'une de ses parties, longue seulement de quelques pieds, descendoit verticalement, en portant une boule d'ivoire attachée à son extrémité. L'autre partie s'étendoit le long d'une grande galerie, dans une direction horizontale, jusqu'à un tube de verre auquel on l'avoit attachée. Pendant que l'un des physiciens frottoit ce tube, l'autre voyoit un duvet de plume, placé sous la boule, se porter vers elle par attraction, et en être aussitôt repoussé. Mais le cordonnet de soie s'étant rompu, Grey, qui n'en avoit pas d'autre sous la main, y substitua un fil métallique, et depuis ce moment, tous les effets disparurent. Les deux physiciens comprirent alors, que l'obstacle qu'avoit opposé le cordonnet de soie à la perte de l'électricité, dépendoit, non pas de la finesse du couloir, mais de sa nature même; et ce qu'ils avoient regardé comme un accident, devint un bonheur dans leur esprit.

381. Les corps non conducteurs ont de plus cette propriété, que quand on frotte l'un d'entre eux, il se produit autour de lui un dégagement de fluide électrique, susceptible de manifester sa présence. On a donné aussi aux corps non conducteurs le nom de *corps idio-*

*électriques*, c'est-à-dire, *électriques par eux-mêmes*, et aux corps conducteurs, celui de corps *anélectriques*, c'est-à-dire, *non-électriques*, si ce n'est par communication.

382. Au reste, il s'en faut de beaucoup qu'il y ait une ligne nette de séparation entre les deux classes que forment les corps, relativement à la communication du fluide électrique. Outre qu'il n'est aucun corps qui soit, ou parfaitement idio-électrique, ou parfaitement conducteur, il existe entre ceux qui se rapprochent le plus des deux limites, une infinité d'intermédiaires, qui participent plus ou moins de la propriété idio-électrique et de la propriété conductrice. Il y a même telle espèce de corps, dans laquelle le rapport entre l'une et l'autre propriété varie très-sensiblement, suivant les circonstances; et souvent cette variation est due à un mélange de molécules conductrices, interposées entre celles d'un corps naturellement idio-électrique, ou réciproquement. Ainsi, l'air atmosphérique, qui, en le supposant très-sec, posséderoit, dans un assez haut degré, la propriété idio-électrique, est souvent chargé de vapeurs aqueuses conductrices, qui lui font perdre de cette propriété, à proportion de leur abondance. C'est pour cette raison qu'un air humide est si peu favorable aux expériences électriques, parce qu'en s'emparant du fluide qui se dégage autour de l'appareil, il l'empêche de parvenir à ce degré d'accumulation, d'où dépendent à la fois et son énergie et le succès des expériences.

383. C'est sur les principes que nous venons d'exposer, qu'est fondée la construction de nos machines élec-

triques. Dans celle qui est aujourd'hui le plus en usage, l'électricité est produite par le frottement qu'exercent plusieurs coussins sur les deux surfaces d'un plateau de verre, fixé sur un axe auquel une manivelle que l'on fait jouer imprime un mouvement de rotation. Le fluide électrique, à mesure qu'il se dégage, est attiré par des pointes de fer situées horizontalement à une petite distance d'une des faces du plateau, et de là se répand sur la surface d'un cylindre de cuivre, auquel on a donné plus spécialement le nom de *conducteur*. Ce cylindre est porté par deux colonnes de verre, qui étant d'une nature non conductrice, s'opposent à la dissipation du fluide dont le conducteur est chargé; et le fluide ne pouvant d'ailleurs s'échapper à travers l'air environnant, qui, par sa nature, refuse aussi de le transmettre, s'accumule jusqu'à un certain degré autour du conducteur; en sorte que si l'on en approche le doigt ou un corps quelconque qui soit lui-même conducteur, la présence du fluide électrique s'annoncera par une étincelle.

384. On dit d'un corps électrique qu'il est *isolé*, lorsque le corps qui le soutient s'oppose à la propagation du fluide dont il est chargé.

385. Nous ne devons pas omettre, que les corps conducteurs, lorsqu'ils sont isolés, acquièrent la propriété électrique, par le frottement d'un corps non conducteur. Mais le fluide dont ils se chargent, dans ce cas, est fourni par le frottoir, en sorte que le corps conducteur ne fait autre chose que le recevoir par communication. Lorsque ce corps, n'étant pas isolé, subit de même le frottement d'un corps non conducteur, il se

fait aussi un dégagement de fluide qui est enlevé par le premier corps, mais qu'il transmet aussitôt aux corps environnans avec lesquels il est en communication.

386. L'hypothèse que nous emploifrons pour expliquer les phénomènes, consiste à considérer, avec Symmer (1), le fluide électrique comme composé de deux fluides différens, qui sont neutralisés l'un par l'autre, dans l'état ordinaire des corps, et qui se dégagent lorsque les corps donnent des signes d'électricité. Au reste, il faut avouer que l'existence de ces deux fluides n'est pas fondée sur des raisons aussi recevables que celle du fluide électrique lui-même, que l'on suppose ici résulter de leur réunion. Mais l'adoption de ces fluides conduit à une manière simple et plausible de représenter les résultats de l'expérience, et sauve les difficultés dans lesquelles nous verrons bientôt que l'on s'expose à tomber, en essayant une autre hypothèse.

Tel est en général la manière d'agir des deux fluides dont il s'agit, que les molécules de chacun se repoussent mutuellement et attirent celles de l'autre fluide. Il en résulte quatre combinaisons différentes d'actions entre les fluides de deux corps, savoir, deux répulsions et deux attractions, d'où dépendent les mouvements par lesquels les corps eux-mêmes s'approchent ou s'écartent l'un de l'autre, ainsi que nous l'expliquerons bientôt avec plus de détail.

387. Le fluide électrique est répandu dans tous les corps. Le globe terrestre en est comme une source iné-

---

(1) Philosoph. Transact., t. LXI, part. 1, p. 340 et suiv.

puisable , ce qui a fait donner à ce globe , le nom de *réservoir commun* , lorsque l'on parle de son intervention dans les phénomènes électriques. Chaque corps possède une certaine quantité du même fluide qui dépend de sa nature , et que nous appelons , pour cette raison , *la quantité de fluide naturelle* de ce corps. Si , par l'effet de quelque circonstance , ce fluide subit une décomposition , le corps se trouvera électrisé ; d'où l'on voit qu'il ne faut pas confondre un corps qui est dans l'état naturel , avec un corps qui n'a que sa quantité naturelle de fluide , puisque la décomposition de celle-ci peut faire sortir le corps de son état naturel , sans aucune addition de fluide étranger. Mais le corps peut aussi passer à l'état électrique , en vertu d'une quantité surabondante de l'un ou l'autre des fluides composans , qu'il auroit reçue d'ailleurs par communication.

388. Comparons maintenant l'opinion de Francklin , sur l'électrisation des corps , avec la manière de concevoir le même phénomène , dans l'hypothèse que nous avons adoptée. Ce célèbre physicien considéroit le fluide électrique comme un être simple ; et dans le passage d'un corps à l'état d'électricité , il pouvoit arriver de deux choses l'une : tantôt le corps recevoit du dehors une quantité de fluide qui s'ajoutoit à la quantité naturelle , et dans ce cas , on disoit de ce même corps , qu'il étoit électrisé *positivement* ; c'est ce qui arrivoit au verre , et à plusieurs autres substances , par l'effet du frottement : tantôt le corps perdoit une portion de son fluide naturel , et alors il se trouvoit électrisé *négativement*. C'étoit le cas de la cire d'Espagne , de la résine , de la soie , etc. , lorsqu'on les frottoit. De là

encore, les expressions d'*électricité positive* et d'*électricité négative*, employées par Francklin, pour désigner les deux états opposés dont nous venons de parler; nous verrons bientôt qu'un même corps pouvoit aussi, suivant les circonstances, passer à l'un ou à l'autre de ces deux états.

Or, dans notre hypothèse, tous les effets attribués par Francklin à l'*électricité positive* ou à une surabondance du fluide unique admis par ce savant, seront produits par l'action d'un des deux fluides composans, rendu à l'état de liberté; et les effets qui dépendoient, selon lui, de l'*électricité négative* ou de la soustraction d'une partie du fluide qui faisoit tout, seront dus à l'action de l'autre fluide composant. En conséquence, nous appellerons le fluide relatif à la première espèce d'*électricité*, *fluide de l'électricité vitrée*, ou simplement *fluide vitré*, et nous donnerons au fluide qui détermine l'autre espèce d'*électricité*, le nom de *fluide de l'électricité résineuse*, ou, pour abréger, celui de *fluide résineux*. Ce langage est à peu près le même qu'employoit Dufay, dans un sens moins déterminé; et puisque les connaissances nous manquent sur la nature de ces deux fluides, dont l'existence même n'est pas démontrée, nous ne pouvons mieux faire que d'en emprunter les noms de ceux des corps qui les fournissent d'une manière spéciale.

389. Nous devons prévenir qu'il ne faut pas confondre les deux fluides que nous adoptons ici, avec les deux courans, l'un de matière effluente, et l'autre de matière affluente que Nollet avoit imaginés pour expliquer les phénomènes électriques. Ces deux courans appartenient

noient à un même fluide , et s'élançoi ent l'un du conducteur vers les corps environnans , et l'autre de ceux-ci vers le conducteur. Il y a loin , sans doute , de ces hypothèses , qui employoient des effluves dont les actions , affranchies de toute loi et de toute méthode rigoureuse , ne conduisoient qu'à des explications vagues d'une partie des phénomènes , et étoient prises en défaut par les autres , à ces théories fondées sur des forces dont la mesure est donnée par l'expérience , et dont les différens effets sont déterminés par le calcul avec une précision qui pourroit les faire prédire .

390. Deux corps idio-électriques se constituent , par leur frottement mutuel , dans deux états différens d'électricité , et les circonstances qui déterminent chacun d'eux à acquérir de préférence telle espèce d'électricité , dépendent de certaines causes qu'il n'est pas toujours facile de démêler . Le verre et les matières dans lesquelles le caractère vitreux est nettement prononcé , comme le cristal de roche et les pierres gemmes , acquièrent presque toujours l'électricité vitrée , quelque soit le frottoir que l'on emploie . Nous disons presque toujours ; car on a observé que le verre frotté avec le poil de chat s'électrisoit résineusement . D'une autre part , la résine , le soufre , la cire d'Espagne acquièrent l'électricité résineuse , par le frottement d'une matière idio-électrique quelconque . Mais il y a ici une restriction à faire , au moins par rapport aux substances vitreuses , qui ne manifestent l'électricité vitrée , après qu'elles ont été frottées , qu'autant que leur surface est lisse et polie . Ainsi le verre qui a été dépoli s'électrise résineusement , par le frottement des mêmes substances

qui auparavant lui communiquoient l'électricité vitrée. En général, toutes choses égales d'ailleurs, les substances qui ont leur surface hérissée d'aspérités, paroissent avoir une tendance plus marquée vers l'électricité résineuse. Lorsqu'on frotte un ruban de soie blanc contre un autre de couleur noire, le premier s'électrise vitreusement et le second résineusement, ce que le célèbre Ingen-Housz attribue à la matière colorante du ruban noir, composée de molécules qui donnent une certaine âpreté à la surface de ce ruban (1).

Parmi les corps métalliques isolés, que l'on frotte avec une substance d'une nature déterminée, telle qu'un morceau de drap, les uns, comme le zinc et le bismuth, acquièrent l'électricité vitrée; et les autres, comme l'étain et l'antimoine, acquièrent l'électricité résineuse. Nous citons de préférence ces métaux, comme étant de ceux qui donnent le plus constamment le même résultat. Car on observe, dans les expériences de ce genre, des anomalies singulières; en sorte que tel morceau de métal, placé dans les mêmes circonstances, acquiert quelquefois une électricité différente de celle qu'il avoit d'abord manifestée.

La même diversité a lieu par rapport à certains corps idio-électriques. Quelquefois aussi le frottement fait naître constamment une espèce d'électricité dans tel morceau d'une substance, et en détermine constamment une différente dans un autre morceau d'ailleurs

(1) Nouvelles Expér. et Observ. sur divers objets de Physique, t. I, p. 5.

semblable au premier. Nous ne connaissons aucun corps dans lequel ce genre d'anomalie tienne à des nuances aussi délicates et aussi imperceptibles, que le minéral nommé communément *cyanite*, et que nous avons appelé *disthène* (qui a deux vertus). Parmi les divers cristaux de ce minéral, les uns acquièrent toujours l'électricité résineuse, à l'aide du frottement, et les autres l'électricité vitrée; et dans quelques-uns, les deux espèces d'électricité contrastent entre elles sur deux faces opposées, sans que ni l'œil ni le tact puissent saisir, dans l'éclat et le poli des faces, la plus légère indication de cette différence d'états.

391. Avant d'entrer dans le développement de la théorie, il est nécessaire de donner une idée de la *tension électrique*. On appelle ainsi la force répulsive avec laquelle les molécules du fluide vitré ou résineux répandu sur la surface d'un corps, tendent à s'écartier les unes des autres. Cette force est proportionnelle à la densité du fluide ou au nombre de molécules renfermées dans un espace donné. Supposons deux corps qui soient chargés, par exemple, d'électricité vitrée. Si l'on applique sur la surface de chaque corps un petit disque métallique, fixé à l'extrémité d'une aiguille de gomme laque, pour le tenir isolé, les quantités de fluide que les deux disques, en les supposant égaux, enleveront aux corps dont il s'agit, seront entre elles comme les tensions des mêmes corps; et en employant, pour les mesurer, des moyens dont nous parlerons dans la suite, on pourra déterminer le rapport entre les tensions elles-mêmes.

*De la loi que suivent les Actions Électriques  
à raison de la Distance.*

392. Les forces des deux fluides qui composent le fluide électrique agissent, ainsi que nous l'avons dit (378), en raison inverse du carré de la distance. Cette loi avoit déjà été aperçue par plusieurs physiciens, et en particulier par Æpinus, qui disoit que s'il avoit à choisir, il donneroit la préférence à cette même loi, parce qu'elle avoit l'analogie pour elle (1). On voit par là qu'il présumoit que le principe des mouvements célestes devoit s'étendre sur toutes les actions à distance, et plus cette idée étoit belle et satisfaisante, plus il étoit à désirer qu'elle pût devenir une vérité de fait.

Coulomb l'a démontrée en même temps pour les actions électriques, et pour celles qui dépendent du magnétisme. Il a donné à l'appareil dont il s'est servi dans les expériences relatives à l'électricité, le nom de *balance électrique*, qui lui convient parfaitement, parce qu'il fournit le moyen d'établir l'équilibre entre une force électrique et une autre force, dont les plus petites quantités sont susceptibles d'être mesurées avec beaucoup de précision.

Cette dernière force est ce qu'on appelle la *force de torsion*. C'est l'effort que fait un fil qui a été tordu pour se détordre et revenir à son premier état. Soit *ac* (fig. 33, Pl. V) un fil de métal ou de toute autre matière auquel on ait suspendu, par le milieu, un petit levier *bd*; supposons

(1) *Tentamen theoriæ electricit. et magnet.*, p. 38.

que ce levier étant d'abord en repos, commence à tourner autour du point *c*, en décrivant des arcs de cercle par ses deux extrémités. Le fil se tordra en même temps d'un nombre de degrés égal à celui qui est compris dans chacun de ces arcs, et si on veut le maintenir dans cet état de torsion, il faudra appliquer à l'une ou à l'autre des extrémités *b*, *d*, du levier, une résistance qui balance l'effort de ce fil, pour revenir au point où, le levier étant immobile, la torsion étoit nulle. Or, Coulomb a prouvé que, toutes choses égales d'ailleurs, cet effort, qu'il nomme *force de torsion*, est proportionnel à l'angle de torsion; concevons, par exemple, que dans le cas dont nous venons de parler, l'arc décrit par le point *b* ou *d*, ou, ce qui revient au même, la quantité de la torsion soit de  $30^d$ , et désignons par *r* la résistance capable de faire équilibre à cette torsion; si l'on suppose une torsion double, en vertu d'un arc de  $60^d$ , il faudra, pour qu'il y ait encore équilibre, que la résistance soit égale à  $2r$ .

393. L'appareil employé par Coulomb est composé principalement d'une grande cage de verre ACDB (1), (*fig. 34*), recouverte d'une plaque AC de la même matière. Sur le milieu de cette plaque est soudé un tuyau vertical *febh*, pareillement de verre, et surmonté d'un tuyau de cuivre beaucoup plus court *cbhd*, dans lequel tourne avec frottement une autre portion de tuyau du même métal. Celle-ci porte une plaque *Iy*, percée d'un trou en son milieu, pour recevoir une petite tige à laquelle est attachée une aiguille

---

(1) On peut, à volonté, donner à cette cage une forme cylindrique, telle que la représente la figure, ou une forme cubique.

*ol* que l'on fait tourner en même temps que la tige. Le bord de la plaque *ly* est divisé en  $360^{\text{d}}$  dans le sens *lk*. La tige porte à son extrémité inférieure une petite pièce qui saisit un fil d'argent très-délié *pn*, au bas duquel est suspendu un petit cylindre de cuivre *nu* pour le tenir tendu. Ce cylindre est de plus fendu dans sa longueur, et fait l'office d'une pince, qui presse un petit levier *ag*, dont un des bras, savoir, *na*, est fait d'un fil de soie enduit de gomme laque, et terminé par un petit plan circulaire *a* de papier doré. L'autre bras est un fil de cuivre *ng*, qui n'a que la longueur nécessaire pour que le levier se tienne dans une position horizontale. C'est dans la torsion imprimée au fil métallique *pn* que consiste la force qui sert à mesurer celle des corps électriques dont elle balance l'effet.

La plaque AC est percée en *m* d'un trou, à travers lequel passe un second fil de soie, enduit aussi de gomme laque, et maintenu dans une direction *mt*, à peu près verticale, par le moyen d'un bâton *rs* de cire d'Espagne. Ce fil de soie porte à son extrémité inférieure *t*, une balle *x* de cuivre, qui correspond au point zéro d'un cercle gradué *zq*, attaché autour de la cage ACDB. On peut toujours, à l'aide du tuyau de cuivre supérieur, que l'on fait tourner doucement dans celui où il est emboîté, disposer les choses de manière que le petit plan circulaire *a* touche la balle *x*, sans que le fil de suspension éprouve aucune torsion.

Les choses étant supposées dans cet état, nous allons décrire l'expérience faite par Coulomb, à l'Académie des Sciences, en 1785. Ce physicien électrisa d'abord

le cercle doré  $\alpha$  et la balle  $x$  de cuivre, en les touchant avec un petit conducteur chargé d'électricité vitrée, qu'il introduisit dans la cage par une ouverture qu'on y avoit pratiquée à dessein. A l'instant la balle repoussa le petit plan circulaire à la distance de 36 degrés, laquelle s'estimoit d'après la position de ce plan, relativement à la circonférence circonscrite à la cage de verre. Par une suite nécessaire, le fil métallique se tordit d'un nombre égal de degrés. Coulomb continua de le tordre d'une quantité égale à 126 degrés, en faisant tourner l'aiguille  $oz$  attachée à la tige qui tenoit ce fil suspendu, et l'on concevra aisément que, dans ce cas, le mouvement de rotation de l'aiguille devoit être en sens contraire de celui qu'avoit fait le cercle doré.

La force de torsion se trouvant alors considérablement augmentée, et l'action répulsive des deux corps n'étant plus suffisante pour la balancer à la même distance, le cercle doré s'est rapproché de la balle, jusqu'au point où la force de répulsion se trouvât tellement accrue par la diminution de la distance, que l'équilibre fut rétabli : il n'y avoit plus à ce moment que 18 degrés de distance entre les deux corps.

Maintenant il est à remarquer que la torsion imprimée de 126<sup>d</sup>, étant une continuation de la torsion de 36<sup>d</sup> déjà produite par la répulsion des deux corps, si l'on soustrait de cette dernière les 18<sup>d</sup> qui mesurent la quantité dont le fil s'est détordu, tandis que le cercle doré se rapprochoit de la balle de cuivre, il restera 18<sup>d</sup>, lesquels, ajoutés aux 126<sup>d</sup> de torsion imprimée, donneront 144<sup>d</sup> pour la torsion totale relative à la seconde position des deux corps. Mais la torsion qui avoit lieu dans

la position précédente étoit de 36<sup>d</sup>; d'où il suit que les deux forces répulsives qui faisoient équilibre à ces torsions, étoient dans le rapport de 4 à 1, le même que celui de 144 à 36. Or, les distances correspondantes étoient comme 18 à 36, ou comme 1 est à 2; d'où l'on voit que les forces répulsives suivent le rapport inverse du carré de la distance.

Cette expérience a été variée de différentes manières, d'après d'autres rapports entre les distances, et tous les résultats se sont trouvés conformes à la même loi.

Les petites erreurs, inséparables des résultats donnés par une machine dont les mouvements laissent toujours quelque chose à rabattre de la précision géométrique, n'ont pas échappé à l'attention de Coulomb: par exemple, la vraie mesure de la distance entre les deux corps n'est pas précisément l'arc qui les sépare, mais la corde de cet arc. D'une autre part, l'action répulsive de la balle de cuivre, à l'égard du cercle doré, est un peu oblique sur le levier qui porte ce cercle. Mais la construction de la machine a cela d'heureux, que les deux erreurs marchent en sens contraire l'une de l'autre, en sorte qu'elles se compensent sensiblement lorsque les angles ne sont pas considérables.

Des expériences analogues ont prouvé que les attractions électriques suivent aussi la raison inverse du carré de la distance; et d'ailleurs, sans avoir ici recours à l'observation, on peut conclure immédiatement la loi des attractions de celle des répulsions, en considérant l'équilibre de deux corps, dont chacun n'a que son fluide naturel. Comme les quantités d'électricité vitrée qui font partie de la quantité de fluide naturel sont toujours pro-

portionnelles aux quantités d'électricité résineuse, dès que les répulsions mutuelles des fluides de la même espèce se font en raison inverse du carré de la distance, il est nécessaire que les attractions suivent la même loi, sans quoi il n'y auroit point équilibre.

394. La loi que nous venons d'exposer conduit à un résultat très-remarquable de l'électricité des corps conducteurs. Il consiste en ce que tout le fluide libre qui tient un de ces corps à l'état électrique, est répandu autour de sa surface, sans qu'il en existe aucune portion sensible à l'intérieur. Cette propriété se prouve également par le raisonnement et par l'expérience, et nous allons présenter successivement l'une et l'autre manière de la démontrer, en observant cependant que la preuve géométrique n'est rigoureuse que pour les corps sphériques, et pour quelques autres dont nous parlerons plus bas. Mais comme un solide d'une forme quelconque peut toujours être censé circonscrit à l'un de ceux dont il s'agit, la manière dont l'action principale est modifiée par la matière excédente, ne doit apporter qu'une différence assez légère dans le résultat.

La démonstration que nous donnerons de ce résultat, considéré dans les corps sphériques, dépend de deux principes de la philosophie Newtonienne. L'un, que nous avons déjà fait connoître en parlant de l'attraction (53), consiste en ce que si toutes les molécules d'une sphère attirent en raison inverse du carré de la distance (et il en faut dire autant de la force répulsive), la somme des actions qu'elles exercent sur une particule de matière placée hors de la sphère, sera la même que si toutes les molécules agissantes étoient réunies au centre de la

même sphère. Telle est , dans ce cas , ainsi que nous l'avons remarqué , la manière dont se combinent les actions qui émanent des différens points de la sphère , qu'il y a compensation entre les actions plus foibles des molécules placées au delà du centre , par rapport à la particule attirée ou repoussée , et les actions plus fortes des molécules situées en deçà du même centre ; en sorte que le centre est le point dans lequel il faudroit que toutes les molécules allassent se réunir , pour exercer une force moyenne qui fût égale à l'ensemble de toutes les forces disséminées dans la masse entière.

Le principe que nous venons d'exposer n'a lieu qu'en vertu de ce que chacune des couches dont on peut concevoir la sphère comme étant composée depuis le centre jusqu'à la surface , attire ou repousse elle-même , comme si toute sa matière étoit réunie au centre , de manière que la proposition est également vraie d'une simple enveloppe sphérique qui laisseroit un vide entre elle et le centre.

On suppose , dans l'autre principe , une pareille enveloppe , dont les molécules agissent encore suivant la même loi ; mais la molécule attirée ou repoussée , au lieu de se trouver en dehors de cette enveloppe , est située dans quelque point de sa cavité , et l'on prouve qu'alors elle est également attirée ou repoussée de tous les côtés , c'est-à-dire , qu'elle demeure immobile dans sa position ; c'est ce que Newton a démontré d'une manière extrêmement simple (1) , à l'aide de la construction suivante.

---

(1) *Philosophiæ natur., princip. mathémat., t. I, sect. XII,*  
propos. LXX , théor. XXX .

Soit *ours* (fig. 35, Pl. VI) la projection de l'enveloppe dont il s'agit, et soit *m* la molécule ; nous supposerons que l'enveloppe agisse par attraction sur cette molécule, parce que la démonstration s'applique d'elle-même à l'hypothèse d'une force répulsive. Menons par *m* deux lignes *bmc*, *gma*, qui interceptent sur l'enveloppe deux arcs infiniment petits *ab*, *cg*, qui pourront être pris pour leurs cordes. Concevons maintenant deux portions semblables et infiniment petites de l'enveloppe, qui aient *ab* et *cg* pour diamètres. Elles seront entre elles comme les carrés de ces diamètres ; et puisque les attractions suivent la raison directe des masses et l'inverse du carré des distances, elles seront comme  $\frac{(ab)^2}{(mb)^2} : \frac{(cg)^2}{(mg)^2}$ . Mais à cause des triangles semblables *mab*, *mcg*, on a *ab*: *cg* :: *mb*: *mg*, ou  $(ab)^2 : (cg)^2 :: (mb)^2 : (mg)^2$ . Donc  $\frac{(ab)^2}{(mb)^2} = \frac{(cg)^2}{(mg)^2}$ , c'est-à-dire, que les attractions sont égales. Or, si l'on suppose l'enveloppe divisée en une infinité de petites portions semblables aux précédentes, les attractions de deux d'entre elles situées de deux côtés opposés seront aussi égales ; d'où il suit que la molécule *m* n'étant pas plus sollicitée vers un côté que vers l'autre, restera immobile.

Telle est donc la combinaison des actions produites par les molécules de l'enveloppe, que si l'on imagine un plan *tr* qui passe par la molécule attirée ou repoussée, et qui aille couper l'enveloppe en deux parties nécessairement inégales, les actions de la plus petite partie *tgr* étant en général plus rapprochées, et celle de la plus grande *tar* s'exerçant à des distances plus considérables, il en résultera une compensation exacte qui

tiendra en équilibre la molécule soumise à ces actions contraires.

395. Tout cela étant bien conçu , soit donné un corps conducteur d'une figure sphérique , et rempli de fluide libre de l'une ou de l'autre espèce d'électricité vitrée ou résineuse , et supposons , s'il est possible , qu'il y ait équilibre. Il suit des deux principes précédens , que cet équilibre ne pourra pas subsister un seul instant , et que tout le fluide sera chassé en dehors de la sphère.

Soit *os* (fig. 36) cette même sphère ; partageons , par la pensée , tout le fluide en une infinité de couches infiniment minces , qui s'enveloppent mutuellement depuis le centre jusqu'à la surface , ainsi que le représente la figure , et considérons l'action de la sphère sur une molécule *m* , située à la surface extérieure de l'une quelconque *den* de ses couches. La répulsion de tout le fluide renfermé dans cette couche et dans toutes les autres , qui sont plus voisines du centre , sera la même que celle d'une sphère sur une molécule placée à sa surface. Ainsi , en conséquence du premier principe , cette molécule et toutes celles qui sont à la même distance du centre , tendront à s'en écarter et à sortir de la sphère. Il ne pourroit donc y avoir d'obstacle à cette tendance , que de la part des couches comprises entre la molécule *m* et la surface extérieure *os*. Mais le second principe nous dit que les actions de ces couches s'entredétruisent , à l'égard d'une molécule placée plus près du centre , et par conséquent l'action qui s'exerce du dedans au dehors , subsistera toute entière.

A mesure que le fluide sortira de la sphère , il se

formerà, vers le milieu de cette sphère, un vide qui aura lui-même la figure sphérique. Chaque molécule située dans une des couches intermédiaires entre ce vide et la dernière couche sera, par rapport aux couches situées en dessous, dans le cas d'une molécule placée à la surface d'une sphère creuse, et elle sera, par rapport aux couches situées en dessus, dans le cas d'une molécule située à l'intérieur d'une sphère creuse ; d'où l'on voit que l'action des premières couches continuera de la solliciter à fuir le centre, tandis que l'action des autres couches, pour l'en empêcher, sera nulle ; et ainsi tout le fluide qui occupoit d'abord la sphère, en sortira; et il se répandroit indéfiniment dans l'espace, s'il n'étoit arrêté par le contact de l'air environnant qui, étant d'une nature idio-électrique, refusera de s'unir avec lui, et le tiendra appliqué et condensé autour de la sphère, sous la forme d'une couche très-mince.

Puisque l'équilibre ne pourroit subsister, il ne pourra s'établir, et ainsi il n'y a pour le fluide libre, appartenant à un corps conducteur, d'autre manière de se distribuer qui s'accorde avec la loi de la répulsion des molécules, qu'en se répandant sur la surface de ce corps.

L'expérience vient à l'appui de cette théorie. Vous prenez une sphère creuse de métal, à laquelle on ait pratiqué une ouverture circulaire de 2 ou 3 centimètres de largeur, et après l'avoir placée sur un isoloir, vous la mettez en communication avec un conducteur que vous électrisez. Vous pouvez même, pour éviter le soupçon de favoriser davantage la surface intérieure qui ne

doit, suivant la théorie, donner aucun signe d'électricité, établir une communication entre cette surface et le conducteur. Ayant ensuite retiré la sphère, toujours portée sur son isoloir, vous appliquez sur un point de sa surface intérieure, un petit cercle fait d'une feuille de métal, et fixé à l'extrémité d'une longue aiguille de gomme laque. Vous présentez ce cercle à un électromètre très-sensible qui reste immobile. Vous appliquez le même cercle sur un point de la surface extérieure de la sphère, et ce cercle, présenté de nouveau à l'électromètre, y produit un mouvement très-marqué; et si cet électromètre est déjà électrisé, il indique, dans le petit cercle, une électricité de la même espèce que celle du conducteur qui a servi à électriser la sphère.

Il faut avoir l'attention d'introduire dans la sphère, et d'en retirer, le plus promptement possible, le cercle métallique, en le faisant passer par le milieu de l'ouverture, pour l'empêcher d'enlever quelque portion de l'électricité qui est accumulée sur les bords de cette ouverture. Il peut même arriver alors que cette électricité en communique une de l'espèce contraire à l'aiguille de gomme laque qui reste isolée à l'égard de l'ouverture, pendant le petit séjour que le cercle métallique fait dans l'intérieur. Mais on s'assurera que l'électricité dont il s'agit appartient à la gomme laque, en ce qu'elle continue d'être sensible à l'électromètre, lorsque l'on a touché le cercle métallique avec la main.

Le point de théorie qui vient de nous occuper est devenu, entre les mains du célèbre Laplace, le

sujet d'une belle application des formules dont ce savant s'est servi pour déterminer la figure de la terre. Elle consiste en ce que le résultat donné par un corps d'une figure sphérique, est également vrai pour tous les ellipsoïdes de révolution, en sorte que le fluide électrique doit aussi se porter tout entier à la surface de ces solides. Le même calcul conduit à cette conséquence remarquable, que la force répulsive, ou la tension du fluide qui répond au pôle de l'ellipsoïde, est à celle du fluide qui couvre l'équateur, comme le diamètre de cet équateur est à l'axe du pôle; d'où il suit que si l'ellipsoïde est allongé dans le sens de ce dernier axe, la tension sera plus forte à l'équateur qu'au pôle. Biot a étendu ces résultats à tous les sphéroïdes très-peu différens de la sphère, quelle que soit l'irrégularité de leur figure (1).

*De la manière dont le Fluide Électrique se distribue entre différens Corps en contact les uns avec les autres.*

396. Dans tout ce que nous venons de dire, nous avons considéré le corps qui étoit supposé d'abord rempli de fluide électrique, comme n'exerçant aucune ac-

---

(1) Voyez l'exposition raisonnée que cet habile géomètre a donnée des mêmes résultats dans les Leçons de l'École Normale, nouv. édit., t. VII, p. 85 et suiv. Il a aussi fait connître la manière de les soumettre au calcul, dans le Bulletin des Sciences de la Société Philomat., du 3 prairial an 9, p. 21 et suiv.

tion attractive sur ce fluide , soit pour l'empêcher de sortir , soit pour balancer ensuite la résistance que l'air oppose à sa dissipation , lorsqu'il enveloppe le corps. Ceci nous conduit à un nouveau résultat qui est lié étroitement avec le précédent. Nous avons dit ( 387 ) que chaque corps possède par lui-même une certaine quantité de fluide électrique , composée des fluides vitré et résineux. Cette quantité , qui dépend de la nature du corps , reste comme enchaînée dans son intérieur , tant que les deux fluides y sont neutralisés l'un par l'autre. Mais aussitôt qu'ils se dégagent , ils perdent leur tendance pour se maintenir dans le corps , et n'obéissent plus qu'à leur force répulsive mutuelle. Viennent-ils ensuite à se réunir de nouveau ? Le fluide composé , qui résulte de leur assemblage , rentre dans le corps et y demeure fixé comme auparavant. De même si un corps reçoit d'ailleurs une portion additionnelle de fluide vitré ou résineux , celui-ci se répand à la surface du corps sans pénétrer à l'intérieur , et ne tient même à cette surface que par l'intermédiaire de l'air environnant qui refuse de le transmettre. Nous citerons , en parlant de l'électricité dans le vide , une expérience qui confirme cette théorie.

397. Puisque le fluide électrique libre d'un corps ne paraît avoir aucune affinité pour lui , il sera également indifférent à l'égard d'un corps quelconque ; en sorte que si l'on met un corps conducteur électrisé en contact avec un autre qui soit dans l'état naturel , la partie qu'il lui communiquera de son fluide libre ne dépendra que de la forme des deux corps , et nullement de leur nature. C'est ce que Coulomb a prouvé  
d'une

d'une manière directe, à l'aide de l'expérience suivante. On électrise la balle de cuivre  $x$  (*fig. 34*), placée, comme nous l'avons dit, dans la cage de verre ACDB, et, après qu'elle a repoussé le cercle doré  $\alpha$ , on augmente la torsion d'un certain nombre de degrés, et l'on détermine la torsion totale, et la distance qui en résulte entre la balle  $x$  et le cercle  $\alpha$ . On fait toucher à l'instant la balle de cuivre par une balle de même diamètre et d'une matière différente, par exemple, de moelle de sureau. Aussitôt qu'on a retiré celle-ci, le cercle doré vient se placer à une moindre distance de la balle de cuivre, qui a perdu une partie de son fluide et en même temps de sa force répulsive. On affoiblit la torsion jusqu'à ce que le cercle soit ramené à la même distance, et l'on trouve que, dans ce cas, la torsion n'est plus que la moitié de ce qu'elle étoit la première fois. Donc la force répulsive est elle-même diminuée de moitié. Or, les actions électriques suivent la raison directe des masses, lesquelles sont ici les quantités de fluide, et la raison inverse du carré des distances; et puisque les distances sont égales, les actions sont simplement comme les quantités de fluide; d'où il résulte que, dans le second cas, la balle de cuivre n'a voit plus que la moitié de son fluide, en sorte que la quantité primitive s'étoit partagée également entre cette balle et celle de moelle de sureau, à cause de l'égalité et de la similitude des deux corps.

Ainsi, dans la communication de l'électricité, les surfaces des corps ne font autre chose que servir en quelque sorte de réceptacle au fluide électrique, qui semble y être dans un état passif, et n'y reste qu'autant

qu'il y est maintenu par la résistance de l'air environnant. Mais quoique la nature des corps n'entre pour rien dans le rapport suivant lequel le fluide électrique se distribue entre eux , elle influe sur le temps qu'exige le partage , en sorte que les facultés conductrices varient selon les différentes qualités des substances. Les métaux , par exemple , le transmettent beaucoup plus rapidement que le bois et le papier ; et à cet égard , comme à plusieurs autres , la manière d'agir du fluide électrique se rapproche de celle du calorique. Si donc l'on met en contact un corps conducteur électrisé , avec un second corps pareillement conducteur , qui soit à l'état naturel , il y aura , dans la transmission du fluide de l'un à l'autre , un terme , passé lequel le premier cessera de communiquer , et l'autre de recevoir ; et ce terme sera plus ou moins éloigné , suivant que le corps qui reçoit sera plus ou moins susceptible de conduire le fluide. Mais la différence ne portera que sur la durée de la communication , qui se fera toujours sans aucune préférence pour un corps plutôt que pour l'autre , quant à la quantité de fluide communiquée ou reçue.

398. Il étoit naturel , pour prouver par l'expérience ce défaut d'affinité du fluide électrique par rapport aux différens corps , de choisir le cas le plus simple , qui est celui où les corps étant semblables par leur forme , sont de plus égaux en surface. Mais Coulomb , après avoir établi de cette manière le principe dont il s'agit , a étendu ses recherches à des corps dont les surfaces étoient différentes , en supposant toujours que la forme fut sphérique. Pour mieux concevoir les résultats auxquels il est parvenu , il faut considérer que quand on met un

globe qui est à l'état naturel en contact avec un autre globe électrisé , à peine le premier est-il parvenu lui-même à l'état électrique , que les deux fluides exercent l'un sur l'autre leur force répulsive , et se refoulent mutuellement vers les parties opposées au point de contact ; en sorte que la densité électrique est nulle dans ce point et dans la partie environnante jusqu'à une certaine distance. Lorsque ensuite on sépare les globes , leurs fluides se répandent uniformément autour d'eux , et les quantités de ces fluides se trouvent égales lorsque les surfaces le sont elles-mêmes. Mais si les surfaces sont inégales , suivant un rapport donné , il arrive alors que les quantités de fluide varient dans un rapport différent , qui est moindre que celui des surfaces ; car ces quantités sont déterminées d'après les conditions de l'équilibre qui doit s'établir entre les forces des deux fluides , au moment du contact ; or , cet équilibre exige que le rapport entre la quantité de fluide du plus petit globe et celle du plus gros , surpassé assez celui qui existe entre les surfaces , pour que son excès compense ce que perd le premier globe , à raison d'une surface moins étendue. Ainsi Coulomb a reconnu , par l'expérience , que quand la surface du petit globe étoit à peu près  $\frac{1}{15}$  de celle du plus gros , sa quantité de fluide étoit environ  $\frac{1}{11}$  de celle de l'autre .

D'après ces résultats , il étoit facile de déterminer la loi suivant laquelle varioient les densités électriques des corps entre lesquels le fluide s'étoit distribué , c'est-à-dire , les quotiens des quantités de fluide divisées par les surfaces. Coulomb a trouvé que pour deux globes , dont l'un reste le même , tandis que l'on choisit l'autre

de plus en plus petit, le rapport entre les densités électriques, augmente suivant une progression toujours plus lente, qui a pour limite le rapport de 2 à 1, en sorte que, dans le cas de cette limite, le second globe doit être supposé infiniment petit.

399. Dans des expériences d'un autre genre, Coulomb a disposé, sur une même ligne, un certain nombre de globes recouverts d'une feuille de métal, et en contact les uns avec les autres; et il a cherché la loi suivant laquelle le fluide se distribuoit entre ces différens globes, pour que leurs forces fussent en équilibre. Il a employé ainsi jusqu'à 24 globes, tous de même diamètre. On conçoit bien d'abord, en supposant tous ces globes électrisés, qu'il y a égalité entre les tensions ou densités électriques des deux globes extrêmes, et que de même, les densités de deux globes également éloignés des extrêmes, sont égales entre elles. On voit aussi que la densité de chaque globe extrême doit être plus considérable que celle des suivans, puisqu'il fait seul équilibre à tous les autres, tandis que le second, par exemple, est aidé par le premier, pour balancer l'action de tous ceux qui sont derrière lui. Or, telle est la loi suivant laquelle la densité diminue, en partant des globes extrêmes, que ce décroissement est très-rapide, relativement aux globes qui avoisinent les extrêmes, comme le deuxième et le troisième de chaque côté, et qu'ensuite la densité diminue toujours plus lentement, jusqu'au milieu où elle est nulle. Cette inégalité entre les forces des différens globes est une suite de la raison inverse du carré de la distance, qui détermine, par rapport à chaque globe, la quantité de fluide néces-

saire pour que l'action de ce globe soit en équilibre avec celle de tous les autres.

Coulomb a déduit des résultats précédens, la manière dont le fluide électrique est distribué sur différens points de la surface d'un cylindre. Elle varie depuis les extrémités jusqu'au milieu, à peu près dans le même rapport que sur une file de globes égaux, et cette ressemblance provient de ce que le fluide est disposé autour des différens globes sous la forme de zones, entre les points de contact, depuis lesquels la densité est presque nulle jusqu'à une certaine distance, à cause de la grande force répulsive qui agit en ces endroits; mais sur le premier et le dernier globe, le fluide enveloppe l'hémisphère opposé au contact avec le globe voisin, ce qui achève de rapprocher la distribution du fluide de celle qui a lieu sur le cylindre, la surface de ce corps pouvant être considérée comme composée d'une suite de bandes annulaires comprises entre deux hémisphères.

A mesure que l'on emploie des cylindres plus longs et plus minces, la densité électrique des points situés vers les extrémités s'accroît par rapport à celle des points intermédiaires; et si l'on suppose un cylindre très-délié, qui soit fixé sur un gros globe électrisé, dont l'action favorisera encore l'augmentation de densité qui doit avoir lieu à l'extrémité opposée, parce qu'il faut que la force du fluide situé à cette extrémité fasse équilibre à celle de tout le reste du fluide répandu, tant sur le cylindre que sur le globe, la densité deviendra si considérable qu'elle l'emportera sur la résistance que l'air oppose à la transmission de l'électricité, et c'est par là que Cou-

Iomb explique le pouvoir des corps terminés en pointe, pour lancer rapidement le fluide électrique. L'explication que nous adopterons, parce qu'elle est plus susceptible d'être développée par le raisonnement, n'est qu'une manière différente de concevoir la même combinaison d'actions.

*De la loi suivant laquelle les Corps Idio-Électriques perdent peu à peu leur Électricité.*

400. Il en est tout autrement des corps idio-électriques que des corps conducteurs. Dès que le fluide naturel de ces derniers vient à se décomposer, par l'action des causes dont nous parlerons bientôt, ses deux principes se répandent aussitôt à l'extérieur. Nous devons concevoir, au contraire, que quand le corps est idio-électrique, les deux principes composans restent dans son intérieur, même après leur dégagement, et se distribuent, par des mouvements contraires, dans deux parties opposées de ce corps. Ces mouvements ne s'exécutent qu'avec une certaine difficulté, qui provient de la résistance des molécules propres du corps; en sorte que quand la cause qui avoit décomposé le fluide cesse d'agir, la réunion des deux principes, qui ramène le corps à l'état naturel, ne se fait de même qu'avec une certaine lenteur. On a comparé au frottement, cette résistance qu'un corps idio-électrique oppose au mouvement du fluide dans son intérieur, et on lui a donné le nom de *force coercitive*. Les effets de cette force se remarquent surtout dans les

corps qui s'électrisent par la chaleur, ainsi que nous le verrons dans la suite.

Au reste, ce que nous venons de dire suppose que la substance du corps jouit de toute sa pureté. Mais le plus souvent il se trouve des molécules conductrices interposées entre les molécules idio-électriques du corps, en sorte que les effets sont toujours un peu compliqués de ceux des corps de l'une et de l'autre espèce.

401. Ceci nous conduit à exposer d'autres recherches de Coulomb, relatives à un objet très-intéressant pour ceux qui ayant des expériences d'électricité à faire, désirent y mettre la précision convenable. Les expériences de physique en général, pour devenir comparables, doivent être ramenées au point où toutes les circonstances seroient les mêmes. Si la température influe, par exemple, sur les résultats, on fait disparaître cette influence, soit en maintenant un degré constant de chaud ou de froid, soit en tenant compte de la variation; de même, lorsqu'on emploie un corps électrique successivement à différens résultats que l'on veut comparer entre eux, l'état de ce corps doit être censé permanent; et comme il ne l'est jamais en réalité, parce que dans l'intervalle d'une opération à l'autre, le corps perd toujours une certaine quantité de son électricité, il falloit chercher des moyens pour évaluer cette perte, et y avoir égard dans les résultats.

Or, cette perte provient de deux causes; l'une est le contact de l'air environnant, qui est toujours plus ou moins chargé de molécules humides; l'autre est due aux supports idio-électriques qui soutiennent le corps électrisé, et dont les mieux choisis n'isolent jamais parfaitement.

ment. Coulomb est parvenu à démêler les actions de ces deux causes, qui s'exercent simultanément, et à rendre l'expérience indépendante de leurs variations.

A l'égard de celle qui provient de l'air, il a trouvé, en prenant d'une part la force électrique perdue par le corps dans un temps donné, tel que dix minutes, et de l'autre la force moyenne qui résulte de la différence entre les forces au commencement et à la fin de l'expérience, divisée par le nombre des minutes, que le rapport entre ces deux forces est un rapport constant pour un même état de l'air, ce qui met à portée de comparer entre eux divers résultats, d'après les forces moyennes qui répondent aux différentes durées des expériences.

402. Restoit à considérer la perte d'électricité qui se fait le long des supports. Les expériences de Coulomb, relatives à cet objet, lui ont fait connoître que quand la densité électrique du corps est considérable, le décroissement, produit à la fois par l'air et par les supports, suit un progrès beaucoup plus rapide que celui qui est dû au seul contact de l'air; mais depuis l'instant où la densité se trouve très-affoiblie, l'influence du support devient sensiblement nulle; en sorte qu'en employant, dès le commencement, un corps dont la densité électrique est modérée, on peut se contenter d'avoir égard à la perte qui se fait par le contact de l'air.

Mais cette espèce de résistance du support à la transmission du fluide électrique, ne peut être regardée comme absolue que pendant un certain temps qui suffit, pour l'ordinaire, aux expériences. Dans la réalité, il n'est point de support tellement idio-électrique, que sa substance ne soit entremêlée de particules conductrices; et

c'est en vertu de la lenteur avec laquelle le fluide franchit les intervalles entre ces dernières molécules , que la densité électrique du corps qui repose sur le support n'éprouve que des pertes insensibles , dans un espace de temps plus ou moins limité. Or , en donnant plus de longueur au support , on augmente le nombre des intervalles que le fluide est obligé de parcourir avant d'arriver aux corps environnans. De là il suit qu'étant donnée la longueur du support qui isole , aussi complètement qu'il soit nécessaire , un corps dont la densité est pareillement donnée , si l'on veut employer un autre corps chargé d'un fluide plus dense , on pourra obtenir un isolement aussi parfait que le premier , en prenant un plus long support. Coulomb a trouvé que l'état de l'air étant le même , les longueurs des supports devoient être comme les carrés des densités électriques. Ainsi , pour un second corps d'une densité double de celle du premier , il faut un support quatre fois plus long que celui qui isoloit le premier corps.

### *Des Attractions et Répulsions Électriques.*

403. Les attractions et répulsions électriques sont un des sujets dont les physiciens se soient le plus occupés , et qui ait le plus embarrassé ceux qui ont essayé de ramener à l'action d'un seul fluide deux effets diamétralement opposés , et qui souvent se succèdent rapidement l'un à l'autre dans un même corps. Mais si l'on admet ici les actions combinées de deux fluides , la théorie devient d'une simplicité si heureuse , que le seul énoncé de l'hypothèse semble être une explication abrégée des phénomènes.

Si nous supposons d'abord deux corps qui soient électrisés , chacun par une portion additive d'électricité vitrée ou résineuse , qui lui auroit été transmise , on voit à l'instant ce qui doit arriver , puisque ce principe que les corps animés de la même espèce d'électricité se repoussent , et que les corps sollicités par des électricités différentes , s'attirent , n'est que la traduction , pour ainsi dire , littérale de cet autre principe fondamental , que les molécules de chacun des fluides composans , agissent les unes sur les autres , par des forces répulsives , et exercent des forces attractives sur les molécules de l'autre fluide.

404. Ceci exige cependant quelques détails , qui trouveront leur place dans l'exposé que nous allons faire des moyens que l'on peut employer pour mettre le principe en expérience. Soient A , B (*fig. 37, Pl. VI*) , deux balles de moelle de sureau ou de toute autre matière conductrice , suspendues par des fils à une petite distance l'une de l'autre , et auxquelles on ait communiqué l'électricité vitrée. Les fluides qui enveloppent ces balles se repousseront mutuellement ; et leurs molécules se répandroient dans l'espace par des mouvemens contraires , si l'air environnant ne les maintenoit autour de chaque corps. Elles ne pourront donc que glisser sur la surface des corps , de manière , par exemple , que le fluide du corps A étant refoulé vers la partie postérieure *d* de ce corps , exercera son effort sur l'air lui-même qui avoisine ce point. L'équilibre alors étant rompu entre cet air et celui qui est contigu à la partie antérieure *c* , ce dernier agira par son ressort sur le corps A pour le pousser suivant la direction *ch* ; le même raisonnement s'applique en sens

contraire au corps B, d'où nous concluerons que les fluides et les corps entraînés par un mouvement commun doivent se fuir. On aura un résultat semblable, en supposant que les deux corps soient électrisés résineusement.

405. Concevons maintenant que l'un des deux corps, par exemple, le corps A étant sollicité par l'électricité vitrée, celle du corps B soit résineuse. Les fluides alors s'attireront de manière que, relativement au corps A que nous continuerons de prendre pour terme de comparaison, le refoulement se fera vers la partie antérieure *c* de ce corps. Le fluide, accumulé en cet endroit, agira donc par répulsion sur l'air voisin; d'où il suit que l'air contigu à la partie postérieure *d*, poussera le corps suivant la direction *dn*. Le même effet aura lieu en sens contraire par rapport au corps B, et ainsi les fluides et les corps se porteront l'un vers l'autre.

406. Maintenant, pour bien concevoir les autres cas dans lesquels il y a décomposition du fluide naturel de l'un des corps ou de tous les deux, il est nécessaire de considérer d'abord l'équilibre de deux corps qui sont dans l'état naturel. Désignons ces corps par A et par B, et bornons-nous à déterminer la manière dont A agit sur B, parce que toute action est réciproque. Or, le corps A exerce sur le corps B quatre actions différentes, qui proviennent des répulsions de ses deux fluides sur les fluides homogènes de B, et de leurs attractions sur les fluides de nature différente, et il est facile de prouver que l'équilibre dépend de l'égalité de ces quatre actions.

Nommons U le fluide vitré de A, R son fluide rési-

neux,  $u$  le fluide vitré de B, et  $r$  son fluide résineux. D'après ce que nous venons de dire, 1<sup>o</sup>. U attire  $r$ ; 2<sup>o</sup>. R repousse  $r$ ; 3<sup>o</sup>. R attire  $u$ ; 4<sup>o</sup>. U repousse  $u$ . Or, les deux premières forces sont égales entre elles; car si  $r$  étoit plus ou moins attiré par U que repoussé par R, il prendroit du mouvement, ce qui est contre l'hypothèse de l'équilibre. Les deux dernières forces sont aussi égales, par une raison semblable, c'est-à-dire, que  $u$  est autant attiré par R que repoussé par U.

De plus, la troisième force est égale à la première, c'est-à-dire, qu'autant U attire  $r$ , autant R attire  $u$ . Car, d'un côté, plus  $r$  renferme de molécules attirées, ou, ce qui revient au même, plus  $r$  a de masse, et plus l'effort avec lequel  $r$  se porte vers U est considérable; d'un autre côté, plus U renferme de molécules attirantes, et plus chaque molécule de  $r$  a de vitesse pour se porter vers U. Donc la quantité de mouvement, qui mesure l'effort total avec lequel  $r$  se porte vers U, est représentée par le produit  $r \times U$ . On prouvera, à l'aide d'un raisonnement analogue, en substituant  $u$  à  $r$ , et R à U, que l'effort total avec lequel  $u$  se porte vers R, a pour expression le produit  $u \times R$ .

Or, les fluides étant neutralisés l'un par l'autre dans chaque corps, il en résulte que les quantités de fluide U et  $u$  sont proportionnelles aux quantités de fluide R et  $r$ , c'est-à-dire, que l'on a  $r \times U = u \times R$ .

Maintenant, puisque des quatre forces que nous considérons ici, trois sont égales entre elles, et qu'il y a équilibre, il est évident que la quatrième force est égale à chacune des trois autres; et c'est par une suite de cette égalité entre les quatre forces, que deux corps,

dans l'état naturel , n'ont aucune action l'un sur l'autre.

407. Cela posé , concevons un corps conducteur A , d'une figure sphérique , électrisé en vertu d'une quantité additive de fluide vitré qu'il ait reçue d'ailleurs , et un second corps sphérique B , pareillement conducteur , et dans l'état naturel. Le fluide vitré , qui environne A , exercera une force répulsive sur le fluide de la même espèce , faisant partie du fluide naturel de B , et une force attractive sur le fluide résineux , qui est l'autre principe composant du même fluide naturel. Ce dernier fluide sera donc décomposé , en sorte que les molécules de son fluide résineux se porteront vers la partie de B la plus voisine de A , et que celles du fluide vitré seront chassées vers la partie opposée. Ces mêmes principes sortiront du corps B et se répandront autour de sa surface , de manière que le fluide de l'électricité résineuse enveloppera l'hémisphère tourné vers A , et celui de l'électricité vitrée , l'hémisphère le plus éloigné de A .

Or , en raisonnant ici du fluide additionnel de A , comme de celui qui fait partie de son fluide naturel , on concevra qu'à égalité de distance il exerceroit , sur les deux fluides de B , des actions qui se détruiroient mutuellement. Mais la distance n'étant plus la même , le fluide résineux de B sera plus attiré que le fluide vitré ; en sorte que les deux corps , s'ils sont suspendus librement , s'approcheront l'un de l'autre jusqu'au contact. Alors , la quantité additive du fluide vitré de A , s'unissant avec le fluide résineux répandu sur la surface de B , il résultera de cette union une certaine quantité de fluide naturel qui rentrera dans B ; et il est bien clair

que sur la totalité des fluides qui se trouvoient libres au moment du contact , il restera une portion du fluide vitré hors de l'état de combinaison. Cette portion se distribuera entre les deux corps , suivant une certaine loi dont nous avons parlé (398) , et les deux corps se trouvant à l'état d'électricité vitrée , se repousseront , ainsi que l'expérience le fait voir.

Le même raisonnement s'applique , par un simple changement de noms , au cas où le corps A seroit chargé d'une quantité additive de fluide résineux.

408. On voit par là qu'il n'est pas exactement vrai , comme les partisans de Francklin l'avoient d'abord pensé , qu'un corps amené à un certain état d'électricité , attire à lui un autre corps qui est dans son état naturel. Il manque , dans cette manière de concevoir le phénomène , une idée intermédiaire. Le premier corps commence par faire sortir l'autre de son état naturel : il le rend attirable , puis il l'attire.

409. Il est aisé maintenant de concevoir les effets de ces timbres métalliques , frappés alternativement par un petit globe pareillement métallique , qui sert de battant. Des deux timbres voisins *g* et *n* (fig. 38) , l'un , tel que *g* , communique avec le conducteur par le moyen de sa chaîne de suspension *Gr* ; l'autre timbre *n* est suspendu à un fil de soie , et par conséquent isolé à l'égard du conducteur , en même temps qu'il communique avec les corps environnans , par l'intermédiaire de la chaîne *nh*. Le globe métallique *d* est suspendu aussi à un fil de soie. Au moment où l'on charge le conducteur , le fluide , que nous supposerons être celui de l'électricité vitrée , se communique au timbre *g*.

À l'instant, le globule *d*, attiré par ce timbre, va le frapper, et est aussitôt repoussé, pour la raison que nous avons dite. Il tendroit donc déjà, en vertu de cette seule répulsion, à s'approcher du timbre *n* : mais il y est de plus sollicité, à raison de l'électricité acquise, puisque le timbre *n* est dans l'état naturel; enfin, le mouvement oscillatoire seconde encore cet effet. Mais aussitôt que le globule est en contact avec le timbre *n*, il lui cède son fluide, qui se perd le long de la chaîne *nh*. Alors le globule qui, en vertu du seul mouvement d'oscillation, se seroit rapproché du timbre *g*, se trouve encore attiré vers lui par l'action du fluide électrique répandu à la surface de ce dernier; en sorte que les mêmes causes recommençant à agir, les mêmes effets se répètent, et ainsi successivement.

410. Si le corps *A*, dont nous avons parlé plus haut (407), étant toujours conducteur, le corps *B* est idio-électrique, alors les effets seront les mêmes jusqu'au contact, avec cette différence, que les deux fluides de *B* resteront accumulés dans l'intérieur de ce corps, l'un vers la partie voisine de *A*, l'autre vers la partie opposée. Après le contact, le fluide additionnel de *A* ne pouvant pénétrer le corps *B*, pour s'unir avec celui d'une espèce différente que renferme ce même corps, l'attraction subsistera, et les deux corps resteront appliqués l'un à l'autre. Suspenez un petit globe de cire d'Espagne à un fil de soie, auprès d'un conducteur; au moment où ce conducteur sera électrisé, le globe s'en approchera jusqu'au contact, et ne le quittera plus.

411. On peut imaginer d'autres hypothèses, en fai-

sant varier les états et les natures des corps A et B, et obtenir, dans chaque hypothèse, des résultats analogues aux précédens. Parmi tous ces différens résultats, nous nous bornerons à un seul qui nous sera utile pour la suite. Concevons que les deux corps A et B soient idio-électriques, et que le fluide naturel de chacun eit été décomposé dans son intérieur. Supposons de plus ces deux corps situés l'un dans la sphère d'activité de l'autre, en sorte que la partie de A qui renferme le fluide vitré, regarde celle de B qui renferme le fluide résineux. Si chacun des deux fluides de A agissoit, à la même distance, sur l'un ou l'autre des fluides de B, il y auroit équilibre entre leurs actions. Mais comme le fluide vitré agit de plus près, sa force l'emportera, en sorte que l'on pourra considérer A comme un corps qui agiroit uniquement en vertu d'une quantité  $n$  de fluide vitré, proportionnelle à la différence des deux actions. Or, il est facile d'en conclure que le fluide résineux de B étant, à son tour, plus voisin du point dans lequel l'action de  $n$  est censée résider, que ne l'est le fluide vitré du même corps B, l'attraction de  $n$  sur le premier sera plus forte que la répulsion sur le second; d'où il suit que les deux corps s'approcheront l'un de l'autre. Si, au contraire, les deux parties par lesquelles les corps se regardent, étoient animées d'une même espèce d'électricité, les deux corps se fuiroient.

412. Les attractions et répulsions électriques se présentent, dans certains cas, sous l'apparence d'un effet qui seroit dû à l'action simultanée de deux causes contraires; et ce sont surtout les phénomènes de ce genre qui ont séduit les partisans des affluences et des effluences.

fluences. Placez des corps légers, tels que de petites feuilles de cuivre, sur un conducteur qui soit d'abord à l'état naturel, et d'autres en-dessous à une petite distance; au moment où vous électriserez le conducteur, celles-là seront repoussées, tandis que les autres seront attirées pour être ensuite repoussées à leur tour. On attribuoit le premier effet à la matière effluente, et le second à la matière affluente. De plus, il arrive quelquefois que certaines feuilles, tandis qu'elles étoient attirées, reculent subitement avant d'être arrivées au contact: c'est qu'alors elles se trouvoient aux endroits où les deux courans se heurtoient en se rencontrant. Mais la véritable explication de ces phénomènes se présente comme d'elle-même, d'après les principes que nous avons établis. Les corps légers, placés sur le conducteur, sont repoussés, parce qu'il leur communique une portion de son fluide. Ceux qui étoient situés en dessous éprouvent la plupart une attraction qui les porte jusqu'au contact, et à laquelle succède une répulsion, parce que leur partie tournée vers le conducteur, qui étoit d'abord sollicitée par une électricité contraire à la sienne, en acquiert une de la même nature aussitôt qu'elles sont parvenues au contact; et quant aux petits corps qui fuient le conducteur avant de l'avoir touché, leur mouvement rétrograde provient de ce que, quand l'électricité est un peu forte, il y a toujours quelques jets de fluide qui s'échappent du conducteur à travers l'air environnant, et qui se portent de préférence sur ceux des mêmes corps qui, étant terminés en pointe, sont par là même très-propres à soutirer le fluide électrique, ainsi que nous le verrons dans la suite; en

sorte qu'ils subissent d'avance l'effet qui n'auroit eu lieu qu'au contact.

413. Nous observerons ici que la répulsion des corps que l'on regardoit comme étant électrisés négativement, a toujours été l'écueil des théories. Il falloit tâcher de concevoir comment ces corps, dont chacun avoit perdu une partie de son fluide, étoient déterminés à s'écartier l'un de l'autre, tandis qu'une surabondance de fluide produisoit précisément le même effet. La plupart des physiciens qui ont tenté de résoudre cette difficulté, ont eu recours à l'action de l'air environnant, qu'ils expliquoient par différens mécanismes que nous ne nous arrêterons point à exposer.

Cependant il y avoit tout lieu de penser que quand, par exemple, on avoit électrisé, d'une part, deux morceaux de résine, et de l'autre, deux corps vitreux, à l'aide du frottement, la répulsion mutuelle des premiers et celle des seconds étoient des effets, en quelque sorte, parallèles, dont il falloit chercher les causes dans les corps eux-mêmes.

414. Ceci nous conduit à une considération qui achevera de motiver l'hypothèse dans laquelle le fluide électrique seroit composé de deux fluides différens. Tant que l'on s'est borné à employer, relativement à l'électricité, ces méthodes qui ne donnent que des à peu près, et laissent au physicien la liberté d'accommoder à sa manière de voir ce qui se passe dans les phénomènes, on croyoit satisfaire à tout avec un seul fluide. Mais pour bien juger ces méthodes, il faut se reporter au temps où le célèbre Æpinus entreprit de ramener la théorie à la précision et à la justesse, et de la mettre en

état de soutenir l'épreuve du calcul. Il partit du principe que les molécules du fluide électrique, qui dans cette théorie étoit considéré comme un être simple, se repousoient mutuellement, et pouvoient être attirées par tous les corps connus. Supposant ensuite deux corps A et B dans l'état naturel, et par conséquent en équilibre, il trouvoit d'abord que la matière propre du corps A, par exemple, attiroit le fluide électrique de B, et que les fluides des deux corps se repousoient mutuellement, et il prouvoit que l'attraction étoit égale à la répulsion (1). Mais de plus, le fluide électrique de A attiroit, à son tour, la matière propre de B, et cette troisième action étoit encore égale à chacune des deux premières. Or, puisqu'il y avoit équilibre, il falloit trouver quelque part une quatrième force qui fût répulsive, et qui balançât l'effet de la troisième. Mais toutes les autres places étant prises, il n'en restoit plus, pour cette répulsion, que dans l'action mutuelle des molécules des deux corps; et ainsi Æpinus se trouva entraîné, par la théorie, dans cette étrange conséquence, que, sous le point de vue des phénomènes électriques, les molécules de tous les corps se repousoient. On voit, en lisant son ouvrage, qu'il rejeta cette conséquence avec une espèce d'indignation, la première fois qu'elle s'offrit à son esprit (2), et qu'il eut besoin

(1) Le raisonnement qui le conduisait à ce résultat étoit semblable à celui que nous avons employé (406) pour démontrer l'égalité des actions qu'exercent, les uns sur les autres, les fluides de deux corps dans l'état naturel.

(2) *Tentamen theor. electrlc. et magnet.*, p. 39.

de se réconcilier avec elle. Effectivement , il étoit dur d'être obligé d'avouer qu'il ne tenoit qu'à la présence du fluide électrique que les molécules de tous les corps solides ne parussent exercer les unes sur les autres une action directement opposée à la gravitation universelle. C'étoit donner à la théorie un adversaire bien puissant et bien redoutable. On pare à cet inconvénient , en concevant le fluide électrique comme formé par la réunion de deux fluides , dont l'un fait la fonction qu'Æpinus attribuoit aux molécules des corps. Il répugne beaucoup moins d'admettre une répulsion à distance entre les molécules de deux fluides particuliers qui , comme tous les autres , se repoussent déjà au contact , qu'entre celles de tous les corps solides de la nature. Les physiciens qui expliquoient tout avec un seul fluide , avoient commencé eux-mêmes à croire que ses molécules se repoussoient aussi , à distance , d'une surface à l'autre de la bouteille de Leyde ; et comme ce que nous appelons *action à distance* n'est proprement qu'un fait sur lequel nous appuyons une théorie , sans rechercher la cause qui fournit le point d'appui , il nous suffit que la manière dont nous concevons ce fait puisse s'adapter à notre physique , et que toutes nos hypothèses se lient dans notre esprit , comme les véritables causes , dont elles nous servent à représenter les résultats , sont liées dans les desseins de la Sagesse suprême. Enfin , l'hypothèse des deux fluides est la seule , jusqu'ici , qui ait , relativement aux deux espèces d'électricité , l'avantage d'établir une parité exacte entre les actions qui produisent des phénomènes que l'observation nous offre sous des traits si ressemblans , et de ramener tout à des

explications dont l'une n'est, pour ainsi dire, que la contr'épreuve de l'autre.

### Du pouvoir des Pointes.

415. Le phénomène dont nous allons maintenant nous occuper, et que l'on a appelé *le pouvoir des pointes*, est, parmi ceux que présente l'électricité, un des plus remarquables, soit en lui-même, soit par les applications utiles qui en ont été faites pour préserver les édifices des explosions de l'électricité naturelle. Nous nous bornerons, pour l'instant, à le décrire et à en donner la théorie.

Rappelons-nous d'abord que quand un corps isolé, qui étoit auparavant à l'état naturel, se trouve en présence d'un second corps chargé d'électricité de l'une ou l'autre espèce, il devient lui-même électrique, et cela de manière que sa partie la plus voisine du second corps est toujours sollicitée par l'électricité contraire à celle de ce corps. Il arrive de même des changemens dans l'état d'un corps conducteur non isolé, qui se trouve dans la sphère d'activité d'un corps électrisé. L'action de celui-ci attire dans la partie antérieure du corps non isolé l'espèce d'électricité différente de la sienne, et repousse dans la partie postérieure l'électricité de la même nature. Or, le second corps agit à son tour sur le premier; il tend à attirer son électricité, et cette action est si forte, dans certaines circonstances, qu'elle enlève l'électricité au premier corps, même à une distance très-sensible : c'est ce qui arrive lorsque l'on présente une pointe déliée de métal à un conducteur chargé d'élec-

tricité ; et il est singulier de voir un corps , dont l'action sembleroit devoir être proportionnée à sa petitesse , soutirer si puissamment l'électricité accumulée sur une surface considérable , et arrêter presque entièrement , en un clin d'œil , tous les efforts du physicien , pour continuer de charger le conducteur.

416. Francklin est le premier qui ait observé ce pouvoir des pointes , et il crut d'abord l'avoir heureusement expliqué , d'après la comparaison entre une pointe et une petite force , qui exécute , en détail et par des actions répétées , ce dont une grande force est incapable , par une seule action dirigée vers la totalité de l'effet . Mais il se défia depuis de son explication , et il en fait l'aveu avec cette belle franchise qui est , pour les vrais savans , une autre manière encore de s'honorer que par des découvertes (1).

Sans nous arrêter à d'autres explications déjà réfutées , même par les partisans de ceux qui en étoient les auteurs , nous allons essayer de raimener le fait dont il s'agit à la théorie que nous avons adoptée .

417. L'observation prouve qu'un corps , même ar-

---

(1) Expér. et Observ. sur l'Électricité; Paris, 1752, p. 144 et suiv. On voit par l'exposé que ce célèbre physicien fait lui-même de son idée , qu'elle lui a été suggérée par le trait si connu de Sertorius , qui , voulant montrer à ses soldats combien la persévérance est plus efficace que la fougue , ordonna à un homme bien constitué et plein de vigueur , d'arracher tout d'un coup la queue d'un cheval vieux et maigre ; et à un autre homme , fluet et débile , d'arracher crin à crin la queue d'un cheval jeune et robuste . Ce dernier parvint , avec le temps , à remplir sa tâche : les efforts de l'autre n'aboutirent qu'à faire rire les spectateurs. *Ibid.*, p. 152.

rondi, a déjà une certaine force pour attirer le fluide d'un conducteur électrisé, puisqu'il en fait sortir quelquefois des étincelles à la distance de plus d'un décimètre. Il faut donc faire voir que la force d'une simple pointe, pour produire le même effet, est incomparablement plus grande.

Concevons d'abord une seule aiguille *a b* (fig. 39), dont la pointe *a* soit tournée vers un conducteur *C* que nous supposerons chargé d'électricité vitrée, et dont l'extrémité *b* communique avec les corps environnans. L'action du conducteur attirera vers la pointe *a* le fluide résineux *r* qui s'est dégagé du fluide naturel de l'aiguille, et repoussera vers l'extrémité *b* le fluide vitré *v*. Supposons maintenant une seconde aiguille *g d*, placée à une petite distance de la première, dans une direction parallèle à la sienne, et imaginons, pour un instant, que les deux aiguilles n'aient aucune action l'une sur l'autre. Le fluide *V* du conducteur attirera de même vers la pointe *g* une certaine quantité de fluide *v'* égale à *r*, et provenue de la décomposition du fluide naturel de l'aiguille, tandis qu'il repoussera vers la partie opposée *d* une autre quantité de fluide *v''* égale à *v*. Rétablissons maintenant l'action des deux aiguilles, l'une à l'égard de l'autre; les fluides *r* et *v'* en s'attirant mutuellement, tendront à se mouvoir l'un de *a* vers *b*, l'autre de *d* vers *g*. Pareillement l'attraction réciproque des fluides *r'* et *v* agira pour ramener l'un de *g* vers *d*, et l'autre de *b* vers *a*. Or, ces effets balancent, en partie, celui du conducteur pour attirer vers l'extrémité de chaque aiguille le fluide de l'électricité contraire à la sienne.

L'action mutuelle des deux aiguilles deviendra encore plus sensible, si on les rapproche l'une de l'autre, parce qu'elle s'exercera à une moindre distance, et suivant des directions moins obliques.

Au lieu de deux aiguilles, supposons-en un très-grand nombre qui soient réunies en faisceau, et ne forment plus qu'un même corps. Elles agiront de même les unes sur les autres pour détruire en partie l'action électrique du conducteur par rapport à chacune d'elles, et cela d'autant plus, que leur proximité leur donnera un grand avantage, relativement à la position plus éloignée du conducteur, par une suite de la loi en raison inverse du carré de la distance à laquelle sont soumises les forces électriques. Il en résulte que le fluide de l'électricité résineuse sera incomparablement moins condensé vers l'extrémité du faisceau d'aiguilles, qu'il ne l'eût été vers celle d'une aiguille isolée.

Or, chaque aiguille réagit sur le conducteur dont elle attire l'électricité; et pour que la force de cette réaction produise l'effet observé, il suffit que l'équilibre soit rompu dans un seul point entre la tendance de l'électricité à s'échapper du conducteur, et la résistance de l'air. La réaction dont il s'agit sera donc beaucoup plus efficace de la part d'une seule aiguille, à l'extrémité de laquelle l'électricité résineuse est très-condensée, et dont toute l'activité se dirige vers un même point du conducteur, que de la part d'un faisceau d'aiguilles dont les forces s'entre-nuisent et ne sont point assez rapprochées; et ainsi une aiguille isolée deviendra capable de provoquer un effluve rapide de fluide électrique, qui abandonnera le conducteur pour se précipi-

ter sur elle , et qu'elle transmettra aux corps environnans , après quoi elle recommencera aussitôt à soutirer de nouveau fluide , si l'on continue de charger le conducteur .

Or , un corps arrondi peut être comparé à un faisceau d'aiguilles , qui n'exerce qu'une foible action pour dépouiller le conducteur de son électricité ; tandis qu'un corps terminé en pointe soutire puissamment cette électricité , par une action semblable à celle de l'aiguille isolée dont nous venons de parler .

418. On a observé aussi qu'un conducteur , sur lequel on a fixé une aiguille , présente , en quelque sorte , l'effet inverse du précédent . Le fluide électrique , dans ce cas , est lancé rapidement par la pointe de l'aiguille à mesure qu'il arrive au conducteur . On expliquera cet effet de la même manière , en supposant d'abord plusieurs aiguilles attachées au conducteur , et en considérant que les forces répulsives mutuelles des portions de fluide répandues dans ces aiguilles , balancent l'action du conducteur pour chasser son propre fluide vers leurs extrémités . Or , on peut substituer , par la pensée , à une partie quelconque d'un conducteur arrondi , un faisceau d'aiguilles qui agissent les unes sur les autres de la manière que nous venons de le dire . Maintenant , qu'une seule aiguille dépasse les autres , ce qui est le cas d'un conducteur terminé en pointe , cette aiguille isolée se trouvera débarrassée de toutes les actions répulsives qu'exerceroient sur elle d'autres aiguilles voisines , pour empêcher le conducteur de repousser une partie de son propre fluide vers l'extrémité de la même aiguille ; et comme cette partie de

fluide, qui n'occupe qu'une très-petite surface, tend à s'y condenser extrêmement, pour faire seule équilibre à tout le reste du fluide répandu autour du conducteur, sa densité deviendra bientôt capable de vaincre la résistance de l'air, et le fluide s'échappera par la pointe, à mesure qu'il sera fourni par le conducteur.

419. De quelque manière qu'un corps aigu soit électrisé, il se produit à son extrémité une lumière que l'on peut apercevoir dans l'obscurité. Mais cette lumière varie dans son aspect, suivant la nature de l'électricité qui agit sur le corps aigu. Supposons qu'un corps de cette figure soit fixé sur un conducteur électrisé vitreusement : dans ce cas, le fluide vitré sortira sous la forme d'une belle aigrette lumineuse, dont les rayons exciteront dans l'air un mouvement de vibration accompagné d'un léger bruissement. Si, au contraire, le conducteur est électrisé résineusement, on ne verra qu'un point lumineux à l'extrémité du corps aigu.

420. La même diversité d'effets aura lieu, dans le cas où le corps aigu, étant en communication avec les corps environnans, auroit sa pointe tournée vers un conducteur électrisé ; le corps aigu donnera une aigrette, si cette électricité est résineuse, et un simple point de lumière, si elle est vitrée. On peut obtenir ces deux effets en présentant une pointe de métal alternativement vis-à-vis du crochet et de la garniture extérieure d'une bouteille de Leyde, chargée à l'ordinaire, et suspendue dans l'air au moyen d'un cordon de soie ; on verra le point lumineux et l'aigrette se succéder en devenant toujours moins sensibles, et finir par disparaître, au moment où la bou-

teille qui , dans ce cas , se décharge peu à peu , aura repris son état naturel .

Cette expérience fournit , comme l'on voit , un moyen simple de distinguer l'espèce d'électricité dont un conducteur est chargé , en lui présentant une pointe à la distance de quelques centimètres . Nous reviendrons dans la suite sur les circonstances qui peuvent modifier ainsi l'aspect de la lumière produite par les phénomènes dont nous venons de parler .

421. Lorsqu'on approche d'un conducteur électrisé un autre corps de nature conductrice , et d'une forme arrondie , l'action de celle-ci , beaucoup moins forte que dans le cas d'une pointe , se borne d'abord à attirer dans la partie antérieure du conducteur une nouvelle quantité de fluide , qui est maintenue par la résistance de l'air ; cette quantité augmente , et en même temps les deux parties par lesquelles les corps se regardent , s'électrisent de plus en plus , à mesure que la distance diminue ; et il y a un terme où l'air cédant à la force d'attraction qui sollicite les deux fluides , ceux-ci s'échappent avec une espèce d'explosion , pour se réunir l'un à l'autre , et cette explosion est accompagnée d'une vive étincelle .

Tous ceux qui ont vu des expériences électriques , savent qu'un homme placé sur un support à isoler et mis en communication avec le conducteur de la machine , devient à son tour capable d'étinceler , et d'offrir divers autres phénomènes observés , pour la première fois , par Dufay , qui ne pouvoit revenir de sa surprise , en voyant que le pouvoir de les produire , déjà si singulier dans la machine , avoit passé dans l'observateur lui-même .

On sait aussi que lorsqu'on présente à cet homme élec-

brisé une cuiller pleine d'alkohol légèrement chauffé, ou d'éther à froid, l'approche de son doigt fait naître à la fois la lumière et l'inflammation.

422. Une des expériences les plus intéressantes, relatives à la faculté qu'a le fluide électrique d'allumer différens corps, est celle qui se fait au moyen d'un instrument dont l'invention est due au célèbre Volta, et qui porte le nom de *pistolet électrique*. Il consiste dans un vase de cuivre en forme de sphéroïde allongé, qui est percé à ses deux sommets. Dans l'une des ouvertures, on introduit un tube de verre exactement de même diamètre, qui, d'un côté, dépasse le vase d'environ un centimètre, et de l'autre, se prolonge à l'intérieur jusque vers le milieu de la cavité du vase. Ce tube est traversé par une tige métallique, dont la partie supérieure, qui est saillante au-dessus de la sienne, porte une boule du même métal, et dont la partie inférieure excède aussi le prolongement du tube à l'intérieur. L'autre ouverture, qui est beaucoup plus grande, sert à introduire dans le vase un mélange de parties égales de gaz inflammable et d'air atmosphérique, après quoi on ferme l'ouverture avec un bouchon. On prend ensuite le vase dans la main par le milieu de sa convexité, et l'on présente la boule de métal située au-dessus du tube à un conducteur électrisé, pour en tirer une étincelle. Le fluide électrique ne pouvant se communiquer au vase, parce que le tube l'en empêche, passe le long de la tige qui traverse ce tube, et à l'instant le gaz inflammable s'allume, et sort avec une vive explosion, en faisant sauter le bouchon qui s'oppose à son passage.

423. Nous avons vu que le fluide électrique, vitré ou résineux, à l'état de liberté, n'a aucune affinité pour les différens corps, et n'est maintenu à leur surface que par la résistance de l'air environnant. Cette observation suffit pour indiquer que si l'on supprime l'air qui entoure un corps conducteur électrisé, le fluide sera sollicité par la force répulsive mutuelle de ses molécules à se répandre dans l'espace, et l'expérience fait voir que cette espèce d'effusion est toujours accompagnée de lumière. Ayez un long tube de verre, terminé d'un côté par une virole de cuivre, et de l'autre par un robinet que vous ouvrirez pour faire le vide dans le tube, et que vous fermerez ensuite exactement; mettez la virole en contact avec un conducteur qui reçoit sans cesse de nouveau fluide au moyen de la machine électrique, et tenez en même temps le tube par le robinet; vous verrez paroître un flot d'une lumière purpurine, qui remplira le tube, et se renouvelera continuellement. Si vous vous servez de la virole pour faire étinceler le conducteur, le jet de lumière, dont l'apparition, dans ce cas, aura lieu par de petites interruptions, en deviendra beaucoup plus éclatant. On a cherché à diversifier le phénomène, en modifiant de plusieurs manières l'appareil destiné à le produire, pour déterminer le fluide à prendre la forme d'une cascade, d'une gerbe, d'un soleil, et multiplier, par rapport à l'œil, les beaux effets de ces expériences, dignes d'occuper un des premiers rangs parmi celles qui font spectacle.

424. Lorsque le fluide électrique est déterminé à s'échapper d'un corps, et à traverser l'air environnant, il

arrive assez souvent qu'il y répand une odeur analogue à celle de l'ail ou du phosphore. Cette odeur devient surtout sensible, lorsqu'on s'approche d'une aigrette lumineuse qui s'élance d'un corps aigu fixé sur le conducteur de la machine.

### *De l'Expérience de Leyde.*

425. Nous voici arrivés à l'explication d'un des faits les plus importans qui aient été découverts, relativement à l'électricité : c'est celui qui est connu sous le nom d'*expérience de Leyde*. Quelques-uns attribuent cette découverte à Cunéus, d'autres à Musschenbroek, qui en fit part aussitôt à Réaumur. Jamais la nouvelle d'un événement extraordinaire n'excita une sensation plus générale. Il n'y eut personne qui ne voulût se faire électriser ; c'étoit l'expression dont on se servoit, et qui s'est perpétuée, comme si la singularité de l'expérience avoit fait oublier qu'il y avoit beaucoup d'autres manières d'électriser un corps. L'intérêt même fit des physiciens qui étaloient des machines électriques sur les places, et, pour la première fois, la multitude courut y admirer des merveilles au lieu de prestiges.

Voici d'abord la manière ordinaire dont se fait l'expérience : on a une bouteille de verre *ag* (*fig. 40*), dont la surface extérieure est reconverte d'une feuille d'étain battu, jusqu'à une certaine hauteur *cd*. L'intérieur est rempli, jusqu'à la même hauteur, de menu plomb ou de feuilles minces de cuivre. Dans l'explication que nous donnerons des effets de la bouteille, nous considérerons cette matière intérieure, comme tenant lieu d'une garniture semblable à celle qui est appliquée sur la surface

extérieure. La bouteille a un bouchon de liège, traversé par une tige *a n* de métal, dont la partie inférieure communique avec les corps qui garnissent la capacité de la bouteille, et dont la partie supérieure, qui est recourbée, se termine par une boule métallique *b*. On prend d'une main la bouteille par le bas, et l'on met la boule *b* en contact, pendant quelques instans, avec le conducteur d'une machine électrique dont le plateau est en mouvement; on retire ensuite la bouteille, et on touche la boule *b* avec un doigt de l'autre main, ou avec un corps métallique que l'on tient dans cette même main. Aussitôt on se sent frappé avec plus ou moins de violence dans les deux bras, surtout aux articulations, et quelquefois même dans la poitrine et dans d'autres parties du corps.

Francklin faisoit consister la cause du phénomène que nous venons d'exposer, dans l'accumulation du fluide électrique sur la surface intérieure de la bouteille, tandis qu'une égale portion de celui de la surface extérieure étoit chassée dans les corps environnans par la force répulsive du premier fluide. Il en résultoit que la quantité absolue d'électricité contenue dans la bouteille étoit la même qu'auparavant, la surface extérieure ayant perdu autant de fluide, dans le passage à l'état négatif, que la surface intérieure en avoit reçu du conducteur dans le passage à l'état positif. La décharge avoit lieu par une restitution subite, que faisoit la surface intérieure à la surface extérieure, de tout le fluide qu'elle avoit de plus qu'elle, au moyen de la communication établie entre les deux surfaces.

Æpinus ajouta à cette explication un nouveau degré de précision et de justesse; et c'est en nous rapprochant

de ses principes que nous allons la développer , d'après l'hypothèse des deux fluides.

426. Pour nous faire une idée plus nette de la manière dont se charge la bouteille , rappelons-nous d'abord le cas où un corps conducteur , à l'état naturel et non isolé , s'approche par degrés du conducteur d'une machine ordinaire , dont le plateau est en mouvement (415) . Dans ce cas , le fluide naturel du premier corps est décomposé , et le fluide vitré qui résulte de cette décomposition est repoussé dans les corps environnans , tandis que le fluide résineux est attiré vers l'extrémité qui regarde le conducteur de la machine. La quantité de ce fluide augmente à mesure que la distance diminue entre les deux corps ; mais son accroissement n'a lieu que jusqu'au terme peu reculé , où l'attraction réciproque entre ce fluide et le fluide vitré fourni par la machine , devient capable de surmonter la résistance de l'air , et détermine ces fluides à s'échapper pour se réunir. Supposons maintenant que l'on place entre les deux corps une lame de verre qui , étant à la fois solide et imperméable au fluide électrique , oppose un obstacle comme invincible à la réunion des fluides vitré et résineux qui , dans le cas précédent , s'ouvraient bientôt un passage à travers les molécules mobiles de l'air. Rien alors n'empêchera de mettre le conducteur de la machine et le corps non isolé en contact l'un et l'autre avec les faces de la lame de verre , et cette proximité donnera lieu à un dégagement beaucoup plus abondant des deux fluides , qui d'ailleurs ne pourront se réunir ; et si l'on suppose , de plus , que chacune des faces de la lame de verre soit garnie d'une feuille de métal qui se termine à une certaine distance

des

des bords , pour empêcher la communication d'une surface à l'autre , chaque fluide se répandra sur la garniture située de son côté , et cet effet , dû à l'attraction réciproque des deux fluides , ira en augmentant , jusqu'à une certaine limite que nous déterminerons dans un instant.

Voilà , en général , ce qui se passe lorsqu'on charge une bouteille de Leyde. Cet instrument n'est autre chose qu'un intermédiaire entre deux fluides , l'un vitré fourni par le conducteur , l'autre résineux fourni par les corps environnans , dont le développement , beaucoup plus considérable que celui qui auroit lieu sans cet intermédiaire , prépare une explosion beaucoup plus forte , lorsqu'ensuite ces fluides se réuniront subitement à l'instant de la décharge.

427. Maintenant pour entrer dans les détails relatifs à l'explication du phénomène , concevons que A B (fig. 41) représente un segment de la lame de verre qui forme le ventre de la bouteille armée à l'ordinaire , *inpl* une portion de la matière métallique contiguë à la surface intérieure , et *oxst* une portion de la feuille d'étain qui recouvre la surface extérieure ; que D soit un conducteur qui fasse partie d'une machine électrique , et touche le métal *in* par son extrémité , et qu'enfin *ch* soit une chaîne ou une matière conductrice quelconque adhérente par une extrémité au métal *ox* , et en communication avec le réservoir commun par son extrémité opposée.

Supposons que le conducteur D acquière , par le mouvement du plateau , une certaine quantité de fluide vitré. Aussitôt que ce fluide commence à se répandre sur le métal *in* , son action décompose le fluide naturel

de la chaîne et de tous les corps environnans auxquels cette action peut s'étendre ; d'où l'on conclura , en appliquant ici les principes exposés précédemment (426) , que la surface *ox* doit se charger de fluide résineux aux dépens de la chaîne et des corps voisins , tandis que le fluide vitré , sorti de la combinaison , est repoussé dans un sens contraire au mouvement du premièr.

Soit  $v'$  une molécule de fluide vitré , qui s'échappe le long de la chaîne. Soit  $R$  la quantité de fluide résineux qui , à cet instant , est répandu sur la surface *ox* , et  $V$  celle de fluide vitré qui appartient à la surface *in*. La molécule  $v'$  en même temps qu'elle obéit à la force répulsive du fluide  $V$  , est sollicitée par l'attraction du fluide  $R$  qui tend à la retenir ; et puisque la répulsion de  $V$  l'emporte , et que d'ailleurs elle agit de plus loin sur la molécule  $v'$  , nous en conclurons que la quantité de fluide vitré contenue dans  $V$  est plus grande que la quantité de fluide résineux renfermée dans  $R$  , ce qui est plus exact que dans la théorie de Francklin ( 425 ) , où l'on supposoit les deux surfaces également électrisées , l'une en plus , l'autre en moins.

D'une autre part , les molécules qui composent le fluide  $R$  , tendent à se fuir en vertu de leur force répulsive mutuelle. Mais cette force est balancée par l'attraction des molécules du fluide  $V$  , qui regagnent , par l'avantage du nombre , ce qu'elles perdent encore ici du côté de la distance. Ces dernières molécules sont de même sollicitées à s'écartier , en se repoussant mutuellement , et cette force ne peut être entièrement vaincue par l'attraction du fluide  $R$  , dont la quantité est moindre , et qui agit de plus loin que la répulsion

dont il s'agit. Ainsi, il y aura une portion excédente de fluide V, qui ne sera maintenue que par la résistance de l'air environnant.

Nous pouvons donc imaginer que le fluide V soit composé d'une portion U, qui est retenue le long de *in* par l'attraction de R, et d'une autre portion *u*, dont les molécules ne trouvent d'obstacle à l'effet de leur répulsion mutuelle, que dans la résistance de l'air (1).

Si l'on continue d'électriser le conducteur D, la quantité de fluide dont V s'accroîtra, déterminera la décomposition d'une nouvelle portion du fluide naturel contenu dans les corps en communication avec *ox*; mais en même temps l'attraction du fluide R, devenu plus abondant, s'accroîtra à l'égard de chaque nouvelle molécule *v'* qui tend à s'échapper, ce qui exigera que la quantité *u* de fluide vitré, employée à compenser la distance, augmente de son côté, et il y aura un terme où le fluide *u* n'aura plus que la force nécessaire pour balancer la résistance de l'air. Passé cette limite, si l'on poursuit l'électrisation, toutes les nouvelles molécules de fluide que le conducteur D fournira, s'échapperont successivement, c'est-à-dire, que la lame de verre se trouvera parvenue à son point de saturation; car on voit bien qu'alors il ne pourra plus rien se dégager des corps en communication avec *ox*, parce qu'autant la force de V agiroit pour repousser, par exemple, une molécule de fluide vitré qui sortiroit de

(1) Il est visible que la quantité de fluide U sera toujours moindre que la quantité de fluide R, comme cette dernière est moindre que celle qui est renfermée dans V ou dans U+*u*.

la combinaison , autant l'attraction de R agiroit pour la retenir.

Les choses étant dans cet état , vous détachez la chaîne *ch* , et vous appliquez un doigt sur la surface *ox*. Il n'arrivera rien de nouveau en vertu de ce contact ; car vous ne faites que substituer votre doigt à la chaîne dont tous les points étoient sollicités , ainsi que nous l'avons remarqué , par des forces qui se faisoient équilibre. Maintenant vous portez le même doigt sur la surface *in*. Or , ici l'équilibre n'a plus lieu , parce que rien ne balance l'action de la portion de fluide *u* , qui n'est retenue que par la résistance de l'air. Cette portion excédente agira donc sur le fluide naturel du doigt , pour le décomposer ; elle repoussera le fluide vitré de ce doigt vers les parties postérieures , et s'unira avec le fluide résineux , pour recomposer du fluide naturel qui se perdra dans les corps environnans.

Quant au fluide U , il continuera d'être maintenu sur la surface *in* , par l'attraction du fluide R , et l'équilibre sera rétabli entre les forces électriques rapportées aux différens points de cette surface. Mais il sera rompu à la surface *ox* , parce que la portion d'électricité résineuse qui s'y trouvoit retenue par l'attraction du fluide *u* , que le doigt a enlevé , ne le sera plus que par l'air adjacent. Donc , si vous ramenez le doigt vers la surface *ox* , il se fera de nouveau une décomposition du fluide de ce doigt en sens contraire , de manière que la partie vitrée du même fluide s'unira avec celle du fluide R , qui étoit en excès.

Il est facile maintenant de concevoir qu'en appliquant successivement le doigt sur les deux faces , où

l'équilibre , entre les forces électriques , sera de même troublé tour à tour , vous parviendrez par degrés à décharger entièrement la bouteille , c'est-à-dire , que chacune des deux surfaces se dépouillera de son excès d'électricité vitrée ou résineuse , après quoi elle se trouvera ramenée à son état naturel. On observe , en pareil cas , que le rétablissement de l'équilibre devient sensible , chaque fois , par une petite étincelle qui jaillit entre le doigt et la surface touchée.

Or , si au lieu de décharger ainsi la lame de verre en détail , vous appliquez en même temps les deux mains sur les deux faces opposées de cette lame , tous les effets qui se succédoient dans la première manière d'opérer , concourront à la fois ; en sorte que les deux faces attireront les fluides d'espèce différente , qui font partie du fluide naturel des deux bras , pour se combiner avec ces fluides , et repousseront , avec la même vitesse , les fluides hétérogènes l'un vers l'autre ; et c'est à cette complication d'effets , qui ont lieu avec une grande énergie et d'une manière sensiblement instantanée , qu'est due , en général , la forte commotion qu'éprouve celui qui fait l'expérience de Leyde. C'est un résultat de mécanique , si l'on se borne à considérer les forces dont il dépend. C'est une double opération d'analyse et de synthèse , si l'on conçoit ces forces comme existantes dans des agens suggérés par une théorie plausible.

428. Lorsqu'on décharge la lame de verre par des contacts répétés , comme nous l'avons exposé il n'y a qu'un instant , les quantités de fluide vitré ou résineux , que le doigt enlève successivement à chaque surface

*in* ou *ox*, diminuent nécessairement d'un contact à l'autre. Biot ayant cherché, par le calcul, la loi de cette diminution, a été conduit à ce résultat intéressant, que les quantités de fluide dont il s'agit forment une progression géométrique (1).

---

(1) Voici la démonstration de ce résultat, telle que son célèbre auteur a bien voulu nous la confier. Soit A (*fig. 42, Pl. VII*) la surface de la lame de verre qui communiquoit avec le conducteur, B celle qui communiquoit avec le sol; désignons par E la quantité de fluide vitré qui étoit accumulée sur A au moment où l'on a isolé la lame, et par *e* la quantité de fluide résineux qui étoit fixée sur B. Il y aura entre E et *e* un certain rapport dépendant de l'épaisseur de la lame; ce rapport sera constant pour une même lame, puisque si E dissimule *e*, *kE* dissimulera *ke* à la même distance. On aura donc entre *e* et E l'équation  $e+mE=0$ , *m* étant une constante positive et moindre que l'unité.

Au moment où l'on touche A, une partie du fluide qui s'y trouvoit accumulé s'éconde dans le sol, et il ne reste que la quantité que *e* peut dissimuler à distance. Soit E' cette quantité; il y aura entre E' et *e* la même relation qu'entre *e* et E, ce qui donnera  $E'+me=0$ . La tension sera alors du côté de l'électricité *e*. Si l'on touche ensuite B, il y restera une certaine quantité d'électricité que nous nommerons *e'*; la tension renaîtra sur l'autre face, et l'on aura  $e'+mE'=0$ .

En continuant de représenter les effets des différens contacts, on trouvera une série d'équations semblables aux précédentes; et en les réunissant à celles-ci, on aura,

$$e+mE=0.$$

$$E'+me=0.$$

$$e'+mE'=0.$$

$$E''+mc'=0.$$

$$e''+mE''=0.$$

$$E^{(n+1)}+mc^{n+1}=0, \quad n \text{ étant le nombre des contacts.}$$

On tire de

429. Ce qui rendoit l'expérience de Leyde encore plus curieuse, c'est qu'on pouvoit la faire en société; de sorte que plusieurs centaines de personnes rangées en demi-cercle, étoient toutes frappées au même instant. On résolut d'étendre encore le champ de l'expérience,

là les deux systèmes suivans d'équations, qui se rapportent chacun à l'une des faces de la lame de verre.

$$\begin{array}{ll} E' = m^2 E. & e' = m^2 e. \\ E'' = m^2 E'. & e'' = m^2 e'. \\ E^{(n+1)} = m^2 E''. & e^{(n+1)} = m^2 e''. \end{array}$$

Le premier système fait connoître les quantités de fluide qui restent successivement sur la face A, et le second celles qui restent sur la face B.

D'après ces formules, on peut calculer les quantités dont il s'agit en fonctions des premières, et l'on aura

$$\begin{array}{ll} E' = m^2 E. & e' = m^2 e. \\ E'' = m^4 E. & e'' = m^4 e. \\ E^{(n+1)} = m^{2(n+1)} E. & e^{(n+1)} = m^{2(n+1)} e. \end{array}$$

Et il est visible qu'elles forment une progression géométrique. Leurs différences donneront les pertes de fluide faites successivement par les deux faces, en vertu des contacts répétés. Elles seront exprimées par

$$\begin{array}{ll} E - E' = (1 - m^2) E. & e - e' = (1 - m^2) e. \\ E' - E'' = (1 - m^2) m^2 E. & e' - e'' = (1 - m^2) m^2 e. \\ E^{(n+1)} - E^{(n+2)} = (1 - m^2) m^{2n} E. & e^{(n+1)} - e^{(n+2)} = (1 - m^2) m^{2n} e. \end{array}$$

Et l'on conçoit, à la simple inspection de ces formules, que les pertes de fluide qui ont lieu, relativement à chaque face, à mesure que l'on décharge la lame, suivent de même une progression géométrique décroissante, dont la raison est  $m$ . Ainsi, plus cette quantité  $m$  sera petite, plus aussi les quantités restantes de fluide et les pertes qui leur correspondent décroîtront rapidement; en sorte qu'après un petit nombre de contacts, elles deviendront insensibles, et la lame paraîtra entièrement dé-

en faisant entrer dans la communication, indépendamment de plusieurs observateurs, l'eau d'une rivière, de longs fils de fer, et même des portions de terrain. Les Français commencèrent, et firent parcourir à la commotion un espace de deux mille toises, à travers lequel elle fut transmise d'une manière très-sensible. Les Anglais enhéritent sur ce résultat, et dans une de leurs expériences, le voyage (car c'en est un) fut de quatre milles d'Angleterre. Ils essayèrent de mesurer la vitesse de la commotion, par un moyen analogue à celui qu'on a employé pour estimer celle du son (350). Mais la différence entre le moment du départ et celui du retour, leur parut inappréciable.

430. Si l'on vouloit se servir de la bouteille, pour rendre sensible l'explication que nous avons donnée de ses effets (427), en supposant qu'elle soit déchargée progressivement par des contacts répétés aux deux sur-

chargée. Comme la valeur de  $m$  dépend de l'épaisseur du verre, on voit qu'une lame très-mince exigera plus de temps pour se décharger de cette manière, qu'une lame plus épaisse.

A la rigueur, il faudroit une suite infinie de contacts pour décharger entièrement la lame de verre; car, si l'on ajoute les formules qui donnent les pertes successives, en supposant celles-ci continuées à l'infini, on trouve pour leur somme  $(1-m^2) E (1+m^2+m^4+\dots)$ . La série comprise entre les deux crochets a pour somme  $\frac{1}{1-m^2}$ , et il en résulte que la somme totale des pertes relatives à la face A est égale à E. On trouvera de même que la somme des pertes de la face B est représentée par e. Mais c'est là un cas purement mathématique; et il arrive, en général, qu'après un certain nombre de contacts, la quantité d'électricité restante cesse d'être sensible,

faces, on l'électriseroit d'abord comme nous l'avons dit, puis on feroit passer sous le crochet *m* (*fig. 40*, Pl. VI), un cordon de soie, à l'aide duquel on la tiendroit suspendue, ou bien on la poseroit sur un isoloir, après quoi on toucheroit alternativement, avec un doigt, la boule *b* et la garniture extérieure.

431. Si la bouteille étoit isolée pendant que la boule *b* est en contact avec le conducteur de la machine, elle ne se chargeroit pas, surtout dans le cas où l'air environnant seroit très-sec. Seulement sa surface intérieure recevroit du conducteur une petite quantité de fluide, dont la répulsion étant sans effet sur le fluide de même nom, situé dans la garniture extérieure, ne pourroit faire passer celle-ci à l'état opposé, comme cela est nécessaire pour déterminer la charge de la bouteille.

432. Plus la bouteille est mince, et plus, toutes choses égales d'ailleurs, elle s'électrise fortement. Car, d'un côté, le fluide vitré de *ilpn* (*fig. 41*) agit avec plus d'énergie sur celui de la partie opposée, à raison d'une moindre distance entre les deux surfaces. D'une autre part, le fluide résineux à l'état de liberté sur la lame *otsx*, étant plus abondant, devient capable de maintenir, par son attraction, une plus grande quantité de fluide vitré dans la lame *ilpn*; d'où il suit que le point de saturation de la bouteille sera plus élevé que si le verre avoit eu plus d'épaisseur. Dans le même cas, les deux quantités de fluide *V* et *R* différeront moins l'une de l'autre, ou, ce qui revient au même, la quantité *n*, qui compense ce que la force du fluide *ilpn* perd relativement à la distance, sera plus petite,

puisque la distance elle-même se trouvera diminuée, en sorte que cette quantité deviendra nulle si l'on suppose l'épaisseur du verre infiniment petite.

433. Comme le verre n'est jamais parfaitement imperméable au fluide électrique, il y a toujours une certaine quantité de fluide vitré ou résineux qui pénètre un peu dans l'épaisseur de la bouteille, où elle est comme refoulée, pendant que celle-ci s'électrise. Au moment où l'on décharge la bouteille, cette portion de fluide reste engagée dans le verre, par une suite de la force coercitive, en sorte qu'elle n'entre pour rien dans l'effet qui se produit alors. Mais ensuite ses molécules se dégagent les unes après les autres, et passent dans la garniture où elles déterminent une nouvelle disposition à donner la commotion, quoique dans un degré beaucoup plus faible que la première fois. C'est ce qu'éprouvent souvent ceux qui ayant fait l'expérience de Leyde, et croyant la bouteille entièrement déchargée, la reprennent au bout d'un instant; et portant de nouveau le doigt à la boule qui termine le crochet, sont surpris de recevoir encore une commotion; ce qui peut avoir lieu à plusieurs reprises, par des degrés toujours décroissans.

434. Lorsqu'on veut décharger la bouteille, sans aucune commotion, on se sert d'une verge de cuivre *efh* (*fig. 44, Pl. VII*), recourbée en arc et terminée par deux boules, à laquelle on a donné le nom d'*excitateur*. On la prend dans la main, à l'endroit *f* de sa courbure; on pose la boule *h* sur quelque point de la garniture extérieure de la bouteille, puis on approche la boule *e* de celle qui termine le crochet, et l'on produit

ainsi impunément la décharge, qui est accompagnée d'une forte étincelle. On peut, par le même moyen, allumer du coton. Pour y parvenir, on enveloppe la boule *b* (fig. 40, Pl. VI) d'une couche mince de cette substance filamenteuse, que l'on saupoudre ensuite de résine broyée ; au moment de la décharge, l'étincelle détermine l'inflammation du coton.

On substitue quelquefois à la bouteille un carreau de verre garni, sur chacune de ses faces, d'une feuille d'étain, qui ne s'étend pas jusqu'aux bords de ce carreau, mais qui laisse tout à l'entour environ 54 millimètres, ou 2 pouces, à découvert. On met le carreau à plat sur une table, et l'on interpose, entre cette table et la garniture inférieure, une petite chaîne qui descend jusqu'au sol. On établit, au moyen d'une tige de métal, une communication entre la garniture supérieure et le conducteur de la machine. Au moment où l'appareil est fortement électrisé, si l'on prend d'une main la chaîne en contact avec la garniture inférieure, et que, de l'autre main, on touche la garniture supérieure, on reçoit une violente commotion. Mais il est facile de l'éviter, en se servant d'un excitateur pour décharger l'appareil. On a donné au carreau de verre dont il s'agit ici, les noms de *carreau magique* et de *carreau fulminant*.

435. On peut charger à la fois plusieurs bouteilles, en les disposant de la manière suivante. On suspend au conducteur de la machine une première bouteille, sous laquelle est attaché un crochet. On se sert de ce crochet pour suspendre une seconde bouteille à la première. On continue la série, à l'aide du même moyen,

et on suspend au crochet fixé sous la dernière bouteille, une chaîne qui communique avec le sol. Lorsqu'ensuite on met le plateau de la machine en mouvement, le fluide vitré, qui s'accumule sur la garniture intérieure de la première bouteille, décompose le fluide naturel de la garniture extérieure, et repousse la partie vitrée de ce fluide dans la garniture intérieure de la seconde bouteille, et ainsi successivement. Il en résulte que toutes les surfaces se chargent l'une par l'intermédiaire de l'autre, excepté la première, qui reçoit sa charge du conducteur, et la dernière, qui reçoit la sienne des corps environnans. Si l'on détache la chaîne suspendue sous la dernière bouteille, on pourra les décharger toutes en détail, comme nous l'avons exposé dans le cas d'une seule bouteille (427), en se bornant à toucher alternativement, d'abord le bouton qui communique avec la garniture intérieure de la première, puis la garniture extérieure de la dernière (1). On pour-

(1) Biot a étendu, au cas que nous considérons ici, l'analyse qui lui a servi à déterminer la loi à laquelle sont soumises les pertes que les deux surfaces d'une même bouteille font de leur fluide, par des contacts successifs. Pour développer ce nouveau résultat, il se borne à considérer les états de trois lames de verre (fig. 43, Pl. VII) qui communiquent entre elles, et qui représentent trois bouteilles disposées comme nous l'avons dit. Ces lames étant censées être égales en tout, on aura d'abord

$$e + mE = 0.$$

$$e_1 + mE_1 = 0.$$

$$e_2 + mE_2 = 0.$$

Mais il y a de plus ici des conditions particulières, qui sont que  $e$  et  $E$  résultent de la décomposition du fluide naturel de la face B, et que de même  $e_1$  et  $E_1$  résultent de la décompo-

ra aussi décharger tout d'un coup l'ensemble des bouteilles , en recevant la commotion , par les contacts simultanés des deux mains appliquées aux mêmes endroits. Cette manière de charger plusieurs bouteilles suspendues l'une à l'autre , se nomme *la charge par cascade*.

436. D'après l'observation que l'effet de la décharge a lieu avec plus d'énergie , à mesure que l'on augmente l'étendue des surfaces sur lesquelles les deux fluides s'accumulent , on a imaginé ces puissantes batteries qui résultent d'un assemblage de plusieurs jarres que l'on fait agir toutes à la fois. Au moyen de cet appareil , un fil de fer , qui est censé faire partie de l'exciteur , devient incandescent , et se disperse en une infinité de petits grains qui sont à l'état d'oxyde.

sition du fluide naturel de la face  $B'$ . De là deux nouvelles équations à joindre aux précédentes , et qui seront

$$\epsilon + E_1 = 0.$$

$$\epsilon_1 + E_2 = 0.$$

Si l'on touche la face  $A$  ,  $B''$  étant isolé , toutes les quantités de fluide varieront , excepté  $\epsilon_2$  ; et en les désignant par les mêmes lettres , on aura

$$E' + m\epsilon = 0. \quad \epsilon' + E'_1 = 0.$$

$$E'_1 + m\epsilon_1 = 0. \quad \epsilon'_1 + E'_2 = 0.$$

$$E'_2 + m\epsilon_2 = 0.$$

Et ainsi de suite à chaque contact.

Les formules relatives au premier état d'équilibre donnent , par l'élimination ,

$$\epsilon + mE = 0. \quad E_1 - mE = 0.$$

$$\epsilon_1 + m^2E = 0. \quad E_2 - m^2E = 0.$$

$$\epsilon_2 + m^3E = 0.$$

En sorte que les quantités de fluide dissimulées sur chacune

On place une feuille d'or entre deux glaces que l'on serre fortement l'une contre l'autre , à l'aide d'une petite presse de bois ; l'une des extrémités de la feuille communique avec la garniture extérieure de l'appareil , et l'autre avec une des boules de l'excitateur. On fait passer ainsi la décharge à travers le métal qui se réduit en pouître et s'incruste dans le verre. Un oiseau , placé de manière à recevoir la commotion , est frappé de mort. Le spectateur , effrayé de la violente explosion qui produit ces phénomènes , est moins surpris d'entendre dire que la matière de l'électricité soit la même que celle de la foudre.

437. A l'égard des effets qui ont lieu lorsqu'on fait subir une forte commotion à une lame très-mince de

des faces  $B$  ,  $B'$  ,  $B''$  , suivent une progression géométrique décroissante. Il en seroit de même , quelque fût le nombre des lames mises en communication , et la dernière seroit beaucoup moins chargée que la première. Cette différence sera d'autant plus grande , que  $m$  sera moindre , et par conséquent elle croîtra à mesure que les lames seront plus épaisses.

En combinant les formules relatives au premier contact , on trouve

$$E' + m^3 e_2 = 0.$$

$$E'_1 + m^2 e_1 = 0.$$

$$E'_2 + m e_2 = 0.$$

Et mettant pour  $e$  sa valeur , il vient ,

$$E' - m^6 E = 0.$$

$$E'_1 - m^5 E = 0.$$

$$E'_2 - m^4 E = 0.$$

La quantité  $E'$  de fluide qui reste sur la face  $A$  , après le premier contact , est donc aussi beaucoup moindre que s'il n'y avoit eu qu'une seule lame.

métal, comme dans l'expérience que nous venons de citer, il paroît que leur véritable cause est la force expansive du fluide électrique qui agit pour dilater les corps, et écarter leurs molécules les unes des autres. Si le métal n'est pas oxydable immédiatement, l'action de cette force expansive se borne à disperser ses molécules. L'élévation de température, qui survient dans ce cas, est due vraisemblablement à ce que les parties qui se dilatent davantage, compriment celles qui se dilatent moins; d'où résulte une espèce de condensation qui occasionne un dégagement de chaleur (148). Bertholet et Charles, ayant fait passer de puissantes décharges électriques à travers un fil de platine, observèrent que ce fil avoit seulement acquis une chaleur qu'ils jugèrent à peu près égale à celle de l'eau bouillante, et qui étoit par conséquent très-inférieure à la chaleur capable d'opérer la fusion du platine. Si le métal est susceptible de s'oxyder facilement; si c'est, par exemple, un fil de fer ou de cuivre, l'écartement des molécules, en diminuant leur affinité réciproque, les dispose à s'unir avec l'oxygène de l'air environnant, et c'est alors l'oxydation elle-même qui produit le haut degré de chaleur auquel le métal se trouve exposé (1).

438. Parmi les différens résultats que l'on obtient, à l'aide d'une violente explosion électrique, il en est un qui a fourni aux partisans de la doctrine de Francklin, une objection spacieuse contre l'hypothèse des deux

---

(1) Statique Chimique, t I, p. 209 et 263.

fluides ; voici en quoi il consiste. Soient *amb*, *cnd* (*fig 45, Pl. VII*) deux conducteurs métalliques, dont l'un, tel que *amb*, communique avec la surface intérieure d'une batterie, et l'autre *cnd* avec sa surface extérieure. Supposons que l'on place entre ces deux conducteurs une carte dont *GH* représente la projection verticale, de manière que le conducteur *amb* touche cette carte en dessous, et que le conducteur *cnd* la touche en dessus. Si l'on électrise la batterie à l'ordinaire, il y aura un terme où les deux fluides se trouveront tellement accumulés dans les conducteurs, que leur attraction mutuelle donnera lieu à une décharge spontanée de la batterie. Dans ce cas l'étincelle, en partant de l'extrémité *m* du conducteur qui est à l'état vitré, glisse sur la surface *mt* de la carte, où elle forme une traînée de lumière ; au même instant la carte est percée en *t*, et l'on aperçoit un point lumineux à l'extrémité *n* du conducteur *cnd*. Cette expérience s'accorde très bien avec la supposition d'un seul fluide qui, après s'être accumulé sur la surface intérieure de la batterie, l'abandonne au moment de l'explosion, et se précipitant sur le conducteur *cnd*, va remplacer le fluide dont la surface extérieure s'étoit dépouillée.

On a cité encore en faveur de la même opinion, la diversité des aspects sous lesquels se présente la lumière que l'on aperçoit à l'extrémité d'un corps aigu, situé en présence d'un conducteur électrisé. Lorsque l'aigrette avoit lieu, le fluide électrique sortoit du corps aigu pour se rendre au conducteur qui étoit dans l'état négatif ; et lorsqu'au contraire on ne voyoit qu'un point lumineux, le fluide s'échappoit du conducteur électrisé.

électrisé positivement pour se porter vers la pointe qui, étant dans l'état opposé, attiroit à elle ce fluide. Tremery, ingénieur des mines, d'un mérite distingué, a imaginé, pour résoudre ces difficultés, une hypothèse très-admissible, qu'il a confirmée par des expériences ingénieuses (1). Suivant cette hypothèse, la force coercitive des corps idio-électriques, c'est-à-dire, la résistance qu'ils opposent au mouvement du fluide électrique dans leur intérieur (400), ne seroit pas la même pour les deux fluides vitré et résineux, en sorte qu'il pourroit bien se faire que, dans certains corps, elle fût incomparablement plus grande, relativement à l'un des fluides, que par rapport à l'autre. L'air atmosphérique seroit dans ce dernier cas, et opposeroit une très-grande résistance au mouvement du fluide résineux, tandis qu'il ne résisteroit pas, à beaucoup près, avec la même force, au mouvement du fluide vitré.

D'après cette hypothèse, lorsqu'on emploiroit l'appareil que nous avons décrit, il arriveroit qu'au moment de la décharge le fluide vitré sortiroit du conducteur *amb*, pour aller se réunir au fluide résineux qui seroit maintenu autour du conducteur *cnd*, par la force coercitive de l'air; et son passage à travers la carte auroit lieu au point *t*, situé immédiatement au-dessous du point *n*, ce que nous avons vu être conforme à l'expérience.

Maintenant si, par l'effet d'une cause quelconque, comme seroit celle qui apporteroit un changement

---

(1) Journal de Phys.; floréal an 10, p. 357 et suiv.

dans la densité de l'air, la force coercitive de cet air pour le fluide résineux pouvoit diminuer relativement à celle qui auroit lieu pour le fluide vitré, de manière que les deux forces parvinssent à l'égalité, les deux fluides, au moment de la décharge, se porteroient l'un vers l'autre, en sorte que l'on apercevroit une aigrette lumineuse à la pointe de chaque conducteur.

On peut faire d'autres suppositions, d'après lesquelles la force coercitive pour le fluide vitré, l'emporteroit à son tour sur celle qui auroit lieu à l'égard du fluide résineux ; et si la première devenoit incomparablement plus grande que l'autre, on auroit le phénomène inverse de celui qu'on observe dans le cas ordinaire.

Pour vérifier cette théorie, Tremery a placé l'appareil représenté (*fig. 45*) sous le récipient d'une machine pneumatique, et il a fait le vide jusqu'au point où la pression de l'air, indiquée par un baromètre d'épreuve, n'étoit plus que de 14 centimètres, environ 5 pouces 2 lignes. L'appareil ayant été ensuite électrisé, l'explosion s'est faite de manière que la carte a été percée au point *s*, situé à peu près au milieu de la distance entre les extrémités *m*, *n*, des deux conducteurs. Ce phénomène très-remarquable indiquoit que, par une suite de la diminution qu'auroit subie la densité de l'air, le rapport entre ses forces coercitives, à l'égard des deux fluides, avoit varié de manière qu'elles étoient devenues sensiblement égales.

Le même physicien a laissé ensuite, à différentes reprises, rentrer de l'air sous le récipient, et il a observé que chaque degré de densité détermenoit, pour l'en-

droit où la carte étoit percée, une position particulière située entre le milieu *s* de la carte, et l'extrémité *n* du conducteur électrisé résineusement.

On voit maintenant à quoi tient la différence entre les deux aspects sous lesquels s'offre la lumière qu'on aperçoit à l'extrémité d'un corps aigu, suivant la diversité des circonstances. Si le corps aigu est situé vis-à-vis d'un conducteur chargé de fluide résineux, le fluide vitré du premier s'élancera sous la forme de rayons divergents, pour se porter vers le conducteur où le fluide résineux, qui exerce sur lui son attraction, est maintenu par la force coercitive de l'air. Si, au contraire, le conducteur est électrisé vitreusement, son fluide sera attiré par le corps aigu, et la réunion de ce fluide avec le fluide résineux, qui n'aura lieu qu'à l'extrémité du même corps, produira le point lumineux qu'on aperçoit en cet endroit,

### *Description de quelques Instrumens Électriques particuliers.*

439. Les physiciens ont inventé plusieurs espèces d'instrumens propres à diverses expériences qui ont chacune un but particulier. Quatre de ces instrumens nous paroissent surtout mériter une explication. Le premier est l'*électrophore*, ainsi nommé, parce qu'il conserve long-temps sa vertu électrique. Il est composé d'un plateau *st* (fig. 46) de matière résinense, sur lequel on place un disque de métal *ag*, attaché par le milieu à un cylindre de verre *mn*. Ce disque étant d'abord séparé de la résine, on électrise celle-ci on la

frappant avec une peau de lièvre ou de quelque autre animal à poil ; ensuite on applique le disque métallique sur la résine , et l'on pose un doigt sur le même disque pendant un petit instant. Cela fait, on retire d'abord le doigt , puis on enlève le disque au moyen du cylindre de verre *mn* , destiné à le maintenir isolé. Si l'on présente alors le doigt ou un excitateur au disque , on voit paroître une étincelle entre l'un et l'autre. En replaçant le disque sur la résine , sans être obligé d'électriser de nouveau celle-ci , et en répétant du reste le même procédé , on obtiendra de nouvelles étincelles dont la force ne paroîtra pas diminuer sensiblement ; et si on se sert du crochet d'une bouteille de Leyde pour les produire , on parviendra , en peu de temps , à la charger.

Pour expliquer ces effets , remarquons qu'au moment où l'on place le disque métallique sur le plateau *st* que l'on a électrisé , le fluide résineux de ce plateau attire à lui le fluide vitré du disque métallique , lequel ne pouvant passer dans la résine dont la nature est idio-électrique , reste sur la surface inférieure du disque. Le fluide résineux de celui-ci se trouve repoussé en même temps vers la surface supérieure. Or , le disque n'ayant ici que sa quantité naturelle de fluide électrique , qui seulement est décomposée , son fluide résineux agit , par cela seul , plus fortement sur le doigt en contact avec ce même disque , que le fluide vitré qui est à une plus grande distance (407). Mais cette action est encore aidée par celle du fluide de même nom qui appartient à la résine , et ainsi le fluide vitré , qui fait partie du fluide naturel renfermé dans le doigt , sera

attiré par le disque métallique , et s'unira avec le fluide résineux répandu sur la surface supérieure. Donc si , après avoir retiré le doigt , on enlève le disque métallique , celui-ci se trouvera à l'état d'électricité vitrée ; après quoi il est facile de concevoir tout le reste.

Ordinairement le gâteau de matière résineuse a pour support un autre disque métallique , sur lequel on a fait couler cette matière au moment où elle étoit en fusion. Le fluide qui occupe la surface supérieure du gâteau , agit aussi à travers l'épaisseur de celui-ci , sur le disque qui adhère à sa surface inférieure. Mais nous nous dispensons ici d'avoir égard à cette action , qui d'ailleurs est foible , pour ne considérer que la première , qui seule est dirigée vers l'effet que l'on se propose d'obtenir.

440. L'invention du second instrument , que l'on nomme *condensateur* , est due au célèbre Volta. Son usage est de rendre sensibles de très-petites quantités d'électricité fournies par des corps environnans , en les déterminant à s'accumuler sur la surface qu'il présente à leur action. Cet instrument ne diffère de l'électrophore , qu'en ce que le plateau de résine s'y trouve remplacé par un corps du genre de ceux qui n'isolent qu'imparfaitement , et qui tiennent comme le milieu entre les corps conducteurs et les corps idio-électriques : tel est , par exemple , le marbre blanc. Concevons que le disque étant placé sur un plateau de cette substance , reçoive , par communication , un foible degré d'électricité , que nous supposerons être résineuse. Le fluide de cette électricité décomposera un peu le fluide naturel du marbre blanc , en repoussant vers le bas le fluide résineux , et

en attirant vers le haut le fluide vitré. Le marbre , à son tour , agira sur le disque , en vertu de son électricité vitrée , dont la force s'exerce de plus près , pour y maintenir la petite portion d'électricité résineuse communiquée. Une seconde quantité de fluide arrivant à la suite dans le disque métallique , décomposera une nouvelle portion du fluide naturel renfermé dans le marbre , qui acquerra de son côté un nouveau degré de force attractive , et ainsi de suite. Voici donc ce que fait le marbre : il laisse un certain jeu au fluide qu'il contient , pour s'y mouvoir , parce qu'il est demi-conducteur ; mais comme il est aussi en partie idio-électrique , le fluide résineux du disque , qu'il attire à lui , se trouve arrêté par la résistance qu'il éprouve à l'endroit du contact , qui se fait d'ailleurs par des surfaces planes , dont la figure se prête moins à l'effet de l'attraction , que celle des surfaces curvilignes. Les petites quantités d'électricité que reçoit successivement le disque , continueront donc de s'y accumuler au point que si , après l'avoir enlevé , on lui présente le doigt , on pourra en tirer une étincelle plus ou moins vive.

441. Le troisième instrument est l'*électromètre de Cavallo* : il consiste en deux balles de moelle de sureau , d'un très-petit diamètre , suspendues par le moyen de deux cheveux à une boule de cuivre qui repose sur l'orifice d'une espèce de flacon de verre. On présente un bâton de cire d'Espagne , électrisé par le frottement , à une petite distance de la boule , tandis qu'on tient un doigt posé sur cette boule. On retire ensuite , d'abord le doigt , puis la cire ; et il est facile de concevoir , par un raisonnement semblable à celui que nous avons fait

pour l'électrophore (439), que tout l'appareil étant alors chargé d'électricité vitrée , les deux balles doivent se repousser et se tenir écartées l'une de l'autre. Chaque fois que l'on présente de nouveau la cire à une certaine distance du point de suspension , les balles se rapprochent , parce que la cire ramène dans la boule de cuivre une partie de l'électricité des balles. Si l'on diminue la distance , il pourra arriver que les balles , en perdant tout leur fluide additionnel , rentrent dans l'état naturel , et parviennent à se toucher ; alors si vous approchez encore davantage le bâton de cire , la force de son électricité résineuse , en déterminant une plus grande quantité de fluide vitré à se porter vers le point de suspension , décomposera le fluide naturel des balles , qui passeront ainsi à l'état d'électricité résineuse , et se repousseront de nouveau ; en sorte qu'aux yeux de ceux à qui cette observation s'offriroit , sans être éclairée par la théorie , elle se trouveroit en contradiction avec la première , où la cire , en s'approchant du point de suspension , sollicitoit les balles à se mouvoir l'une vers l'autre.

442. Cet électomètre fournit un moyen facile de déterminer l'espèce d'électricité d'un corps quelconque. Par exemple , dans le cas que nous venons de citer , tout corps qui aura l'électricité vitrée , si on l'approche de la boule qui termine l'appareil , augmentera l'écartement entre les deux petites balles de moelle de sureau ; si , au contraire , le corps est chargé d'électricité résineuse , le premier mouvement des balles sera de tendre l'une vers l'autre.

Si l'on attache sur la boule de métal une aiguille ter-

minée par un pointe déliée , et qu'on expose l'appareil sur une fenêtre , dans un temps d'orage , on verra souvent les balles s'écartier spontanément l'une de l'autre ; et en les électrisant , par le procédé que nous venons d'indiquer , on pourra connoître l'espèce d'électricité dont l'air est animé .

443. Si l'on suppose que les effets du condensateur soient combinés avec ceux de l'électromètre de Cavallo , on aura une idée du quatrième instrument , auquel Volta a donné une destination bien remarquable , en l'employant à déterminer les effets de l'électricité galvanique , dont nous parlerons dans la suite . La partie de cet instrument , qui fait l'office d'électromètre , est composée de deux brins de paille *or* , *os* (fig. 47) , qui doivent être égaux et très-droits . On les suspend au moyen de deux fils déliés de métal terminés en crochet , et qui jouent librement dans deux petites ouvertures pratiquées à l'extrémité inférieure d'une petite pièce de métal , dont l'extrémité opposée est soudée en dessous de l'obturateur d'un flacon *fhk* . Au-dessus du même obturateur est vissé un plateau ou disque de cuivre *cd* , garni inférieurement d'un fil métallique terminé par un globule *g* . On a donné à ce disque le nom de *plateau collecteur* , parce que son usage est de recueillir les petites quantités de fluide électrique que l'on veut rendre sensibles par leur accumulation . Ce plateau en porte un autre *ab* , auquel est attaché un cylindre de verre *mn* , et qui communique avec les corps environnans , au moyen d'une lame métallique *ily* courbée de manière qu'elle n'approche pas trop du plateau collecteur . Chaque plateau est verni sur la face par laquelle il est en contact avec

j'autre. Le flacon porte à l'extérieur une graduation *tz*, d'après laquelle on juge à peu près de l'écartement des deux pailles, suivant des lignes telles que *op*, *ux*, mais qui n'est pas propre à donner la mesure de la force électrique d'où résulte cet écartement ; car indépendamment du peu de précision d'une pareille mesure considérée en elle-même, elle n'est pas en rapport avec la force, qui suit la raison inverse du carré de la distance, et dont l'action est altérée, dans le cas présent, par l'effet de la pesanteur qui sollicite les pailles en sens contraire de l'écartement produit par l'électricité.

A mesure que le plateau collecteur reçoit successivement, à l'endroit du globule *g*, de petites quantités de fluide électrique, par les contacts répétés de la substance qui fournit ce fluide, que nous supposerons être celui de l'électricité vitrée, il se fait une décomposition du fluide naturel renfermé dans le plateau supérieur *ab*; de manière que le fluide résineux attiré vers le plateau collecteur, se trouve arrêté par les couches de vernis interposées entre les deux disques, tandis que le fluide vitré s'échappe par la lame métallique *ilp*. Après un certain nombre de contacts, on enlève le plateau supérieur *ab*; à l'instant les pailles s'écartent; et pour savoir de quelle espèce est l'électricité dont elles sont animées, et en même temps celle qui a été fournie au plateau collecteur, on emploie le moyen que nous avons indiqué, en parlant de l'électromètre de Cavallo (442).

Dans l'instrument que nous venons de décrire, le plateau collecteur représente le disque métallique du condensateur ordinaire, et le plateau supérieur produit le même effet que le plateau de marbre, avec cette dif-

## 410 TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

férence , que les fluides s'y meuvent librement , et que l'obstacle qui empêche l'un d'eux de passer dans le plateau collecteur , est une substance idio-électrique intermédiaire.

### *De l'Électricité naturelle.*

444. L'analogie entre le fluide électrique et la matière du tonnerre avoit déjà été soupçonnée par différens physiciens , lorsque Francklin , après avoir reconnu le pouvoir des pointes , dont nous avons parlé précédemment (415) , proposa d'élever en l'air une verge de fer terminée en pointe aiguë , et de s'en servir pour vérifier cette même analogie. Dalibard fut un des premiers qui mit l'idée de Francklin en exécution. Il fit construire auprès de Marly-la-Ville une cabane , au-dessus de laquelle étoit fixée une barre de fer de 13 mètres , ou 40 pieds , de longueur , isolée par le bas. Un nuage orageux ayant passé dans le voisinage de cette barre , elle donna des étincelles à l'approche du doigt , et l'on reconnut les effets des conducteurs ordinaires que nous électrisons à l'aide de nos machines.

445. Romas , qui cultivoit à Lille la physique , poussa depuis la hardiesse au point d'envoyer vers le nuage même , un cerf-volant armé d'une barre qui se terminoit en pointe. La corde du cerf-volant étoit entrelacée avec un fil de métal , jusqu'à une certaine distance de son point d'attache , et le reste étoit un cordon de soie destiné à tenir l'appareil isolé et à préserver l'observateur de l'explosion. On vit sortir de cet appareil des jets spontanés de lumière de 32 décimètres , ou dix pieds , de

longueur, et dont le bruit étoit semblable à un coup de pistolet. Les dangers de toutes les expériences de ce genre sont si évidens, même en supposant des précautions, qu'elles ne peuvent être tentées que par ceux chez qui la curiosité est plus forte que la crainte. Plusieurs physiciens, renversés par les commotions qu'ils reçurent en tirant des étincelles d'un appareil qui communiquoit avec l'intérieur de leur appartement, ont eu à se repentir de s'être donné un hôte si redoutable. Le célèbre Richman, professeur de physique à Pétersbourg, y perdit la vie dans une circonstance qui sembloit faite pour rendre la leçon plus frappante. Il fut renversé à côté de l'appareil même qu'il avoit disposé pour mesurer la force de l'électricité des nuages.

446. Francklin, en imaginant de soutirer la matière de la foudre, s'étoit proposé un but plus philosophique que celui de faire des expériences électriques. Il pensoit que si l'on dressoit sur un bâtiment une verge de fer terminée en pointe aiguë, et que l'on établît une communication entre cette verge et le sein de la terre, elle pourroit préserver le bâtiment d'une explosion, en épuisant le fluide des nuages orageux qui passeroient dans le voisinage. D'après cette idée, on a construit dans plusieurs endroits des instrumens de cette espèce, auxquels on a donné le nom de *paratonnerres*.

Beyer, artiste avantageusement connu par ses talents en plus d'un genre, et qui s'occupe spécialement de la construction des paratonnerres, a imaginé de terminer la verge de cet instrument par une pointe de platine, comme étant un métal à la fois très-réfractaire et exempt d'oxydation. Il emploie, pour conducteurs, des espèces

de cordes formées de fils de fer tressés , et enduites d'une couche de vernis gras. La corde se prolonge jusqu'au bord d'un puits , où elle est attachée à une tige de fer dont l'extrémité inférieure est plongée dans l'eau. L'emploi de cette matière conductrice a l'avantage d'exiger beaucoup moins de temps pour la communication à établir entre la verge et le réservoir commun , et de diminuer , relativement à l'édifice lui-même , les dommages et les réparations inséparables d'une opération de cette nature.

447. Parmi les physiciens , les uns ont regardé les avantages des paratonnerres comme incontestables. D'autres ont pensé que leur action devoit être trop foible pour protéger l'édifice qui les portoit; c'étoit vouloir détourner , au moyen d'un simple tube , un grand fleuve prêt à se déborder. Quelques-uns même ont prétendu que les paratonnerres étoient plus propres à provoquer la chute de la foudre sur le bâtiment , qu'à la prévenir. Mais on ne pent douter de l'utilité de ces instrumens , surtout depuis que l'expérience a appris qu'une explosion , qui d'ailleurs paroisoit inévitable , s'étoit faite sur la pointe même du paratonnerre , sans que l'édifice en eût été endommagé. On a présenté , il y a un certain nombre d'années , à l'Académie des Sciences , une verge de paratonnerre sur laquelle la foudre étoit tombée , et dont la pointe étoit émoussée et sembloit avoir été fondue. Le fluide électrique avoit suivi la communication établie entre la verge de fer et le sein de la terre , et la maison étoit restée intacte. Mais lorsqu'on veut éléver des paratonnerres sur des édifices d'une certaine étendue , il est nécessaire de les multiplier. Ils ne doivent pas être

trop rapprochés , sans quoi ils se nuiroient entre eux , comme nous avons vu ( 417 ) que plusieurs pointes situées à de petites distances respectives , vis-à-vis un conducteur électrisé , s'empêchoient mutuellement de soutirer le fluide électrique . D'une autre part , ils doivent être assez voisins , pour que leurs différentes sphères d'activité ne laissent aucun espace intermédiaire ; et l'on a jugé que le rayon d'une pareille sphère devoit être de 10 mètres , ou environ 30 pieds , et qu'ainsi il suffiroit de mettre une distance de 20 mètres , ou 60 pieds , entre un paratonnerre et l'autre .

On voit , par ce que nous venons de dire , que l'effet du paratonnerre ne se borne pas à soutirer en silence le fluide électrique , quoique ses services ne soient pas même à dédaigner dans ce cas . Mais son moment décisif est celui où tout annonçant une explosion prochaine , il se présente pour la recevoir , et détermine le fluide à prendre la route tracée d'avance , par le physicien , à côté de l'édifice , qui en est quitte pour l'ébranlement causé par le bruit .

448. Parmi les différentes manières dont l'explosion de la foudre pent devenir funeste à ceux qui se trouvent sur un terrain dominé par un orage , il en est une qui paroît d'abord inexplicable . Elle consiste en ce qu'il est possible qu'un homme ou un animal , situé fort loin de l'endroit où la foudre éclate , soit néanmoins exposé à être dangereusement blessé , ou à perdre la vie , par une suite de l'explosion ; et l'on a même cité des exemples de cette action , pour ainsi dire , cachée de la foudre . Milord Mahon , savant physicien anglais , qui , dans son *Traité d'Électricité* , s'est beau-

coup occupé de cet effet singulier, en trouve l'explication dans un rétablissement d'équilibre, auquel il a donné le nom de *choc en retour* (1), et que nous allons faire connoître, en ramenant à la théorie des deux fluides le point de vue sous lequel nous le considérerons.

Soit *ab* (fig. 48) le conducteur d'une machine ordinaire, dont on fasse tourner le plateau ; supposons que derrière ce conducteur on en place un second *cd*, isolé et dans l'état naturel, à une telle distance qu'il ne puisse tirer aucune étincelle du premier ; supposons enfin un troisième conducteur *ef*, non isolé, situé assez près du second pour que celui-ci étant électrisé, l'autre en tire des étincelles. Des deux fluides qui composent le fluide naturel de *cd*, celui de l'électricité résinense restera dans ce corps, en vertu de l'attraction que le fluide vitré de *ab* exerce sur lui ; l'autre, savoir le fluide de l'électricité vitrée, sera repoussé dans le corps *ef*, qui le transmettra aux corps environnans, en sorte que le conducteur *cd* se trouvera électrisé résineusement. Si, dans ce moment, on décharge le conducteur *ab*, le suivant *cd* reprendra rapidement son fluide vitré qui lui sera restitué par l'intermédiaire du conducteur *ef* ; et si l'on suppose, au lieu du conducteur *cd*, une personne isolée qui présente les mains à la distance convenable des conducteurs *ab*, *ef*, la décharge fera naître entre *ef* et le doigt situé du même côté, une étincelle très-piquante, produite par la rentrée subite du fluide

(1) Principes d'Électricité ; Londres , 1781 , p. 69 et suiv.

vitré qui étoit sorti du corps de la personne. Parmi les différentes manières d'éprouver le choc en retour, indiquées par milord Mahon, nous avons choisi celle-ci, parce qu'elle offre le cas où l'effet est le plus sensible.

Maintenant on conçoit que si l'électricité du conducteur *ab* étoit extrêmement forte, le choc en retour auroit encore lieu, dans la supposition même où il n'y auroit en présence de ce conducteur que le seul corps *cd* qui ne fût pas isolé; et tel est le cas qui arrive dans la nature, lorsque le choc provient d'un nuage orageux.

449. Soit NG (*fig. 49, Pl. VIII*) un de ces nuages fortement chargé d'électricité vitrée, et D un voyageur situé dans la sphère d'activité du même nuage. Le fluide vitré de cet homme sera refoulé dans la terre par la répulsion du fluide que renferme le nuage, en sorte que le voyageur se trouvera très-sensiblement à l'état d'électricité résineuse. Que dans ce moment la présence d'un objet terrestre C détermine le nuage à faire explosion. Le fluide vitré repassera dans le corps du voyageur avec une rapidité et une abondance proportionnées à l'énergie avec laquelle agissoit l'électricité du nuage, et la secousse qui en résultera pourra être assez forte pour tuer le voyageur. Il sera possible que, dans le même temps, des hommes ou des animaux situés à des endroits *f*, *b*, qui auroient paru plus exposés au danger de l'explosion, n'en reçoivent aucune atteinte.

## 2. De l'Électricité produite par la Chaleur.

450. Indépendamment de tous les phénomènes que nous avons considérés jusqu'ici, et qui appartiennent tout entiers à la physique, il en est plusieurs dont elle partage l'observation avec l'histoire naturelle. Nous nous abstiendrons de parler, pour l'instant, de l'électricité produite par la torpille et par quelques autres poissons qui renferment un organe particulier, dans lequel ils ont la faculté d'exciter des mouvements, d'où résulte un phénomène semblable à celui de la bouteille de Leyde. Ce sujet sera mieux placé dans l'article où nous traiterons de l'influence de ce qu'on a appelé *galvanisme* sur l'économie animale. Il ne s'agit ici que de la vertu électrique qu'acquièrent certains minéraux, à l'aide de la chaleur, qui produit, dans ce cas, le même effet que le frottement sur les corps idio-électriques ordinaires. Ce point de minéralogie physique est d'autant plus intéressant, que la distribution de la matière électrique, dans les minéraux dont nous avons parlé, a la plus grande analogie avec celle de la matière magnétique dans le fer à l'état d'aimant, en sorte que ces minéraux offrent le véritable terme de comparaison entre l'électricité et le magnétisme.

451. Chacun des mêmes minéraux a toujours au moins deux points, dont l'un est le siège de l'électricité vitrée, et l'autre celui de l'électricité résineuse. Nous donnons le nom de *pôles électriques* à ces points, qui sont toujours situés dans deux parties opposées du minéral

minéral. Pour distinguer ces pôles l'un de l'autre, on peut se servir d'un petit appareil fort simple, dont nous allons faire la description. Il consiste dans une aiguille *mn* (*fig. 50*) d'argent ou de cuivre, terminée par deux globules, et mobile sur un pivot qui forme la partie supérieure d'une tige *ca* de même métal. On isole cette tige avec l'aiguille, en la plaçant sur un support cylindrique *s* de résine. On pose un doigt de la main gauche sur la rondelle *a* qui termine la tige inférieurement, et tenant de la main droite un bâton *g* de gomme laque ou de cire d'Espagne, que l'on a frotté, on le présente, pendant une ou deux secondes, à une petite distance de la tige *ac*; on retire ensuite, d'abord le doigt, puis le bâton *g*. L'aiguille alors se trouve électrisée vitreusement; en sorte que, suivant qu'on approche d'un des globules *m*, *n*, le pôle résineux ou le pôle vitré d'un minéral électrisé par la chaleur, le globule est attiré ou repoussé. On concevra la raison du procédé employé pour électriser l'aiguille, en appliquant ici ce que nous avons dit de la manière dont on produit le même effet, par rapport à l'électromètre de Cavallo (441). L'électricité de l'aiguille se conserve pendant un quart d'heure ou davantage, et on peut, en la faisant naître, la rendre très-sensible ou très-foible, suivant que l'exige l'expérience qu'on se propose de faire, en variant la distance entre la tige *ac* et le bâton de gomme laque.

452. Prenons d'abord pour exemple la pierre appelée *tourmaline*, qui est la première dans laquelle on ait reconnu la propriété de devenir électrique par la chaleur, et qui cristallise en prismes ordinairement à neuf pans, terminés par des sommets à trois, six, neuf faces

ou davantage. Lorsque cette pierre est à la température ordinaire, elle n'est susceptible d'être électrisée que par frottement, et, dans ce cas, la partie frottée acquiert toujours l'électricité vitrée, comme cela a lieu pour tous les corps d'une nature vitreuse. Mais si on expose une tourmaline pendant quelques instans à l'action du feu, en la tenant avec une pince par le milieu du prisme; et si on présente ensuite, tour à tour, ses deux extrémités au globule *m* ou *n*, on observera que l'une attire, et que l'autre repousse ce globule, ce qui fera reconnoître les pôles dans lesquels résident les deux électricités. On conçoit que la tourmaline n'ayant que sa quantité naturelle de fluide, qui est seulement décomposée, si son pôle vitré est tourné vers le globule, elle se trouve dans le même cas que si elle étoit sollicitée uniquement par une quantité de fluide vitré, dont la force fut égale à la différence entre les forces de ses deux pôles, en conséquence de ce que l'un agit de plus près, et l'autre de plus loin. Donc le globule sera repoussé. Un raisonnement semblable prouvera qu'il doit, au contraire, y avoir attraction, si la tourmaline regarde le globule par son pôle résineux.

Mais si l'aiguille *mn* n'étoit pas isolée, il est facile de concevoir que la présence de l'un quelconque des pôles de la tourmaline, feroit naître, dans le globule voisin de ce pôle, une électricité contraire à la sienne; d'où il suit que le globule, dans ce cas, seroit constamment attiré.

453. Si l'on présente un des pôles de la tourmaline à des corps légers, tels que des grains de cendre ou de rapture de bois, chaque grain, devenant de même un

petit corps électrique, dont la partie tournée vers le pôle qui agit sur lui a acquis une électricité contraire à celle de ce pôle, se portera vers la tourmaline. Parvenu au contact, il y restera appliqué, parce que le fluide de la tourmaline, qui est un corps non conducteur, ne pouvant se communiquer à lui, tout reste dans le même état qu'auparavant. Cependant il arrive assez souvent que quelques-uns de ces grains, aussitôt qu'ils ont touché la pierre, sont repoussés. Cet effet a lieu, lorsque le petit corps a rencontré quelque molécule conductrice ferrugineuse ou autre, située à la surface de la tourmaline. Dans ce cas, si l'on suppose, par exemple, que cette molécule eût l'électricité résineuse, une portion de son fluide passera sur la partie contiguë du petit corps, qui est occupée par du fluide vitré, et s'unira avec ce fluide en le neutralisant. Alors le fluide résineux qui enveloppoit l'autre partie du petit corps se trouvant en excès, ce corps sera tout entier à l'état résineux; d'où il suit que la molécule conductrice qui est dans un état semblable, le repoussera. On voit par là de quelle manière on doit entendre ce qu'ont dit quelques auteurs, que la tourmaline attiroit et repoussoit indifféremment par les deux bouts, sans produire ces effets constants d'attraction d'un côté, et de répulsion de l'autre, qu'on lui avoit attribués. Ces derniers effets n'ont lieu qu'avec une tourmaline placée vis-à-vis d'un corps qui est déjà lui-même dans un certain état d'électricité. Les autres, qui sont variables, ont rapport au cas où les corps sur lesquels agit la tourmaline, étoient primitive-  
ment dans leur état naturel.

454. Dans une tourmaline, les densités électriques

D d 2

décroissent rapidement, en partant des extrémités, en sorte qu'elles sont nulles ou presque nulles dans un espace sensible, situé vers le milieu du prisme. Par une suite nécessaire, les centres d'action sont situés près des extrémités. Cette distribution est analogue à celle du fluide électrique répandu autour d'un cylindre, ainsi que nous l'avons exposé plus haut (399). On peut la rendre sensible à l'œil jusqu'à un certain point, en faisant aller et revenir une tourmaline vis-à-vis d'un des globules de la petite aiguille. On observera que ce globule a une tendance marquée vers un point de la pierre voisin de l'extrémité; mais lorsqu'il répondra à la partie moyenne, en sorte que le centre d'action, par son éloignement, n'ait plus de prise sur lui, on ne verra faire à ce globule aucun mouvement.

455. Soit T (*fig. 51*) une tourmaline qui ait son centre d'action résineuse placé en A, et son centre d'action vitrée placé en  $\alpha$ . On prend un bâton de cire d'Espagne au bout duquel on a fixé un fil de soie d'environ un centimètre, ou quatre lignes et demie, de longueur, en faisant fondre la cire, à l'endroit de ce même bout, et en insérant une extrémité du fil dans la partie fondu. Si après avoir frotté le bâton de cire, auquel cas l'extrémité libre du fil acquerra l'électricité résineuse, on met cette même extrémité en présence du point R de la tourmaline, et qu'en même temps on fasse faire à celle-ci de petits mouvements alternatifs de droite à gauche, et réciproquement, on verra le fil de soie se détourner en sens contraire, pour éviter le point R; et si l'on approche un peu plus la tourmaline, le fil se portera tout à coup, par un mouvement curviligne, vers le

point A. Si l'on présente ensuite au fil les points situés un peu au delà de A, et tous les suivans jusqu'à l'extrémité opposée U, il y aura partout attraction; mais si l'on emploie un fil qui ait l'électricité vitrée, comme celui qui seroit attaché à un tube de verre que l'on auroit frotté, et qu'on l'approche de l'extrémité U, il évitera de même d'aller toucher cette extrémité, et se portera vers le point a; et tous les points situés au delà de a jusqu'à l'extrémité R, agiront sur lui par attraction; en sorte que l'on n'aura point précisément l'inverse des effets précédens, puisque, dans les deux cas, le fil est attiré par la partie moyenne de la tourmaline. Cette espèce de paradoxe s'éclaireira, si l'on fait attention que la partie moyenne étant dans l'état naturel, au moment où elle est présentée au fil, attire indifféremment ce fil, quelle que soit l'espèce d'électricité qui le sollicite; de manière que, dans les deux cas, l'effet de cette attraction s'ajoute à celui du centre d'action qui agit sur le fil par une électricité contraire à la sienne.

456. Deux tourmalines, présentées l'une à l'autre, s'attirent par les pôles animés d'électricités contraires, et se repoussent par les pôles qui manifestent la même espèce d'électricité. Nous avons déjà démontré ces résultats en parlant des actions réciproques de deux corps idio-électriques, dont le fluide naturel auroit subi une décomposition (411). Pour vérifier encore ici la théorie par l'expérience, on fera chauffer deux tourmalines, et après avoir placé l'une d'elles en travers sur une lame de liège flottante à la surface de l'eau, on choisira l'un de ses pôles, auquel on présentera successivement les deux pôles de l'autre tourmaline. Lorsque les pôles en regard

differeront par leurs électricités, on verra la tourmaline flottante se porter vers l'autre, et en suivre tous les mouvements. Si, au contraire, les pôles les plus voisins sont sollicités par des électricités opposées, la tourmaline flottante se retournera, pour se présenter à l'autre par le pôle contraire, et s'en approcher ensuite, en vertu de l'attraction. Quelqu'un qui assisteroit à ces expériences, sans avoir été prévenu, seroit tenté de les prendre pour des expériences de magnétisme.

457. La tourmaline commence à devenir électrique, lorsqu'elle est parvenue à une certaine élévation de température, qu'Æpinus place entre le 30°. et le 80°. degré du thermomètre dit de Réaumur. Mais parmi les corps de cette espèce, il en existe auxquels on n'a besoin, en quelque sorte, que de montrer le feu, pour qu'ils manifestent leur électricité. Si on chauffe la tourmaline de plus en plus, il y aura un terme où elle cessera de donner des signes de vertu électrique. Il arrive souvent qu'après l'avoir retirée du feu, on est obligé de la laisser revenir d'elle-même à une température modérée, pour qu'elle ait de l'action sur les petits corps qu'on lui présente. Mais il paroît qu'au delà du terme où son électricité est devenue insensible par l'action d'une trop grande chaleur, il y en a un autre où ses effets se reproduisent en sens inverse. Nous avons fait tomber les foyers de deux lentilles sur les extrémités d'une tourmaline, et nous avons observé que chaque pôle, après avoir acquis son électricité ordinaire, cessoit ensuite d'agir, et enfin passoit à l'état opposé; en sorte que l'attraction, après être devenue zéro, faisoit place à la répulsion, ou réciproquement.

458. Si l'on casse une tourmaline au moment où elle manifeste son électricité, chaque fragment, quelque petit qu'il soit, a ses deux moitiés dans deux états opposés, comme la tourmaline entière ; ce qui paroît d'abord très-singulier, puisque ce fragment, en supposant, par exemple, qu'il fût situé à l'une des extrémités de la pierre encore intacte, n'étoit alors sollicité que par une seule espèce d'électricité. On résout heureusement cette difficulté, à l'aide d'une hypothèse très-plausible, semblable à celle que Coulomb a faite par rapport aux corps magnétiques qui présentent la même singularité, c'est-à-dire, en considérant chaque molécule intégrante d'une tourmaline, comme étant elle-même une petite tourmaline pourvue de ses deux pôles. Il en résulte que dans la tourmaline entière il y a une série de pôles alternativement vitrés et résineux ; et telles sont les quantités de fluide libre qui appartiennent à ces différens pôles, que dans toute la moitié de la tourmaline encore intacte, qui manifeste l'électricité vitrée, les pôles vitrés des molécules intégrantes sont supérieurs en force aux pôles résineux en contact avec eux ; tandis que c'est le contraire qui a lieu dans la moitié qui manifeste l'électricité résineuse ; d'où il suit que la tourmaline est dans le même cas, que si chacune de ses moitiés n'étoit sollicitée que par des quantités de fluide vitré ou résineux, égales aux différences entre les fluides des pôles voisins. Maintenant, si l'on coupe la pierre à un endroit quelconque, comme la section ne peut avoir lieu qu'entre deux molécules, la partie détachée commencera nécessairement par un pôle d'une espèce, et se terminera par un pôle de l'espèce contraire. Nous donnerons un

plus grand développement à cette explication, lorsque nous parlerons du magnétisme.

459. Les corps susceptibles de s'électriser par la chaleur, présentent, relativement à leurs formes, une nouvelle singularité, qui semble annoncer une dépendance mutuelle entre leur cristallisation et leur propriété électrique. On sait qu'en général la manière dont la nature élaboré les cristaux est soumise à la loi de la plus grande symétrie, en ce que les parties opposées et correspondantes sont semblables par le nombre, la disposition et la figure de leurs faces. Mais les formes des cristaux électriques par la chaleur, dérogent à cette symétrie, de manière que les parties dans lesquelles résident les deux espèces d'électricité, quoique semblablement situées aux deux extrémités du cristal, diffèrent par leur configuration; l'une subit des décroissemens qui sont nuls sur la partie opposée, ou auxquels répondent des décroissemens qui subissent une autre loi, ce qui peut servir à faire deviner d'avance, d'après la seule inspection du cristal, de quel côté se trouvera chaque espèce d'électricité, lorsqu'on soumettra ce cristal à l'expérience.

Ainsi dans la variété de tourmaline que nous nommons *isogone*, et qui est représentée *fig. 52*, la forme est celle d'un prisme à neuf pans terminé d'un côté par un sommet à trois faces, et de l'autre par un sommet à six faces; et l'expérience prouve que c'est le premier sommet qui est le siège de l'électricité résineuse, et le second qui manifeste l'électricité vitrée.

460. Mais de tous les cristaux qui offrent cette corrélation, entre la configuration extérieure et la vertu électrique, les plus remarquables sont ceux qui appartiennent

nent à une substance acidifiée, nommée *magnésie boratée*, et dont la forme est, en général, celle d'un cube incomplet dans toutes ses arêtes, et modifié encore par des facettes qui répondent aux angles solides. Ici les deux électricités agissent suivant les directions de quatre axes, dont chacun passe par deux angles solides opposés du cube, qui est la forme primitive. Dans une des variétés (fig. 53) que nous nommons *défective*, l'un des deux angles solides situés aux extrémités d'un même axe, est intact; l'autre est remplacé par une facette *s*. Il y a électricité résineuse à l'angle qui n'a subi aucune altération, et électricité vitrée à la facette qui remplace l'angle opposé, ce qui fait huit pôles électriques, quatre pour chaque espèce d'électricité. Dans une autre variété (fig. 54), les angles solides analogues à ceux de la précédente, qui étoient remplacés par la facette *s*, continuent d'offrir la même modification. Les autres angles, situés comme ceux qui étoient intacts, sont ici remplacés chacun par une semblable facette *s'*; mais si elle existoit seule, la symétrie se trouveroit rétablie, et la loi du phénomène veut qu'elle soit altérée. Aussi observe-t-on trois autres facettes *r*, *r*, *r*, situées à l'en-  
tour de chacune des premières, en sorte que les angles qu'elles modifient, offrent, à cet égard, une sorte de surabondance, d'où est venu à cette variété le nom de *magnésie boratée surabondante*.

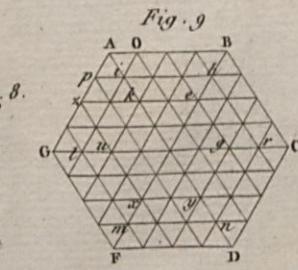
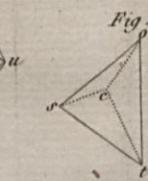
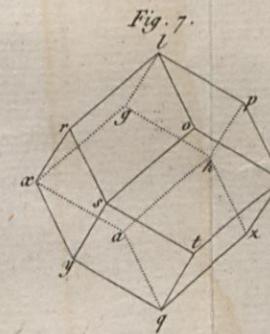
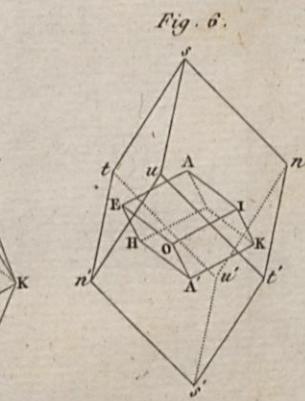
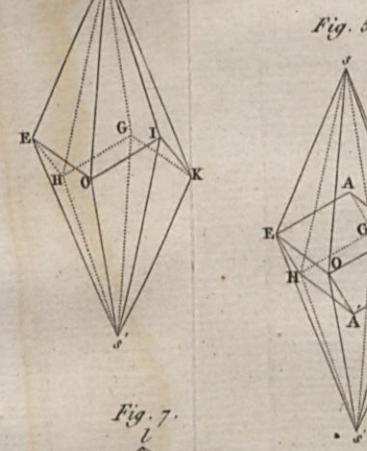
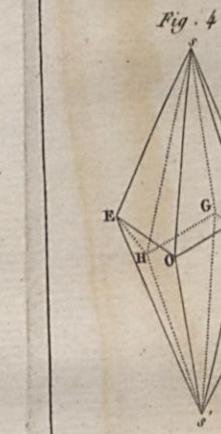
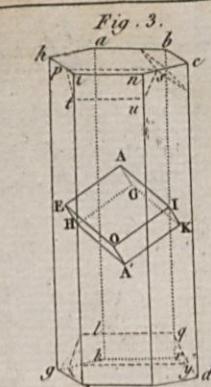
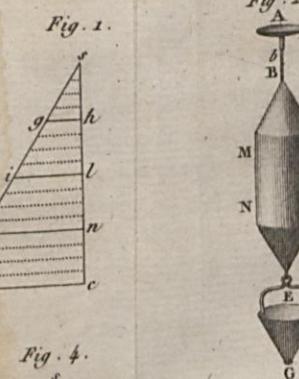
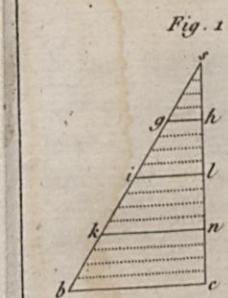
On pourroit demander si, au milieu de l'appareil imposant de nos machines artificielles, et de cette diversité de phénomènes qu'il offre à l'œil surpris, il y a quelque chose de plus propre à exciter l'intérêt des physiciens, que ces petits instrumens électriques exécutés

par la cristallisation, que cette réunion d'actions distinctes et contraires, resserrées dans un cristal qui peut n'avoir pas deux millimètres d'épaisseur; et ici revient l'observation déjà faite tant de fois, que les productions de la nature, qui semblent vouloir se cacher à nos regards, sont quelquefois celles qui ont le plus de choses à nous montrer.

## FIN DU TOME PREMIER.



201844-  
201844-1



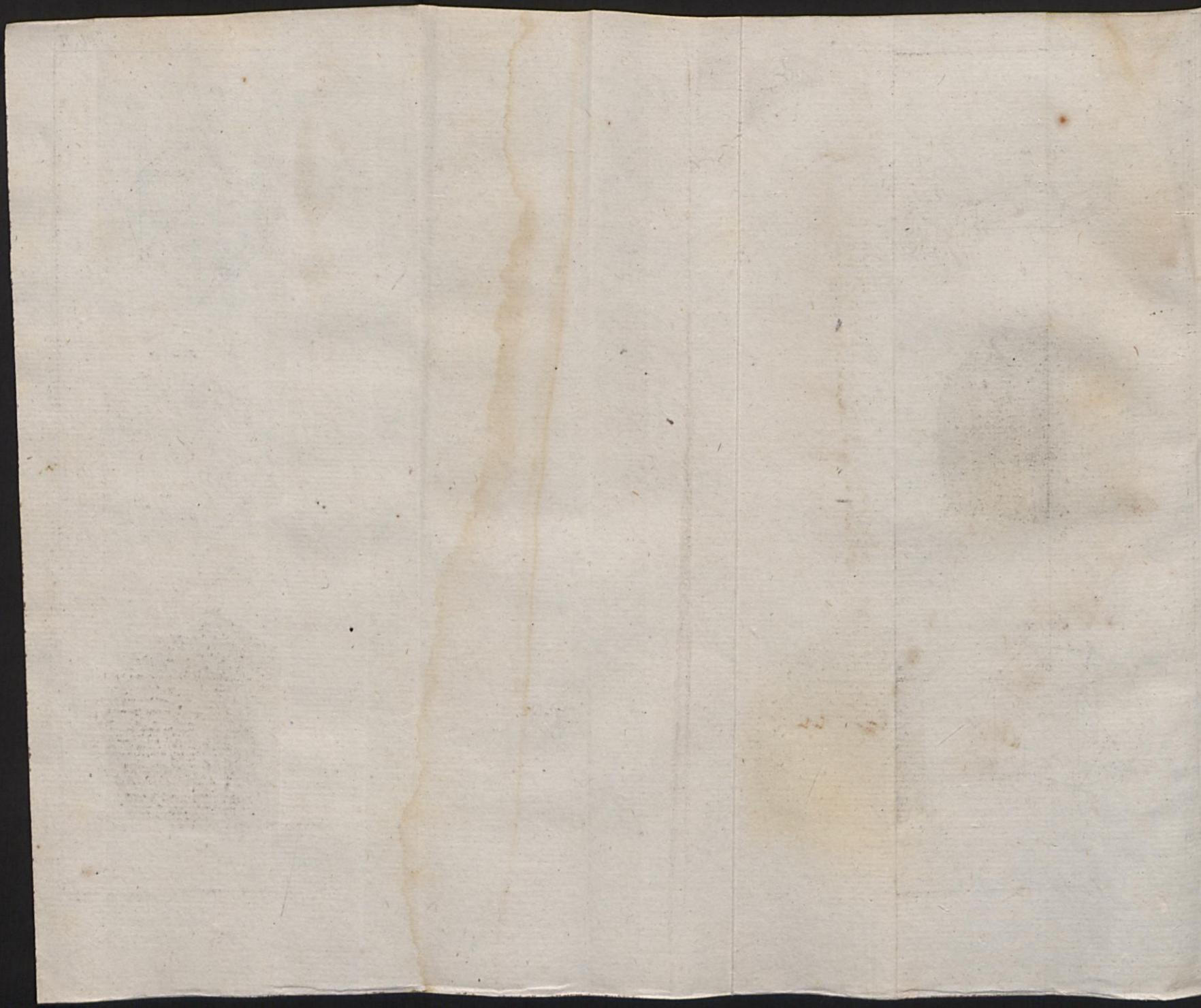


Fig. II.

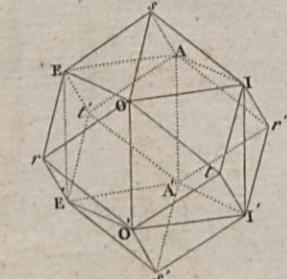


Fig. 10.

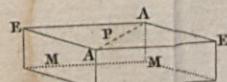


Fig. 15.

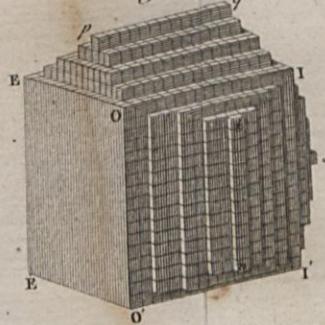


Fig. 13.

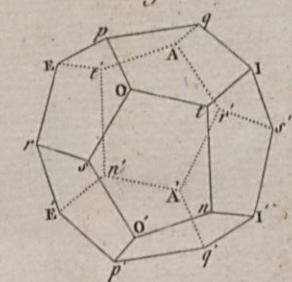


Fig. 14.

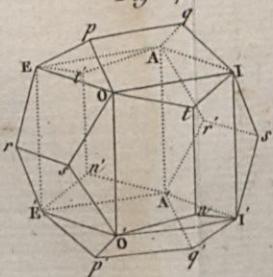
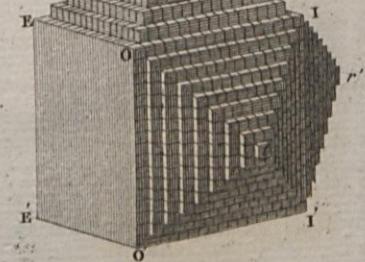


Fig. 12.



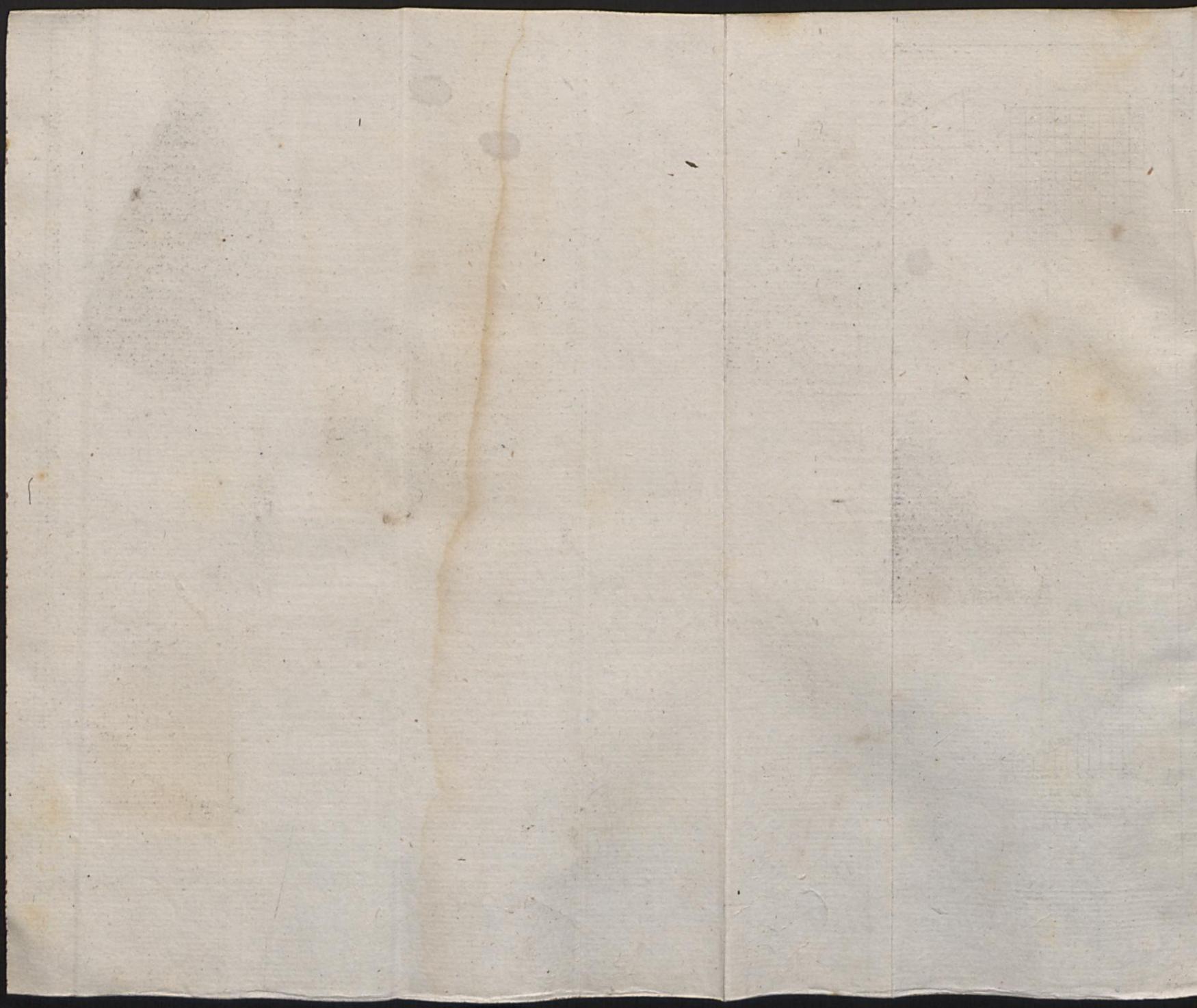


Fig. 18.

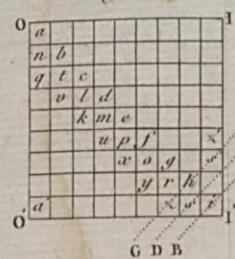


Fig. 19.

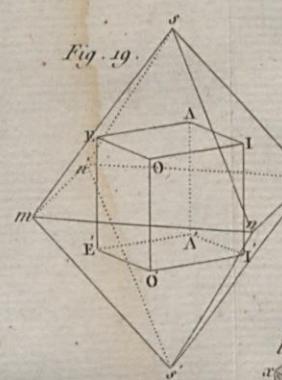


Fig. 16.

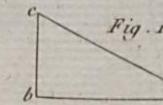


Fig. 17.

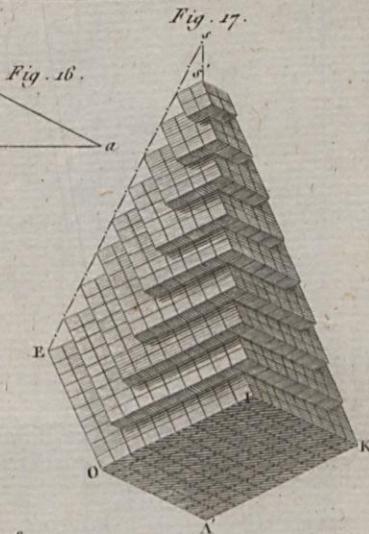


Fig. 20.

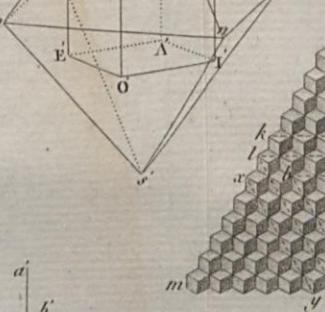


Fig. 21.

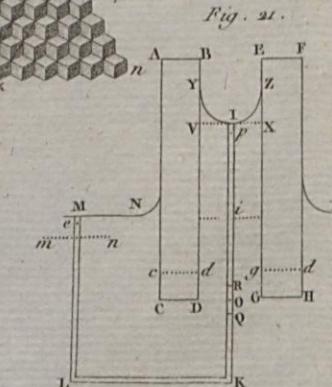


Fig. 22.

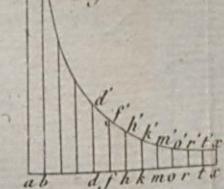


Fig. 23.

a, b, c, d, e, f, g, i, l, n, p, s, u, x

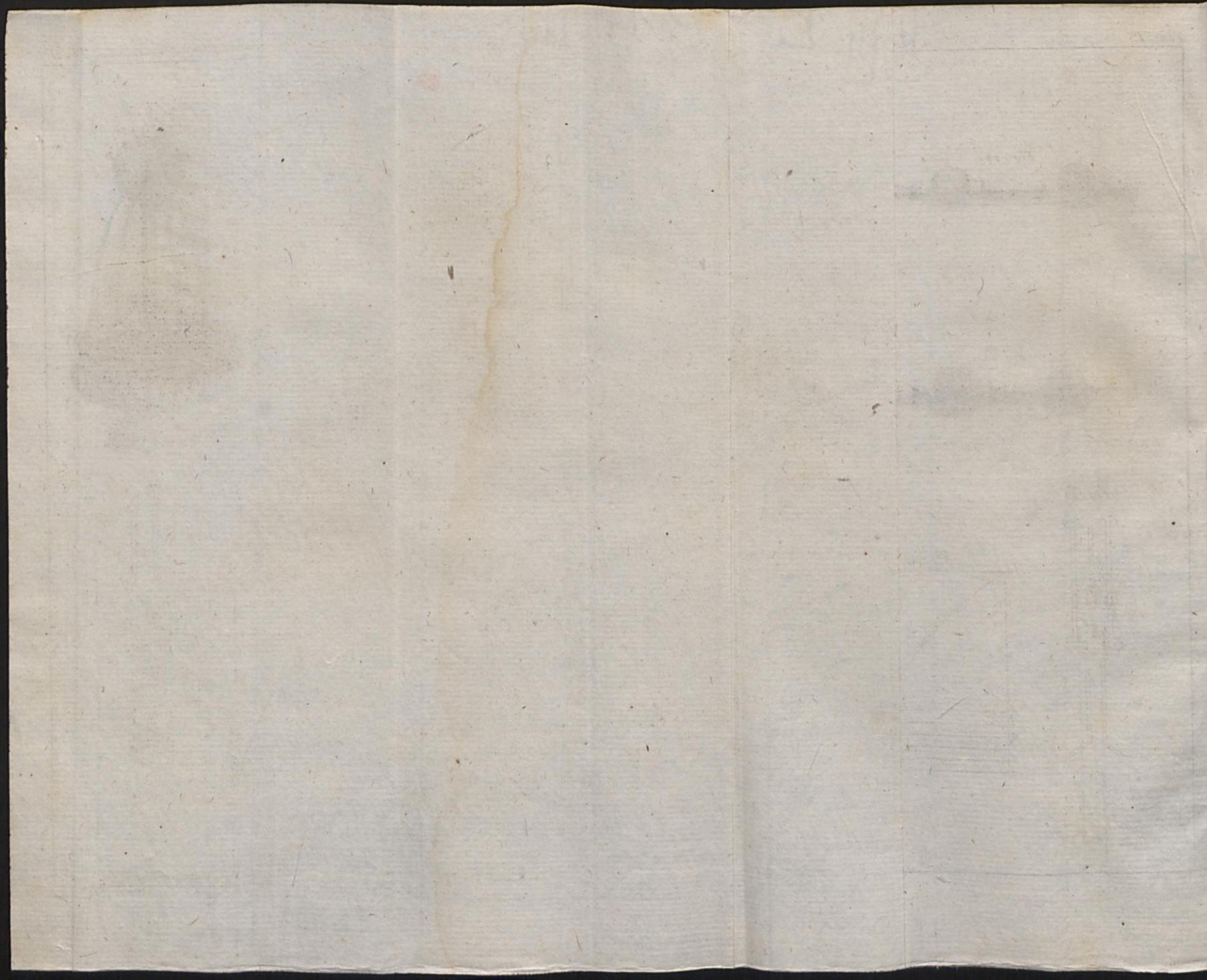


Fig. 24.



Fig. 25.



Fig. 26.

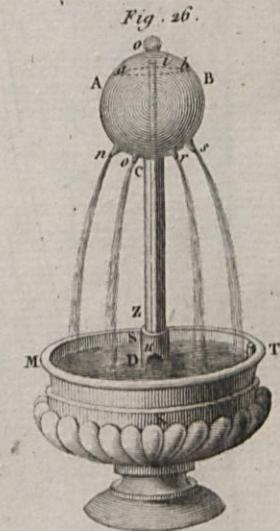


Fig. 27.

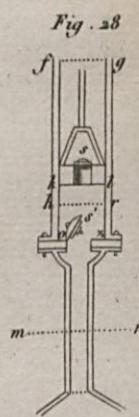
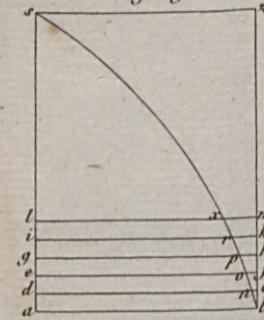
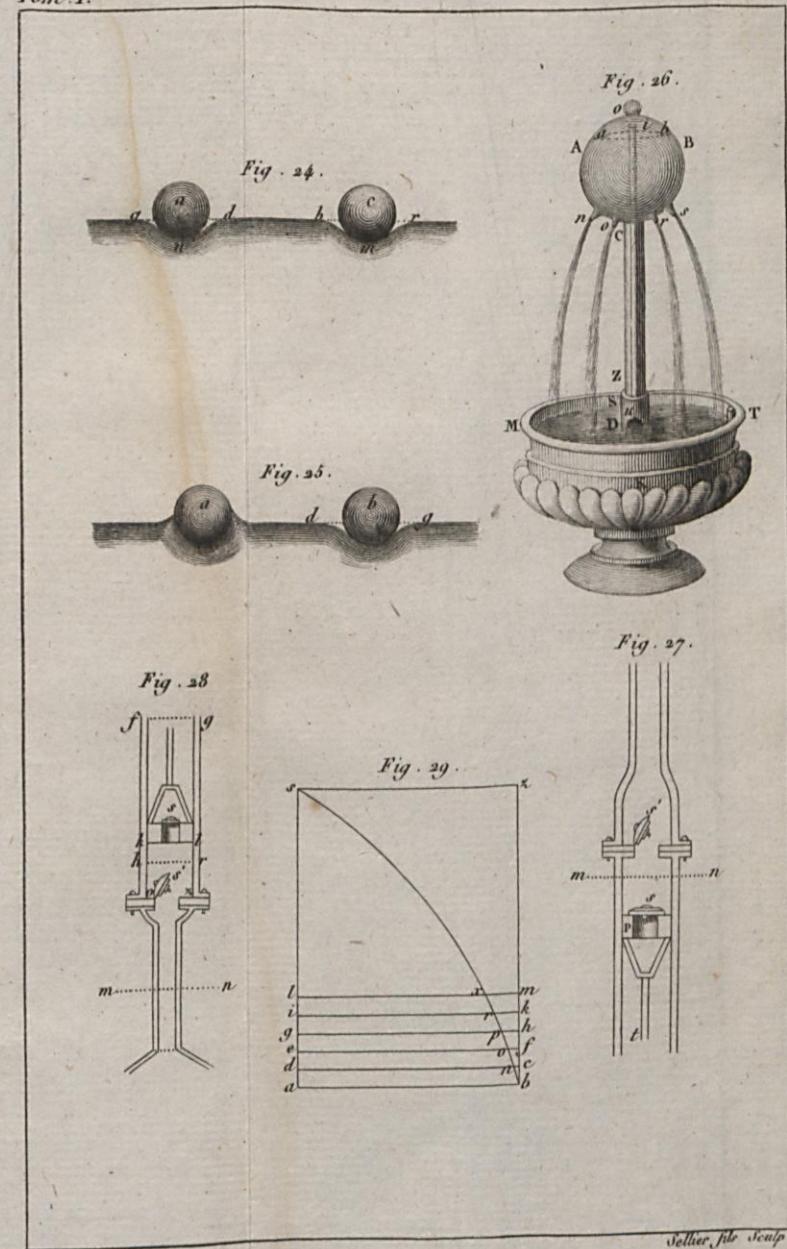


Fig. 28.



Sellier, filz. Sculp.



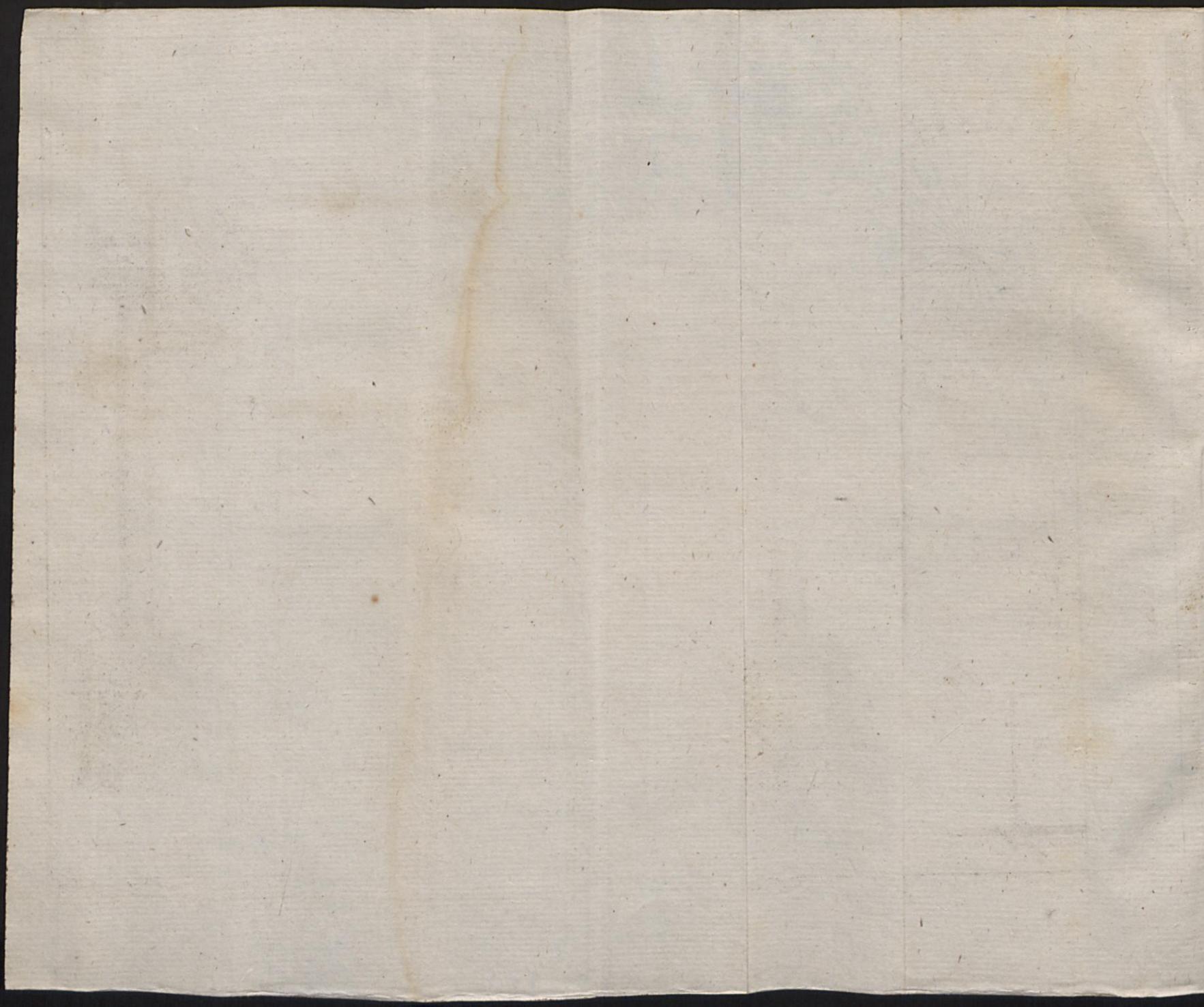


Fig. 30.

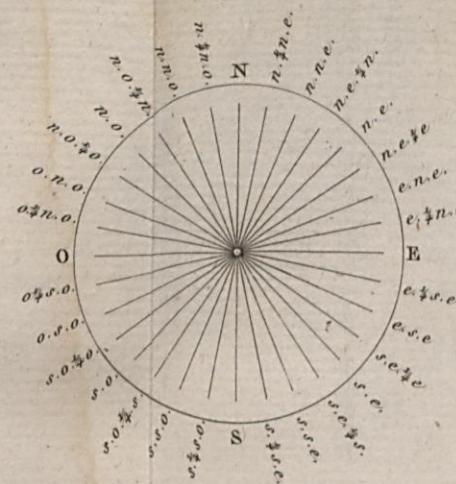


Fig. 34.



Fig. 31.

A ————— B

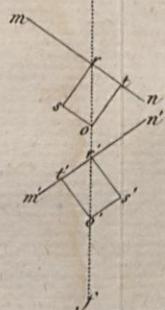


Fig. 32.

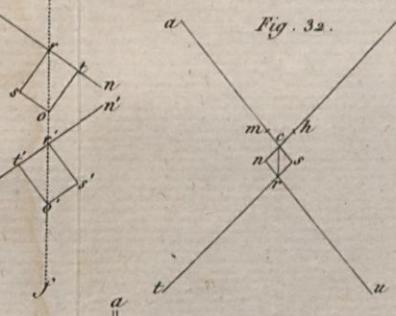
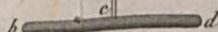


Fig. 33.



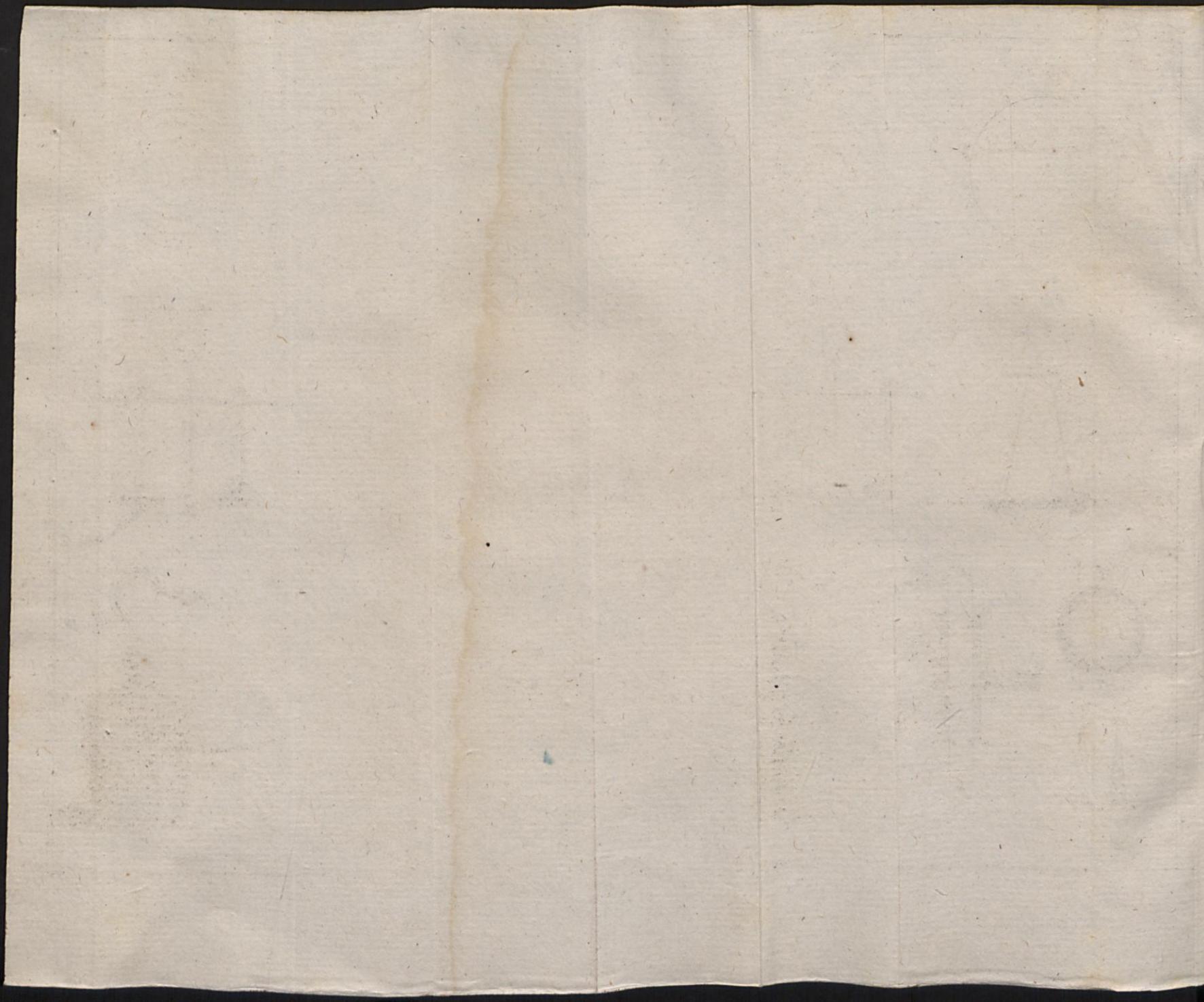


Fig. 35.

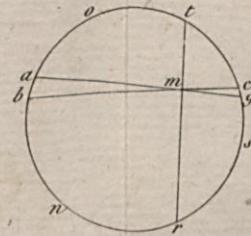


Fig. 36.

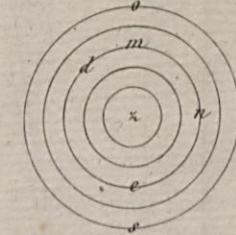


Fig. 37.

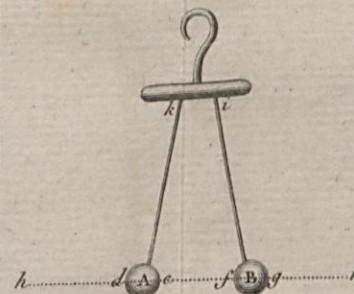


Fig. 38.

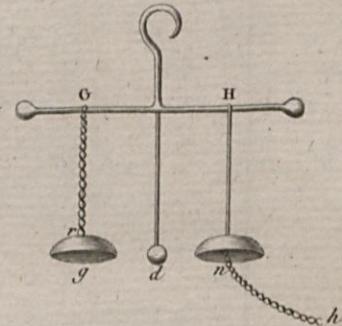
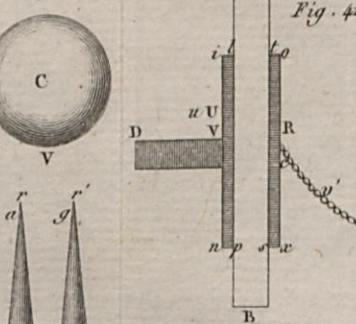
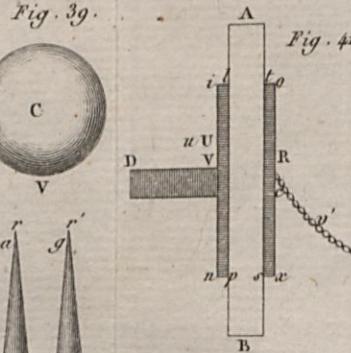
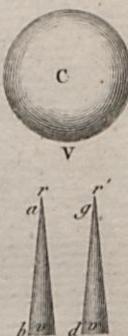


Fig. 39.



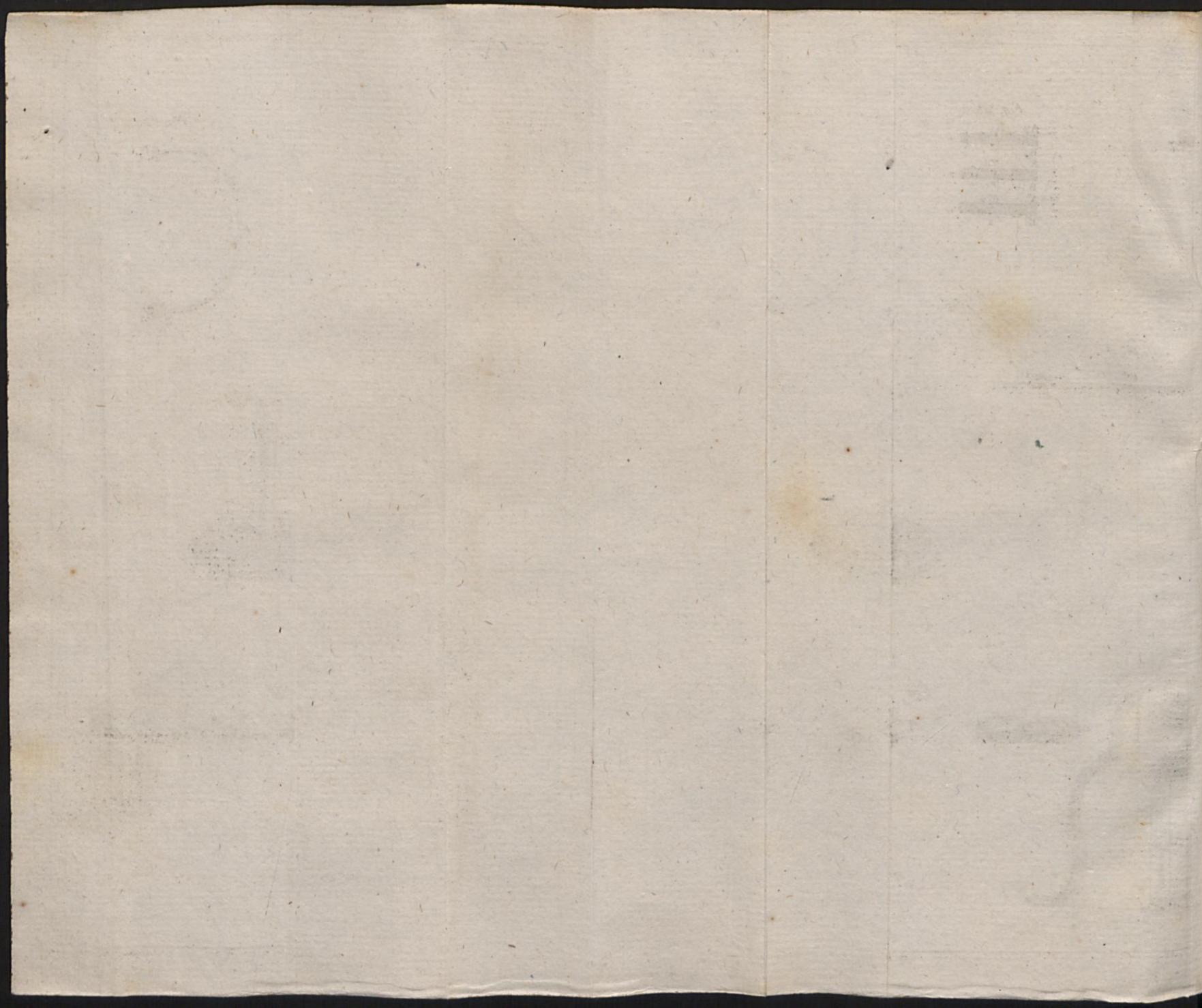


Fig. 42.

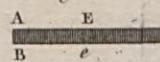


Fig. 43.

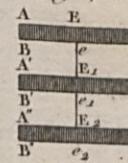


Fig. 44.



Fig. 45.

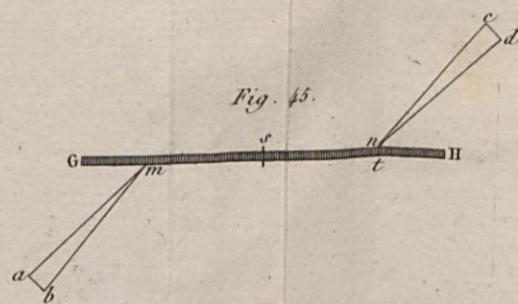


Fig. 46.

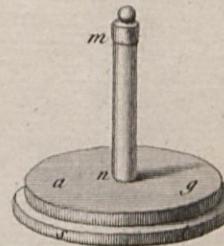


Fig. 47.

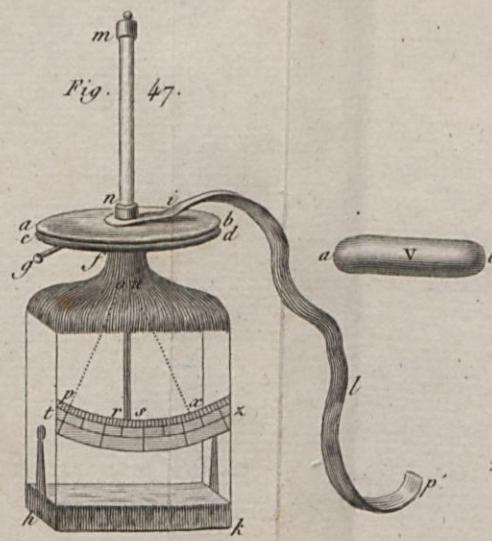
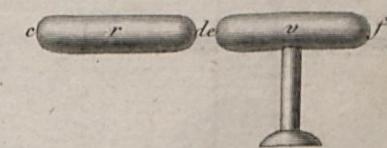


Fig. 48.



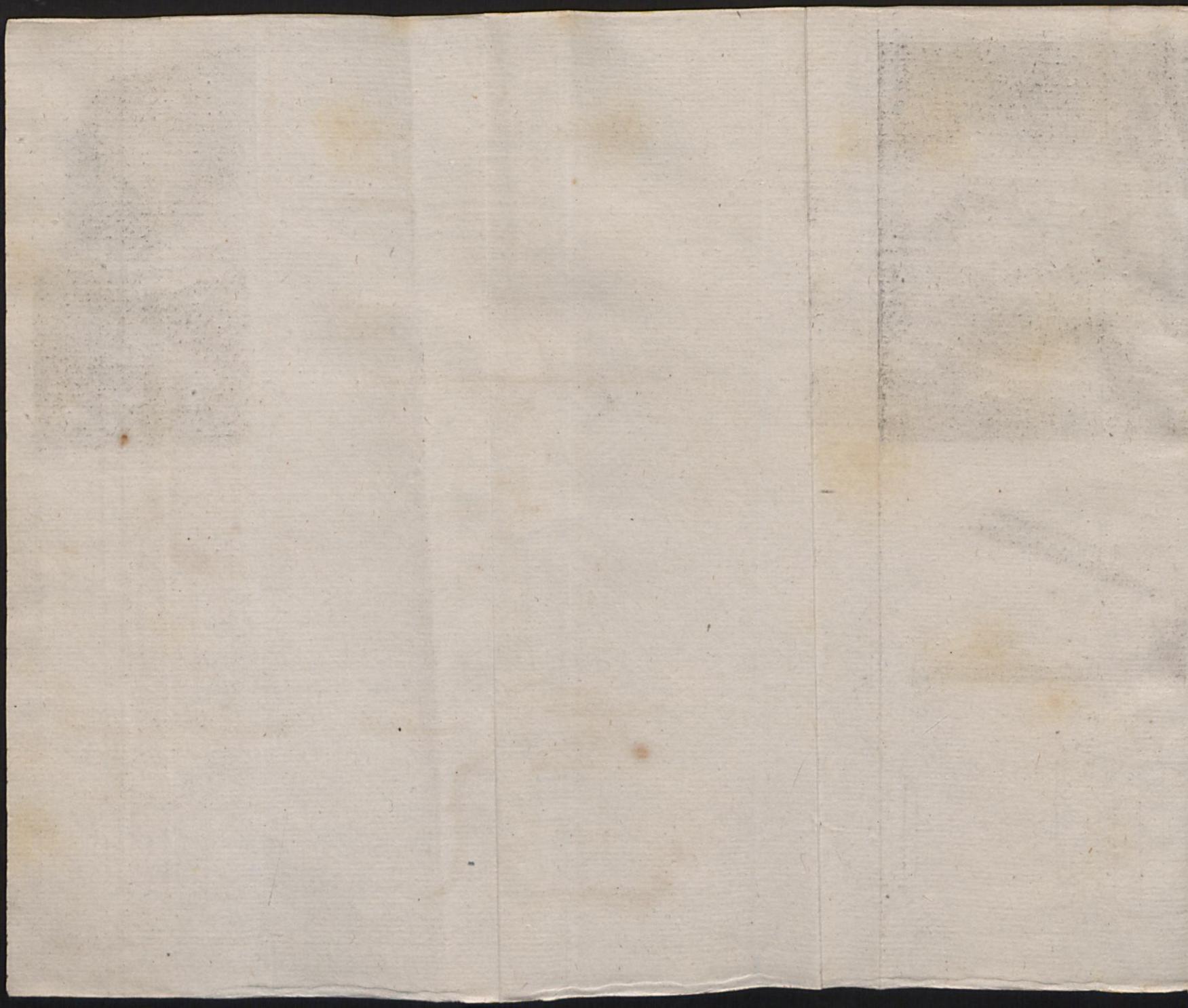


Fig. 49.



Fig. 50.

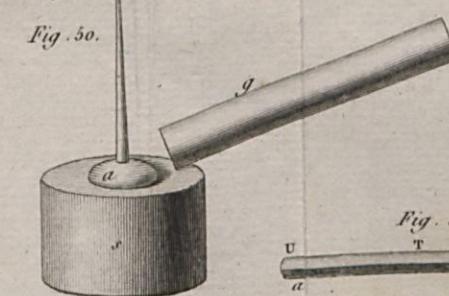


Fig. 51.

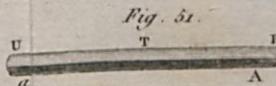


Fig. 52.

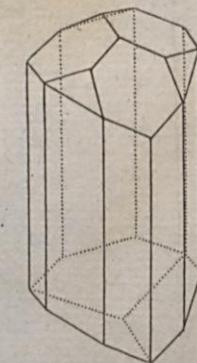


Fig. 53.

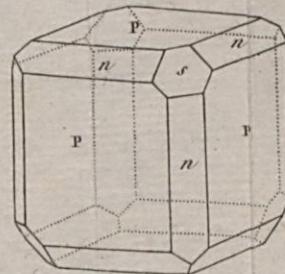
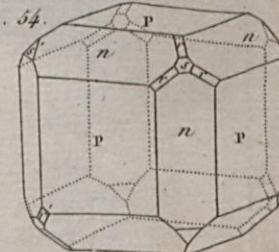
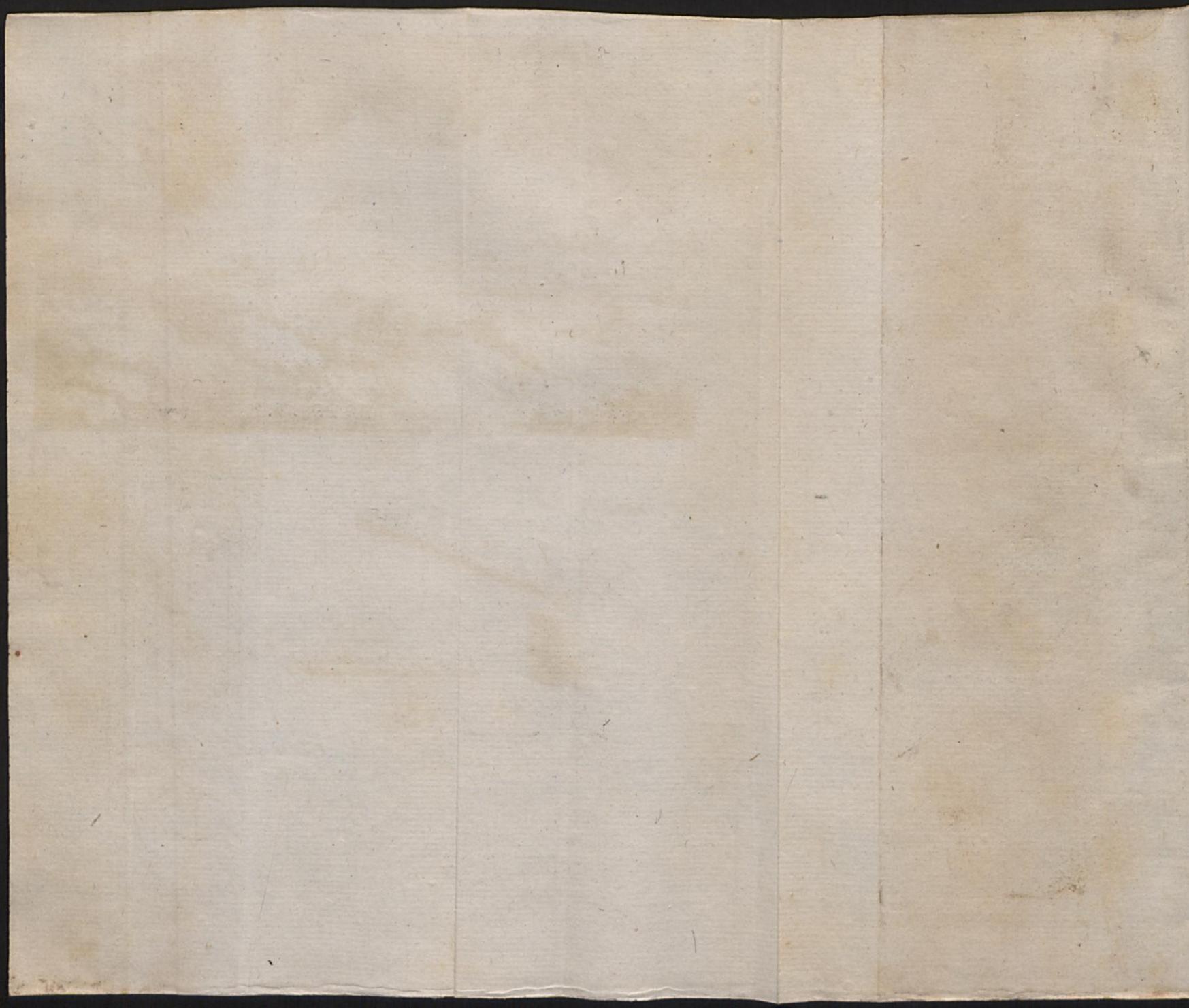
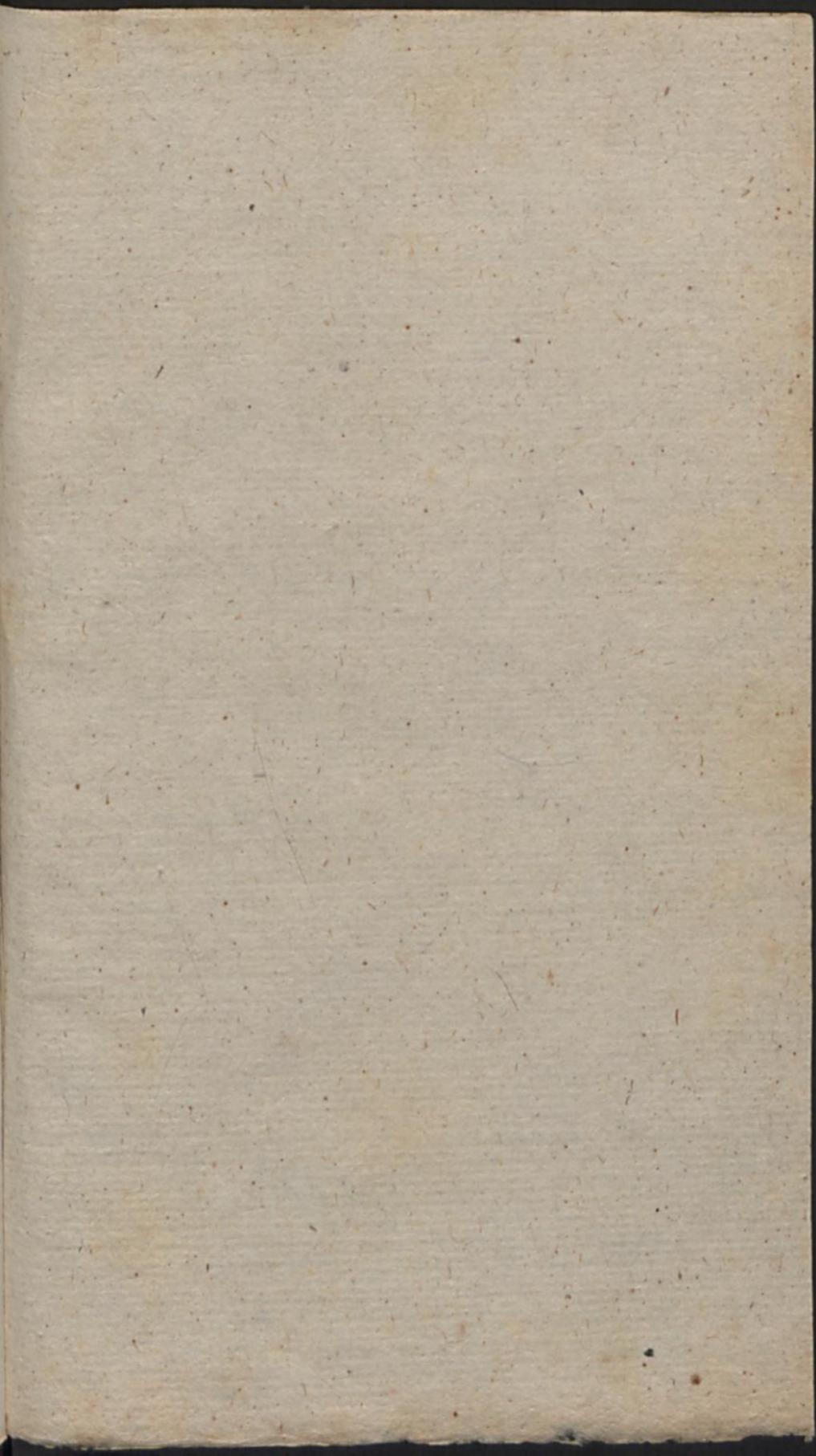


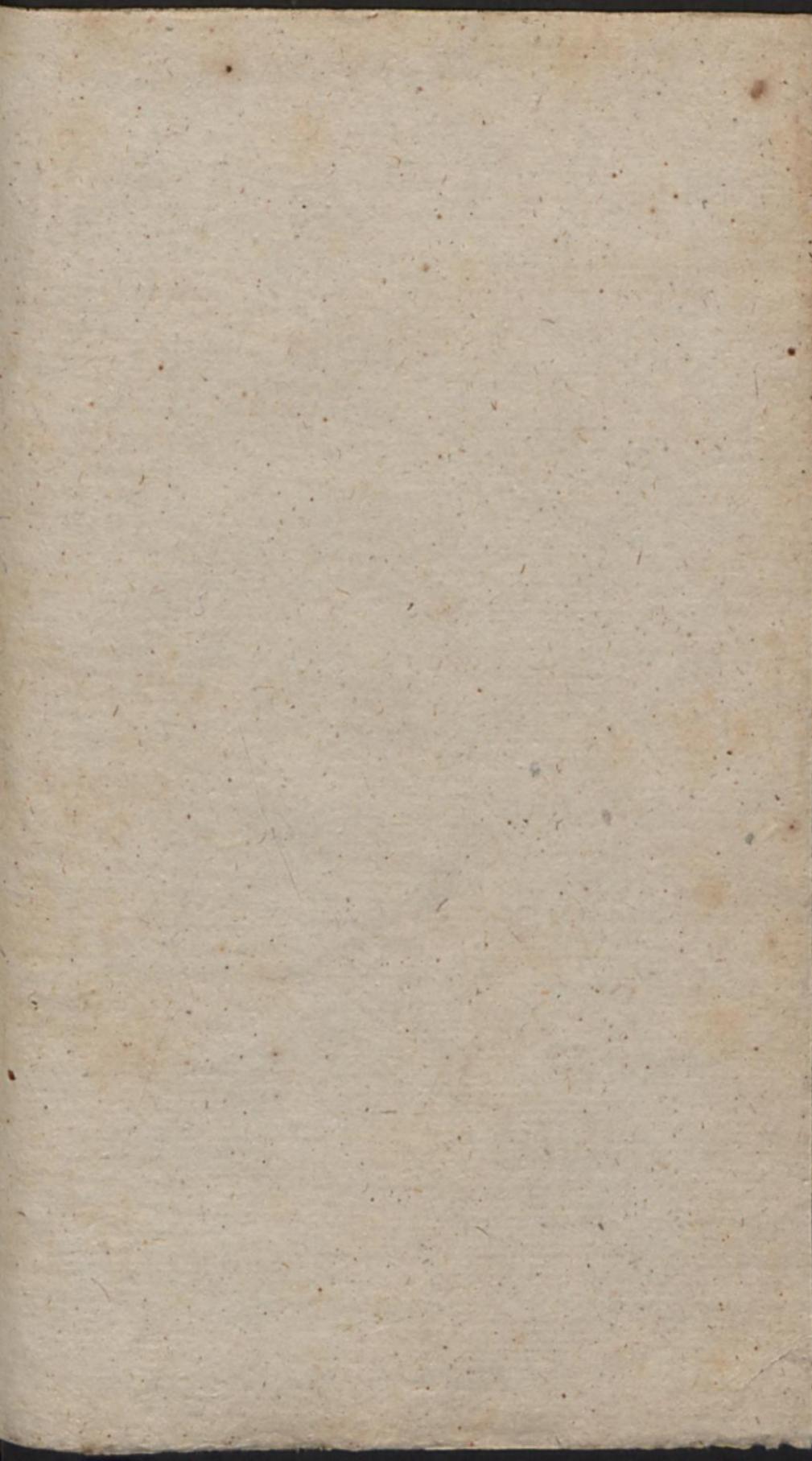
Fig. 54.

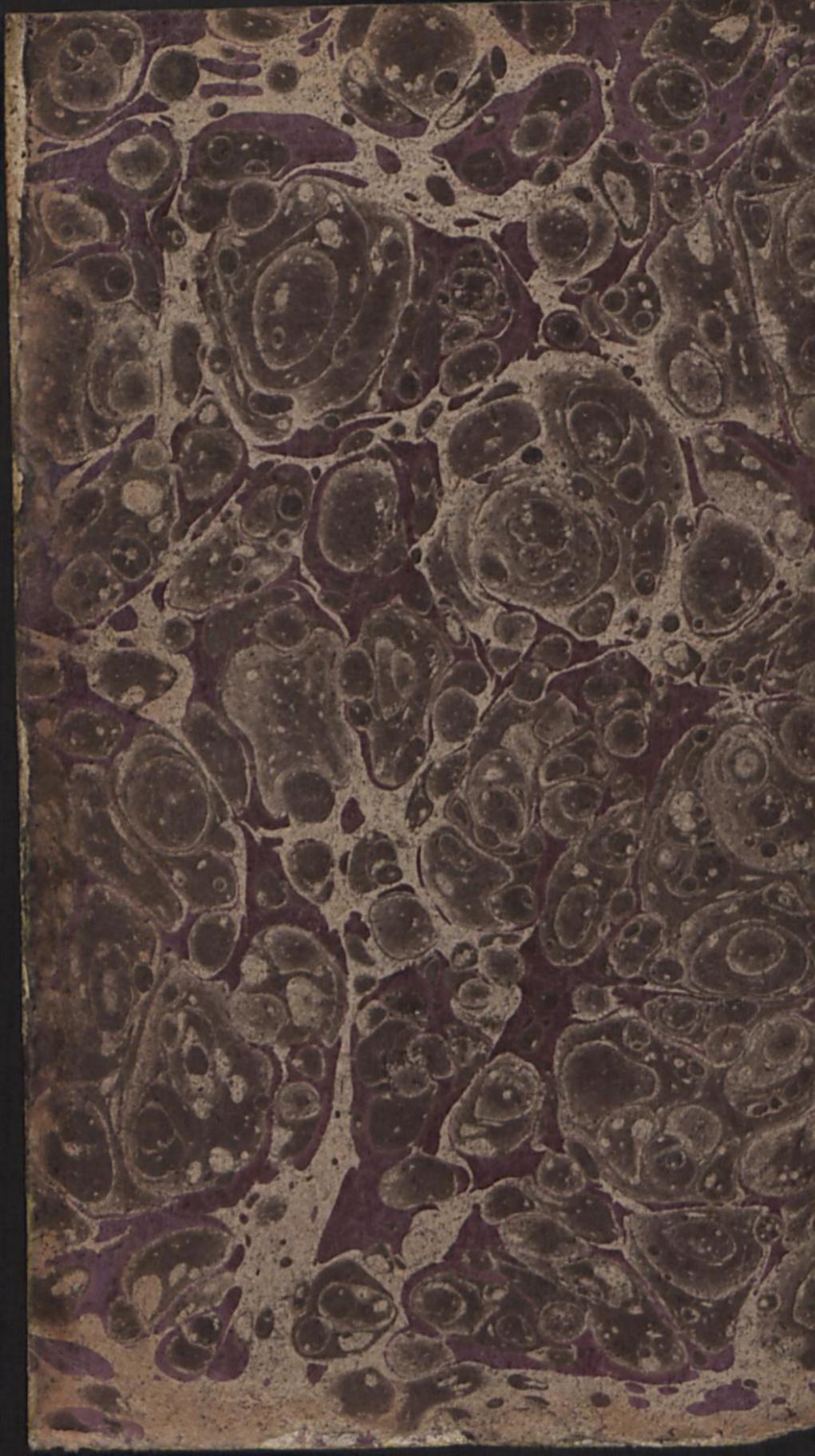






księgozbiór  
marcina zamoyskiego  
4956 - KZ







Biblioteka im. Hieronima  
Łopacińskiego w Lublinie

I 201844  
T.1



S: C: L: