

1<sup>re</sup> SÉRIE. N° 2.

---

**BIBLIOTHÈQUE INDUSTRIELLE**

INSTITUÉE

**PAR LE GOUVERNEMENT.**

---

PRINCIPES

DE

**PHYSIQUE GÉNÉRALE.**



PRINCIPES  
DE  
PHYSIQUE GÉNÉRALE.

---

(Introduction to the study of *Natural Philosophy* for the use  
of beginners, by CHARLES TONLINSON.)



BRUXELLES.  
G. STAPLEAUX, IMPRIMEUR-ÉDITEUR,  
RUE DE LA MONTAGNE, N° 51.

—  
1850



## AVANT-PROPOS.

---

L'utilité de *populariser*, c'est-à-dire de répandre de plus en plus la connaissance des principes des sciences et des phénomènes de la nature qui s'appliquent à diverses branches d'industrie, cette utilité d'une instruction pratique plus générale a été exposée et démontrée tant de fois, qu'il serait hors de propos d'insister encore aujourd'hui sur les avantages qu'une classe très-nombreuse de lecteurs peut retirer de la publication de traités scientifiques *populaires*.

Qui pourrait énumérer les bienfaits que l'application des sciences à l'industrie a répandus sur la société en général? Si presque tous les produits manufacturés, et ceux principalement qui appartiennent à la grande consommation, et qui intéressent plus directement la classe ouvrière; si les tissus de laine et de coton, et par conséquent les vêtements pour hommes et pour femmes, ont diminué de 60 et 70 pour cent de valeur depuis un quart de siècle, n'est-ce pas presque uniquement à l'application des sciences mécanique, physique et chimique au travail manufacturier que ces grandes améliorations doivent être attribuées? Le génie mécanique en se substituant au

travail manuel, la chimie en extrayant de matières grossières et sans valeur des produits précieux, n'ont-ils pas réalisé de véritables prodiges? L'instruction est donc une des principales sources de la richesse des nations.

L'instruction donnée de vive voix est incontestablement très-supérieure, quant aux résultats, à l'enseignement répandu par des publications de traités spéciaux; mais tandis que la démonstration verbale ne saurait s'adresser qu'au très-petit nombre, le livre bien écrit d'ailleurs, et publié dans de bonnes conditions, va trouver des milliers de lecteurs empêchés; et ses enseignements moins complets sans doute se répandent dans tous les sens et à toutes les distances.

Pour que l'ouvrage *populaire* soit utile, il faut qu'il soit facilement compris; qu'il expose clairement et simplement les faits et les résultats; qu'il les fasse apprécier par des exemples nombreux et intéressants; qu'il laisse résolument de côté toute démonstration scientifique. — Il faut que nous sachions tous, par exemple, que la terre tourne sur elle-même en 24 heures, et qu'elle accomplit chaque année sa révolution autour du soleil; mais qui oserait prétendre que nul ne doit croire ces faits s'il n'est à même d'en apprécier la démonstration? Un ouvrage *populaire* ne doit pas être un traité élémentaire, encore moins un abrégé de traités scientifiques. L'auteur d'un ouvrage *populaire* ne doit pas craindre d'aborder tous les grands phénomènes de la nature, il ne doit pas se borner à l'exposition des faits les plus simples; il doit donner tous les résultats de la science, de manière à les faire

apprécier complètement; de manière surtout à ce que l'homme qui s'occupe de fabrication puisse les comprendre et les appliquer au perfectionnement de son industrie.

L'ouvrage que nous publions aujourd'hui est traduit de l'anglais; il traite de la physique générale; c'est, comme disent les Anglais, une introduction à l'étude de la philosophie naturelle, c'est-à-dire que l'auteur a voulu commencer par mettre le lecteur novice au courant des grands phénomènes de la nature, lui faire connaître la place qu'il occupe dans l'univers, les lois qui régissent en quelque sorte l'organisation de tous les êtres, et surtout lui inspirer le goût de l'étude, et l'admiration et la reconnaissance envers l'Être suprême pour tant de grandeur, pour tant de bienfaits répandus partout autour de nous.

Le lecteur puisera dans l'exposé de ces faits la connaissance des principes qui servent de base à tous les travaux de l'industrie et des arts.

Un dernier mot sur l'ouvrage lui-même. Nous avons l'espoir que le public ratifiera le choix que nous avons fait. — Nous n'avons rien trouvé de plus clair, de plus précis, de plus nettement exposé, eu égard à la classe de lecteurs que nous voulions instruire; et nous avons pensé que ces *éléments de physique* seraient généralement considérés comme offrant à la fois utilité et plaisir à ceux à qui ils sont destinés.

Nous ferons suivre ce premier volume de plusieurs traités spéciaux élaborés d'après le même plan.



# INTRODUCTION

A L'ÉTUDE DE LA

## PHYSIQUE GÉNÉRALE.



I. — L'homme qui, secouant pour quelques semaines le souci des affaires, se décide à profiter des nouvelles voies de communication pour visiter les pays étrangers, obéit ordinairement à un mobile plus élevé que le simple désir de changer d'air et de soigner sa santé ; ou, pour mieux dire, ces motifs se joignent à d'autres plus importants. Il cède en même temps au désir d'étendre la sphère de ses connaissances, de recueillir des renseignements utiles et agréables qui lui fourniront plus tard des sujets de méditation, ou même de conversation, et qui lui faciliteront l'intelligence de certains livres dont il se promet la lecture. Le temps dont il dispose étant limité, il doit voyager rapidement ; aussi il choisit avec soin quelques-uns des objets les plus remarquables, et les étudie de manière à s'en former une idée claire et précise, tandis qu'en voulant trop embrasser, il ne lui resterait que des impressions vagues.

Mais que le touriste rencontre sur sa route un compagnon qui connaisse bien le pays, le langage,

les mœurs et les coutumes des habitants, combien le plaisir et l'utilité du voyage vont s'accroître pour lui ! Il ne perdra plus son temps et son argent à poursuivre des objets indignes de son attention, mais il se portera tout d'abord vers les choses qu'il lui importe de connaître. Aussi notre voyageur revient enchanté de son excursion ; il lit, à son retour, les meilleurs livres sur les pays qu'il vient de visiter, et il y trouve un intérêt qu'il n'eût point éprouvé avant son voyage, et auquel l'intelligence de son guide a contribué pour une bonne part.

Ce que le guide est pour le touriste, l'auteur de cette brochure espère l'être, dans une certaine mesure, pour le lecteur qui désire voyager dans les riches plaines de la philosophie naturelle. Pour ne pas sortir des étroites limites que nous nous sommes tracées, nous ne pouvons donner qu'un aperçu général du pays que nous visitons. Nous serons obligé de prendre le convoi de vitesse et de profiter de cette course rapide pour acquérir quelques connaissances. Aux stations, l'occasion peut se présenter d'examiner certains objets plus en détail ; mais ce sera moins dans le but d'étudier la nature du pays que pour indiquer la meilleure méthode de l'explorer.

II.—Avant de visiter un pays étranger, notre premier souci est relatif à la langue qu'on y parle. Comprendrons-nous la langue des habitants, ou bien, comprendront-ils la nôtre ? Dans notre rôle de guide à travers les régions de la philosophie naturelle, nous nous servirons le plus souvent du langage ordinaire. Il y a cependant une langue employée par les privilégiés, la langue mathématique, et qu'il importe de connaître.

Les meilleures lettres d'introduction ne feront pas admettre le voyageur dans la haute société, s'il n'en connaît un peu le langage ; il devra alors renoncer à pénétrer les secrets d'État, qui, quoique inconnus de la foule, exercent leur influence sur toute la société. Cependant nous pouvons voyager dans un pays et nous former une idée générale de ses lois, de ses institutions, de ses mœurs, de ses usages, sans pour cela nous mêler à la cour et à la noblesse ; de même nous pouvons, à l'aide du langage ordinaire, jeter un coup d'œil général dans les domaines de la philosophie naturelle et acquérir ainsi des notions utiles et importantes.

Les sciences naturelles, dans le sens le plus large et le plus général, embrassent la masse infinie d'êtres créés, ainsi que la connaissance des lois qui les gouvernent, c'est-à-dire l'étude de la *nature* entière. Les progrès incessants des connaissances humaines ont fait naître le besoin de subdiviser l'étude de la nature en plusieurs sciences distinctes. Les êtres créés se divisent d'abord en deux grandes classes : les *êtres organiques* et les *êtres inorganiques*. Les premiers diffèrent essentiellement des derniers par l'existence du *principe vital* ou de la *vie*.

La nature organique se divise à son tour en *zoologie* et en *botanique* ; la première de ces sciences a pour objet l'étude des *animaux* ; la seconde s'adresse aux *plantes*. Ces sciences, qui admettent un grand nombre de subdivisions, forment, avec la *minéralogie*, ce que l'on appelle l'*histoire naturelle*.

On forma ensuite une science distincte de l'étude des phénomènes célestes et l'on inventa l'*astrono-*

*mie*. L'étude des phénomènes inorganiques de la nature terrestre a donné naissance : 1<sup>o</sup> à la *géologie*, qui a pour objet l'étude et la description de la structure de l'enveloppe extérieure du globe, et la *minéralogie* qui s'occupe de l'étude particulière de chacun des éléments qui composent l'enveloppe de la terre; 2<sup>o</sup> la *chimie*, qui peut être considérée comme l'anatomie inorganique, son objet étant de décomposer les corps, de déterminer les propriétés de leurs éléments et les lois d'après lesquelles ils se combinent entre eux; 3<sup>o</sup> la *physique* ou *philosophie naturelle*, qui étudie les propriétés générales des corps, et qui par conséquent, dans son acception la plus large, comprend aussi la *chimie*, au moins en ce qui concerne les principes généraux. Mais l'emploi du mot *physique* est plus souvent limité aux phénomènes étrangers à la composition chimique, et qui dépendent de divers principes dont on a cherché les lois et la définition.

La philosophie naturelle, même dans ce sens restreint, est encore subdivisée en plusieurs sciences distinctes. L'action mutuelle des forces et des masses sur la matière produit sur cette dernière l'équilibre ou le mouvement. De là deux importantes divisions de la science nommées la *statique* et la *dynamique*, et qui à leur tour se subdivisent en *statique* et en *dynamique* proprement dite, lorsqu'il s'agit des corps solides; en *hydrostatique* et en *hydrodynamique* lorsqu'on les applique aux liquides; nous pourrions même ajouter l'*électrostatique* et l'*électrodynamique* lorsqu'il s'agit de l'électricité considérée comme fluide. L'application de la statique à

l'air et aux autres gaz se nomme *pneumatique*.

III. — L'application de la dynamique aux arts de la vie a produit la construction et la disposition des diverses machines qui servent à aider le travail de l'homme ; de là cette branche de la science appelée *mécanique*. La construction et l'exécution des diverses machines ou instruments employés pour élever l'eau, ou qui sont mus par l'action de ce fluide, appartiennent à l'hydrodynamique nommée quelquefois *hydraulique*, tandis que la construction des ouvrages dépendant de l'équilibre des liquides appartient à l'hydrostatique. De même les machines mues par le vent dépendent de l'application de la pneumatique ; et tous les divers phénomènes de l'atmosphère produits par l'action de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, de l'humidité, forment la science de la *météorologie*. Les phénomènes de la *chaleur* et de l'électricité donnent lieu aussi à des sciences séparées ; la dernière comprend cinq divisions, savoir : l'*électricité* proprement dite, le *maguétisme*, le *galvanisme* ou *électricité voltaïque*, la *thermo-électricité* et l'*électricité animale*. Les phénomènes de la lumière, quoique compris dans le mot général d'*optique*, sont tellement variés qu'ils composent au moins six branches étendues de science ; savoir : la *perspective*, la *catoptrique*, la *dioptrique*, la *chromatique*, l'*optique physique* et la *polarisation*, auxquelles on peut aujourd'hui en ajouter une septième, l'*actino-chimie*.

IV. — Il faut bien se pénétrer de ce fait que toutes ces divisions et subdivisions des sciences naturelles sont purement arbitraires, et ont été adoptées pour

en faciliter l'étude. Elles n'existent pas dans la nature, car les divers êtres, objets et phénomènes du monde naturel, sont tous sujets aux mêmes lois générales, et par conséquent dépendent de ces lois et en subissent l'influence. Il est presque impossible d'arriver à connaître à fond un seul phénomène sans le secours de diverses sciences. Mais il est une méthode d'arrangement, à l'aide de laquelle ces sciences se trouvent placées dans l'ordre de leur *complexité*, la plus simple se présentant la première, ou, en d'autres termes, les groupes de phénomènes qui dépendent des lois générales les plus simples forment la base sur laquelle on en élève d'autres qui offrent les mêmes caractères généraux que les premiers ; mais ils réunissent, en outre, quelques éléments nouveaux qui les rendent un peu plus *complexes* que le premier groupe. On ajoutera de même un troisième groupe au premier et au second, s'il contient les mêmes caractères et quelque chose de plus. De cette manière, on peut construire un système naturel de classification pour les phénomènes de la matière inorganique, comme on l'a fait avec tant de succès pour la zoologie et la botanique. Les animaux ou les plantes qu'il s'agissait de classer ont été soigneusement étudiés en vue de découvrir leurs affinités réelles, la dépendance des divers groupes, à l'égard les uns des autres, étant comme les anneaux d'une chaîne immense, avec cette différence qu'ici, au lieu que les anneaux soient tous semblables, le plus simple est placé le premier ; à celui-ci en succède un autre un peu plus complexe ; le troisième l'est plus encore, et ainsi de suite jusqu'au dernier. Ainsi, pour arriver à acquérir une idée

nette des diverses branches de la philosophie naturelle, nous devons les examiner en ce qui concerne leurs rapports mutuels, dans l'ordre de leur complexité progressive. Il est évident qu'à mesure que les faits deviennent multipliés, cette sorte de disposition ou de classification est nécessaire. Un certain nombre de faits sont choisis et disposés en groupe, suivant certain trait particulier qui est commun à tous ces faits. On forme ainsi une espèce de faisceau. Le trait commun, ou principe dominant, constitue un lien pour le faisceau, qui est mis de côté afin de servir à un usage ultérieur. Mais il arrive souvent que ce lien, ce principe dominant, fait défaut pour retenir ensemble les faits ainsi recueillis; c'est que sans doute il est mauvais; il est possible que le prétendu principe gouvernant ne gouverne rien; un faisceau de faits peut tomber en pièces aussitôt qu'on l'a formé; et c'est là une preuve suffisante qu'il faut le rattacher à un autre principe. Cependant la seule tentative faite pour grouper les faits a en elle-même son utilité; mieux vaut un mauvais arrangement que de n'en point avoir; car un mauvais arrangement peut mener à un bon, tandis que l'absence d'arrangement ne peut produire que la confusion. Le grand régénérateur des sciences naturelles, Bacon, l'a dit de la manière brillante qui lui est propre: « La vérité ressort plus facilement de l'erreur que de la confusion. »

V. — De là, dans la science, l'usage des *hypothèses* ou *théories* qui sont souvent nécessaires pour nous mettre à même, non-seulement de classer, mais encore de décrire des faits connus. Les hypothèses sont

souvent aussi nécessaires que le langage; car sans elles, nous ne pourrions ni exprimer ce qui est connu, ni même y penser d'une manière intelligente. En échangeant souvent une hypothèse pour une autre, on finit par démêler la véritable loi de la nature; c'est-à-dire que les uniformités qui existent dans une certaine catégorie de phénomènes sont réduites à leur plus simple forme d'expression. Une loi de la nature ainsi formée est remarquable, non-seulement par sa simplicité, mais encore à cause de la vaste sphère de son application; elle unit en un tout harmonieux des faits nombreux déjà connus, et répand la lumière sur d'autres faits qui étaient encore dans l'obscurité. Lorsque l'esprit est bien pénétré de cette loi dans toute sa généralité, il n'est plus besoin d'un effort séparé de mémoire pour chaque fait, car la loi est si vaste que non-seulement elle donne à l'esprit la faculté de retenir les faits, mais encore elle l'aide à en découvrir d'autres et à les observer dans la nature, dans une foule de circonstances où leur présence n'était pas même soupçonnée jusqu'alors.

Ainsi l'hypothèse est utile pour arranger les faits, et par là, aider la mémoire à les retenir, bien qu'elle ne soit pas une expression vraie de la nature. Elle peut contenir une partie de la vérité et conduire graduellement à la démonstration de la loi véritable. Les faits s'établissent par l'observation et l'expérience; à l'aide des classifications successives auxquelles donnent lieu les diverses hypothèses, un principe ou loi de la nature se produit enfin au jour; cette méthode de traiter ou de généraliser les faits

se nomme *induction*, et constitue le grand agent d'investigation dans les recherches physiques.

VI. — De là, naît un des points les plus importants de distinction entre la science *physique* et la science *abstraite* ou mathématique. La dernière procède surtout par *déduction* ou en descendant du général au particulier, en partant des idées fondamentales de l'espace et du nombre, et en les suivant dans des combinaisons et des ramifications de plus en plus compliquées ; tandis que la science naturelle au contraire est *inductive*, son but constant étant de généraliser ou de recueillir un grand nombre de faits particuliers en une formule ou loi générale, et de réunir ensuite ces lois en un seul principe plus général encore ; et ainsi, non-seulement elle étend la somme de nos connaissances, mais elle les condense en une formule de plus en plus restreinte. En effet, quoique le nombre des faits connus augmente continuellement, le nombre des *principes* reconnus diminue sans cesse, et le premier objet doit être considéré comme purement secondaire et subordonné au dernier, qui est le vrai but de la science physique. Aussi, bien que cette assertion puisse paraître paradoxale, il est cependant de toute vérité que plus les sciences naturelles font de progrès, plus les lois de la nature sont exactement reconnues, et moins nous avons de choses à retenir.

VII. — On peut donc admettre trois objets principaux dans toute science naturelle.

D'abord, la *découverte des lois*, ou la généralisation des faits ou phénomènes de la nature, et leur réduction au plus petit nombre possible de principes. Cet

objet est le seul qu'il nous soit permis d'atteindre complètement. Cela a lieu aujourd'hui pour deux branches de la science que nous avons mentionnées plus haut : la dynamique et l'astronomie ; elles sont aujourd'hui retirées du nombre des sciences d'induction et placées au rang des sciences *synthétiques*, le travail de l'*induction* étant entièrement terminé.

Vient ensuite la *détermination des données*, c'est-à-dire de certains faits qui doivent être connus, ainsi que les rapports qu'ils ont entre eux, avant que les lois puissent être appliquées *synthétiquement* pour prédire un fait ou un phénomène. La connaissance la plus parfaite des lois du mouvement planétaire, unie à la science des mathématiques, ne suffirait pas pour mettre l'astronome en mesure de prédire la place qu'occupera une planète à tel moment donné, s'il ne connaissait la place qu'elle occupait à tel autre moment donné <sup>1</sup>, et en même temps certaines dimensions particulières <sup>2</sup>, qui fixent la forme, l'étendue et la position de son orbite. Il en est de même de toutes les autres lois naturelles ; elles sont trop générales pour admettre une application particulière, à moins que nous n'ayons des *données* particulières qui doivent être le résultat d'un mesurage direct, d'un raisonnement mathématique ou d'une combinaison de ces deux moyens. Mais comme il n'y a pas de mesure parfaite, ni même assez exacte pour rendre inutile une exactitude plus grande, il est évident que la détermination des données doit être considérée comme un but vers lequel nous ten-

<sup>1</sup> En termes techniques l'époque.

<sup>2</sup> En termes techniques les éléments de son orbite.

dons sans cesse, sans jamais l'atteindre complètement, quoique les progrès de la science fournissent chaque jour le moyen d'obtenir une plus grande exactitude.

Enfin, l'objet principal, celui pour lequel on poursuit la connaissance des deux premiers, consiste à *déduire* de ces lois et données des faits, ou phénomènes, qui peuvent résulter de nouvelles combinaisons des mêmes éléments, ou à déterminer de quelle manière ces éléments doivent se combiner pour produire un résultat donné. C'est ici que la vérité du fameux aphorisme : *savoir c'est pouvoir*, commence à se réaliser. Mais c'est ici aussi que nous apercevons clairement l'inefficacité des connaissances humaines ; car si, parmi les trois objets que se proposent les sciences naturelles, le premier peut être atteint d'une manière complète, le second ne peut l'être qu'approximativement, et l'on ne peut approcher du dernier qu'à une grande distance et à peu près comme un ballon s'approche des étoiles. Dire que les déductions que nous tirons d'une loi une fois établie ne sont limitées que par l'étendue de nos connaissances mathématiques, c'est déclarer qu'elles ont en effet des bornes ; car c'est en mathématiques, plus encore que dans les sciences physiques, que, suivant les paroles de notre grand concitoyen, « nous ramassons quelques cailloux sur le bord de la mer, » tandis que l'océan immense, infini, de la vérité, est devant nous sans que nous puissions en sonder la profondeur.

VIII. — Nous pouvons citer comme un exemple de la vérité de ces assertions la loi de la gravitation qui règle les mouvements des corps célestes. C'est la plus

simple qui se puisse concevoir : elle consiste à dire que les corps s'attirent proportionnellement à leur masse et en raison inverse du carré de leur distance <sup>1</sup>. Eh bien ! l'objet de l'astronomie physique est de déduire de cette loi unique et si simple tous les mouvements des corps (au nombre de trente environ), qui constituent le système planétaire auquel nous appartenons. C'est ce qui a été fait de manière à ne laisser aucun doute raisonnable sur la possibilité de le faire complètement, si le problème était à la portée des sciences mathématiques. Mais cette science ou l'application que nous en faisons a ses limites. Les mouvements de deux corps gravitant l'un vers l'autre peuvent être déduits sans beaucoup de difficulté ; mais qu'un *troisième* corps soit introduit, et que les trois corps s'attirent réciproquement l'un l'autre, et le problème devient le plus difficile que nos connaissances mathématiques soient encore parvenues à résoudre. Il n'y a pas lieu d'espérer, quant à présent, que l'on puisse déterminer les mouvements de *quatre* corps agissant réciproquement, en vertu de cette loi si simple ; et c'est seulement à raison de l'immense disproportion, entre la masse du soleil et celles des plus grandes planètes, et entre celles-ci et les plus petites, que les événements astronomiques peuvent être prédits avec autant d'exactitude. Cette heureuse disproportion permet d'atteindre un degré suffisant d'exactitude sans considérer l'action de plus de trois corps à la fois.

<sup>1</sup> Il a été prouvé qu'une force variant en raison inverse de la *simple distance* au lieu du *carré* de la distance, quoique énoncée en termes plus simples, conduirait cependant à des résultats plus compliqués.

Cela peut donner une idée de la faiblesse de la science de déduction et de son entière impuissance à déterminer, à l'aide des simples lois de la dynamique et de la gravitation, quelques-uns des grands mouvements terrestres de chaque jour. Si le « problème de *trois corps* » est le plus élevé qui ait été résolu jusqu'à présent, que dirons-nous du problème des corps innombrables qui se présentent à nous dans chaque phénomène terrestre?

IX. — Le premier problème de la physique est donc : Les phénomènes étant donnés, déterminer la loi. Le second est : La loi et quelques phénomènes étant donnés, trouver les *éléments* qui doivent servir de *données* pour prédire d'autres phénomènes. Le troisième problème est une inversion de ce dernier : Donnés la *loi* et ces *éléments*, prédire les *phénomènes*. Quoique le premier de ces problèmes soit, comme nous l'avons vu, le seul que l'on puisse résoudre complètement, cependant c'est le seul qui ne puisse pas être réduit à une forme logique ; c'est le seul qui ne puisse pas être soumis à des règles fixes. C'est tout simplement, dans l'énonciation, ce que les mathématiciens nomment un problème *indéterminé*, c'est-à-dire que les prémisses sont insuffisantes pour déterminer ou fixer la conclusion, au lieu que dans les deux autres cas elles peuvent suffire ; car nous avons *deux* choses données pour en trouver *une*. Ainsi, tandis que ceux-ci sont soumis aux règles rigoureuses du raisonnement, le premier problème ne peut être résolu que par l'hypothèse, par des conjectures et des essais successifs ; car la vérité d'une loi à laquelle on arrive par induction ne peut être

connue si ce n'est en renversant la formule et en déduisant les phénomènes de la loi. On ne peut donc donner de règles générales pour l'induction ou pour la découverte d'une loi à l'aide d'une série de phénomènes, pas plus que le chimiste ne peut donner de règles pour analyser des substances qui contiennent des ingrédients inconnus; car ces règles de l'induction, si on pouvait en donner, comprendraient, ainsi que le fait remarquer sir John Herschel, la science inductive tout entière. L'induction ne serait plus nécessaire, son objet étant atteint et son problème résolu de prime abord dans toute sa généralité, de manière à rendre inutile toute solution ultérieure des cas particuliers.

Mais quoique ce grand et premier objet des sciences naturelles ne puisse être soumis à des règles fixes, cependant un grand nombre de philosophes ont rendu d'importants services en recueillant, arrangeant, décrivant et raisonnant sur les diverses méthodes qui ont le plus souvent aidé à l'atteindre. Le premier de ces hommes fut Bacon qui, sans avoir découvert la vérité physique, devint néanmoins le fondateur de la philosophie naturelle, en indiquant, le premier, son véritable objet, et en suggérant les moyens par lesquels on pouvait espérer de l'atteindre. La mise en pratique de ses conseils a amené toutes les précieuses découvertes des deux derniers siècles; et il est douteux que cette grande découverte scientifique ne constitue pas un plus vaste effort d'intelligence (car elle a incontestablement une plus grande généralité d'application) qu'aucune des découvertes physiques qu'elle a produites.

Énumérer les principes applicables au raisonne-

ment par induction serait hors de propos dans cet opuscule. En voici cependant un que nous ne pouvons passer sous silence, tant à cause de sa beauté qu'à cause de son influence directe sur la théologie naturelle.

X. — Dans toutes ses recherches, le philosophe de la nature est grandement aidé par l'*analogie*. Dans les grandes vérités ou lois de la nature qui ont été établies jusqu'à présent, il y a tant de simplicité, un plan si manifeste, qu'on y discerne partout la main du Tout-Puissant. La nature fonctionne à l'aide des moyens les plus simples; le plan est uniforme dans ce que nous comprenons, et nous cherchons la simplicité et l'uniformité du plan dans ce que nous voulons rendre clair.

Un grand nombre des hypothèses ou des conjectures sur les lois naturelles, qui ont eu le plus de succès, ont été suggérées dans l'origine par ce principe de l'analogie. Mais nous devons nous garder de nous laisser entraîner trop loin dans cette voie, parce que la *variété* infinie est un principe de la nature, tout aussi bien que l'*unité* parfaite. Et en comptant trop sur la dernière, nous courrions risque d'oublier l'autre. Un remarquable exemple de ce fait se présente dans l'histoire de la science de la lumière. Ce fut par l'analogie tirée des propriétés du son que Huyghens fut amené à fonder sa belle théorie de la lumière, en supposant qu'elle consistait dans un mouvement de vibration transmis à travers un fluide universel supposé, de la même manière que les vibrations sont transmises à travers l'air. Mais quoique la réalité de la théorie ondulatoire de la lumière ait été rendue de plus en plus probable par la concordance remarquable et inespérée de cette théorie

avec toutes les découvertes subséquentes, il a été pourtant démontré que l'analogie qui avait conduit à cette idée ingénieuse était sans fondement, les vagues ou vibrations de la lumière étant communiquées dans un mode tout différent de celles du son, c'est-à-dire latéralement et non circulairement; car, tandis que le son est propagé par chaque molécule de fluide poussant et pressant sa voisine en tous sens, les molécules transmettent la lumière au moyen d'une pression purement latérale.

XI.—Nous avons parlé de la valeur des hypothèses pour réunir les faits jusqu'à ce que la science soit prête à les généraliser d'une manière plus complète en loi de la nature. L'histoire de la science fournit plusieurs exemples instructifs du mode par lequel une hypothèse est remplacée par une loi. Ainsi, c'était par une hypothèse que les anciens philosophes disaient que la nature a horreur du vide; et ils y étaient amenés naturellement en observant que non-seulement il n'existe aucun espace vide dans le monde, mais que tous les essais pour en former échouaient par l'entrée inattendue de quelque matière, sans qu'ils pussent y voir l'effet d'aucune autre loi naturelle connue, si ce n'est celle qu'ils avaient supposée. Ainsi, si l'un des bouts d'un tube est immergé dans l'eau et que l'autre bout soit mis dans la bouche, en aspirant l'air, l'eau s'élèvera dans le tube. La même chose arrive dans une pompe. Un bout du tuyau plonge dans le puits; on fait agir le piston qui est placé dans le tuyau, l'air en est extrait, et l'eau s'élève. Ces faits, et d'autres en grand nombre hypothétiquement réunis par le mot *aspiration*, étaient

attribués à l'antipathie de la nature pour le vide. Mais il arriva que, dans une pompe érigée à Florence, il fut impossible de faire monter l'eau à la surface. De là, grand étonnement : on examina les circonstances de ce fait étrange, et on fut d'accord qu'il devait être attribué à ce que la distance du piston de la pompe à la surface de l'eau dans le puits était de plus de trente-trois pieds.

Galilée fut consulté. La réponse fut-elle ironique ou sérieuse ? C'est ce que nous ignorons. Il répondit « que la nature n'a horreur du vide que jusqu'à trente-deux pieds de profondeur. » Cette prédilection particulière de la nature pour un certain nombre de pieds était en effet la seule manière de concilier l'ancienne hypothèse avec les faits nouveaux. Mais elle plaçait cette hypothèse sous un jour ridicule, et ne faisait pas disparaître la difficulté dans le cas de la pompe de Florence.

La grande question à résoudre était celle-ci : Pourquoi l'eau monte-t-elle dans une pompe ? Torricelli, illustre disciple de Galilée, réunit tous les faits connus de ce phénomène, mais en y ajoutant un fait nouveau qui avait été omis jusqu'alors. On avait supposé que l'air n'avait pas de pesanteur, parce qu'on avait remarqué qu'une vessie remplie d'air ne pesait pas plus que quand elle était vide. On n'avait pas fait attention qu'une vessie remplie d'eau ou même de mercure et immergée dans le même fluide donnait le même résultat, et ne semblait pas peser davantage. Ce fait nous apprend combien nous devons nous montrer prudents pour éviter le danger d'une *hâtive* induction, qui souvent, comme dans ce cas

se cache sous l'apparence d'une logique rigoureuse.

Voyant le peu de fondement de cette conclusion, Torricelli supposa que l'air pouvait avoir une certaine pesanteur, et ainsi un élément nouveau d'une grande importance fut joint aux faits déjà acquis. Écartant l'ancienne hypothèse, nous pouvons supposer qu'il aura raisonné ainsi : Si la pesanteur de l'atmosphère est capable de supporter une colonne d'eau de trente-deux pieds de hauteur, elle supportera une colonne plus haute d'un fluide plus léger que l'eau, et une colonne moins élevée d'un fluide plus pesant. Or,

comme le mercure est près de quatorze fois plus lourd que le même volume d'eau, la même force qui supporte une colonne d'eau de trente-deux pieds de hauteur ne pourra supporter qu'une colonne de mercure d'environ deux pieds et demi. Pour mettre à l'essai cette nouvelle hypothèse, Torricelli prit un tube de verre d'environ trois pieds de longueur, fermé à l'un des bouts; et l'ayant rempli entièrement de mercure, il en ferma l'orifice avec son doigt; puis, renversant le tube, il en plaça l'orifice dans un bassin de mercure (fig. 1); il

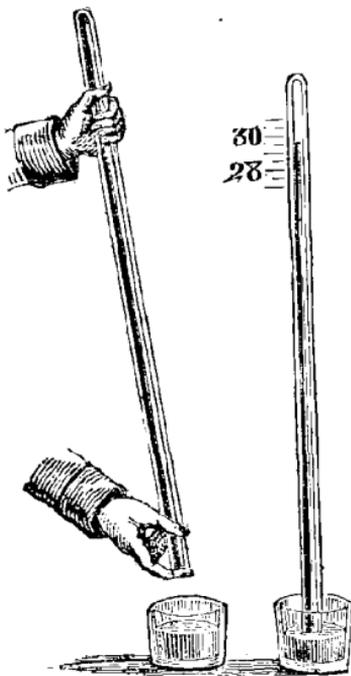


Fig. 1.

retira ensuite le doigt, et le mercure du tube descendit de quelques pouces, mais resta stationnaire à une hauteur d'environ trente pouces au dessus du niveau du mercure du bassin, laissant un *vide* de six pouces au sommet du tube ; ce vide, en l'honneur de l'auteur de l'expérience, a été nommé le *vide de Torricelli*. Eh bien ! la cause de la suspension de ce mercure a été démontrée en plaçant tout l'appareil sur une tour élevée ou sur une montagne ; car on a vu que plus on s'élève, c'est-à-dire moins on a d'air au-dessus de soi, et plus le mercure s'abaisse dans le tube.

Cette expérience capitale a fait écarter complètement et pour toujours l'ancienne hypothèse de l'horreur de la nature pour le vide, et tous les phénomènes de l'aspiration ont été soumis à la belle et grande loi de la pression atmosphérique résultant de la pesanteur de l'air. Il a été reconnu qu'une colonne d'eau de quelque épaisseur que ce fût, haute de trente-deux pieds, a le même poids qu'une colonne de mercure de la même forme et épaisseur, haute de trente pouces. Supposons que ces colonnes aient un pouce carré, elles pèseront chacune de quatorze à quinze livres ; c'est donc le poids d'une colonne d'air atmosphérique d'un pouce carré, s'étendant du niveau de la mer au sommet de l'atmosphère.

Comme conséquence naturelle de cette vérité, on a reconnu que, lorsque par suite d'une cause quelconque, la densité de l'air varie, un changement correspondant s'opère dans la hauteur de la colonne d'eau, de mercure ou autre fluide placé dans ce tube. Pascal a établi la réalité de cette conclusion d'une manière si

complète, qu'il a proposé ce tube comme moyen d'évaluer la hauteur des montagnes plus facilement que par le mesurage direct, et cette méthode de *nivellement* a été portée aujourd'hui à un tel degré de perfection, que les hauteurs calculées à l'aide de ce système ne diffèrent pas de un pour cent de la hauteur mesurée. On a aussi reconnu, en surveillant la colonne de mercure jour par jour sur le même point, que sa hauteur est sujette à de nombreuses variations qui indiquent des variations correspondantes dans la colonne atmosphérique. C'est à l'appréciation exacte de ces variations à l'aide d'une échelle fixe, que le baromètre doit son existence; et aujourd'hui, sans avoir subi de modifications importantes depuis Torricelli, il constitue un des plus importants de nos instruments météorologiques.

XII.—Si le jeune étudiant en sciences était tenté de déprécier cette grande découverte à raison de sa simplicité apparente, nous lui dirions que cette simplicité même constitue un de ses plus grands mérites. Les lois de la nature, dégagées des hypothèses, sont aussi remarquables par leur belle simplicité que les fausses hypothèses l'ont été par leur inextricable complexité. La preuve la plus frappante de cette assertion se trouve dans le système planétaire. Quelle différence entre le lourd mécanisme des profondes *sphères cristallines*, entre les *cycles* et les *épicycles* si lourdement établis, et le simple plan qui sert aujourd'hui à l'amusement des enfants! Mais il n'est pas plus difficile de délivrer la belle statue qu'une fiction poétique suppose cachée sous le bloc de marbre grossier, que d'extraire une des lois de la nature de la

lourde masse des hypothèses qui l'entourent, parce que toutes ces hypothèses, se mêlant aux connaissances réelles que nous possédons, et faisant partie de notre éducation, appartiennent à notre manière de penser et sont en quelque sorte greffées sur notre constitution intellectuelle, de sorte que nous ne pouvons étudier certains phénomènes qu'à l'aide de l'hypothèse qui les tient unis. Quelle idée avons-nous, par exemple, de l'immense assemblage de faits brillants et merveilleux que présente l'étude de l'électricité, si nous ne pouvons nous servir du terme hypothétique de *fluide électrique* et supposer que ce fluide se meut dans ce que l'on nomme un *courant électrique*? Qu'on essaye de se faire une idée de l'électricité sans l'usage de cette hypothèse, et l'on ne tardera pas à reconnaître la difficulté, l'impossibilité même d'une pareille tentative. De même, si notre éducation en philosophie naturelle nous a enseigné comme une vérité importante le dogme que la nature a horreur du vide, nous regarderions presque comme une impiété une expérience faite dans le but de produire le vide; nous croirions agir en opposition aux lois de la nature. Mais les hommes comme Torricelli, qui sont les lumières de leur siècle, réussissent à surmonter les préjugés puissants de leur éducation; ils frayent de nouvelles voies à leur intelligence et étendent le domaine de l'homme. Chez ces hommes, indépendamment de leurs découvertes scientifiques, il y a toujours quelque chose à admirer. Ne sentons-nous pas, en effet, que notre amour de la nature reçoit un nouvel encouragement et une sanction nouvelle, lorsque nous nous rappelons que

Newton était aussi bon chrétien que grand philosophe; et notre admiration pour Torricelli ne grandit-elle pas lorsque nous le voyons regretter que ses découvertes ne fussent pas tombées en partage à son maître Galilée?

XIII.— Avant de procéder à l'étude de la philosophie naturelle, le lecteur doit se former une idée nette de ce que la science est actuellement en mesure d'enseigner et des limites de ses prétentions. La science considère tous les phénomènes comme soumis aux lois invariables de la nature, et elle s'efforce de les pénétrer en les réduisant au plus petit nombre possible. La science ne s'occupe pas des causes qui engendrent les phénomènes; elle ne fait qu'analyser avec soin les circonstances de leur production, et les groupe suivant les rapports de succession et de similitude. Il ne peut y avoir qu'une seule cause pour les divers phénomènes de la nature, et cette cause est le Dieu de la nature. « Le Seigneur a créé la terre par sa puissance, il a affermi le monde par sa sagesse, il a étendu les cieux par sa souveraine intelligence<sup>1</sup>. » Ainsi dans les œuvres de la nature on voit l'effet d'une volonté réfléchie et non d'une fatale nécessité. Nous trouvons d'ailleurs une autre différence importante entre les sciences mathématiques et la physique. La première se borne aux vérités qui sont vraies de *nécessité*, ou que nous ne pouvons concevoir autrement. Ainsi, nous ne pouvons concevoir que deux fois deux puissent faire cinq, et si nous prenons quelque autre vérité mathématique plus complexe,

<sup>1</sup> Jérémie, X, 12.

par exemple, que la surface d'un globe est quatre fois l'étendue d'un cercle de même diamètre, quoique cette assertion ne soit pas manifeste, cependant par une longue suite de raisonnements nous pouvons prouver que c'est une vérité aussi nécessaire que celle qui établit que deux fois deux font quatre. Mais les faits physiques ne sont vrais que par rapport à un plan d'ensemble; nous pourrions les concevoir différents. Nous nous efforçons de comprendre l'idée à laquelle répond une loi physique, et lorsqu'elle est comprise, nous pourrions en imaginer une autre toute différente et conduisant à des résultats différents. Il s'ensuit qu'une loi physique n'est pas une nécessité produite par la nature des choses, mais qu'elle dépend de la volonté de Dieu, car Dieu pouvait aisément donner à ces choses une nature différente; mais alors il aurait voulu atteindre un autre but. La science ne s'occupe donc plus, comme autrefois, des causes efficientes ou finales, puisque tout ce que nous pouvons connaître, tout ce que nous avons besoin de connaître, c'est que la cause finale de tous les phénomènes est le dessein de Dieu, et la cause efficiente sa volonté. Ainsi, lorsqu'on dit que des phénomènes sont expliqués ou connus, on veut seulement dire qu'ils sont généralisés ou compris dans une *loi* générale, mais non pas que leurs causes soient mieux déterminées qu'auparavant. L'objet de l'induction n'est pas de tenir compte des faits, mais de les généraliser, non pas d'en déterminer les *causes*, mais d'en découvrir les *lois*. Ainsi, nous disons que les principaux phénomènes de l'univers sont expliqués, c'est-à-dire généralisés, mais non déterminés dans leur véritable cause, par

la loi de la gravitation universelle découverte par Newton. Cela vient de ce que cette magnifique théorie nous montre d'une part toute l'immense variété des faits astronomiques comme un seul et même fait observé de divers points de vue ; ce fait est la tendance constante de toutes les parcelles de la matière les unes vers les autres en raison directe de leur volume et en raison inverse du carré de leur distance ; tandis que d'un autre côté ce fait général s'offre à nous comme la simple extension d'un phénomène qui nous est parfaitement familier, et par lui seul nous considérons comme parfaitement expliquée la gravité des corps à la surface de la terre. Mais si la loi d'attraction explique, c'est-à-dire si elle *généralise* ces phénomènes, on ne peut nullement dire qu'elle en *rende compte* ou qu'elle puisse répondre à cette simple question qui a, dit-on, produit cette grande découverte : Pourquoi une pomme tombe-t-elle ? Nous n'en comprendrions pas mieux la cause si la gravitation elle-même était expliquée, c'est-à-dire si elle passait du rang des principes primaires au rang des principes secondaires, par suite d'un nouveau progrès dans la science qui la ferait découler d'une loi plus générale encore.

Cette importante distinction entre l'étude inutile et aujourd'hui abandonnée des *causes*, et l'étude utile des *principes*, peut être encore mieux démontrée par un autre exemple. C'est une propriété ordinaire de la matière de se dilater par la chaleur et de se contracter par le froid : un solide, un liquide, un gaz, occupent plus d'espace sous une température plus élevée. Ce fait est si généralement vrai qu'il est reconnu comme

loi de la nature. Il y a cependant à cette loi quelques exceptions apparentes qui contribuent autant et même plus que la loi elle-même à faire ressortir le dessein de la Providence. Ainsi, la proposition que l'eau se dilate par la chaleur et se contracte par le froid n'est vraie que dans certaines limites. Au-dessus de la température de 4 degrés, elle obéit à la loi générale; à 100 degrés, elle devient vapeur, et la vapeur obéit encore à cette même loi; mais au-dessous de 4 degrés, la loi n'est plus observée; elle parait même renversée, car l'eau se dilate par le froid et continue ainsi jusqu'à 0, point de la congélation. Alors elle subit une nouvelle et soudaine expansion en devenant glace solide. Mais la loi générale reprend aussitôt son action, et la glace obéit à la loi de dilatation comme les autres solides.

Cette exception à la loi générale peut s'expliquer de la manière suivante. Les corps, en se contractant par le froid, occupent nécessairement moins d'espace, et deviennent spécifiquement plus pesants, c'est-à-dire plus denses. Or, dans l'opération de la congélation, l'eau de la surface, étant la première refroidie, devient plus pesante et descend au fond; elle est remplacée par d'autre qui redescend à son tour après s'être refroidie; ce mouvement continue à s'opérer, jusqu'à ce que la surface de l'eau ait atteint la température d'environ 4 degrés. A ce point, au lieu de se contracter et de devenir plus lourde par l'action du froid, elle commence à se dilater et devient plus légère, de sorte qu'elle demeure eau de surface, et forme une croûte de glace qui protège l'eau de dessous contre l'influence de l'air; car, par une autre

disposition remarquable, la glace et l'eau sont mauvais conducteurs de la chaleur. Sans cette admirable exception à la loi générale, chaque couche d'eau refroidie tomberait au fond jusqu'à ce que toute la masse d'eau fût congelée et devint complètement solide; ses habitants seraient détruits; la chaleur de l'été serait insuffisante pour la faire fondre; la terre serait couverte de glaciers, et les heureux climats tempérés deviendraient plus désolés que les régions glacées des pôles.

XIV.— Il est évident dans ce cas que nous pouvons rapporter la cause à un dessein de Dieu pour le bien de ses créatures sur cette planète. Nous nous rendons compte de ce fait, mais il n'est pas *généralisé*. Il demeure, avec quelques autres <sup>1</sup>, une exception à une loi universelle, tout comme avant Torricelli les faits d'aspiration étaient comme des exceptions à la loi de gravité dont on voit aujourd'hui qu'elles ne sont que de simples conséquences. De même il ne peut être douteux que, par une connaissance plus

<sup>1</sup> Il y a encore deux ou trois autres exceptions du même genre que l'on peut considérer comme vraiment curieuses; par exemple dans l'*antimoine*, métal peu connu hors des musées ou des laboratoires; et cependant sans cette propriété de ce minéral si rare, ce petit ouvrage qui est aujourd'hui entre les mains du lecteur ne serait peut-être jamais arrivé jusqu'à lui, et des ouvrages bien plus précieux ne seraient jamais parvenus à répandre le dixième des lumières qui existent aujourd'hui dans la société. Le mélange d'une petite partie d'antimoine avec le plomb, qui sert à fondre les caractères, empêche ce métal de se contracter, en se refroidissant, comme les autres corps; sans cela, les anfractuosités du moule ne se rempliraient pas, et chaque caractère devrait être sculpté ou gravé séparément, tandis qu'on en fond des milliers dans un seul moule. Ainsi les dépenses de l'impression auraient peut-être été centuplées, et ses bienfaits auraient diminué dans la même proportion.

intime de la constitution moléculaire des corps, la prétendue loi de l'expansion par la chaleur sera comprise dans quelque loi plus générale dont elle n'est qu'une conséquence, et que ces exceptions apparentes à la loi supposée, ou *hypothèse*, ne seront plus que des résultats de la véritable loi ou *théorie*. Ce fait, loin de diminuer notre respect pour les desseins et la prévoyance de Dieu, ne fera qu'augmenter notre admiration pour la sagesse divine. Elle se manifeste, en effet, d'une manière bien plus éclatante en rangeant sous une même loi des faits qui paraissent s'exclure, qu'en ordonnant des exceptions arbitraires à cette loi. En fait, la nécessité d'exceptions de ce genre dans les lois humaines est une preuve évidente de leur imperfection, qui a dû être corrigée par des réflexions ultérieures. Imputer de pareils défauts aux lois de la nature, ce serait se mettre en contradiction avec tout ce que nous connaissons de la perfection divine. Ces exceptions apparentes à une loi naturelle montrent que nous ne sommes pas arrivés à la loi ou théorie véritable, pour laquelle elles ne seront plus des exceptions, mais dont elles seront au contraire une conséquence naturelle. C'est ainsi que la longueur invariable d'un pendule à compensateur n'est pas une exception à la loi de dilatation des métaux, mais au contraire un résultat qu'en a tiré l'habileté humaine, qui s'est plus distinguée dans cette circonstance qu'en corrigeant ensuite par une exception arbitraire quelque bévue oubliée d'abord dans un acte du parlement.

XV. — Comme c'est là un point de quelque importance, il ne sera pas inutile de citer un autre exemple.

Comme un événement est toujours immédiatement suivi d'un autre, les personnes sans éducation sont ordinairement satisfaites de l'explication que le premier est la *cause* du second. Sans vouloir nous arrêter à des croyances comme celles qui veulent que lorsqu'il pleut le jour de la Saint-Médard, il en résulte six semaines de pluie, ou que les guerres de Napoléon étaient la conséquence de certaines apparitions météorologiques et astronomiques, prenons un exemple qui est du moins dégagé de toute teinte de superstition, l'opinion que le coup d'une cloche est la cause du son. Or l'analyse la plus superficielle de ces deux événements démontrera qu'ils ne sont que le premier et le dernier terme d'une série de simples effets; entre chaque terme de cette série nous pouvons encore introduire une série d'effets intermédiaires, et cette interpolation peut se continuer sans fin. Le coup change la forme de la cloche d'un cercle en une ellipse dont deux segments sont à l'intérieur et deux segments à l'extérieur du cercle formé

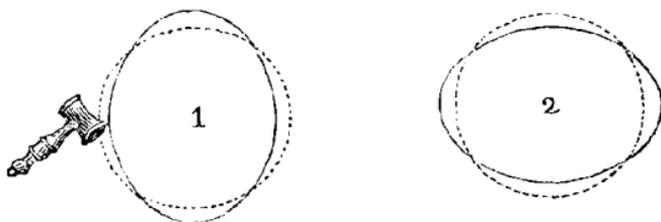


Fig. 2.

par le bord de la cloche lorsqu'elle est au repos (fig. 2, 1;) cette forme elliptique est elle-même le résultat complexe de l'action d'innombrables

forces moléculaires, qui veut que toutes les parties d'un solide agissent les unes sur les autres. Le métal, par l'action ultérieure de ces forces (constituant ce qu'on appelle son *élasticité*), retourne à sa forme circulaire avec une vitesse toujours croissante, et qui ne lui permet pas de s'arrêter soudainement au moment où il a recouvré cette forme.

La partie qui a été poussée à l'intérieur par le coup sort du cercle de repos dans la même proportion qu'elle y avait été poussée, et, par ce mouvement, elle fait rentrer les deux segments qui auparavant étaient en dehors, et change ainsi la forme en une autre ellipse (fig. 2, 2), dont la longueur est placée dans la même direction que la largeur de l'ellipse précédente, ce qui est également le résultat de l'action combinée de toutes les forces moléculaires. On comprendra que les figures ci-dessus exagèrent beaucoup ces changements de forme, qui sont en réalité tellement petits, que le dérangement de la forme circulaire ne peut être distingué par l'œil. Cette action, par laquelle deux ellipses s'entre-croisent à angles droits se répète plusieurs centaines de fois dans une seconde, jusqu'à ce que la force du coup soit dépensée. Chaque vibration est moindre que la précédente, parce qu'une petite partie du mouvement est employée à faire mouvoir les molécules d'air environnant qui, rencontrant la résistance des parties voisines, les font mouvoir à leur tour; car toutes les parcelles de ce fluide, comme celles d'un solide, agissent l'une sur l'autre par certaines forces moléculaires qui constituent son élasticité. Il s'ensuit qu'aucune parcelle ne peut être mue sans mettre en mouvement toutes les par-

celles environnantes, et tout mouvement, comme celui de la cloche, est propagé graduellement à une distance de plus en plus éloignée et réparti dans une quantité d'air d'autant plus grande, jusqu'à ce que le mouvement se trouve divisé en un si grand nombre de parcelles qu'il cesse d'être perceptible. Ainsi la cloche par ses vibrations engendre un système de *vagues* dans l'air, commençant par les parties en contact avec elle. Ces vagues, à leur tour, propagent leur mouvement dans l'air environnant en se mouvant circulairement, c'est-à-dire en *vibrant* dans un petit espace à peu près comme les vagues se propagent dans un champ de blé par la vibration des épis.

Ainsi donc, lorsque nous entendons le son d'une cloche, nous le faisons par un procédé aussi compliqué que celui qui a mis la cloche en mouvement et qui a propagé les vagues aériennes. Quelques-unes de ces vagues atteignent l'orifice de l'oreille en agitant l'air, et communiquent une somme égale de vibrations à une petite membrane qui recouvre une cavité de la tête. Cette cavité renferme une série d'osselets, dont le premier, nommé *maillet* ou *marteau*, est attaché à la membrane du tympan ou *tambour* de l'oreille, et transmet son mouvement à un autre petit os l'*enclume*; les vibrations passent de cet os au *lenticulaire*, le plus petit du corps humain, et enfin à l'*étrier*, ainsi nommé à cause de sa ressemblance exacte avec un étrier en fer. Celui-ci est en rapport avec une membrane qui ferme trois canaux semi-circulaires, remplis d'eau et revêtus d'une expansion du nerf auditif, lequel reçoit les vibrations que l'esprit reconnaît alors, mais seulement alors, provenir d'un coup de cloche.

Chacun des anneaux de cette chaîne d'événements peut être nommé l'*effet* de celui qui le précède ou la *cause* de celui qui le suit ; mais quelque immédiat que puisse paraître le rapport entre un des anneaux et le suivant, nous pouvons toujours introduire ou supposer que nous introduisons quelque anneau intermédiaire qui pourrait être un effet du premier et une cause du second.

XVI. — Sans attacher d'autre importance à ces exemples et à ces conjectures qu'en ce qu'elles tendent à montrer le vague des expressions *cause* et *effet*, et l'inutilité de rechercher les causes au lieu des principes qui sont le véritable objet des études physiques, nous allons nous occuper des propriétés les plus générales de la *matière*. Ce terme s'applique à toutes les substances appréciables par les sens, et dont l'esprit ne peut concevoir que deux parties occupent en même temps le même espace. Il suit de là que deux propriétés nécessaires et essentielles de la matière sont l'*étendue* ou le *volume*, et l'*impénétrabilité*.

Il est impossible de se former une idée de la matière, sans lui attribuer une certaine étendue, car le plus petit point perceptible doit avoir longueur, largeur et épaisseur, et doit par conséquent occuper un espace dans lequel un second point ne peut entrer jusqu'à ce que le premier l'ait quitté. Voilà ce que l'on entend par l'*impénétrabilité* des corps ou de la matière.

XVII. — La quantité d'espace qu'un corps occupe s'appelle *volume* ou *étendue*. Les limites extérieures du volume d'un corps sont une ou plusieurs surfaces ; les *lignes* ou *angles* sont les limites qui séparent les

diverses surfaces du même corps lorsqu'il en a plus d'une. La quantité de surface se nomme *aire*, et la quantité de ligne *longueur*. Le mot *espace* est quelquefois employé dans ce dernier sens pour désigner la *longueur* ou la *distance*, quelquefois pour signifier la *surface*; mais dans la science physique il signifie le plus ordinairement le *volume* ou l'*étendue*. Les propriétés ou relations mutuelles de ces trois sortes d'espace et les modes de comparer leurs quantités appartiennent à la science abstraite, et notamment à cette branche des mathématiques, ou science des quantités, qu'on appelle *géométrie* ou science de l'espace.

XVIII. — Dans la mesure des distances, le philosophe de la nature profite des belles vérités que la géométrie a rendues susceptibles d'une démonstration rigoureuse, et les résultats obtenus sont par conséquent également vrais, qu'ils s'appliquent à de grandes distances, ou à des distances extrêmement petites.

On s'étonne souvent de nombres aussi considérables que ceux qui représentent la distance entre le soleil et la terre. Une très-faible connaissance de la géométrie permettra cependant à chacun de voir la nature des principes sur lesquels ces résultats sont basés, principes qui reposent sur la vérité pure et ne permettent aucun doute. S'il existe quelque erreur, il faut l'attribuer aux observations expérimentales, au mesurage des lignes de base, des angles, etc; mais l'appareil employé est si délicat et si exact, les astronomes ont tant de méthodes pour faire la *preuve* des résultats, en les comparant avec d'autres obtenus par des moyens tout différents, que dans la plupart des

cas, il est aussi impossible de refuser son assentiment à la grande exactitude des observations, qu'à la précision parfaite des calculs fondés sur ces observations. Les personnes qui aiment la science lui trouveront plus d'attrait encore lorsqu'elles seront parvenues à comprendre les principes d'après lesquels on obtient des résultats certains. Il est souvent difficile, impossible même, sans avoir une connaissance approfondie des mathématiques, de suivre l'astronome ou le philosophe de la nature dans tous ses raisonnements; mais il est généralement possible, avec quelque connaissance des mathématiques élémentaires, de se former une idée assez nette des principes sur lesquels il établit ses calculs. Pour ces motifs et d'autres que nous avons déjà fait connaître en partie, le lecteur devra toujours préférer les livres dans lesquels les faits sont subordonnés aux principes à ceux qui traitent uniquement ou principalement des faits. On a dit, avec justesse, que dans la science les faits sont les soldats, et que la théorie, mais la théorie véritable, est le général. Sans force lorsqu'ils sont séparés, ils accomplissent de grandes choses lorsqu'ils sont réunis.

XIX. — Essayons d'abord de nous former une idée des méthodes par lesquelles la science mesure des distances extrêmement petites, telles que le millième ou le millièmième d'un pouce, parce que c'est du calcul de ces faibles portions d'espace que dépend l'exactitude des observations astronomiques. Toutes ces observations consistent à calculer le plus exactement possible un *angle*, c'est-à-dire l'écartement de deux lignes qui se coupent, qu'elles soient réelles ou imaginaires. Cette opération ne peut s'effectuer que par

un arc gradué ou échelle courbe que l'on nomme le *limbe d'un instrument*. Des instruments très-compliqués et une habileté incroyable servent à assurer une égalité parfaite à toutes les divisions gravées sur ce limbe. Il y en a quelquefois cent et plus par pouce, de telle sorte qu'il est besoin d'un microscope pour reconnaître quelle est la division la plus voisine de l'indicateur ou de la partie mobile de l'instrument. Cependant, à moins que l'instrument ne soit d'une très-forte dimension, ce procédé serait bien loin de donner le degré de précision nécessaire, même dans les observations quotidiennes du navigateur, si nous n'avions un appendice très-précieux nommé le *vernier*<sup>1</sup>, qui permet d'évaluer des espaces dix, vingt et même soixante fois plus petits que les divisions du limbe, quelque petites qu'elles soient.

Comme un *vernier* est attaché à tous les baromètres ordinaires, nous pouvons, à l'aide de cet instrument si généralement connu, expliquer le principe de cette opération.

Il doit être entendu que l'échelle attachée au baromètre vertical ordinaire commence au niveau du mercure dans le récipient qui est au bas de l'instrument et monte jusqu'à une hauteur de 28 à 50 pouces (voy. fig. 3). Dans les baromètres construits pour être portés en ballon ou au sommet des montagnes, dans le but de mesurer leur hauteur par la diminution de la pression atmosphérique, toute l'échelle est attachée; mais pour les instruments employés à l'usage

<sup>1</sup> Du nom de l'inventeur Pierre Vernier, Français, qui a décrit cet instrument dans un traité imprimé à Bruxelles en 1631. On le nomme aussi quelquefois *nonius*, du nom d'un autre inventeur

ordinaire, la partie inférieure de l'échelle est omise, et la partie graduée ne commence que vers le 28<sup>e</sup> pouce, le mercure ne tombant jamais au-dessous de ce point au niveau ou près du niveau de la mer.

Comme chaque pouce est subdivisé en dix parties égales, la hauteur de la colonne en pouces et dixièmes de pouce se reconnaît d'un coup d'œil. Mais les

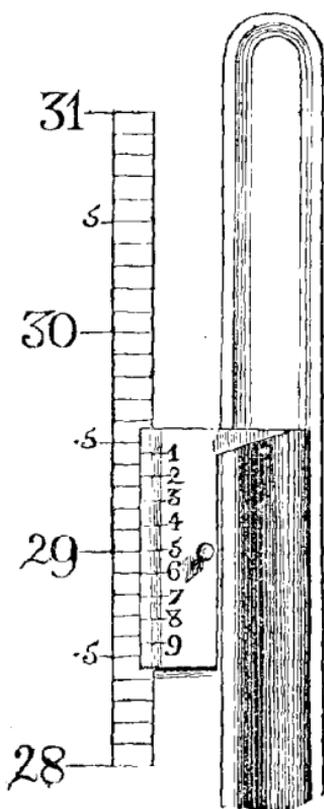


Fig. 5.

dixièmes de dixième, c'est-à-dire les centièmes de pouce sont un peu plus difficiles à déterminer, car en inscrivant neuf lignes entre chacune de celles qui y sont déjà gravées, on augmenterait de beaucoup la dépense de l'instrument. L'échelle exigerait alors une matière plus fine et beaucoup plus de soin pour assurer l'égalité d'un si grand nombre d'aussi petites divisions. Mais on écarte ces difficultés à l'aide du *vernier*, petite échelle mobile attachée à côté de la grande échelle comme on le voit dans la figure 5; elle mesure exactement un pouce et un dixième de pouce, et est divisée en dix parties égales numérotées de haut en bas, tandis que les divisions

des pouces de l'échelle sont numérotées, dans la figure, de bas en haut.

Maintenant, comme dix divisions du vernier sont égales à onze de l'échelle, qui sont d'ailleurs toutes égales entre elles, il s'ensuit que chaque division du vernier doit être égale à une division et un dixième de l'échelle ou à  $\frac{11}{10}$  d'un pouce. Si donc une division du vernier coïncide ou est sur une même ligne avec une division de l'échelle, les deux lignes immédiatement au-dessus et au-dessous seront séparées l'une de l'autre par une distance exactement égale à  $\frac{1}{10}$  de pouce. Si l'on s'éloigne de deux degrés de la première ligne, la différence sera de  $\frac{2}{10}$  de pouce, et ainsi de suite. Ainsi, sur la figure, la ligne du vernier marquée 6 coïncide avec la ligne 28,9 de l'échelle. Mais les deux lignes immédiatement au-dessus marquées 5 et 29 ne coïncident pas exactement; et ce défaut de coïncidence doit évidemment s'élever à un dixième de pouce ou  $\frac{1}{10}$ . Aux deux lignes suivantes marquées 4 et 29,1 on verra que le défaut de coïncidence est le dixième de  $\frac{2}{10}$  de pouce ou  $\frac{2}{100}$ . De même les lignes marquées 5 et 29,2, 2 et 29,3, 1 et 29,4, et 0 et 29,5 dévient l'une de l'autre respectivement de  $\frac{3}{100}$ ,  $\frac{4}{100}$ ,  $\frac{5}{100}$  et  $\frac{6}{100}$  de pouce. Le même raisonnement s'applique aussi aux lignes situées sous les lignes coïncidentes marquées 6 et 28,9. Ainsi 7 et 28,8 immédiatement au-dessous d'elles offrent un défaut de coïncidence de  $\frac{1}{10}$  de pouce, et ainsi des autres. Le point que le lecteur ne doit jamais perdre de vue, c'est qu'une division du vernier est de  $\frac{11}{10}$  de pouce plus grande qu'une division de l'échelle.

En appliquant le vernier à mesurer de petites fractions de pouce dans les oscillations du baromètre, nous signalons d'abord la hauteur de la colonne, à l'aide de l'échelle fixe qui, dans notre figure, indique plus de 29 1/2 pouces ou 29,5, mais moins de 29,6. Pour reconnaître la quantité du dixième suivant qui n'est pas déterminée, nous plaçons le zéro ou 0 du vernier exactement de niveau avec le sommet du mercure; nous observons ensuite que des onze lignes du vernier une seule coïncidera avec une ligne de l'échelle. Dans notre figure, la ligne marquée 6 sur le vernier coïncide avec une ligne de l'échelle, et comme du sommet du mercure à ces lignes coïncidentes il y a six paires de lignes qui ne coïncident pas et que chaque paire dévie de  $\frac{1}{100}$  de pouce de plus que la paire au-dessous d'elle, la paire de l'extrémité supérieure doit évidemment différer de  $\frac{6}{100}$  de pouce. Nous arrivons ainsi à la conclusion, que la hauteur du mercure dans notre figure est de 29 1/2 pouces et  $\frac{6}{100}$  de pouce, ou en chiffres décimaux 29,56.

Dans l'exemple ci-dessus nous avons préféré, pour plus de simplicité, prendre le cas le plus large et en même temps le plus simple de l'application de ce principe; mais il est évident que si l'échelle fixe était divisée en vingtièmes de pouce, un vernier égal en longueur à onze de ces divisions, et partagé en dix parties, nous permettrait de porter l'exactitude jusqu'à un deux centième de pouce; enfin, si le vernier avait la longueur de vingt et une des divisions fixes et était partagé en vingt parties, nous pourrions porter l'évaluation au 20<sup>e</sup> du 20<sup>e</sup> ou au 400<sup>e</sup> de pouce. Dans ce cas, il faudrait une petite lentille pour placer le zéro

(division 0) du vernier assez exactement de niveau avec le sommet du mercure, et aussi pour décider laquelle des vingt paires de ligne serait le plus près de coïncider; et si cette observation était impossible parce que deux paires adjacentes paraîtraient également en coïncidence, nous serions alors excusables de négliger la différence, car nous descendrions dans ce cas à un 800<sup>e</sup> de pouce.

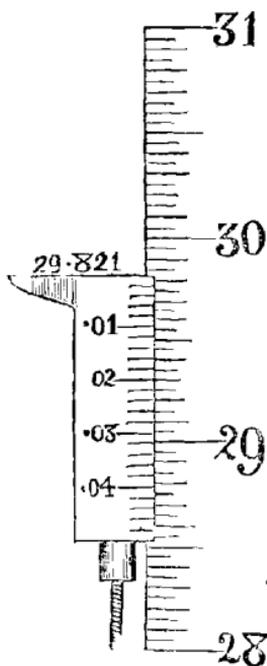


Fig. 4.

Enfin, si l'échelle fixe demeure telle que nous venons de la décrire, si le vernier, ayant la longueur de 26 divisions, est divisé en 25 parties, chacun des degrés du vernier excédera d'un 25<sup>e</sup> de 20<sup>e</sup>, c'est-à-dire d'un 500<sup>e</sup> de pouce, une division de l'échelle fixe; et comme cette différence

diminue encore de moitié lorsque deux paires de lignes sembleront également coïncider, on voit comment, sans employer aucune division inférieure à un 20<sup>e</sup> de pouce, la hauteur de la colonne mercurielle est estimée avec trois décimales ou en millièmes de pouce (1), comme dans la plupart des tables de météorologie.

XX.—Naturellement le même principe appliqué ici

<sup>1</sup> Nous voulions indiquer cet arrangement dans la fig. 4, mais les lignes étant grossièrement gravées, quatre paires paraissent coïncider, et on pourrait lire 29.820, 29.822, 29.824 ou 29.826.

à une échelle droite, est également applicable au limbe courbe de tout instrument astronomique. Ainsi, la fig. 5

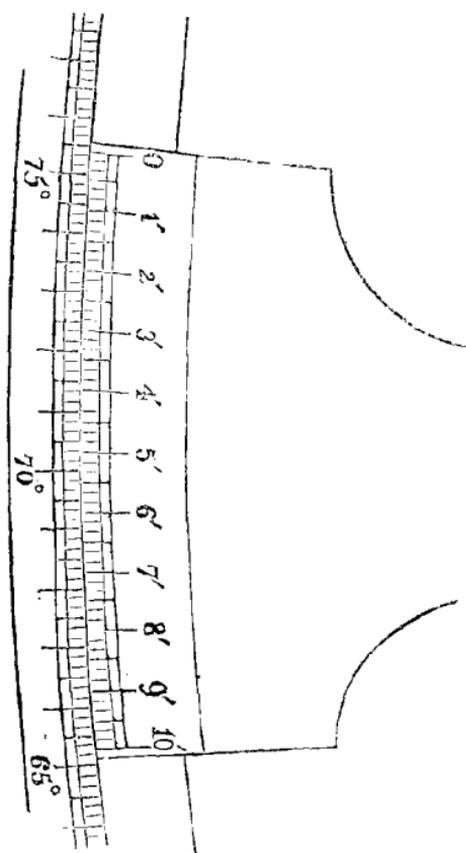


Fig. 5.

représente une partie de limbe partagé en divisions décimales qui sont encore subdivisées par le vernier. Le vernier, ayant 60 divisions qui correspondent à 61 divisions du limbe, nous permet d'estimer un soixantième de 10', c'est-à-dire 10". Il est représenté comme indiquant 75° 24' 25". Un instrument de cette dimension, c'est-à-dire ayant 25 pouces de rayon, mesurerait probablement les simples secondes,

car étant gravées sur argent ou sur platine, les lignes de divisions seraient au moins trois fois aussi minces que celles qui sont indiquées ici. Au lieu de six, il pourrait y en avoir vingt à chaque degré et (chacun

de ceux-ci étant de 5') un vernier avec 90 divisions, correspondant à 91 du limbe, suffirait pour indiquer les secondes. Les cercles dont on se sert ordinairement pour les nivellements et dont le limbe n'a pas trois pouces de long sont divisés en 120 degrés ; les demi-degrés sont aussi indiqués, et le vernier ayant 50 divisions nous permet de mesurer les simples minutes ou même les demi-minutes, lorsque l'instrument est bien exécuté. Mais pour des calculs semblables, ni l'œil nu, ni la main seule ne sont assez délicats pour placer l'indicateur du vernier dans sa position exacte. L'œil doit être aidé par un télescope ou par un microscope ; et la main, par ce qu'on nomme une *vis de rappel*, c'est-à-dire un agent mécanique à l'aide duquel un mouvement considérable de la main est nécessaire pour mouvoir l'indicateur sur un très-petit espace ; et dans ce but, la vis est employée de différentes manières. La vis elle-même, pour répondre au but d'une subdivision très-petite, doit être faite de manière que le *pas* de la vis soit parfaitement régulier. Ainsi, à chaque tour de la vis sur son axe, l'indicateur avancera ou reculera d'une distance égale à la hauteur du pas de la vis ; et pour un demi ou un quart de tour, le mouvement sera la moitié ou le quart de cet intervalle. Il est aisé de déterminer ces rapports, en traçant sur le bord de la tête de la vis, élargie autant qu'il est nécessaire, une division de parties égales qui ont une relation connue avec l'échelle principale ; car si cette graduation du cercle était, par exemple, de cent parties égales, alors en tournant la vis d'une division à l'autre, le mouvement de l'indicateur sera également

la centième partie de la hauteur du pas de la vis.

Il serait impossible, ici, d'entrer dans les moyens par lesquels ce principe *mécanique* est combiné avec celui du vernier et avec des expériences d'*optique* encore plus délicates, dans l'usage des diverses espèces de micromètres par lesquels on peut étudier la mesure des angles ; mais ces exemples suffiront pour montrer qu'à l'aide des instruments construits et établis aux frais des nations avec tous les perfectionnements que l'expérience accumulée de plusieurs générations a pu suggérer, il n'est pas douteux que les astronomes puissent parvenir à mesurer l'angle de deux lignes données, réelles ou imaginaires, jusqu'à une demi-seconde près ou la moitié du soixantième d'un soixantième de degré.

**XXI.** — Nous allons indiquer maintenant quelques-unes des méthodes adoptées pour mesurer les grandes distances. Dans ce but, nous devons renvoyer le lecteur à l'une des plus simples des vérités abstraites (Legendre, liv. III, prop. XVII). C'est une des propriétés les plus utiles des triangles que, lorsqu'ils ont les angles égaux chacun à chacun, ils sont semblables et ne diffèrent que par la grandeur. Il y a peu de cas dans la science, lorsqu'il s'agit d'estimer l'étendue des grandeurs, dans lesquels le mesurage ne s'effectue pas à l'aide de ce principe. Supposons que l'on demande la distance *exacte* d'un objet A, figure 6, dont nous sommes séparés par une rivière ou une étendue de terrain impraticable. On détermine deux points B et C, dont la distance peut être facilement mesurée. Un instrument angulaire est planté en B. La lunette est dirigée successivement sur le point C

et sur l'objet *A*, et l'on mesure soigneusement l'angle décrit par la lunette. L'instrument est ensuite porté



Fig. 6.

en *C*, et l'on mesure par une semblable opération la distance apparente ou angulaire entre *A* et *B*, telle qu'elle est vue du point *C*. Maintenant, si nous traçons sur le papier une ligne telle que *bc*, et si à ses deux extrémités nous traçons, au moyen d'un rapporteur, deux autres lignes faisant l'angle *b* égal à celui qui a été mesuré en *B* et l'angle *c* égal à l'angle *C*, ces deux lignes doivent, si on les prolonge, se rencontrer au point *a*, et elles ne peuvent le faire en aucun autre point. De sorte que le petit triangle *abc* doit être semblable au grand triangle *ABC*, de manière que les lignes *bc* et *ac* étant proportionnelles aux lignes *BC* et *AC*, et les trois premières longueurs étant mesurées, la dernière sera donnée par une simple règle de trois; ou si la ligne *bc* était tracée d'après une échelle convenue, si, par exemple, elle contenait autant de pouces que *BC* contient de chaînes, alors nous pourrions être certains, si la lumière voyage en ligne droite, que *AC* mesure tout juste autant de chaînes que *ac* mesure de pouces.

Mais quoique l'on puisse être certain théorique-

ment (c'est-à-dire en supposant le dessin parfait et les lignes sans épaisseur) de l'exactitude de cette méthode qui consiste à *rappor*ter, on peut aussi avoir recours au calcul trigonométrique; car la trigonométrie a pour but de calculer, à l'aide des chiffres, tout ce qui peut être déterminé par l'intersection des lignes droites; et il est inutile de dire que cette méthode numérique est la seule *praticable*, puisqu'elle est dégagée de toutes les sources d'erreur nées de l'épaisseur ou du manque de rectitude des lignes artificielles. Un angle peut difficilement se décrire sur le papier, avec une exactitude parfaite, à une ou même à cinq *minutes* de degré près, mais le calcul peut se faire jusqu'à une seconde ou à quelque nombre que ce soit de chiffres décimaux.

XXII. — Par une extension du même principe, nous pouvons reconnaître la courbure exacte d'une partie de la surface de la terre dans une direction donnée, et ainsi en répétant ce mesurage en divers endroits, on obtiendra sa forme et sa dimension exacte. Pour comprendre cette opération, nous devons d'abord nous rappeler qu'un degré très-ordinaire d'attention aux apparences qui se présentent quand on voyage sur terre ou sur mer, suffit pour montrer qu'abstraction faite des montagnes de l'une, ou des vagues de l'autre, leur convexité générale est à très-peu de chose près égale partout et dans toutes les directions; ou, en d'autres termes, que notre planète est presque sphérique, conclusion qui est confirmée par l'analogie de forme de tous les corps célestes, et par le profil circulaire de l'ombre de la terre réfléchi sur la lune dans une éclipse.

Admettant que la forme générale de la terre est presque ronde, supposons que *e*, figure 7, représente

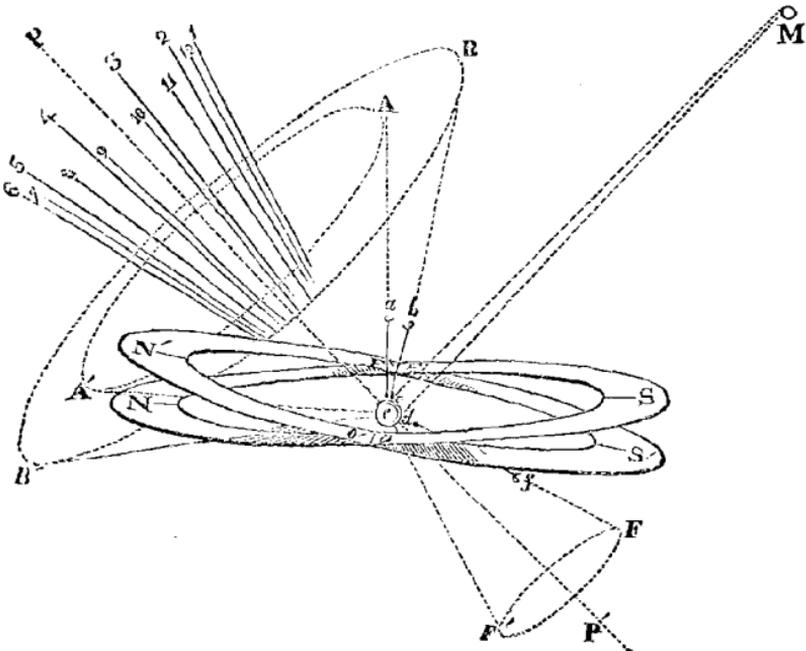


Fig. 7.

cette forme *générale*; un plan tangent à quelque point que ce soit, sans avoir égard à la forme *particulière* de cette partie de la surface, s'appelle l'*horizon* de ce point. Toute surface qui se confond avec ce plan ou qui lui est parallèle, est dite horizontale ou de *niveau* (comme la surface d'un liquide calme), tandis qu'une ligne qui lui est perpendiculaire se nomme *verticale* (comme un fil à plomb). Il ressort évidemment de là que ces termes n'ont qu'une signification locale; que deux points, aussi près qu'ils soient, ne

peuvent avoir leurs horizons coïncidents ou parallèles, comme cela est démontré par le défaut visible de parallélisme dans deux parties de la même surface liquide, si son étendue est de plus de un ou deux milles. Par conséquent deux fils à plomb ne peuvent être parfaitement parallèles à moins qu'ils ne soient sur deux points opposés de la terre.

Maintenant supposons que nous mesurons la surface de la terre du point dont l'horizon est  $N E S O$ , et d'où un fil à plomb pend dans la direction  $a e$ , et du point dont l'horizon est  $N' E' S' O'$  où le fil à plomb prend la direction  $b e$ . Si nous pouvions mesurer l'inclinaison angulaire de ces deux horizons, ou de ces deux fils à plomb, nous reconnatrions clairement tout d'abord *la distance à laquelle ils se rencontreraient s'ils continuaient de descendre*, ou en d'autres termes, le *rayon de courbure* de cette partie de la surface de la terre. Mais pour rendre cette inclinaison (c'est-à-dire l'angle  $a e b$ ) appréciable, les deux plombs doivent à leur extrémité être éloignés de plusieurs milles. Comment mesurer alors la différence de leur direction? Uniquement par le rapport avec les corps célestes. Si de quelque partie de la terre nous observons un autre corps, une étoile par exemple, dans la direction  $e 1$ , après deux heures nous la verrons dans la direction  $e 2$ , et à des intervalles de deux heures on la verra successivement dans les directions  $e 3, e 4, e 5, e 6, e 7, e 8, e 9, e 10, e 11, e 12$  et  $e 1$ , et elle aura paru décrire en vingt-quatre heures un cercle autour d'un point dans la prolongation de la ligne  $e P$ , laquelle ligne imaginaire, continuée indéfiniment dans les deux sens,

forme un *axe* autour duquel on peut supposer que la terre tourne une fois en vingt-quatre heures. Maintenant nous devons songer que la distance des étoiles et de la plupart des autres corps étrangers est si incomparablement plus grande que toute ligne que nous pouvons mesurer sur la surface de la terre, qu'elles n'ont pas de *parallaxe*, c'est-à-dire que l'uniformité de leur mouvement horal apparent n'est nullement affectée parce qu'on l'examine de divers points de la terre; la seule différence qui résulte de cet examen, c'est que l'axe  $P P'$  est différemment incliné suivant les horizons des divers points; il est plus incliné par exemple à l'horizon  $N E S O$  qu'à  $N' E' S' O'$ . Ces inclinaisons peuvent être évidemment mesurées en prenant seulement la moyenne de la plus grande et de la plus petite *hauteur* de l'étoile en question, telle qu'elle est vue de chaque station; ainsi, si de la première station nous prenons les deux hauteurs  $Ne6$  et  $Ne1$ , leur moyenne sera l'angle  $NeP$  qui sera le même, quelle que soit l'étoile observée, et s'appellera la *latitude* du point dont l'horizon est  $N E S O$ . De même, la latitude de l'autre point dont l'horizon est  $N' E' S' O'$ , sera  $N' e' P$  et on la trouvera en prenant la moyenne entre  $N' e' 6$  et  $N' e' 1$ . Maintenant supposons que les deux points sont sur le même méridien, ou une ligne nord et sud, la différence de leur latitude ainsi trouvée n'est évidemment autre chose que l'inclinaison des deux horizons  $N E S O$  et  $N' E' S' O'$ , ou des deux fils à plomb  $a e$  et  $b e$  <sup>1</sup>. Considérant donc la terre comme un globe

<sup>1</sup> Ce n'est là qu'une des nombreuses méthodes qui s'offriront facile-

parfait, si la distance mesurée était de 22 lieues et  $\frac{2}{9}$  et la différence de latitude observée un degré, nous n'avons qu'à établir cette règle de trois. Si 22 lieues et  $\frac{2}{9}$  font varier le plomb d'un degré, combien en devons-nous parcourir pour que sa direction varie de  $360^\circ$ ? La réponse est évidemment 360 fois 22 et  $\frac{2}{9}$ , c'est-à-dire 8,000 lieues, la circonférence de la terre; mais si la terre n'était pas parfaitement sphérique, on le reconnaîtrait parce que la longueur mesurée d'un degré serait différente à différentes parties de sa surface, ou dans différentes directions. Ainsi, la longueur d'un degré de latitude est plus grande près des pôles qu'ailleurs, et diminue régulièrement à mesure qu'on approche de l'équateur, ce qui montre que la courbure, dans le sens du méridien, est plus rapide à l'équateur et plus lente vers les pôles; de sorte que chaque méridien n'est pas circulaire mais plutôt elliptique, le diamètre le plus court étant l'axe de la terre, ce que Newton a prédit, par *déduction* de sa théorie, longtemps avant que ces opérations aient permis de le reconnaître par *induction*. Mais comme cette forme elliptique, ou compression, n'excède pas  $\frac{1}{300}$  du diamètre de la terre, son

ment au lecteur. Ainsi supposons que nous observions à la première station qu'une certaine étoile passe tous les jours sur notre zénith, ou en d'autres termes que notre plomb *e a* se porte une fois par jour vers une étoile, laquelle étoile paraît décrire quotidiennement le cercle *AA'* dont le diamètre apparent ou angulaire *AeA'* est  $84^\circ$ , la moitié de ce nombre ou  $42^\circ$  est la distance polaire ou *codéclinaison* de l'étoile; il est aussi la *colatitude* du point d'observation; mais à la seconde station le plomb indique une fois tous les jours une étoile différente qui paraît décrire un cercle plus grand *BB'*, de sorte que sa distance polaire *P e B* est de  $55^\circ$ , ce qui est aussi la *colatitude* de ce second point; alors nous savons que leur différence de latitude est de  $13^\circ$ .

effet sur la longueur des degrés peut en beaucoup de cas être négligée <sup>1</sup>.

Connaissant donc les dimensions du globe, nous pouvons, après avoir observé les positions ou les latitudes et longitudes de deux points de sa surface, calculer leur *distance*, mesurée soit sur la surface convexe de la terre ou en ligne droite à travers sa masse. Cette dernière distance peut être prise pour base d'un triangle, s'étendant à tout corps céleste visible des deux points à la fois; car, quoique les angles de ce triangle ne puissent être mesurés directement, parce que les deux points ne sont pas visibles l'un de l'autre, nous pouvons cependant à chaque point mesurer la distance angulaire du corps céleste à l'*axe de la terre* qui, comme nous l'avons vu, est une ligne fixe dont la position peut toujours être déterminée de quelque point que ce soit; il faut, en effet, la déterminer, même pour pouvoir placer convenablement un cadran solaire. Ainsi, supposons deux observateurs sur le même méridien, mais l'un dans l'hémisphère nord en *c*, où le plomb *b e* forme un

<sup>1</sup> Le mesurage des degrés du méridien dans le but de reconnaître l'étendue de la terre a été entrepris dans divers pays avec une extrême exactitude. L'arc mesuré par les Français s'étend de Dunkerque à l'extrémité méridionale des îles Baléares comprenant  $12^{\circ} 22' 14''$ , son centre se trouve à mi-chemin entre l'équateur et le pôle nord. Un autre nivellement de ce genre a été exécuté par Mason et Dixon sur une partie de la côte de Pensylvanie qui est si droite et si unie qu'on a pu mesurer directement une ligne de plus de 50 lieues sans triangulation. On a aussi mesuré de très-longues lignes trigonométriquement, par ordre du gouvernement anglais, en Angleterre même et dans l'Inde. Le résultat moyen de cette opération donne pour l'axe de la terre 12,712,450 mètres, et pour le diamètre de l'équateur 12,755,212 mètres.

angle de  $55^\circ$  avec l'axe  $PP'$ , et l'autre dans l'hémisphère méridional en  $d$ , ou le plomb  $fd$  aura une inclinaison de  $21^\circ$  sur même axe ; il sait cela, parce qu'une étoile à son zénith  $F$  paraît chaque jour décrire le cercle  $FF'$  dont le diamètre (l'angle  $F e F'$  est de  $42^\circ$ ). La différence de leur latitude ou l'angle entre les deux plombs  $bc$  et  $df$  est donc  $180^\circ - 55^\circ - 21^\circ = 104^\circ$ , de sorte que leur distance mesurée sur la surface est 104 fois 111 mille mètres (longueur du degré en nombres ronds), mais leur distance en ligne droite s'obtiendra par un nouveau calcul qui donne environ 10 millions de mètres. Il est clair également que l'inclinaison de cette ligne sur l'axe de la terre est la moitié de la différence entre  $55^\circ$  et  $21^\circ$ , c'est-à-dire  $17^\circ$ . Maintenant, supposons que, le même jour et au moment où elle est au point le plus élevé sur l'horizon, ce qui aura lieu simultanément pour les deux observateurs s'ils sont sur le même méridien, ils déterminent chacun leur distance polaire, c'est-à-dire que l'observateur placé en  $c$  prenne l'angle  $P c M$ , tandis que l'observateur  $fd$  prendra l'angle  $P' d M$ . Supposons que le premier soit  $88^\circ$  et le second  $95^\circ 30'$  ; le surplus de leur somme au delà de  $180^\circ$ , c'est-à-dire  $1^\circ 30'$  est évidemment égal à l'angle  $c M d$ , un des angles de notre triangle ; pour trouver les deux autres, à sa base  $cd$ , nous devons, comme cette base a une inclinaison de  $17^\circ$  sur  $PP'$ , ajouter  $17^\circ$  à un de nos angles mesurés et le soustraire de l'autre. Ayant les trois angles et un côté  $cd=10$  millions de mètres, nous trouverons que les autres côtés  $c M$  et  $d M$  sont chacun d'environ 76,280 lieues, ce qui est la distance moyenne en nombres ronds entre la terre et la lune.

Lorsque la *distance* d'un corps est connue, nous pouvons tout d'abord trouver son *étendue* et *vice versa* par la plus simple application des triangles semblables. Ainsi supposons qu'un disque d'un pied de diamètre doive être éloigné à la distance de 110 pieds de l'œil de l'observateur pour cacher exactement la lune; il est évident que sa distance en ce moment doit être de 110 fois son diamètre; si donc la première a été reconnue de 76,280 lieues, le diamètre sera de 693 lieues; nous trouverons cependant que sa distance varie à différentes époques de  $115 \frac{7}{8}$  à  $103 \frac{5}{6}$  fois son diamètre, tandis que celle du soleil varie de  $109 \frac{1}{3}$  à  $105 \frac{3}{4}$  fois son diamètre.

XXIII. — Mais la lune est le seul corps céleste dont la dimension et la distance *absolues* puissent se reconnaître directement de cette manière, par ce qu'on nomme sa *parallaxe*. Dans la figure, la lune et la terre sont représentées un peu trop rapprochées, de sorte que l'angle *c M d* est un peu trop grand; et lorsqu'on se rappelle que le soleil est quatre cents fois plus éloigné de la terre, on verra qu'en ce qui touche cet astre, cet angle, ou sa parallaxe, serait trop petit pour être mesuré directement. Il y a des moyens mécaniques de trouver la distance par la théorie de la gravitation, mais on ne l'aurait probablement jamais reconnue par une méthode purement *géométrique*, ou à l'exclusion de toute théorie, sans le secours de la planète *Vénus*.

Cette planète, comme on le sait, n'est jamais visible au milieu de la nuit, mais elle est alternativement étoile du matin pendant dix mois environ, et étoile du soir pendant la même période, et parait osciller

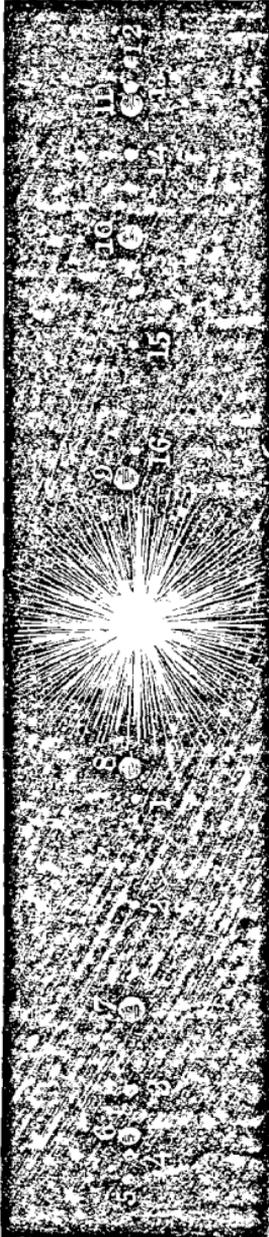


Fig. 8.

alternativement à droite et à gauche du soleil, sans le jamais précéder ni le suivre à un intervalle de plus de trois heures. Son éclat varie; et lorsqu'on la voit à travers un télescope, cette variété paraît résulter de ce qu'elle subit toutes les variétés de forme et d'étendue représentées dans la figure 8. Lorsqu'elle se montre, d'abord comme étoile du soir ou un peu à gauche du soleil comme au n° 1, elle parait très-petite, mais *ronde* comme la pleine lune; à mesure qu'elle avance vers l'est et qu'elle demeure de plus en plus longtemps visible après le coucher du soleil, comme au n° 2, 3 et 4, sa dimension parait s'accroître, mais sa forme se modifier ou devenir *bossue*; et lorsqu'elle a atteint son plus grand écart du soleil vers l'est, comme au n° 5, de manière à se coucher trois heures après lui, elle ressemble à une demi-lune, et son rapide accroissement de dimension montre qu'elle s'approche directement de nous; elle tourne ensuite vers le soleil, lentement d'abord, mais

avec une rapidité croissante, augmentant en même temps de dimension, mais diminuant de *phase* au point de devenir *cornue*, comme au n° 6. Cependant l'accroissement de ses dimensions apparentes excède la diminution de phase, jusqu'à un certain point 7, où elle atteint son éclat maximum, comme on peut le voir à l'œil nu. Après cela, vers 8, son éclat augmente encore, mais quoique ses dimensions augmentent également, la quantité de lumière qu'elle nous envoie diminue chaque jour davantage, jusqu'à ce qu'elle se perde tout à fait dans les rayons du soleil couchant. Mais quelques jours après, elle se montre immédiatement avant le lever du soleil, ayant passé de la gauche à la droite du soleil, comme au n° 9. D'abord ce n'est qu'un mince croissant, mais à mesure qu'elle avance rapidement vers l'ouest, et qu'elle se lève plus tôt chaque matin, le croissant devient plus épais quoique plus petit jusqu'à ce que, vers 10, elle atteigne encore son plus grand éclat. A partir de 10 ou à 35° du soleil, la diminution de dimension fait plus que compenser l'augmentation de phase. Le mouvement devient de plus en plus lent, comme au n° 11, jusqu'à ce que vers 45° du soleil, lorsqu'elle le précède de trois heures (n° 12), elle commence à revenir vers lui. Sa phase est alors exactement de la moitié, et ses dimensions, diminuant rapidement, indiquent qu'elle s'éloigne directement de nous. Sa phase continue alors à s'arrondir et ses dimensions à diminuer, comme aux n° 13, 14, 15 et 16 ; enfin, chaque jour elle se lève plus tard, jusqu'à ce qu'elle se perde dans les rayons du soleil levant. Mais cette fois sa disparition *der-*

*rière* l'éclat du soleil <sup>1</sup> dure cinq fois plus longtemps que la précédente <sup>2</sup> lorsqu'elle passe *devant*. On remarque aussi que la durée de son passage vers l'est, depuis le n° 12 jusqu'au n° 5, est d'environ quinze mois, tandis que sa marche de 5 à 12 n'en occupe que cinq.

Maintenant si ses positions à certains intervalles égaux, d'un mois, par exemple, sont établies comme dans la figure 8, en conservant exactement ses distances apparentes du soleil, et aussi ses dimensions et phases relatives, il sera impossible de résister à la conclusion qu'elle parcourt une orbite presque *circulaire* autour du soleil, et l'étendue exacte de cette orbite, comparée avec sa distance de cet astre à la terre, se trouvera simplement en mesurant son plus

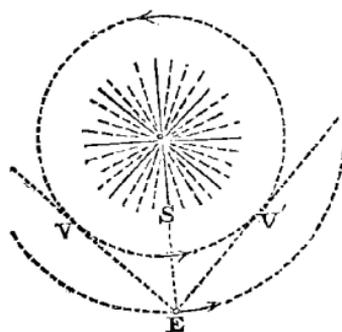


Fig. 9.

grand éloignement angulaire du soleil à gauche et à droite. Ainsi, supposons cet éloignement de  $45^\circ$ , puis dessinons une figure (fig. 9) où E représente la terre. Que les lignes EV et E'V' forment des angles de  $45^\circ$  avec ES. Si nous traçons autour du soleil, comme centre, un cercle tangent à ces lignes EV et E'V', nous aurons la vraie dimension de l'orbite de Vénus (en la supposant circulaire), comparée avec la dis-

<sup>1</sup> En termes techniques sa *conjonction supérieure*.

<sup>2</sup> En termes techniques sa *conjonction inférieure*,

tance du soleil à la terre ; et l'on verra qu'elle doit faire trois fois plus de chemin de  $V$  en  $V'$  en passant derrière le soleil, qu'en prenant l'autre direction. Toutes les autres circonstances confirment également cette conclusion, et des observations exactes démontrent que sa distance du soleil n'est jamais plus de la  $71,817^e$  partie, ni moins de la  $72,829^e$  partie de la distance moyenne de la terre à cet astre. L'orbite de Vénus est plus près d'être circulaire que celle de la terre, quoique cette dernière soit moins excentrique que celle d'aucune autre planète.

Mais il est clair que le mouvement de la terre autour de son orbite dans la même direction que Vénus, quoique plus lent, forme une différence importante dans ces apparences. Si cependant nous regardons les deux orbites comme circulaires, ce qui est à peu près le cas, nous verrons que le seul effet sera de faire que Vénus paraîtra mettre plus de temps pour passer par toutes ces variations qu'elle n'en met en réalité pour faire une révolution. La véritable période n'est que de deux cent vingt-quatre jours, tandis qu'en apparence elle occupe, comme nous l'avons vu, environ vingt mois ou cinq cent quatre-vingt-quatre jours, c'est-à-dire le temps pendant lequel les deux planètes, après être parties d'une conjonction, arriveront à une autre conjonction comme les deux aiguilles d'une horloge se rejoignent après une heure cinq minutes et  $\frac{5}{17}$ ; car dans les cinq cent quatre-vingt-quatre jours, la terre a fait environ une révolution et  $\frac{8}{13}$ , tandis que Vénus en a fait  $2\frac{8}{13}$ .

Mais lorsque nous parlons de Vénus comme pas-

sant devant le soleil, il faut se rappeler qu'elle ne passe pas, en général, exactement devant le *corps* de cet astre, mais un peu au-dessus ou au-dessous <sup>1</sup>, en conséquence de l'inclinaison du plan de son orbite sur celui de la terre. Les diverses planètes et satellites ne se meuvent pas dans le même plan; s'il en était ainsi, chaque conjonction de trois corps produirait un *transit*, une *occultation* ou une *éclipse* <sup>2</sup>; mais cela ne peut avoir lieu pour le soleil et Vénus, à moins que celle-ci ne soit dans sa conjonction et en même temps dans une de ses *intersections*, ou points où elle traverse le plan de l'orbite de la terre. Nous sommes à l'opposite de ces points le 6 juin et le 7 décembre de chaque année. Lors donc que Vénus est en conjonction inférieure, un de ces jours ou à leur approche, on la verra passer devant le corps du soleil comme une tache noire. Mais c'est là un événement tellement rare qu'il n'est arrivé que deux fois depuis la renaissance de la science.

Ce phénomène fut observé la première fois le 4 décembre 1639 ou 24 novembre vieux style, non par un

<sup>1</sup> C'est-à-dire au nord ou au sud de la ligne droite, joignant le soleil et la terre. Quoique les termes *en haut* et *en bas* n'aient aucune signification dans la nature universelle, cependant ils sont constamment employés par les astronomes, comme les mots *monter* et *descendre*. Ces expressions sont employées par rapport à un spectateur placé sur l'hémisphère septentrional de la terre. Elles doivent paraître très-embarrassantes aux habitants de l'hémisphère méridional.

<sup>2</sup> Ce sont autant de noms différents pour le même phénomène, que l'on nomme *transit*, lorsqu'un corps passe devant un corps plus grand qu'il n'est pas en état de cacher; *occultation*, lorsque le corps le plus près est en apparence plus grand que l'autre, de manière à le cacher complètement; *éclipse*, lorsque les deux corps sont presque égaux ou lorsque le soleil est caché à un corps par l'ombre d'un autre corps.

astronome royal entouré de tous les moyens d'observation exacte, mais par un jeune homme de vingt ans, muni pour tout instrument d'un morceau de verre noirci à la fumée. Ce jeune homme, nommé Jérémie Hovrocks, avait été amené, par déduction du vrai système d'astronomie, alors à peine établi, à attendre cet effet auquel ni Copernic, ni ses successeurs ne s'étaient arrêtés. Le jour qu'il avait calculé, il commença à observer le soleil depuis son lever jusqu'à l'heure du service divin, car c'était un dimanche, et l'histoire nous apprend qu'il ne voulut pas que ses observations l'empêchassent de remplir ses devoirs religieux. Entre l'office du matin et celui du soir, il observa de nouveau le soleil, mais sans succès ; enfin, vers le coucher de cet astre, la tache attendue se montra, et la nouvelle théorie reçut une confirmation de plus à ajouter à toutes les autres.

Il établit que le prochain transit aurait lieu en 1761 ; et à mesure que cette année approchait, on faisait des préparatifs bien différents du simple verre noirci employé par Hovrocks cent vingt ans auparavant. Ce fut pour observer ce passage, que le capitaine Cook fut envoyé à son premier voyage à Otahiti, et que d'autres astronomes se rendirent sur divers points du globe ; car le docteur Hooke avait démontré l'importance d'une pareille observation, comme étant le *seul moyen* d'arriver à connaître l'étendue absolue des orbites de Vénus et de la terre, et par là, de déterminer l'*échelle* du système solaire qu'on ne connaissait alors que d'une manière relative.

Pour comprendre le principe de cette observation, nous devons nous rappeler que les distances *relatives*

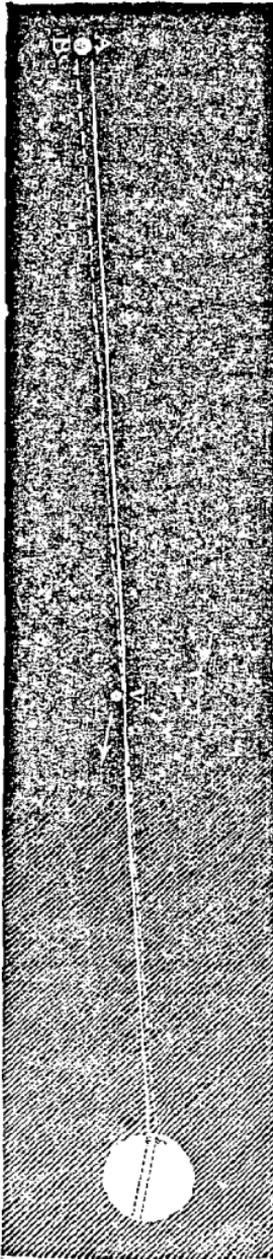


Fig. 10.

des trois corps étaient déjà connues, c'est-à-dire que le rapport des deux distances  $AV$  et  $Va$ , fig. 10, était connu. Représentons ce rapport en nombres ronds par  $3 : 7$ ; le transit fut observé de deux points de la terre très-éloignés comme  $A$  et  $B$ ; un observateur en  $A$  regardant suivant la ligne pleine de manière à voir Vénus entrer sur le disque du soleil en  $a$ , et passer dessus par la ligne pointillée inférieure, tandis que l'observateur  $B$  regardant en suivant la ligne pointillée, la voit entrer en  $b$  et passer sur le disque du soleil le long de la ligne pointillée supérieure. Les latitudes et longitudes de  $A$  et  $B$  étant connues, leur distance directe à travers la terre est aussi connue : supposons-la de 2,000 lieues. Si  $ab$  était parallèle à  $AB$ , ces deux lignes seraient évidemment dans le rapport de  $Va$  à  $VA$ <sup>1</sup>, mais ce rapport est connu; d'où (en le supposant : :  $3 : 7$ .) la distance

<sup>1</sup> Les triangles  $aVb$  et  $AVB$ , seront semblables comme ayant les côtés parallèles.

$a b$  sera de 4,600 lieues, et si  $a b$  n'est pas parallèle à AB leur inclinaison est connue et calculée. Ainsi on avait réuni un grand nombre de données avant les observations, dans le seul objet de déterminer le rapport de la distance  $a b$  au diamètre du soleil<sup>1</sup>; on trouva qu'il n'était dans ce cas que de  $\frac{1}{63}$ , environ de son diamètre, qui doit être par conséquent 63 fois 4,600 ou 289,000 lieues; et comme la distance du soleil à la terre varie, comme nous l'avons vu, de  $105 \frac{3}{4}$  à  $109 \frac{1}{3}$  fois son diamètre, cette distance doit être de 30,000,000 à 31,000,000 de lieues.

Un autre transit de Vénus eut lieu huit ans après; il fut observé avec le même soin. Le prochain phénomène de ce genre n'arrivera pas avant 1874; il se produira encore en 1882.

XXIV. — Ces observations ont fourni *l'échelle* du système solaire, car tout corps plus éloigné peut aujourd'hui être mesuré par sa parallaxe *annuelle*, c'est-à-dire par ses changements de place lorsqu'il est

<sup>1</sup> Ce point fut obtenu indirectement en observant simplement la *durée* exacte du transit à chaque station, car comme la ligne pointillée  $b$  est plus longue que  $a$ , il est évident que le transit devait durer plus longtemps vu de B que vu de A. Le meilleur résultat fut obtenu par la comparaison de l'observation du capitaine Cook, à Otaïti, avec celle de Planmann, à Cajanebourg en Finlande. Le transit dura environ six heures à chaque station, et quinze minutes de plus à l'une qu'à l'autre. L'extrême beauté et l'exactitude de cette méthode proviennent de ce que tout entière elle dépend d'un simple mesurage, la *durée* du transit; et de ce que ce point est rendu reconnaissable avec la plus grande exactitude, parce que les moments du *contact interne*, c'est-à-dire pendant lesquels le profil de Vénus était en premier lieu ou en dernier lieu renfermé dans le disque du soleil, pouvaient facilement être indiqués à une fraction de seconde près ou plus exactement qu'aucun autre événement astronomique, à l'exception du phénomène semblable de la formation ou de la rupture de l'anneau dans une éclipse annulaire.

observé de points opposés de l'orbite de la terre ou à des intervalles de six mois après avoir tenu compte de son mouvement propre. Ainsi la distance de la nouvelle planète Neptune a été reconnue d'environ quinze fois le diamètre de l'orbite de la terre. Mais cette méthode ne réussit pas lorsqu'elle est appliquée à des corps étrangers à notre système planétaire. La base de 60,000,000 de lieues fournie par le diamètre de notre orbite est encore insuffisante pour élever un triangle qui atteindrait même l'étoile la plus voisine de la terre. Les deux côtés de ce triangle semblent parallèles, et la plus minutieuse observation n'a pu découvrir une inclinaison de 1'' entre eux, et cependant, sous cette inclinaison ils ne se rencontreraient qu'à une distance 216,000 fois la base ou 72,000 fois le diamètre entier du système solaire connu. Ces corps sont donc évidemment des *soleils*, car aucun corps plus petit ou moins lumineux que le soleil ne pourrait être vu à leur distance.

XXV. — Le même principe, communément nommé principe des *triangles semblables*, qui est ainsi appliqué au mesurage de grandes distances, est également applicable à celui des petites distances trop faibles pour être mesurées à l'aide des verniers ou des micromètres. Le philosophe de la nature peut évaluer une distance aussi faible que la moitié d'un millièmième de pouce, qui est le commencement de l'échelle de Newton, des *couleurs des plaques minces*, ou des degrés de ténuité indiqués par l'apparence de certaines couleurs, comme celles que l'on voit sur une bulle de savon, ou une pellicule de graisse flottant sur l'eau, ou le mince enduit d'oxyde que l'on aperçoit sur le

verre exposé pendant des années à l'intempérie de l'air, ou sur les métaux, car Newton a prouvé que la *couleur* de toutes les parties de cette pellicule dépend entièrement de son *épaisseur*; de sorte qu'on peut la prendre comme la mesure même de cette épaisseur, une fois qu'on a constaté l'épaisseur nécessaire pour produire chaque couleur. Des mesurages comme ceux-là ne se font pas, comme on le pense bien, avec la main, et ne sont pas appréciables à l'œil, mais ils sont basés sur les principes rigoureux de la géométrie et reconnus avec précision par une extension des pouvoirs du raisonnement bien au delà des limites des sens.

Si nous prenons deux morceaux de verre plat parfaitement propres et que nous les pressions fortement l'un contre l'autre, nous apercevrons un certain nombre de belles couleurs, disposées dans un certain ordre, et formant des dessins plus ou moins réguliers. Les mêmes couleurs peuvent être aperçues dans plusieurs minéraux qui se cristallisent en plaques minces ou lames. Les couleurs sont produites, dans ces cas, par une infiltration d'air retenue entre ces plaques. La question que Newton s'était posée était de reconnaître l'épaisseur de la particule d'air nécessaire pour produire ces couleurs. Afin de rendre les phénomènes permanents et de les produire à volonté, ce grand philosophe inventa l'ingénieuse expérience que voici : il se procura une lentille plano-convexe, dont la surface convexe avait un rayon de 28 pieds, et une lentille bi-convexe d'un rayon de 50 pieds. Dans le premier cas, si nous supposons un globe solide de verre de 56 pieds de diamètre, un fragment

de ce verre coupé suivant un plan formera une lentille plano-convexe de 28 pieds de rayon, et dans le second cas, le globe ayant 100 pieds de diamètre, deux fragments semblables réunis par leurs faces planes formeront une lentille bi-convexe de 50 pieds de rayon, dont la convexité sera par conséquent à peine perceptible si la lentille est assez petite.

Une surface de la lentille la moins convexe fut placée sur la surface plane de l'autre, et les deux lentilles furent comprimées au moyen de trois vis attachées aux bords, comme on le voit figure 11. De cette manière, un filet d'air, sans aucune épaisseur, se trouva enfermé entre la face plane de la première lentille et la face convexe de la seconde, sur toute l'étendue de la partie adhérente. La figure 13 montre les courbes des deux lentilles fort exagérées, afin de mieux indiquer l'augmentation graduelle de l'épaisseur de la couche d'air.

En regardant ces lentilles à la lumière naturelle du jour, on observe un certain nombre d'anneaux

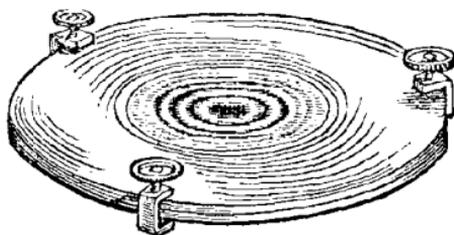


Fig. 11.

colorés concentriques, comme dans la fig. 11. Le centre, ou commencement de la série où les lentilles sont en contact, forme une tache noire fon-

cée, qui est entourée d'anneaux bleu pâle, blanc, jaune, orange et rouge foncé. Cette dernière complète la première série ou alternation de couleurs.

La seconde série, en s'éloignant toujours du centre, se compose de violet, indigo, bleu, vert clair, jaune, orange, rouge éclatant et rouge cramoisi. La troisième série se compose d'anneaux de pourpre, indigo, bleu, vert, jaune et rouge. La quatrième série présente des anneaux de pourpre, vert-bleu, vert de prairie, jaune-vert et rouge. Le cinquième et le sixième anneaux sont vert-bleu et rouge pâle, et le septième bleu-vert très-pâle et

blanc rougeâtre. La figure 12 donnera une idée de l'aspect de ces anneaux. La forme circulaire des anneaux nous amène à constater la régularité des surfaces du verre et la correspondance constante d'une certaine couleur avec une certaine épaisseur. D'un au-



Fig. 12.

tre côté la belle et remarquable loi de la décroissance dans la largeur des séries successives est telle qu'elle rend parfaitement égale l'aire de chaque anneau coloré mesuré de la partie la plus foncée d'une série à la partie la plus foncée de la série suivante. Cette observation nous conduit à certaines relations numériques très-simples entre l'épaisseur qui produit la même couleur dans chacune des diverses séries de couleurs.

Maintenant pour constater l'épaisseur de la couche d'air contenue entre les deux lentilles, admettons que  $GH$  (fig. 13) représente cette parcelle, et que le rayon  $AF$  de sa surface concave soit de 50 pieds.

Supposons ensuite que l'on demande l'épaisseur  $BD$  d'un anneau dont le rayon est  $AB$ . Ce rayon se trouvera en prenant la distance du centre  $A$  ou tache

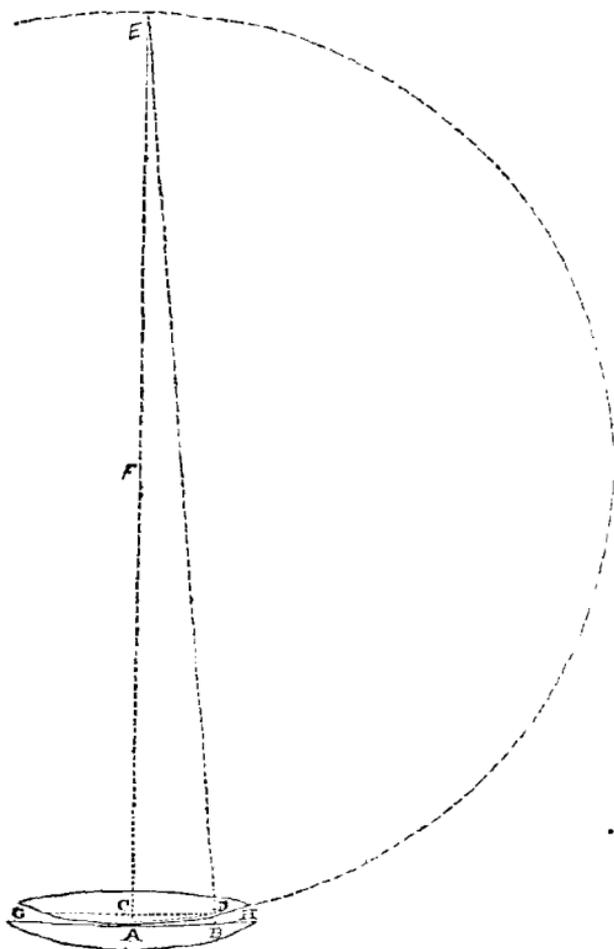


Fig. 13.

noire dans la figure 12 à l'anneau indiqué, et nous supposerons que ce rayon est d'un quart de pouce.

En tirant les lignes AD et DE, nous obtenons un triangle rectangle, parce que tout triangle inscrit dans un cercle, et dont l'un des côtés est un diamètre, est un triangle rectangle et l'angle au sommet est l'angle droit. (Legendre, liv. II, prop. XVIII.) De même, nous obtiendrons deux autres triangles rectangles ACD et BCD en abaissant CD perpendiculaire à AE et par conséquent parallèle et égal à AB.

Les deux triangles CDE et ACD sont semblables, et par conséquent les côtés homologues sont proportionnels. On trouvera donc que dans le premier triangle, les côtés CE et CD sont dans le même rapport que les côtés CD et CA=BD du second triangle. Mais comme CA est extrêmement petit par rapport à AE, on peut négliger CA, et, dans les calculs, substituer AE à CE. On aura alors  $AE = CE : CD :: CD : CA = BD$ ; ou 100 pieds :  $\frac{1}{4}$  de pouce : :  $\frac{1}{4}$  de pouce :  $\frac{1}{9200}$  de pouce (épaisseur de la tranche d'air en BD).

Il faut se rappeler que, pour rendre notre figure intelligible, il a été nécessaire d'exagérer la surface courbe GH et que le rayon de courbure AF est à peine de deux pouces au lieu d'être de 50 pieds. On voit facilement que plus le cercle dont AE est le diamètre sera grand, plus la distance BD sera petite.

Il serait impossible ici de donner une idée de l'importance de ces merveilleuses opérations; mais on peut dire que cette expérience a jeté la base de l'*optique physique* ou de la connaissance que nous avons obtenue des propriétés particulières aux rayons de lumière. Nous devons faire observer toutefois que lorsque l'espace entre ces lentilles est rempli d'eau ou

de tout autre liquide, au lieu d'air, les anneaux, sans subir aucune autre variation, diminuent d'étendue, ce qui montre qu'une moindre épaisseur est nécessaire pour produire une couleur donnée de l'échelle ci-dessus dans une couche de liquide que dans une couche d'air; mais que le rapport entre les épaisseurs qui produisent les différentes teintes reste la même quelle que soit la substance employée. C'est à l'aide de ces observations que Newton a prouvé que lorsqu'une bulle de savon devient assez mince pour offrir le *noir* de la première série de couleurs, l'épaisseur de la partie qui paraît noire est de moins de trois huitièmes d'un millionième de pouce.

XXVI.— Ces exemples feront ressortir la propriété *générale* de la matière qui vient après son étendue et son impénétrabilité, à savoir sa *divisibilité* en parties de plus en plus petites, et dont la limite n'a pas encore été trouvée. Il est extrêmement probable cependant, d'après certains faits chimiques, que tous les corps sont composés de parties élémentaires qui sont indivisibles et inaltérables; on les nomme *atomes*, mot qui signifie en grec indivisible. On ne sait rien de leur dimension absolue, si ce n'est qu'elle ne peut excéder certaines grandeurs que nous pouvons calculer, mais de l'extrême petitesse desquelles nous ne pouvons nous former une idée exacte. Par exemple, nous venons de voir qu'une pellicule d'eau savonneuse, si elle est protégée avec soin de toute perturbation, se maintiendra jusqu'à ce qu'elle ait été réduite à l'épaisseur de moins d'un 2,600,000<sup>e</sup> de pouce. L'eau pure ne tiendra pas de cette manière à ce degré; mais le mélange de moins d'un centième de son volume de sa-

von suffira pour donner cette propriété à toute la quantité d'eau. Or, pour produire cet effet, il est évident qu'il faut qu'il y ait une partie de savon, au moins un atome dans chaque cube d'un 2,600,000<sup>e</sup> de pouce de côté de la dissolution. Mais ce savon, lorsqu'il est sec, occupe moins d'un centième du volume de la dissolution. Ainsi, un simple atome de savon à l'état solide sera plus petit que la centième partie d'un cube ayant un 2,600,000<sup>e</sup> de pouce de côté, c'est-à-dire 1757 quintillionnièmes de pouce cube (1757,000,000,000,000,000).

Le docteur Thomson a démontré qu'on peut rendre visible une partie de plomb dont le volume ne peut excéder le 888,492,000,000,000<sup>e</sup> d'un pouce cube. Il fit dissoudre un grain de nitrate sec de plomb dans 500,000 grains d'eau, et après avoir agité la dissolution, il y fit passer un courant de gaz hydrogène sulfuré. Tout le liquide commença à se décolorer sensiblement. Or, nous pouvons considérer une goutte d'eau comme pesant environ un grain, et une goutte d'eau répandue peut aisément couvrir un pouce carré de surface. Avec un microscope ordinaire la millionième partie d'un pouce carré peut se distinguer à l'œil. L'eau pouvait donc se diviser en 500,000,000,000 de parties dont chacune contenait un peu de plomb uni au soufre. Mais le plomb dans un grain de nitrate de plomb ne pèse que 0.62 d'un grain. Il est donc évident qu'un atome de plomb ne peut peser plus de  $\frac{1}{310,000,000,000}$  de grain, tandis que l'atome de soufre, car le plomb était combiné avec le soufre qui le rendait visible, ne peut peser plus de  $\frac{3}{2,015,000,000,000}$  de grain.

L'étendue de ces fragments très-exigus de matière peut aussi être calculée. Ainsi, le volume de la partie de plomb rendue visible par l'opération ci-dessus n'est que de  $\frac{1}{888,452,000,000,000}$  de pouce cube.

Il y a dans les arts utiles une foule d'exemples intéressants de la subdivision infinie de la matière. Une feuille d'or n'a qu'un 290,636<sup>e</sup> de pouce d'épaisseur, et il faudrait au moins 1,500 de ces feuilles placées l'une sur l'autre pour égaler l'épaisseur du papier sur lequel ce livre est imprimé. Le procédé par lequel on obtient cette ténuité extraordinaire est facile à comprendre. Par exemple, une once d'or est égale en volume à un cube dont les côtés auraient  $\frac{5}{12}$  de pouce ; de sorte que, placée sur la table, elle couvrirait un peu plus d'un sixième de pouce carré de sa surface et aurait  $\frac{5}{12}$  de pouce de hauteur. Le batteur d'or bat ce cube d'or jusqu'à ce qu'il couvre une surface de 146 pieds carrés. On peut aisément calculer que, pour être étendu d'une surface de  $\frac{5}{12}$  de pouce carré à une surface de 146 pieds carrés, son épaisseur doit être réduite de  $\frac{5}{12}$  de pouce à la 290,636<sup>e</sup> partie d'un pouce.

Mais l'or fournit un exemple encore plus remarquable de l'extension, et par conséquent de la divisibilité de la matière. Le fil d'or employé dans la broderie se fait en étendant une couche d'or sur une barre d'argent. Une barre d'argent d'environ deux pieds de long et d'un pouce et demi de diamètre, pesant près de 20 livres, est recouverte d'environ 800 grains d'or pur. Cette barre est tirée à travers une série de trous de plus en plus petits, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une longueur de 80 lieues ; par

cette opération, l'or a été réduit à une épaisseur 800 fois moindre, chaque grain étant capable de couvrir une surface de 9,600 pouces carrés. Ce fil est ensuite aplati, la couche d'or subit une nouvelle extension, et son épaisseur se trouve réduite à la quatre ou cinq millionième partie d'un pouce.

Dans le règne animal, le microscope a prouvé l'existence d'animaux si petits qu'un million d'entre eux n'excède pas le volume d'un grain de sable, et cependant chacune de ces créatures est composée d'organes de nutrition et de locomotion comme les animaux plus grands; la poussière du lycoperdon paraît au microscope d'une couleur orange, parfaitement ronde et n'excédant pas en diamètre la cinquantième partie de l'épaisseur d'un cheveu. De sorte que si on prenait un globe d'une substance quelconque ayant le diamètre d'un cheveu, il serait 125,000 fois plus grand que la semence du lycoperdon.

Cent yards de soie *grége* pèsent moins d'un grain, et le 3,000<sup>e</sup> d'un yard ou le 100,000<sup>e</sup> d'un grain peut être manié et examiné à l'œil nu. Le fil de l'araignée commune est beaucoup plus fin que celui du ver à soie, et il y a des araignées dont mille fils n'atteindraient pas l'épaisseur du fil de l'araignée commune. Leurs fils sont invisibles, excepté quand ils reflètent la lumière solaire directe, et cependant on voit à l'aide du microscope que chaque araignée a 4,000 petits fuseaux, produisant chacun un fil séparé, qui sont réunis en un peloton pour former ce que nous appelons fils de la Vierge.

Ainsi, l'observation a démontré que, quelque exigu que soit un corps, il est encore susceptible d'une divi-

sion ultérieure, c'est-à-dire que la science n'a pu parvenir à découvrir une limite à la divisibilité d'aucune sorte de matière; et cependant des faits chimiques donnent la presque certitude que cette limite existe dans toute espèce de substance.

XXVII.— Les atomes de la matière sont tenus ensemble par une force attractive nommée *cohésion*, qui est plus grande dans les solides, moindre dans les liquides, tandis qu'elle parait tout à fait nulle dans les corps gazeux.

Les atomes de la matière ne peuvent être en contact parfait, puisque toute espèce de matière est plus ou moins susceptible de compression. La chaleur est supposée l'antagoniste de la cohésion; mais, quoi qu'il en soit, il semble qu'il y ait une propriété répulsive qui empêche les atomes ou molécules de se toucher les uns les autres. Les espaces qui les séparent se nomment *pores*.

La *porosité* est une propriété universelle de la matière; elle n'existe pas seulement chez les animaux et les végétaux, mais on l'a trouvée dans toutes les substances qui ont été soumises à l'examen. Une tranche mince du bois le plus dur, examinée au microscope, offre une multitude de trous ou pores admirablement disposés. Un morceau de marbre, de granit ou autre pierre compacte plongé dans l'eau et placé sous le récipient d'une machine pneumatique à air, rejettera, lorsqu'on aura fait le vide, un torrent de bulles d'air qui s'étaient cachées dans les pores internes de la pierre. Il y a une sorte d'agate nommée *hydrophane*, qui, dans son état ordinaire, est semi-transparente, mais qui, après avoir été plongée dans

l'eau, en prend environ un sixième de son volume et devient presque aussi transparente que le verre.

La porosité des métaux a été constatée, en l'année 1661, par la célèbre expérience de Florence. Les académiciens del Cimento soumièrent à une grande pression une balle d'or creuse et remplie d'eau, et l'on vit sortir l'eau à travers les pores sur la surface de l'or. Cette expérience a été souvent répétée sur différents métaux avec le même succès.

Quoique la porosité du verre et de plusieurs autres corps n'ait pas été démontrée de la même manière, elle est pourtant évidente par le fait seul de leur dilatation à la chaleur et de leur contraction au froid. Nous devons faire remarquer que les plus grands philosophes sont tous tombés d'accord sur l'opinion que les atomes, même des solides les plus denses, sont beaucoup plus petits que les espaces qui les séparent. Newton les a même supposés *infiniment* plus petits, ou, en d'autres termes, il les considérait comme de simples *points* mathématiques; ou, comme dit Roscovich, des *centres* mobiles, de forces attractive et répulsive. Il y a cependant quelques phénomènes qui semblent indiquer qu'ils ont des formes définies, et par conséquent des dimensions définies. Cependant sir John Herschel demande pourquoi l'on ne peut supposer les atomes d'un solide aussi clair-semés dans l'espace qu'occupe ce solide que les étoiles qui composent un groupe; il compare un rayon de lumière pénétrant le verre à un oiseau qui parcourt les labyrinthes d'une forêt.

XXVIII. — La porosité de la matière nous conduit à examiner une autre propriété universelle qui en est la

conséquence nécessaire. Tous les corps connus peuvent être réduits par la pression à des limites plus restreintes, s'est-à-dire, que leur *volume* peut être réduit sans diminuer leur masse ou la quantité de matière. Cette propriété se nomme *compressibilité*, et des exemples nombreux et familiers de cette propriété s'offriront d'eux-mêmes au lecteur. Nous en donnerons quelques-uns qui sont moins évidents.

Si une bouteille d'eau douce est fermée avec un bouchon de liège et plongée dans la mer à une grande profondeur, le liège sera comprimé et refoulé dans la bouteille, de manière à permettre à l'eau salée de se mêler avec l'eau douce. Si on retire la bouteille, le liège se dilatera, reprendra sa dimension première, et occupera de nouveau sa place dans le goulot, à tel point qu'il est nécessaire de goûter l'eau pour être convaincu que le bouchon a été dérangé. Des pièces de chêne, de hêtre ou d'aune, plongées dans l'eau à la profondeur de mille brasses, et retirées après deux ou trois heures, contenaient quatre cinquièmes de leur poids d'eau, et avaient acquis un accroissement de densité tel que le bois était contracté à environ la moitié de son premier volume, de sorte que si on le jetait dans un bassin d'eau, il tombait au fond comme une pierre.

Quelques métaux ont leur volume réduit d'une manière permanente par le battage. Lorsque les métaux sont fondus ensemble pour la formation d'alliages, il y a souvent une grande contraction ; des volumes égaux d'étain et de cuivre éprouvent une contraction qui s'élève à la quinzième partie de leur volume total.

On a longtemps supposé que les liquides étaient incompressibles, et l'expérience de Florence était citée comme une preuve de cette assertion. Canton fut le premier qui prouva qu'ils sont compressibles et Oersted a inventé un bel appareil, par lequel il a été prouvé que, pour chaque nouvelle *atmosphère* ou pression de 15 livres par pouce carré, l'eau était comprimée de plus de 46 millionièmes de son volume, l'alcool de 21, et l'éther de 61 millionièmes de leurs volumes respectifs.

Les corps aériformes sont ceux dont la compressibilité est la plus facile à démontrer. Si nous prenons un cylindre de métal, fermé à une extrémité, et que nous placions à l'autre un piston convenable, il sera impossible de pousser le piston dans le tube s'il est rempli d'eau; mais s'il est rempli d'air, la force du bras est suffisante pour faire descendre le piston, de manière à réduire le volume d'air dix ou vingt fois si le piston est petit. Nous sentons que la résistance augmente en proportion de la compression; et, quelle que soit la force employée, nous ne pouvons faire que le piston touche le fond du tube parce que, pour cela, il faudrait que l'air perdît son impénétrabilité, ou en d'autres termes, qu'il fût annihilé. Lorsque la pression cesse, l'air reprend son premier volume, ce qui n'a pas lieu pour les métaux et quelques autres solides après qu'ils ont été fortement comprimés.

XXIX. — La force avec laquelle la plupart des solides et tous les fluides tendent à se dilater lorsqu'ils sont comprimés est une variété d'élasticité, autre propriété commune à la matière, et qui, dans son acception la plus large, s'applique à la tendance que les mo-

lécules ont de garder une certaine *distance* ou *position* les uns à l'égard des autres, et à reprendre cette distance ou position dès que l'obstacle a cessé. Dans les liquides, il ne s'agit que de la *distance* et non pas de la *position* des molécules, car elles n'ont aucune tendance à affecter une position plutôt qu'une autre. Cette tendance est le caractère particulier des solides, dans lesquels nous distinguons non-seulement l'élasticité de *compression*, commune à tous les corps, mais encore trois autres sortes d'élasticité qu'on ne trouve pas dans les fluides, savoir l'élasticité de *tension*, de *flexion* et de *torsion*; car les divers modes par lesquels nous pouvons altérer la forme ou les dimensions d'un corps peuvent tous se réduire à ces quatre modes : *presser, étendre, courber et tordre*, mais il n'y a que le premier qui soit applicable aux fluides.

Aucune de ces quatre sortes d'élasticité ne se trouve, en même temps, parfaite et illimitée dans aucun solide. Dans quelques-uns, comme dans le verre, elles paraissent toutes *parfaites*, car nulle force, quelque grande ou prolongée qu'elle soit, ne fait prendre au verre un changement permanent, soit dans sa forme, soit dans son volume; mais alors cette élasticité est restreinte dans d'étroites limites, et si on les dépasse, la *fracture* en est le résultat. Dans les solides dont l'élasticité d'une ou plusieurs sortes est moins limitée, comme dans les métaux, ou même paraît illimitée (comme la flexion pour le caoutchouc ou la torsion pour le fil), le retour des parties de la matière à leur position première n'est que partiel, et il en résulte un changement permanent de forme. Nous avons vu de même que.

dans la compression des métaux, il y a un changement permanent de volume.

Dans les fluides, quoique l'on ne trouve pas ces trois sortes d'élasticité, c'est-à-dire celles qui sont relatives à la position des molécules, la quatrième, celle qui est relative seulement à leur distance, est *parfaite*, comme l'élasticité dans le verre, et paraît *illimitée* quant à l'étendue.

**XXX.** — Nous venons d'examiner brièvement les propriétés communes à la matière dans l'état de *repos*; ou celles qui sont seulement relatives à l'*espace* et n'exigent pas que l'on tienne compte de l'élément du *temps*; et l'on-remarquera qu'aucune de ces propriétés n'offre le moyen de mesurer la *masse* ou quantité de la matière. Car aucune d'elles n'est invariablement la même dans le même corps, de manière à nous permettre de comparer deux corps et de constater leur rapport comme deux *grandeurs* ou *quantités*. La compressibilité de la matière prouve que le volume d'un corps ou la grandeur de l'espace est tout à fait indépendant de la grandeur de la matière, puisque les premières peuvent varier tandis que la dernière demeure immuable; et nous n'avons réellement aucun moyen de comparer des quantités de matière jusqu'à ce que nous introduisions les considérations de *temps*, de *mouvement* et de *force*.

La science de la mécanique *générale*, qu'on distingue de la mécanique *solide*, a pour objet l'étude de l'action des forces sur la matière. Les forces mécaniques peuvent être considérées comme des mouvements, actuellement produits ou tendant à se pro-

duire <sup>1</sup>, sans aucun rapport avec la nature de la force ou sa cause génératrice. Il s'ensuit que deux forces qui impriment au même corps le même degré de vitesse, dans la même direction, sont regardées comme identiques, soit qu'elles proviennent du pouvoir animal, d'un poids descendant par sa gravité, de l'impulsion d'un corps lourd ou de l'élasticité de la vapeur, etc. La mécanique résout l'action de ces forces en problèmes, et considère l'effet produit sur un corps donné par différentes forces agissant ensemble, lorsque le simple mouvement produit par chacune d'elles est connu ; ou au contraire, cette science détermine quelle combinaison de forces simples produira un mouvement composé déterminé. Il en résulte que la mission particulière de la mécanique est l'étude de la combinaison des forces, soit que l'on veuille déterminer l'effet produit par leur action réunie, soit que l'on recherche les conditions d'équilibre d'un système de forces qui se neutralisent. Ce dernier problème rentre dans la statique, qui doit nécessairement être étudiée d'abord, parce qu'elle ne tient pas compte de l'élément du temps.

XXXI.—Les lois du mouvement sont fréquemment citées comme explication de l'*inertie* de la matière, terme qui sous plus d'un rapport n'est pas très-juste,

<sup>1</sup> Mais tout ce qui est capable de repousser et de neutraliser une autre force, de manière à produire l'*équilibre*, doit lui-même être considéré comme une force, même quoiqu'il n'ait pas de tendance à produire le mouvement. C'est ce qui a lieu par le *frottement* et les autres causes retardatrices qui, n'agissant jamais comme producteurs ou accélérateurs du mouvement, sont par conséquent nommées forces *passives* ou *résistances*.

puisqu'il suppose que la matière est par sa nature essentiellement inerte ou passive, et qu'elle n'est jamais active si ce n'est sous l'influence de forces étrangères. L'inertie supposée naturelle et inhérente à la matière est exprimée par les mots *force d'inertie*, contradiction de termes qui n'est cependant qu'apparente, la force étant la cause, et le mouvement l'effet produit par elle sur la matière; de sorte que dire que la matière est inerte ou a de l'*inertie*, c'est dire seulement que la cause est dépensée en produisant son effet, et que la même cause ne peut sans se renouveler produire le double ou le triple de son effet propre.

L'inertie ne doit pas cependant être considérée comme une  *paresse*, ou comme une tendance à rester en place plutôt qu'à se mouvoir<sup>1</sup>, mais comme une indifférence à l'un et à l'autre de ces états, ou comme une tendance à résister à tout *changement*, soit du repos au mouvement, soit du mouvement au repos, soit à un changement dans l'intensité du mouvement, par l'accroissement ou la diminution, soit enfin à un changement dans sa direction. C'est ce qui a fait proposer par les Anglais, de remplacer le mot impropre d'*inertie* par celui de *persistance*, qui implique la

<sup>1</sup> Que la matière mise en mouvement ait en elle-même la tendance à être retardée et finalement à s'arrêter, à moins qu'une force nouvelle ne pourvoie constamment à maintenir le mouvement, c'est là une erreur vulgaire qu'il faut dissiper avant de pouvoir donner une idée exacte du phénomène du mouvement, tout *changement* dans le mouvement étant considéré comme l'effet de quelque application de force; toutes les fois que l'on a lieu de constater un ralentissement, il doit être attribué à quelque force opposée, force sans laquelle le mouvement continuerait indéfiniment.

tendance de la matière à conserver sans variation son état actuel, soit de repos, soit de mouvement, ou, en d'autres termes, la nécessité d'appliquer une force pour produire un changement d'une espèce quelconque, soit dans l'*intensité* du mouvement, soit dans sa *direction*.

Tous les mouvements dans le ciel et sur la terre prouvent cependant, à l'évidence, que la matière elle-même est capable d'exercer cette force et de produire ces changements, soit sur elle-même, soit sur une autre matière. Par l'action de la matière de la terre sur celle d'un projectile, la *vitesse* de celui-ci est changée à chaque instant, diminuée lorsqu'il s'élève, et accrue lorsqu'il descend; et à moins que le mouvement soit vertical, sa *direction* est également modifiée continuellement, comme celle des corps célestes; ce qui montre que la force qui produit ces changements de vitesse ou de direction agit sans cesse et universellement par toute la matière. La même remarque s'applique aux diverses forces d'attraction et de répulsion, incomparablement plus puissantes que la gravitation, et par l'équilibre desquelles les molécules des solides sont réunies, sans pourtant se toucher, et tenues à certaine distance et dans une position déterminée, qu'il faut une force extraordinaire pour troubler, même à un degré inconcevablement minime. De même, dans un grand nombre de phénomènes dus au calorique, à l'électricité ou à quelque combinaison chimique, la matière offre diverses formes d'activité spontanée, qui ne permettent pas d'attacher au mot d'*inertie* la signification qu'on lui attribue communément.

XXXII. — La première loi du mouvement, découverte par Képler, a été nommée *loi d'inertie*. Elle établit comme un fait général que tout mouvement est *naturellement* rectiligne et uniforme; c'est-à-dire qu'un corps soumis à l'action d'une force simple, agissant instantanément, *doit* se mouvoir constamment en ligne droite avec une vitesse invariable, à moins que de nouvelles forces ne viennent modifier cet état.

XXXIII. — La seconde loi fondamentale du mouvement est due à Newton; elle établit l'égalité constante et nécessaire entre l'action et la réaction; c'est-à-dire que toutes les fois qu'un corps est mis en mouvement par un autre corps, le premier réagit sur le second dans une direction contraire, et le second corps perd une quantité de mouvement, exactement égale à celle que le premier a reçue. Mais par le mot *quantité de mouvement*, autrement dit valeur de la force motrice, nous ne devons pas comprendre la *vitesse*; celle-ci n'est que l'*intensité* du mouvement et non sa *quantité*, car, pour évaluer la quantité d'un mouvement quelconque, il faut tenir compte en même temps de son intensité et de la quantité de matière sur laquelle elle agit. Si l'intensité de l'effet demeure constante, sa quantité doit toujours être proportionnelle à la quantité de matière affectée; et en supposant que celle-ci demeure constante, la quantité de l'effet est proportionnelle à son intensité<sup>1</sup>. La valeur ou quan-

<sup>1</sup> Ce principe est également applicable à tout effet produit sur la matière, non-seulement par le mouvement, mais à tous les effets qui, quoique supposés n'être que des espèces particulières de mouvement, sont, dans l'état actuel de la science, considérés nécessairement comme des agents distincts; tels sont la chaleur, la lumière, l'électricité et le magnétisme.

tité du mouvement est donc, dans deux corps égaux, proportionnelle à leur *vitesse*; mais dans deux corps également rapides, elle est proportionnelle à leurs *masses* ou quantités de matière; et lorsqu'ils ne sont ni égaux, ni également rapides, elle est en même temps proportionnelle aux masses et aux vitesses, ou proportionnelle au *produit* de ces deux quantités.

Nous voyons par là que les phénomènes du mouvement fournissent un moyen, et le *seul* moyen de comparer les *masses* ou quantités de la matière. Pour cet objet, nous devons partir de la vérité fondamentale mentionnée ci-dessus : que dans toute action, c'est-à-dire dans tout changement du repos au mouvement, ou du mouvement au repos, dans tout changement dans la vitesse ou la direction du mouvement d'un corps, il y a un effet égal et opposé produit sur un autre ou sur d'autres corps, un effet *égal* non par rapport à l'intensité, mais à la quantité. Sachant donc que les *quantités* de ces deux effets opposés sont égales, si nous observons le rapport entre leurs intensités, nous pourrions calculer le rapport entre les quantités de matière, rapport qui sera nécessairement en raison inverse de l'intensité des deux effets <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> C'est tout ce qu'il faut comprendre lorsqu'on dit que l'*inertie* est une propriété commune à toute la matière, et qu'elle est proportionnelle à la masse; car en fait, cette prétendue propriété est la seule mesure que nous pouvons avoir de la quantité de la matière. Le poids est en effet pris généralement comme synonyme de masse ou quantité de la matière; mais ce n'est pas exact, car la même masse qui pèse une livre à Londres ne pèserait pas trois onces à la surface de la lune, et elle pèserait près de trois livres dans Jupiter, elle pèserait même moins d'une livre à Brighton et plus d'une livre à Manchester; mais naturellement on ne pourrait trouver la différence en comparant poids pour poids dans une balance, parce que les deux poids éprouvent la même

XXXIV. — La troisième loi du mouvement, découverte par Galilée, nous amène à exposer brièvement ce que l'on nomme *composition des forces*, c'est-à-dire la loi d'après laquelle deux forces, agissant chacune séparément, sur un même corps, et pendant un temps donné, produiront le même résultat que si elles étaient appliquées simultanément durant le même espace de temps. Il suit de là que deux forces peuvent être *composées* ou une nouvelle force leur être substituée qui leur sera exactement équivalente ; si l'on prend sur la direction de ces forces des longueurs proportionnelles à leur intensité et que l'on en forme les côtés d'un parallélogramme, la *diagonale* représentera en longueur et en direction la *résultante* ou force composée ; enfin et réciproquement toute force peut être *décomposée* en un nombre quelconque de forces qui lui seront équivalentes, et qui auront des directions quelconques.

Lorsque l'on considère l'action de plusieurs forces dans différents plans, on les décompose généralement chacune en trois parties, agissant dans *trois* directions fixes, toutes à angles droits l'une de l'autre, comme 1 nord et sud, 2 est et ouest et 3 de haut en bas ; mais, si l'on ne considère les forces que sur un seul plan, il suffit de décomposer chacune d'elles en *deux* directions, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à quelque objet ou force remarquable.

augmentation ou la même diminution. Pour découvrir la différence de poids il faut l'opposer à quelque autre force, telle que l'élasticité d'un ressort. Deux horloges, l'une mue par un poids, l'autre par un ressort, et marquant la même heure, dans un même lieu, ne conserveront plus cette égalité lorsqu'elles auront été placées à une latitude différente ou à une élévation différente au-dessus du niveau de la mer.

Pour les exemples de ces lois et de ces méthodes, nous renvoyons le lecteur aux traités élémentaires sur la science de l'ingénieur et de la mécanique. Nous mentionnerons cependant ici un exemple très-simple de l'application de toutes ces lois et méthodes.

XXXV. — La direction de la réflexion ou du mouvement en arrière d'un corps qui rencontre un obstacle fixe (une bille de billard sur la bande, par exemple) offrira une explication de toutes les lois du mouvement et de l'effet de sa composition et de sa décomposition : une bille roule suivant la ligne  $AB$  (fig. 14) de manière à frapper la bande obliquement

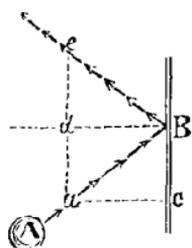


Fig. 14.

en B ; la force motrice peut être décomposée en deux forces équivalentes, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à la bande.  $aB$  étant l'espace parcouru par la bille dans l'unité de temps,  $ac$  et  $ad$  seront les espaces qu'elle parcourra par l'action de ces deux forces agissant séparément, chacune pendant la même unité de temps. Maintenant, si la dernière force agissait seule, il est évident que la bille n'exercerait aucune action sur la bande ; conséquemment cette force n'ajoute rien au choc, qui dépend uniquement de l'autre portion séparée de la force entière, c'est-à-dire de la portion perpendiculaire à la bande. Le coup est précisément le même que si la bille roulait le long de  $aB$  dans une unité de temps. Il agit ensuite sur la bande avec une certaine force dans la direction  $aB$ , et la bande, par la seconde loi du mouvement, réagit sur la bille avec une force exactement

*égale*, dans la direction contraire  $Bd$ , et l'enverra, en conséquence, dans une unité de temps, au point  $d$ . Mais pendant ce temps l'autre portion de force, c'est-à-dire la portion parallèle à la bande, ne subit aucun changement ni en intensité, ni en direction, et comme elle aurait, dans une unité de temps, transporté la bille de  $a$  en  $d$ , de même elle la transportera, dans une autre unité de temps, de  $d$  en  $e$ . Ce mouvement doit donc être composé, par la troisième loi du mouvement, avec la réaction de la bande qui tend à transporter la bille, dans la même unité de temps, de  $B$  en  $d$ . Nous trouvons ainsi que dans cette seconde unité la bille décrira la ligne  $Be$ , qui forme évidemment, avec la bande, le même angle que la ligne  $AB$  primitivement suivie par la bille. C'est ce qu'on exprime ordinairement en disant que l'angle d'*incidence* est égal à l'angle de *réflexion*; le premier représenté par  $ABd$  et le dernier par  $dBe$ ; et, quoique cette loi ne soit qu'approximativement vraie pour les corps qui se meuvent (par suite de la résistance qui résulte de leur élasticité imparfaite et d'autres causes qui rendent la réaction en *apparence* inégale à l'action), cependant nous verrons tout à l'heure qu'elle s'applique *strictement* au mouvement du son, de la chaleur et de la lumière, et qu'elle est par conséquent de la plus grande importance en physique.

XXXVI. — Il est une observation relative à la troisième loi du mouvement qu'il est important de faire connaître, savoir qu'un mouvement commun à tous les corps d'un système n'intervient nullement dans les mouvements particuliers et individuels de ce

système. Ces mouvements peuvent s'opérer avec autant de facilité que si le système était en repos. Par exemple, si un navire vogue, même avec une grande rapidité, sur une rivière calme, une pierre tombée du haut du mât tombera précisément sur le même point du pont que si le navire était stationnaire. Elle tombe en ligne diagonale, son mouvement se composant de la chute verticale produite par la gravité, et du mouvement horizontal, commun à tous les objets qui se trouvent sur le navire. De même, une montre peut être emportée avec une grande rapidité sans que les mouvements compliqués de ses ressorts en soient modifiés ; un animal peut marcher, ou courir, ou voler, ou nager, sans altérer en rien les mouvements de la circulation et de la respiration ; enfin la terre sur laquelle nous vivons tourne autour de son axe, de l'ouest à l'est, avec une vitesse qui, à l'équateur, est de 555 lieues à l'heure, sans influencer sur les divers mouvements compliqués qui ont lieu à sa surface, sauf qu'elle modifie la direction des vents et quelques autres effets semblables qui résultent de la stricte application de cette loi. Supposons, par exemple, un boulet tombant du centre de la lanterne de la cathédrale de Saint-Paul ; il ne tombera pas au point où tomberait le plomb d'une sonde suspendue du même endroit, mais à environ un pouce à l'est de ce point. En voici la raison : Pendant la chute, qui occuperait environ  $4 \frac{1}{2}$  secondes, l'édifice serait porté à l'est, par le mouvement de la terre autour de son axe, à travers un espace d'environ douze cents mètres et, par son mouvement autour de son orbite, à travers environ trente lieues. Mais ce

n'est que le premier mouvement qui produit cet effet, car, si l'édifice n'avancait qu'en *ligne droite*, avec quelque vitesse que ce fût, la pierre tomberait de la même manière qu'elle tombe du sommet du mât du navire, comme nous l'avons dit plus haut. Mais par le mouvement de rotation il est évident que le faite de l'édifice décrit un plus grand cercle et par conséquent se meut plus vite que sa base. Le boulet dans sa chute conserve le mouvement en avant qu'il avait au faite de l'édifice et se trouve par conséquent en *avance* de la surface, plus lente à se mouvoir, sur laquelle il tombe, différence peu considérable, il est vrai, mais qui a été constatée par des expériences précises.

XXXVII. — Les principes essentiels de la statique et de la dynamique s'appliquent également aux fluides et aux solides, sauf que pour les fluides il y a certaines conditions particulières, telles par exemple que la propriété d'où ils tirent leur nom, la fluidité; la faculté de presser en tous sens, etc. Ces propriétés rendent les problèmes de l'hydrostatique et de l'hydraulique plus compliqués que ceux qui se rapportent aux solides seuls.

Il n'est pas facile au premier abord de se rendre compte de l'idée d'une pression fluide égale dans toutes les directions, puisque d'après l'expérience générale la pesanteur ne s'exerce que de haut en bas. Mais la difficulté disparaît lorsque nous songeons que nous parlons seulement de l'égalité de pression dans toutes les directions à *chaque point* du fluide. Que chaque point ou particule doive être pressé d'en haut, d'en bas et de tous les côtés, c'est ce qui ressort de la position de repos qu'il garde; car, s'il y

avait excès de pression dans l'une ou l'autre direction, il devrait se mouvoir dans cette direction jusqu'à ce qu'il fût arrivé à un point où les pressions environnantes seraient toutes égales. Cette égalité de pression dans toutes les directions, sur chaque point d'un fluide en équilibre, est le principe fondamental d'où dérivent tous les problèmes de l'hydrostatique; et c'est la conséquence directe de cette mobilité des particules, de cette absence de toute tendance à conserver une position particulière à l'égard les unes des autres, que nous nommons *fluidité*. Les particules coulent les unes sur les autres avec une liberté parfaite, chaque particule exerçant une pression égale sur toutes les particules qui l'environnent et étant soumise de leur part à la même pression; elle exerce également sa pression sur les corps solides qu'elle touche et réciproquement ceux-ci sur elle. De cette propriété, combinée avec l'action de la gravité, il résulte que, lorsqu'un fluide est livré à lui-même, toutes les parties s'élèvent ou s'abaissent de manière à se placer au même niveau. Ainsi, supposons un

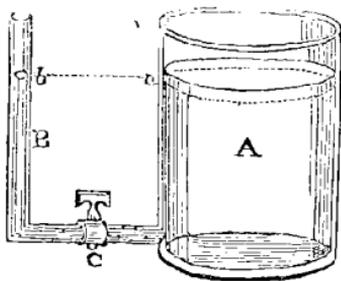


Fig. 15.

vases, la ligne horizontale *ab*.

XXXVIII.— Le principe de la pression fluide, dé-

montré par l'eau qui ne se lève pas au-dessus de son propre niveau, est sujet à quelques exceptions dues à la *force d'adhésion*, force qui se rapporte à l'attraction physique des particules de corps dissemblables, en opposition à la force de cohésion, qui est l'attraction entre les particules d'un même corps. Si l'on plonge un corps dans l'eau, il devient mouillé; c'est-à-dire qu'une portion d'eau y *adhère*. Cette attraction entre les molécules d'un fluide et celles d'un solide parait être de même *nature*, quoique d'*intensité* différente, que la force de *cohésion* qui unit ensemble les particules du fluide.

On peut constater cette force d'adhésion en suspendant au bras d'une balance une plaque très-mince d'une substance quelconque au-dessus d'un vase d'eau. Aussitôt que la plaque touchera l'eau, il faudra mettre un poids considérable dans l'autre plateau de la balance pour les séparer. Ce poids représentera la *force d'adhésion*, et en employant des plaques de différentes substances, mais de même dimension, il faudra différents poids pour opérer la séparation. On a formé ainsi des tables qui donnent la force d'adhésion de différentes substances; mais il faut remarquer que, lorsqu'on sépare la plaque de l'eau, une parcelle de ce fluide est *eulévéc*, et que l'attraction cohésive des particules de cette parcelle pour le reste du fluide doit d'abord être surmontée. Il s'ensuit que les chiffres qui représentent la force d'adhésion de différentes substances constatée de cette manière sont probablement tous trop élevés.

XXXIX. — Si l'on plonge dans l'eau un tube d'une ouverture très-mince, l'eau montera à une hauteur

d'autant plus grande que l'ouverture sera plus petite. Ces tubes se nomment *capillaires*, à cause de leur ouverture qui n'a que l'épaisseur d'un cheveu, et cette forme d'adhésion se nomme *attraction capillaire*. Les exemples de ce phénomène sont nombreux ; ainsi, lorsque l'eau monte dans un morceau de sucre, les pores du sucre agissent comme tubes capillaires ; l'ascension de l'huile dans une lampe à l'aide d'une mèche de coton est encore un effet de la capillarité. La sève monte dans les plantes en obéissant à la même force. L'on peut se faire une idée de son intensité en introduisant dans un fort tube de verre ou de porcelaine une cheville en bois sec parfaitement adhérente. Si un des bouts du bois plonge même très-légèrement dans l'eau, le liquide montera et le bois gonflera avec une telle force qu'il fera éclater le tube, quoique capable de résister à une pression de plus de 700 livres par pouce carré.

En plaçant l'extrémité d'un tube capillaire dans un vase rempli d'eau ou d'esprit-de-vin, le liquide s'élève dans le tube au-dessus du niveau de celui qui reste dans le vase, et la surface de la petite colonne ainsi suspendue prend la forme d'une demi-sphère creuse comme on le voit, fig. 16, *a*.

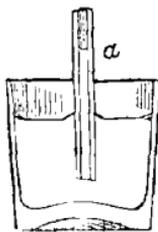
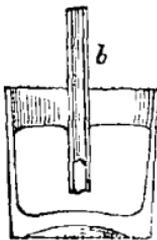


Fig. 16.

plongé dans du mercure, le liquide, au lieu de s'élever dans le tube, se maintiendra au contraire au-dessous de la surface générale, comme le montre la figure *b*. La surface du mercure dans

le tube sera convexe au lieu d'être concave. Le même effet se produit lorsque l'on plonge des tubes capillaires dans l'eau, et que l'eau ne peut les mouiller, comme lorsqu'ils sont couverts d'un léger enduit d'huile qui empêche l'adhésion. Les phénomènes de l'attraction et de la répulsion capillaires peuvent être observés également dans des vases contenant des liquides. Si le liquide est capable de mouiller les parois du vase qui le contient, il s'élèvera et deviendra concave tout autour des parois, comme on peut le voir dans un verre de vin ou une tasse de thé (voir figure *a*); mais si le verre ou la tasse sont trop pleins, l'absence d'attraction latérale par le vase et la prédominance de la force de cohésion de l'intérieur donnera au liquide une forme arrondie. Si le vase ne peut être mouillé par le fluide, comme lorsqu'il est graisseux ou lorsqu'on emploie du mercure, le liquide sera déprimé tout autour du vase et aura une surface convexe, comme dans la figure *b*. Quelques faits curieux d'attraction et de répulsion sont produits par l'effet de la *capillarité*, terme sous lequel sont compris aujourd'hui tous les effets dépendant de l'adhésion des fluides aux solides. Deux boules de moelle végétale ou de bois, l'une et l'autre sèche ou mouillée, flottant sur l'eau, s'attirent lorsqu'elles sont si près l'une de l'autre qu'il importe peu que la surface soit élevée ou déprimée là où elles s'approchent; mais si l'une est humide et l'autre sèche, elles se repoussent l'une l'autre aussitôt que la surface liquide qui les sépare devient courbée. Toutes ces observations ont été par là même l'occasion de déductions très-importantes. Elles ont été générali-

sées en loi par Clairaut dans les termes suivants : Si l'intensité de l'attraction du solide sur le fluide est *moitié plus grande* que celle du fluide sur lui-même, le fluide *s'élèvera* au-dessus du solide; si elle est *moindre*, il se *déprimera*, et si elle est *égale*, il ne s'élèvera ni ne se déprimera.

XL. — L'eau offre un moyen très-utile de comparer la *pesanteur spécifique*, ou densité des corps. Pour comprendre ce fait, il faut nous rappeler que les corps placés dans les mêmes circonstances, ou attirés par le même corps et à la même distance <sup>1</sup>, se déplacent en vertu d'une force proportionnelle à leurs masses; de sorte que les pesanteurs des corps au même point sur la surface de la terre sont proportionnelles à leurs *masses*, mesurées par l'inertie. La simplicité et la généralité de ce fait le font considérer comme n'ayant pas besoin de démonstration, tandis qu'il n'est nullement évident en soi, mais qu'il forme le sujet d'une très-belle expérience et d'une observation très-remarquable. Dans ce but, Newton fit un pendule creux dans lequel il renferma successivement des poids égaux de diverses substances, telles que métaux, pierres, bois, etc. Or si ces poids égaux avaient été inégaux en masse, ou inertie, ils n'auraient pas fait osciller le pendule toujours avec la même rapidité, ce qui eut lieu cependant. C'est une conséquence de cette loi que tous les corps, soit légers, soit pesants, tombent (dans un même endroit et abstraction faite de la résistance de l'air) avec la

<sup>1</sup> La distance se mesure du *centre de la masse*, appelé ordinairement *centre de gravité*, et non pas de la surface.

même vitesse, comme on l'a vu par l'expérience bien connue de la guinée et de la plume dans le vide. Mais la meilleure preuve de cette loi si simple se trouve dans les corps célestes ; car si toutes les planètes ne pesaient pas dans la direction du soleil de tout le poids proportionnel à leur masse, après avoir tenu compte de leurs différentes distances, leurs périodes ne seraient pas comme les racines carrées des cubes de leurs distances moyennes, ce qui est bien connu comme une des lois invariables découvertes par Képler. Cette preuve de la proportionnalité de la pesanteur à la masse est d'autant plus remarquable que les masses de ces corps sont loin d'être proportionnelles à leurs volumes. Ainsi le soleil est 1,555,000 fois *plus grand* et seulement 354,936 fois *plus pesant* que la terre ; d'où il suit que sa densité n'est guère que le quart de celle de notre globe ; et les densités des planètes diffèrent tellement que Mercure est presque aussi dense que l'or, tandis que Saturne a à peine la moitié de la densité de l'eau.

La manière de comparer la densité des corps terrestres a été indiquée dans la *chimie élémentaire*.

XLI. — L'égalité de la pression fluide signalée dans les liquides, est aussi une des propriétés les plus belles et les plus frappantes de l'atmosphère. On a déjà démontré (xi) qu'une colonne de mercure de 30 pouces de haut dont la section horizontale est égale à un pouce carré, représente le poids ou pression d'une colonne d'air reposant sur un pouce carré et s'étendant verticalement jusqu'aux limites de l'atmosphère dans l'espace, à une hauteur qui a été calculée être d'environ 15 lieues. Or comme une semblable co-

lonne de mercure pèse 14 1/2 livres, et que la colonne atmosphérique lui fait équilibre, il s'ensuit que tous les êtres et objets situés au fond de notre océan aérien éprouvent une pression atmosphérique de 14 1/2 livres par pouce carré de surface. Le corps d'un homme de stature ordinaire subit, de ce chef, une pression d'environ 15 tonneaux. S'il n'est pas incommodé par cette énorme force, c'est à cause de l'égalité de pression à l'extérieur, comme à l'intérieur, sur tous les petits vaisseaux dont chaque corps organique se compose. Une éponge plongée à la profondeur de 53 pieds dans l'eau supporte le double de la pression atmosphérique, et à 1000 pieds, environ 50 fois cette pression; et cependant sa structure délicate n'en est pas altérée ni ses mouvements empêchés. Nous ressentons péniblement la pression atmosphérique en en enlevant une partie de la surface du corps. Par exemple, si nous plaçons l'extrémité large d'un fort verre (fig. 17) ouvert aux deux extré-



Fig. 17.

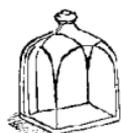
mités sur la table d'une pompe à air, et si nous fermons l'extrémité supérieure avec la paume de la main, puis si nous retirons un peu d'air du verre, la main se trouve pressée par le poids de l'atmosphère et l'effet en est douloureux si le vide est passablement fait.

La pression de l'air est une conséquence de sa pesanteur. 100 pouces cubes à la température de 60°, et lorsque le baromètre est à 50 pouces, pèsent près de 51 grains. Toutes les causes qui tendent à déprimer le baromètre, tandis que la température demeure constante, diminuent, naturellement, la pesanteur d'un volume d'air donné. A la hauteur de 18,000 pieds

au-dessus du niveau de la mer, le baromètre serait à 15 pouces, parce que nous nous serions élevés alors au-dessus de la moitié de l'atmosphère. A la hauteur de 2 lieues, le mercure serait à 7 1/2 pouces, il y aurait alors encore un quart de l'atmosphère répandu sur une beaucoup plus grande hauteur, parce que les parties supérieures, ayant moins de poids à supporter, se répandent dans un espace beaucoup plus grand. Tout rare que paraît l'air dans lequel nous vivons, en comparaison des liquides ou des solides, car l'air est 800 fois plus rare que l'eau, cette couche habitable doit être considérée comme énormément comprimée lorsqu'on songe qu'elle a à porter toute la masse de l'atmosphère au-dessus d'elle, et que du niveau de la mer jusqu'à une élévation d'une lieue, il y a autant d'air que dans les 15 ou 14 autres lieues auxquelles l'on suppose que s'étend l'atmosphère.

Un baromètre situé à un point de la surface de la terre est sujet à des variations dans sa hauteur. En Angleterre la colonne de mercure oscille entre 28,5 et 30,8 pouces. Nous aurons à examiner les causes de ces variations dans notre traité sur la pneumatique.

XLII. — L'élasticité de l'air, produite par la force répulsive de ses particules, est nécessairement égale à la force de compression qu'elle balance. Ainsi, une partie quelconque d'air renfermé exerce contre toute la surface intérieure du vase qui la contient exactement la même pression qu'une surface égale recevrait de la pesanteur de l'atmosphère extérieure s'il y était exposé, savoir une pression de 14 1/2 livres sur chaque pouce carré.



Si un vase de verre (fig. 18) ayant les côtés carrés, rempli d'air, est bouché hermétiquement et placé sous le récipient d'une pompe à air, la force élastique de l'air qui y est renfermé fera éclater le vase en atomes lorsque la pression aura cessé. La pression extérieure de l'air balance exactement la pression intérieure, de sorte qu'en supprimant la première, la dernière agit avec plein effet.

XLIII. — L'air est le milieu par lequel le son se propage à nos oreilles. Nous avons déjà (xv) donné quelques notions générales du mode de sa propagation, et nous approfondirons davantage ce sujet dans le traité élémentaire de pneumatique. Il est cependant nécessaire de donner ici quelques détails relatifs aux lois du son, et dont nous aurons besoin tout à l'heure lorsque nous nous occuperons des propriétés de la lumière.

Le mouvement du son à travers l'air est à raison d'environ 1125 pieds par seconde à la température de 62°. A la température de la glace fondante, lorsque l'air est plus dense, la vitesse n'est que de 1089  $\frac{3}{4}$  pieds par seconde. La méthode pour déterminer cette vitesse consiste à comparer le temps qui s'écoule entre la lueur et le bruit d'un coup de canon tiré à la distance de plusieurs milles de l'observateur. Comme la lumière voyage à raison de près de 64,000 lieues par seconde, son passage occupe une partie de temps trop faible pour être mesuré par aucune distance terrestre. On peut donc supposer qu'elle est aperçue par l'observateur à la distance de plusieurs lieues, au moment même de sa production. Si donc

un observateur, placé en un point déterminé, commence à compter les secondes sur un cadran exact, au moment où il voit la lueur d'un canon à un autre point dont la distance est connue, par exemple 5 lieues, le nombre des secondes et de fractions de seconde qui s'écouleront entre la vue de la lueur et l'audition du bruit, servira de diviseur pour la distance des deux points, et le quotient représentera la vitesse du son par seconde.

XLIV. — Tous les sons, quelle que soit leur *intensité*, le bruit d'un coup de canon ou le plus léger murmure, quelque aigu, quelque graves qu'ils soient, le son de l'orgue comme le petit cri du grillon, quelle que soit leur qualité, la plus belle musique comme le bruit le plus désagréable, tous voyagent avec la même somme de vitesse.

On a déjà dit (xv) que lorsque le son, de quelque source qu'il provienne, est propagé dans l'air, il se forme des vagues semblables à celles qui présentent un si magnifique spectacle lorsque le vent souffle sur un champ de blé. Or lorsqu'on dit que le son voyage avec une vitesse de 1125 pieds par seconde, cela ne signifie pas que les particules d'air parcourent cette distance, pas plus que les épis de blé ne voyagent d'un bout du champ à l'autre; c'est seulement la *forme de la vague* qui voyage ainsi. Pour les molécules d'air, leur mouvement individuel est resserré dans d'étroites limites; mais l'effet de ce mouvement est propagé de molécule en molécule avec la rapidité de 1125 pieds par seconde. Cette vitesse paraîtrait très-rapide pour le *mouvement* ou la *translation* d'un corps, car elle serait dix fois plus rapide que le plus vio-

lent ouragan des Antilles, mais elle devient très-lente lorsqu'il ne s'agit que de *communiquer* ou *transférer* le mouvement. Si nous remuons ou poussons le bout d'un roseau solide ou le liquide remplissant un long tube, l'autre bout paraît remuer au même instant; et quoique cette translation de mouvement doive occuper un temps quelconque, à moins que le corps ne soit parfaitement incompressible, elle est beaucoup plus rapide dans ces cas que dans l'air qui, à raison de sa grande compressibilité, est un des plus lents conducteurs du son. Chacun doit avoir observé qu'une vibration peut se répandre à travers une longue masse de métal ou de bois de manière à être entendue à une plus grande distance qu'à travers l'air; mais dans ce cas, si le son est assez fort pour pouvoir être entendu également à travers l'air, il sera entendu deux fois, d'abord à travers le solide et ensuite à travers l'air. Le fer transporte le son environ 17 fois plus vite que l'air, les bois de 17 à 11 fois, et l'eau 4 1/2 fois.

XLV. — Lorsque les vagues du son rencontrent une surface fixe passablement unie, elles sont réfléchies suivant la loi des angles égaux d'incidence et de réflexion mentionnée précédemment (xxxv). C'est ainsi que les *échos* sont produits. Entre deux surfaces parallèles, un son fort est réfléchi plusieurs fois, et on entend alors plusieurs échos. On peut en entendre six entre Carlton-Terrace et la promenade dite Birdcage-Walk au parc Saint-James à Londres<sup>1</sup>; quatorze entre les bords escarpés de l'Avon à Clifton, et tout

<sup>1</sup> Les échos ne sont pas rares en Belgique; on en rencontre beaucoup, surtout dans les Ardennes et le long des rives de la Meuse. Il n'est pas

autant sous le pont du chemin de fer à Maidenhead. Lorsque les surfaces parallèles sont beaucoup plus rapprochées les unes des autres, comme les murs d'une salle, quoiqu'un grand nombre d'échos soient produits, ils se suivent les uns les autres trop rapidement pour qu'on puisse les distinguer ; et comme ils arrivent à l'oreille après des intervalles égaux, ils produisent une note musicale, quelque peu musical qu'ait été le bruit primitif. De là tous les phénomènes de la *répercussion*. L'élévation de la note dépend de la distance entre les deux murs qui la produisent et peut être calculée d'après cette base.

Un bruit peut aussi produire un écho musical lorsqu'il est réfléchi par un grand nombre de surfaces situées à des distances de l'oreille telles que le son réfléchi de chacune y arrive successivement et à des intervalles égaux. Si nous frappons du pied près d'une longue rangée de palissades, un son perçant se fera entendre. Un exemple remarquable du même genre s'offre, dit-on, sur les degrés de la grande pyramide d'Égypte. Si la distance d'un bord à l'autre de chaque degré était de 2 pieds 1 pouce, la note produite serait le ténor *ut*, parce que chaque écho ayant à aller et à revenir serait de 4 pieds et 2 pouces en retard sur le précédent, ce qui est la mesure de la longueur des vagues de cette note. Mais comme les degrés diminuent graduellement en montant, l'écho produit et entendu au bas du monument doit graduellement atteindre un ton plus élevé.

XLVI. — Nous avons ainsi jeté un coup d'œil sur difficile d'en trouver qui répètent un mot de trois syllabes deux et même quatre fois ; mais c'est encore loin des échos d'Angleterre.

les phénomènes qui ont été généralisés par la découverte des lois de la dynamique, ou qui peuvent être ramenés au simple principe du mouvement produit sur la matière possédant invariablement les propriétés suivantes : *l'étendue, l'impénétrabilité, l'élasticité,* et la *pesanteur*. Dans nos traités sur la *mécanique* et la *pneumatique*, nous nous proposons d'entrer plus au long dans ces importants sujets. Il était nécessaire de réserver une partie considérable de l'espace que nous avons dans ce livre à l'étude des agents qui, quoique mutuellement convertibles en force mécanique, ou produisant cette force et produits par elle, n'ont pas encore été soumis aux lois mécaniques. Nous devons maintenant appeler l'attention du lecteur sur les modifications que subit la matière et que jusqu'à présent on n'est pas encore parvenu à faire dépendre des lois générales du mouvement. Ce n'a été qu'après beaucoup d'inductions qu'il a été prouvé que le son est un cas particulier du mouvement, et qu'il est devenu ainsi une branche particulière de la science mécanique. Les actions à étudier ensuite sont en réalité des variétés de force et la force dépensée se trouve toujours et en même temps proportionnelle à l'intensité de l'effet et à la quantité de matière affectée; mais il n'a pas été constaté que ces effets soient de simples variétés du mouvement, quoique la complète réduction de tous les phénomènes du son à ce principe rende probable l'hypothèse que la *chaleur*, la *lumière*, le *magnétisme* et l'*électricité* y seront rapportés par la suite avec un succès égal.

XLVII. — Le monde matériel tout entier est sous

l'influence de la *chaleur* et toutes les investigations scientifiques sont plus ou moins influencées par cet agent merveilleux et mystérieux. Dans le langage ordinaire, le mot *chaleur* est employé pour désigner une qualité nommée aussi *haute température*, l'opposé de froid ou *basse température*. Dans l'acception scientifique, le terme *chaleur* ou *calorique* désigne la *substance* ou l'*action* qui, par son plus ou moins d'abondance ou d'intensité dans la matière, produit les effets qui sont exprimés par les termes *haute* ou *basse température*.

La nature du calorique étant un objet de pure hypothèse, il est nécessaire de n'accueillir qu'avec précaution les termes employés relativement à ce phénomène. Lorsque nous parlons, par exemple, d'une *portion* de calorique comme d'une quantité qui peut être ajoutée, soustraite, multipliée ou divisée, *conduite* à travers un corps, *absorbée* par un autre et de nouveau *développée*, *émise*, *réfléchie*, *transportée* ou transmise par le *rayonnement*, etc., ces expressions doivent être prises comme des moyens de description et non comme des explications des faits. Toutes ces expressions sont tout aussi bien applicables à une force qu'à une action, à un mouvement ou à une substance. Un mouvement de vibration, par exemple, peut varier d'intensité de manière à être traité comme une quantité arithmétique, et peut être propagé de distance en distance dans un des modes que nous venons d'indiquer, ou subir quelqu'une des modifications comprises dans les expressions ci-dessus.

*Afin de rendre les faits intelligibles, nous pouvons*

supposer que la chaleur se compose d'une matière d'une extrême ténuité. Nous savons que la balance la plus exacte n'est pas capable de découvrir un changement de pesanteur dans un corps, soit par l'addition soit par la soustraction de la chaleur. Les molécules de ce fluide, si c'en est un, doivent être douées d'une force de répulsion indéfinie, de telle sorte qu'en se répandant entre les atomes d'autres corps, le calorique tend à les séparer, et par là combat et balance la force d'attraction ou de gravité universelle qui tend à les réunir.

La chaleur peut aussi être considérée comme un mouvement vibratoire ou oscillatoire de chaque molécule de matière, variant en étendue et en vitesse, mais perpétuellement maintenu par chaque molécule de chaque corps de la nature, et tendant constamment à s'égaliser par la communication de molécule à molécule, de corps à corps, et même à travers les plus grandes distances, au moyen de vagues qui se propagent à travers l'éther ou fluide qui, comme le font supposer les faits d'optique et d'astronomie, remplit tout l'espace que les atomes matériels laissent inoccupé.

Un grand nombre des phénomènes de la chaleur s'expliquent également bien à l'aide de l'une ou de l'autre de ces hypothèses; d'autres faits sont plus intelligibles par l'une des deux méthodes, et quelques-uns semblent exiger la réunion des deux suppositions. Mais il n'est pas nécessaire de croire à l'une ou à l'autre hypothèse pour se rendre compte des effets aussi beaux que variés de la chaleur.

XLVIII. — Les effets les plus familiers de la cha-

leur sont compris dans le terme général *changement de température*, qui implique *premièrement* la production de certaines sensations animales connues sous la désignation de *chaud* et de *froid* ; mais comme un abaissement de température au-dessous d'un certain point détruit la vie organique, tandis que la trop grande élévation détruit et la vie et l'organisation même, cette manière de constater les changements de température se réduit à une série peu nombreuse de cas, et est aussi trop vague pour fournir un terme, une comparaison entre les deux degrés de température, même sans sortir des limites de cette série. Mais le changement de température implique, *secondement*, un changement dans les intensités relatives des forces attractives et répulsives des molécules de tous les corps, organiques ou inorganiques. La tendance de tous les corps, à la même température, est d'occuper une certaine somme d'espace; et cette tendance ne peut être expliquée qu'en supposant que lorsqu'ils remplissent cet espace exactement, leurs molécules sont en équilibre entre deux forces au moins, l'une tendant à les réunir et l'autre à les séparer. L'intensité de ces forces doit varier suivant différentes fonctions de la distance qui sépare les molécules; de sorte qu'il n'y a qu'une seule distance à laquelle ces forces puissent être équilibrées. Lorsque les particules sont plus rapprochées, la force répulsive domine, et lorsqu'elles sont plus éloignées, c'est la force attractive qui l'emporte. Or un changement de température implique un changement dans l'intensité de l'une de ces forces ou de toutes deux, et, par conséquent, une altération de la distance à

laquelle elles s'équilibrent et dans la quantité d'espace que le corps entier tend à occuper, ou qu'il occupera s'il n'est pas empêché par les corps environnants.

C'est peut-être là une méthode détournée pour exposer le fait, bien connu, que tous les corps se dilatent par la chaleur et se contractent par le froid; mais cette expression commune ne représente pas exactement le fait, dans toute sa généralité, appliqué aux états solide, liquide et gazeux de la matière; parce que si nous prenons l'état gazeux, qui est le plus affecté par le changement de température, le gaz soumis à l'examen doit nécessairement être renfermé dans un vase quelconque, autrement nous ne pourrions être sûrs de son identité; mais c'est une propriété distinctive de cette espèce de matière, de remplir toujours le vase dans lequel elle est renfermée, quelque faible que soit la quantité ou le poids actuel du gaz. S'il est chauffé, il ne peut se dilater, car il remplit déjà le vase; s'il est refroidi, il ne se contracte pas, car il remplit encore le vase et presse contre sa surface intérieure, même à la plus basse température. Si donc l'on dit que cette portion de matière, dans ces circonstances, se dilate par la chaleur et se contracte par le froid, cela n'est pas exact, car elle garde toujours le même volume. Si l'on dit qu'elle tend à se dilater par la chaleur et à se contracter par le froid, ce n'est pas plus exact, parce qu'elle tend toujours à se dilater, comme cela est prouvé par la pression constante qu'elle exerce contre tout l'intérieur du vase. Tout ce qu'on peut dire strictement, c'est que le changement de tempé-

rature altère la relation entre les forces attractive et répulsive de ses particules et, par conséquent, altère la distance à laquelle ces particules resteraient en équilibre sans s'altérer ni se repousser l'une l'autre.

**XLIX.** — Dans toute étude des effets de la chaleur, il est nécessaire de tenir compte des règles suivantes pour l'application du mot température :

1° Si un corps qui n'est soumis à aucune pression, ou qui est soumis à une pression constante, présente à deux différentes époques le même volume, on dit que dans ces deux cas il a la même température.

2° On dit que deux corps ont la même température si, étant tenus en contact, la température de l'un n'est pas altérée par l'action de l'autre.

3° Lorsque des corps de températures différentes sont en contact, la température du corps plus chaud s'abaisse et celle du corps plus froid s'élève jusqu'à ce qu'ils aient atteint la même température.

4° Si les corps sont égaux en masse ou en poids, et de la même substance, l'élévation de la température chez l'un sera égale à son abaissement chez l'autre.

On verra par là que les différences de température sont mesurables et comparables entre elles, indépendamment du changement de volume ; c'est-à-dire sans employer ce dernier comme *mesure* de la température, mais seulement comme moyen de constater le changement de température. On a reconnu de cette manière que la *même* élévation de température (et non pas des élévations égales, comme de 40° à 50° et de 50° à 60°) fait que toutes les par-

ties de la même substance se dilatent suivant une proportion constante avec leur volume antérieur. Mais il n'en est pas ainsi de substances différentes, comme on peut le vérifier en regardant un thermomètre commun, instrument qui sert à mesurer les changements de volume d'une certaine quantité de liquide contenue dans un tube de verre de forme telle que les changements très-faibles, comparés avec le volume entier du liquide, peuvent faire monter et descendre la surface d'une quantité considérable. Or cela ne pourrait avoir lieu si le verre et l'échelle de mesure, en subissant le même changement de température que le liquide, éprouvaient aussi le même changement de volume; car alors la surface liquide serait toujours à la hauteur du même degré de l'échelle. La valeur de cet instrument si simple dépend donc du fait que les liquides sont susceptibles d'une plus grande expansion que les solides.

Mais on verra de plus que le rapport du *changement de volume à tout le volume* est différent pour chaque différente substance lorsque le changement de température est le même. Il est cependant nécessaire de se tenir en garde contre une erreur très-commune concernant la relation entre les *températures* et les nombres par lesquels elles sont représentées; savoir, les degrés du thermomètre.

Quoique les *différences* de températures soient des quantités connues et comparables, cependant leurs *rapports* ne le sont point. Nous pouvons les comparer par addition et par soustraction, mais non par multiplication ou division. Nous ne pouvons pas dire: *Cette température est tant de fois celle-là*, parce

que nous ne connaissons pas le zéro réel de la température; c'est-à-dire que nous ne savons pas quel est le plus petit volume dans lequel un corps donné est susceptible d'être condensé par le froid. Nous ne pouvons donc dire : *Ce corps-ci excède son minimum de volume de deux fois autant que celui-là excède son minimum de volume*, ou, en d'autres termes, ce corps-ci est deux fois aussi chaud que celui-là; car quoique la température d'un corps puisse être de 80° et celle d'un autre de 40°, ces nombres sont calculés d'un zéro ou point de départ arbitraire, adopté parce que le zéro réel est inconnu. Mais quoique nous ne puissions dire que A a deux fois la température de B, nous pouvons dire que la température de A excède celle de B de deux fois autant que la température de C excède celle de D.

La première question qui se présente, relativement à l'expansion causée par la chaleur, est celle-ci : « Des différences égales de température produisent-elles des différences égales dans le volume d'un corps? » Cette question a dû être résolue avant que l'on pût connaître si le thermomètre commun, dont l'échelle est divisée en parties *égales*, mesurait exactement les différences de température. Dans ce but, le docteur Brooke Taylor chauffa deux quantités égales d'eau, l'une à 200°, l'autre à 100°, et en les mêlant ensemble il trouva qu'elles indiquaient exactement 150°; expérience qui a démontré que des différences égales de température produisent des différences égales dans l'expansion du mercure, ou plutôt dans son expansion au-dessus de celle du verre, ce qui est évidemment tout ce que thermo-

mètre peut mesurer. Toutefois des expériences plus précises ont démontré que cette règle ne s'applique pas *exactement* à tout solide ou liquide, mais seulement aux gaz; lorsque des quantités égales du même liquide, à différentes températures, sont mêlées, leur volume combiné diminue très-peu. Ainsi les liquides, au lieu de se dilater proportionnellement à l'augmentation de température, se dilatent d'autant *plus vite* que la température est plus élevée; et il paraît que la précision du thermomètre mercuriel observé par le docteur Brooke Taylor fut le résultat d'une heureuse coïncidence par laquelle l'expansion du verre, qui est très-faible, comparée avec celle du mercure, compensait exactement le degré d'accroissement de ce dernier. Mais ce fait ne se produirait pas pour les thermomètres construits avec d'autres liquides, car leurs degrés d'expansion s'accroissent plus rapidement que celui du mercure. De là vient qu'on ne peut se fier au thermomètre à l'esprit-de-vin pour des températures au-dessus de l'ordre atmosphérique (ou au-dessus de 100°).

On a reconnu aussi que le degré d'expansion dans les solides s'accroît à mesure qu'ils deviennent plus chauds; mais il est plus uniforme que dans les liquides. Les instruments destinés à mesurer l'expansion des solides se nomment *pyromètres*, pour les distinguer des thermomètres, qui mesurent celle des liquides et de l'air. Le mesurage de l'expansion des solides est de beaucoup le plus délicat et le plus difficile, non-seulement à cause de la quantité plus petite, mais parce que nous ne pouvons mesurer à la fois toute l'augmentation cubique ou *expansion*,

mais seulement l'accroissement d'une dimension linéaire, c'est-à-dire l'*allongement* ou *dilatation*. Comme les solides n'altèrent pas, en général, leur forme par le changement de température, toutes les dimensions s'accroissent ou décroissent dans la même proportion. Les seules exceptions connues à cette règle se rencontrent dans les cristaux.

L. — Le premier effet de la chaleur sur les solides est l'expansion. Mais si la chaleur est plus énergique, le solide se résout en liquide. La liquéfaction de quelques solides est graduelle; ils passent par divers degrés de ramollissement, mais dans beaucoup de cas, peut-être dans le plus grand nombre, il n'y a pas d'état intermédiaire entre la solidité parfaite et la parfaite fluidité. Le solide est chauffé jusqu'à un certain point, auquel il demeure solide, mais une très-légère augmentation de chaleur est alors suffisante pour en liquéfier une portion. C'est un fait important que la même substance passe toujours de l'état solide à l'état liquide précisément à la même température; et c'est ce qu'on appelle le point de *fusion* si elle est au-dessus, ou le point de *congélation* si elle est au-dessous de la moyenne de la température atmosphérique. Ainsi le point fondant de la glace ou le point de congélation de l'eau est 32° à l'échelle de Fahrenheit, employée en Angleterre: mais on en a fait le zéro ou 0° degré des échelles du continent. Le point de congélation du mercure est d'environ 70° Fahrenheit plus bas que 32°, ce que l'on énonce — 38° (moins 38°) ou 38° au-dessous de zéro; degré de froid qui ne peut être produit en Angleterre, ou sur le continent, que par

des moyens artificiels. Par les mêmes moyens presque tous les autres corps liquides ont été rendus solides. D'un autre côté, il y a très-peu de solides qu'on ne soit parvenu à fondre par la chaleur artificielle ou par la chaleur concentrée du soleil ; et chacun a son point de fusion fixe et inaltérable. Ainsi l'étain fond à 442°, le plomb à 594°, le zinc à 775°, l'antimoine à 812°, et ainsi des autres corps.

Mais il est des circonstances importantes à remarquer dans la liquéfaction de ces corps. Il est évident que si une quantité de glace, à la température de zéro ou 0°, est placée dans une chambre dont la température est de 60°, la glace commencera à fondre ; et un thermomètre qui marquait zéro, placé dans la glace, s'élèvera et atteindra bientôt 52° ; mais à ce point il demeurera stationnaire jusqu'à ce que la glace ait entièrement passé à la forme liquide ; si même le vase contenant la glace est placé sur du feu, le mercure du thermomètre ne s'élèvera pas au-dessus de 52° aussi longtemps que la glace restera dans le vase. Maintenant, il est évident que, durant ce temps, une quantité de chaleur doit entrer constamment dans le vase sans rendre son contenu plus chaud ; car aussi longtemps que cette quantité de chaleur est occupée à liquéfier la glace, elle ne produit aucun effet sur sa température. Ainsi nous voyons que l'élévation de la température n'est qu'un des modes d'action de la chaleur ou calorique, et que lorsqu'une partie de chaleur produit l'effet de *fluidité* elle ne peut, en même temps, produire l'effet de *température*. L'effet décrit ici pour la glace s'applique également aux autres solides. De là nous voyons que

Différents corps ont donc divers degrés de susceptibilité par la chaleur. Pour produire un certain changement de température, il faut une plus grande somme de chaleur dans certains corps que dans d'autres. Les nombres proportionnels aux quantités de chaleur nécessaires pour produire le même changement de température dans les *poids* égaux de différents corps se nomment les *chaleurs spécifiques* de ces corps ou leurs capacités pour la chaleur. Ainsi on dit que l'eau a trente fois plus de *capacité pour la chaleur* que le mercure.

LIII. — Il y a trois méthodes par lesquelles la chaleur se répand, savoir : par *contact*, par *courants* et par le *rayonnement*.

Les corps qui sont en contact, s'ils ont des températures différentes, changeront graduellement jusqu'à ce qu'ils soient parvenus au même degré; c'est-à-dire que leurs parts de chaleur de température deviendront proportionnelles à leurs capacités, et chaque corps aura la même température dans toute sa masse. Mais cette diffusion ne s'opère pas instantanément, ou bien il n'y aurait rien de semblable à une différence de température. La rapidité avec laquelle la chaleur se communique varie selon les substances. Par exemple, si nous mettons une cuiller d'argent et une cuiller de bois dans l'eau bouillante, le manche de la première deviendra trop chaud pour

de substances différentes. Ainsi, si nous mêlons une pinte de mercure à 100 degrés avec une pinte d'eau à 40 degrés, la température résultante sera 60 degrés, ou, en renversant l'expérience, 80 degrés, ce qui démontre que 20 degrés perdus par l'eau élèvent la même quantité de mercure à 40 degrés, et *vice versâ*.

qu'on puisse le tenir, avant que celui de la cuiller de bois soit échauffé d'une manière sensible. Nous voyons donc que l'argent est un bon conducteur et le bois un mauvais conducteur de la chaleur. La faculté de transmettre plus ou moins vite la chaleur varie pour chaque substance. Si nous représentons le pouvoir conducteur de l'or par 1,000, nous trouverons pour l'argent 973, pour le cuivre 898, pour le platine 581, pour le fer 564, pour l'étain 503, pour le plomb 179, pour le marbre 23, pour la porcelaine 13 et 11 pour l'argile. Si l'on place une main sur un morceau de fourrure ou de flanelle et l'autre sur un morceau de métal, les deux objets étant d'ailleurs à la même température et dans les mêmes conditions, mais plus froids que la main, l'un paraîtra chaud et l'autre froid. Cela tient à ce que le métal étant un bon conducteur absorbe la chaleur de la main et donne la sensation de froid; tandis que la flanelle ou la fourrure, étant un mauvais conducteur, non-seulement n'absorbe pas la chaleur mais la laisse accumuler, de là la sensation de chaud. L'effet précisément contraire aura lieu si les deux corps sont plus chauds que la main. Le métal paraîtra le plus chaud et même brûlera à une température où l'étoffe paraîtra à peine plus chaude que dans le premier cas.

LIV. — Mais dans les liquides il ne peut y avoir de changement de température sans un déplacement des molécules. Si l'on chauffe un vase rempli d'eau, les molécules voisines du fond du vase, étant échauffées, se dilatant les premières, deviennent spécifiquement plus légères et s'élèvent à la surface; les molécules plus froides prennent leur place et remontent

à leur tour, et ainsi un *courant* s'établit, les molécules chauffées s'élevant par le centre et les plus froides descendant par les côtés, comme on le voit par la direction des flèches dans la figure 19. C'est



Fig. 19.

là évidemment un procédé tout différent de transmission de la chaleur. Elle n'est pas transmise de molécule à molécule sans déplacement, comme cela a lieu dans les solides; mais chaque molécule, aussitôt qu'elle reçoit un nouvel accroissement de chaleur, part avec elle, la *transporte* à distance, déplaçant dans sa marche d'autres molécules plus froides. C'est ce que l'on appelle la transmission par *courants*, et on reconnaîtra toute son importance si l'on applique la chaleur à la surface d'un liquide au lieu de l'appliquer à sa base. L'eau étant un mauvais conducteur, on peut la faire bouillir à la surface (figure 20), tandis qu'un morceau de glace jeté au fond restera sans se fondre.



Fig. 20.

Les corps gazeux, à cause de la grande mobilité de leurs molécules, sont ceux qui transmettent le plus vite la chaleur au moyen des courants, quoiqu'ils soient, et mieux, *parce qu'ils* sont les conducteurs les plus lents de la chaleur. Tout corps plus chaud que l'air met en mouvement un courant de ce fluide,

qu'on peut voir facilement s'élever des corps qui sont fortement échauffés, et les molécules qui s'élèvent sont immédiatement remplacées par d'autres qui affluent de tous côtés. La plus légère différence de température est suffisante pour produire ces effets, et de là la promptitude avec laquelle l'air réduit tous les corps à sa propre température. Un corps plus froid que l'air, tel qu'un morceau de glace fondante, produit une action contraire : il refroidit l'air qui est en contact avec lui, lequel, devenant plus dense, descend par un courant continué alimenté par l'air qui arrive de tous côtés vers la glace, jusqu'à ce que celle-ci soit entièrement fondue.

Des phénomènes du même genre, dans le vaste champ de la nature, donnent lieu à toutes les *variétés* de vents qui tiennent en mouvement toute la masse de l'atmosphère et égalisent sa température au point d'adoucir les rigueurs des climats extrêmes et de rendre habitables les régions du pôle comme celles de l'équateur. Des effets comme ceux-là ne pourraient avoir lieu si le grand océan de l'air était échauffé par en haut, comme on pourrait le croire de prime abord. L'atmosphère ne reçoit qu'une très-faible partie de sa chaleur directement des rayons du soleil, mais elle est échauffée presque entièrement par le sol sur lequel elle repose, et est, par conséquent, dans la condition de l'eau dans une chaudière, où la chaleur est appliquée par le bas.

Mais il en est autrement pour les masses liquides de notre globe. La chaleur leur est communiquée par la surface, et par conséquent elle ne se répand pas

par *courants*. Elle se répand lentement en bas par le contact ; de sorte que la température de toutes les eaux profondes va en diminuant dans cette direction. Mais en l'absence du soleil, l'opération du *refroidissement* se fait par *courants* ; les eaux de la surface, étant refroidies les premières, deviennent plus denses et par conséquent tombent au fond, tandis que de nouvelles parties sont portées à la surface où elles se refroidissent et tombent à leur tour ; par cette circulation, la masse entière de l'eau serait bientôt congelée si la sagesse du Créateur n'avait ordonné que la loi générale de raréfaction par la chaleur et de condensation par le froid serait renversée entre certaines températures. L'effet de cette loi exceptionnelle a déjà été mentionné (xiii) ; elle produit dans l'eau au-dessous de 39° 1/2 une sorte de courant qui est exactement l'inverse de ceux qui existent dans les autres fluides, savoir un courant de chaleur plus prompt dans la direction d'en bas que d'en haut.

LV. — La troisième méthode par laquelle la chaleur se répand est le *rayonnement*, comme quand nous nous tenons à une distance du feu et que nous éprouvons sa chaleur. La chaleur, dans ce cas, ne nous est pas apportée par un courant d'air, car celui-ci doit avoir sa direction *vers* le feu et ne peut venir du feu ; et en outre les courants d'air chaud tendent constamment à monter. Le rayonnement ne peut non plus dépendre du pouvoir conducteur de l'air, car ce courant est très-lent et nous éprouvons la chaleur du feu instantanément. Il résulte évidemment de ces raisons et de diverses autres que le pas-

sage à travers un milieu matériel n'est pas nécessaire pour la propagation de la chaleur.

Si un boulet de canon rougi est suspendu en l'air, il émettra comme centre des *rayons* de chaleur qui se répandront en tout sens avec la rapidité de la lumière, et, de même que les rayons lumineux peuvent être réfléchis, absorbés, réfractés, transmis, etc., en rencontrant certaines surfaces, ces rayons peuvent également être réfléchis ou transmis sans troubler la température des corps réfléchissants ou transmettants; mais si les rayons de calorique sont *absorbés*, c'est-à-dire s'ils sont arrêtés et cessent en partie ou en totalité d'exister comme *rayons*, une élévation immédiate de la température du corps absorbant en sera le résultat. Cette transmission ne doit pas être confondue avec la transmission par courant. Cette dernière est toujours une opération lente, tandis que la transmission de la chaleur rayonnante ou des rayons de calorique est instantanée. C'est une propriété particulière de ces rayons qu'ils ne chauffent pas les corps à travers lesquels ils passent, comme le fait la chaleur transmise par courants. Les plus mauvais conducteurs de la chaleur, l'air et les gaz, sont ceux qui livrent le mieux passage à la chaleur rayonnante, tandis que les meilleurs conducteurs, les métaux, arrêtent tout à fait la marche des rayons.

L'intensité de la chaleur rayonnante diminue dans le rapport de l'augmentation des carrés des distances, c'est-à-dire que l'effet calorifique de tout corps chaud, comme le boulet rouge ci-dessus mentionné, est neuf fois moindre à *trois* pieds qu'à un, seize fois moindre à quatre pieds et vingt-cinq fois moindre à cinq pieds.

Or, comme cette loi s'applique à toutes les influences qui se répandent d'un centre, comme la gravitation, la lumière, la chaleur, les forces électriques, le magnétisme, le son, et en un mot à toutes les forces centrales lorsqu'elles ne sont pas affaiblies par une résistance ou force opposante, il est nécessaire de la fixer dans l'esprit du lecteur à l'aide d'une démonstration. Supposons une planche carrée de deux pieds de côté (fig. 21) dont le centre soit placé exactement

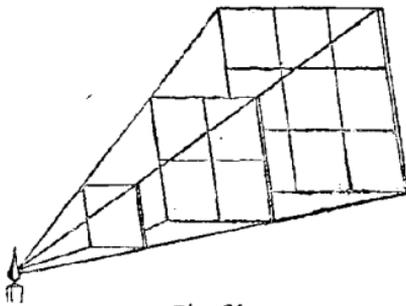


Fig. 21.

à deux mètres d'une chandelle, et une autre planche d'un pied carré parallèle à la première et placée au milieu de l'intervalle. Il est évident que la seconde planche interceptera exactement toute la lumière qui

serait tombée sur la première, et rien de plus. Mais la surface n'est que le quart de la première planche. D'où nous voyons que la même quantité de lumière qui, à *un* mètre, couvre *un* pied carré, se répandra à deux mètres de sa source sur *quatre* pieds carrés et sera par conséquent quatre fois moins intense. De même une planche d'*un* pied carré interceptera exactement toute la lumière d'une autre planche de trois pieds de côté, si la dernière est trois fois plus éloignée de la chandelle; de sorte qu'une partie de la dernière planche recevra seulement le neuvième de la lumière qui couvrirait un espace égal de la première. Tout ceci peut facilement s'appliquer

non-seulement à la lumière, mais encore à toute force qui procède d'un centre en lignes ou rayons droits, et par conséquent à la chaleur rayonnante.

LVI. — Tous les corps élevés à une température égale ne rayonnent pas également. Mais il est remarquable que le degré de rapidité dans le refroidissement d'un corps dépend de l'état de sa surface plus que de la nature de la matière dont il se compose. Un vase enduit de noir de fumée et rempli d'eau chaude se refroidira à la température de l'air environnant, près de deux fois aussi vite que le même vase avec une surface polie et brillante. Si nous évaluons le pouvoir rayonnant du noir de fumée à 100, celui du papier à écrire sera de 98, celui de la cire à cacheter de 95, du verre blanc de 90, de l'encre de chine de 88, de la glace de 85, du mercure de 20, du plomb brillant de 19, du fer poli de 15, de l'or, de l'argent, du cuivre, de l'étain poli de 12. Il a été prouvé que les mêmes surfaces qui rayonnent le plus rapidement absorbent aussi les rayons du soleil le plus promptement; et il est remarquable que ces deux propriétés sont exactement proportionnelles dans tous les corps, ou, en d'autres termes, les mêmes nombres qui expriment les propriétés rayonnantes d'une série de substances, comme ci-dessus, exprimeront aussi leurs qualités absorbantes.

LVII. — Par absorption nous ne voulons pas dire la conversion de la chaleur sensible en chaleur latente. La chaleur rayonnante qui pénètre dans un corps n'est pas tout entière et immédiatement absorbée; une partie continue de se répandre dans le corps sans le chauffer, et, quoique à chaque degré il en soit de pl s

en plus absorbé, le corps peut n'être pas assez épais pour absorber tous les rayons, et alors la partie qui n'a pas été absorbée continue sa marche jusqu'à ce qu'elle ait dépensé tout son calorique dans les divers milieux qu'elle aura traversés. La vitesse avec laquelle cette absorption a lieu est énormément différente dans les différents milieux. Ceux chez lesquels elle a lieu le plus lentement se nomment les plus *diathermanes*; mais aucun milieu, pas même l'air, n'est parfaitement diathermane, quoiqu'une épaisseur de plusieurs lieues d'air absorbe moins de chaleur rayonnante qu'une petite fraction de pouce de la plupart des solides. D'où il suit que l'atmosphère est à peine chauffée par les rayons du soleil qui la traversent; leur effet est produit sur le sol ou sur la mer, qui, à leur tour, chauffent l'air par les courants nécessaires à la production des vents, comme nous l'avons vu au n° LIV.

LVIII. — Les rayons qui tombent sur la surface d'un nouveau milieu n'y pénètrent pas entièrement; une partie en est toujours réfléchi.

Remarquons en passant que l'on peut plus facilement étudier les effets du *rayonnement* en supposant l'existence réelle des rayons, non que ces lignes existent réellement dans la nature, mais parce qu'il est ainsi plus facile, au milieu de l'extrême complexité de ces phénomènes, de borner son attention à la plus simple partie indépendante de l'effet. Tout rayon individuel soit de chaleur, soit de lumière, s'avance en ligne droite jusqu'à ce qu'il rencontre une surface réfléchissante sur laquelle il rebondit suivant une autre ligne droite, dont la direction est déterminée

par la loi déjà exposée (xxxv), savoir que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion. Il faut toutefois, dans ce cas, ajouter une autre condition à cette loi générale, savoir que le *plan de réflexion*, ou ce plan imaginaire qui contient le rayon incident et le rayon réfléchi, est *perpendiculaire* à la surface réfléchissante, au point de contact. Ainsi

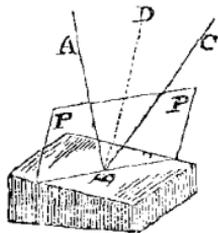


Fig. 22.

qu'un rayon A (figure 22) tombe sur une surface réfléchissante en B, nous devons supposer une perpendiculaire à cette surface élevée au point D; alors le même plan PP, qui contient le rayon incident et la perpendiculaire, contiendra aussi le rayon réfléchi BC, les deux rayons

formant des angles égaux avec cette perpendiculaire, mais des deux côtés opposés. Lorsque la surface est courbe, une perpendiculaire ou *normale*, comme on la nomme alors, peut également être élevée à un de ses points quelconque; car il faut se rappeler que chaque point mathématique d'une surface de ce genre agit précisément comme un plan tangent, c'est-à-dire comme agirait un plan touchant la surface courbe en ce point. Il résulte de là que certaines surfaces courbes réfléchissantes régulières, nommées *miroirs*, possèdent quelques propriétés remarquables. Par exemple, si un miroir a la forme d'une paraboloïde, tous les rayons qui partent du point nommé son foyer, seront réfléchis en directions parallèles, et tous les rayons parallèles qui arrivent sur un miroir de ce genre sont réfléchis de manière à se rencontrer à son foyer.

Dans la figure 23 on voit deux miroirs semblables A et B. Ils sont métalliques et très-finement polis.

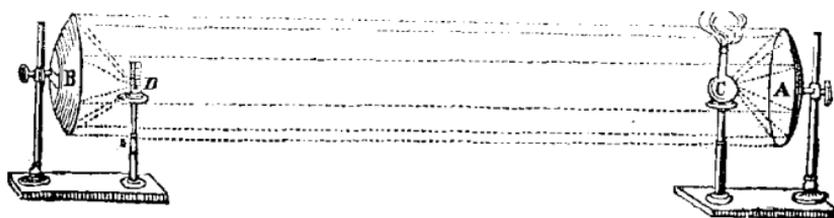


Fig. 23.

Nous avons vu que cette espèce de surface est très-peu absorbante ; par conséquent elle doit réfléchir la plus grande partie des rayons qui viennent la frapper. Si ces miroirs sont placés de manière que leurs axes soient exactement sur la même ligne droite, que l'on mette un corps chaud en C, foyer du miroir A, tous les rayons qu'il envoie à ce miroir seront réfléchis en lignes parallèles qui viendront frapper la surface de l'autre miroir B, pour être de nouveaux réfléchis et venir enfin se réunir au foyer D, où un thermomètre sera affecté plus qu'en aucun autre point, quand même cet autre point serait plus près du corps chaud C. Enfin, si un écran est placé soit entre C et A, soit entre B et D, l'effet produit sur le thermomètre cessera instantanément.

Pour rendre cette expérience plus frappante, on place un boulet rouge au foyer de l'un des miroirs, et quelque combustible, comme de la poudre, du phosphore, du papier, etc., au foyer de l'autre. Ces corps seront brûlés quoique leur distance du boulet C soit de 10 ou 15 pieds.

Si au lieu d'un boulet rouge nous plaçons une

boule de glace au foyer du miroir A, le thermomètre placé au foyer B s'abaissera aussitôt. La première fois que l'on fit cette expérience, on supposa que l'effet produit provenait du rayonnement du froid. Mais c'était une erreur, puisque l'on ne peut admettre aucun principe de froid, considéré comme une qualité positive, le froid étant seulement une sensation produite par l'abstraction ou la diminution de chaleur; comme l'obscurité résulte de l'absence de lumière et le silence de l'absence de vibrations sonores. Dans cette expérience, le thermomètre s'abaisse parce que sa chaleur est absorbée par la boule de glace. Nous voyons par là qu'un corps à la température ordinaire peut constamment émettre des rayons de chaleur; et, par suite, qu'il ne peut conserver sa température s'il est mis en rapport avec d'autres corps. Lorsque deux corps sont placés aux foyers de miroirs opposés, ils sont en quelque sorte isolés ou coupés de toute autre source de chaleur, de manière que tout effet observé chez l'un doit nécessairement dériver de l'autre. Ainsi, dans la dernière expérience, le thermomètre ne reçoit plus la quantité de rayons de chaleur qu'il recevait des objets environnants, de sorte que, son rayonnement n'étant point altéré, sa température doit tomber plus bas que d'ordinaire.

LIX. — Ces principes nous permettent d'expliquer un exemple plus remarquable de la focalisation apparente du froid. Si l'un des miroirs paraboliques est placé de manière que son axe <sup>1</sup> soit dirigé

<sup>1</sup> L'axe d'un parabolôide ou de tout autre miroir est une ligne imaginaire passant par le centre et par le foyer et prolongée indéfiniment.

vers le soleil, comme les rayons venant d'un corps à une si grande distance sont physiquement parallèles, ils seront tous réfléchis au foyer du miroir, de sorte qu'il agira comme un puissant miroir incendiaire. Mais si le miroir est tourné de manière à faire face à une partie de ciel bleu clair (plus il sera bleu et près du zénith, mieux ce sera), son foyer deviendra un foyer de *froid*, et un thermomètre très-exact qui y sera placé s'abaissera par un temps clair de quelques degrés pendant le jour et jusqu'à 17 degrés pendant la nuit.

Maintenant, pour comprendre cet effet, il faut se rappeler que le thermomètre envoie des rayons de chaleur dans toutes les directions et reçoit des corps qui l'environnent, dans les circonstances ordinaires, tout autant de chaleur qu'il en envoie; mais dans cette expérience il reçoit moins parce que son alimentation ordinaire de dessous est coupée par le miroir. Mais on peut demander si un autre corps qu'un miroir ne fera pas atteindre ce but. Un autre corps émettrait de sa surface autant de chaleur qu'il en intercepte des autres; mais une surface métallique polie fournit moins de chaleur qu'elle n'en intercepte. Il faut d'ailleurs qu'elle affecte la forme d'un paraboloïde et que le foyer coïncide avec la place du thermomètre. On comprend que, si elle avait toute autre forme, elle réfléchirait sur le thermomètre quelques-uns des rayons reçus des autres corps; mais comme le miroir est un paraboloïde, il ne peut réfléchir à son foyer que les rayons qui viennent dans une direction parallèle à son axe. Or, il ne vient aucun rayon dans cette direction,

car il n'y a pas de corps soit pour les réfléchir, soit pour les émettre directement. En effet, si un nuage passe devant l'axe du miroir, le thermomètre s'élève instantanément à sa hauteur ordinaire.

Nous voyons donc par cette expérience très-instructive que toute substance sur la terre, quelque basse que soit sa température, émet constamment des rayons de chaleur dans toutes les directions également, et reçoit aussi la chaleur de toutes les directions, excepté des régions de l'espace ou de ce que nous appelons le firmament. Après le coucher du soleil, la chaleur que fournit le soleil est retirée, mais le rayonnement continue encore; et s'il n'y a pas de nuages pour réfléchir la chaleur, la température de la surface de la terre descend bientôt au-dessous de celle de l'air qui repose sur elle, et la conséquence est une condensation de l'humidité de l'air, par la terre plus froide, sous forme de *rosée*. Chacun peut se convaincre que cette condition est nécessaire pour la formation de la rosée, en plaçant un thermomètre sur une pelouse de gazon après le coucher du soleil, et en suspendant un autre thermomètre dans l'air à plusieurs pieds au-dessus; par un temps serein, le thermomètre suspendu marquera une température de 7, 8 ou 9 degrés plus élevée que celle du thermomètre placé sur le gazon.

LX. — La présence de l'humidité dans l'air est le résultat d'une modification de l'acte de la vaporisation dont nous avons parlé (LI). L'eau s'évapore ou est convertie en vapeur <sup>1</sup> à toutes les températures jus-

<sup>1</sup> Par *vapeur*, nous entendons la vapeur élastique de l'eau, qui est

qu'à ce que tout l'espace au-dessus d'elle, qu'il contienne ou non de l'air, soit pénétré par une vapeur aqueuse d'une certaine densité et d'une certaine élasticité déterminée, dépendant de la température et qui s'y lieut par certaines lois. Nous devons rappeler au lecteur que l'élasticité ou tendance expansive d'un fluide est évaluée par le nombre de livres ou onces qui représentent la pression exercée sur chaque pouce carré de surface qu'il touche, ou par le nombre de pouces de mercure qu'il peut supporter, comme dans un baromètre.

A toute température donnée, la vapeur peut exister avec une densité suffisante pour exercer une certaine pression fixe, mais qu'elle ne peut dépasser; et, s'il y a assez d'eau, la vapeur s'accumulera jusqu'à ce qu'elle ait acquis cette densité; mais on ne pourra en développer davantage sans élever la température; et si la température s'abaisse, une partie de la vapeur se résoudra en eau, de sorte que, occupant dans cet état plusieurs milliers de fois moins d'espace qu'auparavant, elle peut laisser de la place à la vapeur restante pour se dilater jusqu'à ce que sa force d'expansion soit réduite à ce que la nouvelle température peut supporter. La tension de la vapeur est donc toujours la même à la même température, à 212° sa force élastique est égale à celle de l'atmosphère, et supportera une colonne de mercure de 30 pouces de hauteur; cette force élastique diminuera ou augmentera d'après les

*toujours invisible.* Il ne faut pas la confondre avec les *vapeurs*, plus proprement *nuages*, qui sont de l'eau liquide divisée à l'état de poussière, et mise en mouvement par des courants d'air.

variations du baromètre <sup>1</sup>. Au-dessus de cette température elle devient vapeur à *haute pression*, qui à 220° supportera près de 55 pouces de mercure; à 250°, près de 42 pouces, et ainsi de suite. Mais la vapeur qui se dégage des eaux de la terre, du sol humide, du feuillage des plantes, et même de la glace et de la neige, n'a qu'une très-faible pression. La vapeur à 32° ne supporte que 0,200 de pouce de mercure; à 40° 0,263 de pouce; à 50° 0,375 de pouce; à 60° 0,524. ou un peu plus d'un demi-pouce de mercure; à 80° elle supportera un pouce, et ainsi de suite. Lorsque l'air contient autant de vapeur qu'il en peut exister à la température actuelle, on dit qu'il est *saturé*. Si dans cet état, il éprouve le plus faible abaissement de température, une partie de la vapeur deviendra immédiatement liquide en prenant la forme de nuage, de brouillard, ou de pluie. Ces effets dépendent du *refroidissement* de l'air au-dessous de la température nécessaire pour retenir toute sa vapeur. Mais lorsqu'un *corps solide* est plus froid que l'air environnant, il se produit une autre espèce de décomposition nommée *rosée*, qui ne tombe pas en gouttes de l'air, mais qui semble naître sur le solide même. Le docteur Wells a prouvé par une étude complète de ce sujet qu'au lieu que la rosée refroidisse les corps, comme on le supposait communément, c'est leur refroidissement qui produit la rosée; et sa formation adoucit même le froid, par suite du dégagement de la chaleur *latente* que la vapeur perd en se condensant

<sup>1</sup> A la ville de Potosi, dans les Andes, où la pression de l'air ne supporte qu'environ 18 pouces de mercure, l'eau est en ébullition à 188 degrés.

en eau. Le degré de chaleur auquel la rosée commence à se former se nomme *point de rosée*; des instruments nommés *hygromètres* ont été inventés pour la mesurer. La différence entre la température du point de rosée et la température de l'atmosphère indique le degré de sécheresse. En Angleterre, il atteint rarement 30°, c'est-à-dire que la température de la terre nécessaire pour condenser la vapeur de l'air est rarement de 30° au-dessous de la température de l'air. Dans l'Inde elle est descendue jusqu'à 61° au-dessous de cette température, et en Afrique elle descend probablement plus bas encore.

Si, tandis que la rosée se forme, la terre continue à se refroidir jusqu'au point de congélation, il se produit ce que l'on appelle la *gelée blanche*. Les beaux dessins qui se gravent pendant l'hiver sur la surface intérieure des carreaux de nos fenêtres, sont produits par ces froides surfaces qui condensent l'humidité de l'air plus chaud de l'intérieur.

Comme l'intensité du rayonnement varie selon les différents corps, de même l'abaissement de la température varie selon la nature de la surface rayonnante. Par une disposition bienfaisante de la nature, les herbes et les plantes basses dégagent rapidement leur chaleur, et reçoivent ainsi une plus grande quantité de rosée que les rochers, la terre nue et les masses d'eau, qui n'ont pas besoin de l'influence rafraîchissante de la rosée. Sa valeur est, naturellement, très-appréciée dans les climats chauds, et dans différents passages de l'Écriture elle est mentionnée comme un des plus grands bienfaits. Ainsi parmi les bénédictions invoquées par Isaac sur son fils, on trouve celle-ci :

« Que Dieu te donne la rosée du ciel <sup>1</sup> ! » et Moïse, bénissant la terre de Joseph, place la rosée parmi les choses précieuses du ciel <sup>2</sup>.

LXI. — Il y a divers autres phénomènes de la chaleur qui devraient dans un traité plus étendu être mis sous les yeux du lecteur ; nous avons, cependant, déjà excédé les limites que cette partie de notre sujet aurait dû occuper ; mais comme un grand nombre des phénomènes déjà décrits pour la chaleur appartiennent aussi à la lumière, nous pourrons être plus bref en ce qui concerne cet agent merveilleux.

Les hypothèses qui ont servi à expliquer les phénomènes de la chaleur ont été ainsi appliquées à la lumière. De nos jours, des philosophes professent l'opinion que la lumière est produite par les ondulations ou les vibrations d'un éther élastique, tandis qu'on supposait autrefois qu'elle était une émanation de particules matérielles des corps lumineux. Sans nous occuper de l'une ou de l'autre de ces hypothèses, nous pouvons examiner quelques-uns des effets élémentaires auxquels un *rayon de lumière* donne lieu dans diverses circonstances.

LXII. — La plus simple induction prouvera qu'une substance ou action que nous nommons *lumière*, voyage de tous les points visibles en ligne droite vers l'œil, et en rayonnant dans toutes les directions possibles de tous les points visibles de la matière, soit qu'elle émette la lumière de son propre fonds, soit qu'elle reflète celle qu'elle reçoit de quelque source étrangère ; cependant la vitesse du mouve-

<sup>1</sup> Genèse, XXVII, 28.

<sup>2</sup> Deut., XXXIII, 13.

ment de la lumière a longtemps déjoué tous les efforts faits par les philosophes pour mesurer ou même découvrir le temps qu'elle met à parcourir les plus grandes distances. Faire des signaux sur deux collines éloignées de la manière décrite pour constater la rapidité du son (XLIII) est chose inutile, parce que la lumière ne paraît mettre *aucun temps* pour atteindre d'une colline à l'autre. Mais il y a quelque chose de tellement incroyable dans ce fait, que Bacon, avec une pénétration remarquable, prédit la méthode par laquelle le mouvement progressif de la lumière serait découvert, c'est-à-dire par une observation plus attentive des corps célestes ; et sa prédiction s'est trouvée ainsi vérifiée : Vers l'année 1675, Römer, célèbre savant danois, appela l'attention sur ce point important que les éclipses des quatre satellites ou lunes qui décrivent leurs révolutions autour de Jupiter ne commençaient ni ne finissaient (c'est-à-dire que ces petits corps ne se plongeaient pas dans l'ombre de Jupiter, et n'en sortaient pas) précisé-



Fig. 24.

ment aux *moments* assignés par les calculs fondés sur des observations antérieures <sup>1</sup> ; mais que si les données de ces calculs avaient été recueillies lorsque Jupiter était en opposition, ou *le plus près de la terre*, elles donneraient une époque trop rapprochée pour les

<sup>1</sup> Notre figure représente Jupiter et les orbites de ses quatre lunes lorsqu'on les voit le moins obliquement ou lorsque les orbites paraissent le plus ouvertes.

éclipses à toutes les autres périodes de l'année; et après une observation de plusieurs années, il trouva que ce retard, qui pouvait s'élever quelquefois à près d'un quart d'heure, augmentait ou diminuait toujours proportionnellement à la *distance* de Jupiter à la terre; de sorte que la seule manière convenable de l'expliquer était de supposer que la dernière lueur de soleil, répandue avant l'immersion d'une lune dans l'ombre de la planète, ou que le premier rayon que celle-ci réfléchissait dans son émergence, n'arrivait à l'œil que quelque temps après l'émergence ou l'immersion; il s'ensuivait que le retard devait augmenter à mesure que la distance de Jupiter à la terre augmentait. Les distances des principaux corps célestes les uns des autres étant connues, en comparant ces distances avec le retard apparent des éclipses des satellites de Jupiter, on a reconnu que la lumière réfléchie par eux doit mettre environ 34 minutes pour parvenir jusqu'à nous lorsque nous en sommes le plus rapprochés, et 50 minutes lorsque nous en sommes le plus loin, ce qui donne pour la vitesse de sa marche environ 62,000 lieues par seconde; par conséquent, elle met à peine *une seconde et un quart* pour venir de la lune, distance égale à dix fois la circonférence de la terre. Mais telle est la prodigieuse disproportion entre les distances des corps célestes, que ce même agent doit mettre 8  $\frac{1}{4}$  minutes pour nous parvenir du soleil; environ 5 heures pour nous venir de la nouvelle planète Neptune, des années de l'étoile fixe la plus rapprochée, et des siècles probablement de la plus proche des nébuleuses; de sorte que nous voyons les nébuleuses non telles qu'elles sont actuel-

lement, mais telles qu'elles étaient il y a des siècles.

Un phénomène singulier, connu sous le nom d'*aberration de la lumière*, démontre que la lumière venant de toutes ces sources voyage avec la même vitesse, et confirme pleinement les conclusions tirées des observations précédentes relatives à Jupiter. Cette aberration est commune à tous les corps célestes, qu'elle fait paraître un peu hors de leur place véritable, et forme une de ces rectifications qui doivent être appliquées à toute observation céleste. Elle naît d'une application du principe suivi par le chasseur de « tirer *devant* le lièvre. » Comme l'observateur suit le mouvement de la terre en même temps que la lumière lui arrive, il s'ensuit que, s'il pointe son télescope exactement vers un objet céleste il ne verra pas celui-ci, parce que la lumière qui entre dans le télescope sera, avant d'arriver à son œil, frappée par la paroi du tube, à moins cependant que le mouvement de la terre ne l'entraîne exactement dans la *direction* de l'objet, auquel cas il n'y a pas d'aberration. Dans les autres cas, le télescope doit évidemment être pointé un peu à côté de l'objet pour le voir, de sorte que presque toutes les étoiles sont vues hors de leur place. L'importance de ce déplacement étant constatée, on trouve dans tous les cas (quel que soit l'objet vu) des résultats parfaitement identiques avec ceux que l'on obtiendrait par le calcul, en tenant compte de la vitesse et de la direction du mouvement de la terre, et en supposant la vitesse de la lumière toujours la même, c'est-à-dire, parcourant 62,000 lieues par seconde. Nous devons remarquer que, comme le mouvement

de la terre est très-lent comparé à celui-là, un dix millième à peu près, la somme de l'aberration est très-petite, car elle n'excède jamais  $20'' \frac{1}{2}$  ou environ la moitié du diamètre apparent de Jupiter.

LXIII. — Le mouvement de la lumière, *seulement en ligne droite* (dans les circonstances ordinaires), est probablement le premier fait physique que nous apprenions, et celui sur lequel nous fondons tous nos raisonnements dépendant de l'évidence de la vision. C'est à quelque exception à cette loi que se rapportent toutes les variétés d'illusions ou déceptions oculaires ; car, lorsque les rayons venant d'un objet quelconque subissent une déviation avant d'arriver à l'œil, il voit l'objet hors de sa véritable direction, c'est-à-dire dans la direction prise en dernier lieu par les rayons avant d'arriver à l'œil.

La lumière, non-seulement ne se propage ordinairement qu'en ligne droite, mais les rayons qui émanent de chaque point d'un objet visible et se répandent dans toutes les directions obéissent également à cette loi. Les rayons de lumière, en quelque nombre qu'ils soient, peuvent se croiser les uns les autres dans le même point de l'espace sans se confondre. Si on fait un petit trou, pour communiquer d'une chambre à une autre, à travers une mince cloison, toutes les chandelles allumées dans l'une des chambres brilleront à travers ce trou et illumineront autant de points dans l'autre qu'il y aura de chandelles dans la première, tous leurs rayons se croisant dans le même trou sans embarras ni diminution d'intensité ; tout comme des sons de différent caractère passent dans l'air et parlent à l'oreille chacun dans son lan-

gage particulier sans se contrarier les unes les autres.

Par suite du mouvement rectiligne de la lumière, le *faisceau* qui émane d'un point quelconque diminue en raison inverse du carré de la distance (LV), et l'étendue superficielle apparente, ou surface d'un objet, diminue à mesure que sa distance s'accroît par la même loi. De là, comme son étendue apparente et toute la quantité de lumière qui en est reçue sont toujours proportionnelles, son *éclat* reste le même à toutes les distances, et le soleil ne parait pas plus brillant de Mercure que de la terre. Cela n'est vrai cependant que dans l'espace libre et non dans l'air, parce qu'une portion de la lumière est *absorbée* en passant à travers l'air, comme on l'a expliqué pour la chaleur (LVII), et fait diminuer l'intensité plus vite que le carré de la distance n'augmente.

L'étude de ces effets et de tous ceux que l'on peut déduire de la loi seule du mouvement en ligne droite constitue la première branche de la science *optique*, que l'on nomme *perspective*.

L'application de cette science, lorsqu'on ne tient pas compte du pouvoir absorbant du milieu à travers lequel nous voyons, constitue la *perspective linéaire*; lorsqu'on y joint cette considération, elle prend le nom de *perspective aérienne*.

LXIV. — La seconde branche de la science de la lumière, nommée *catoptrique*, a pour but d'étudier toutes les conséquences de la loi de *réflexion*, déjà expliquée en ce qui concerne la chaleur (LVIII).

Comme, lorsqu'un corps en mouvement frappe un autre corps au repos, la force mécanique est divisée et partagée entre eux, de même, lorsque l'action de

la lumière propagée à travers un milieu quelconque arrive à la surface d'un nouveau milieu, soit plus dense, soit plus rare, plus ou moins transparent que le premier, sa force est divisée, une partie entre dans le nouveau milieu, et l'autre rebondit dans l'ancien. Cette dernière portion appartient à la catoptrique. Sa quantité excède rarement la *moitié* de la lumière primitive, excepté dans un cas qui sera indiqué tout à l'heure, et où elle renferme l'effet *tout entier*. Lorsque la portion réfléchie vers l'œil par une surface quelconque ou par un point d'une surface est considérable, cette surface ou ce point paraissent *blancs*; lorsqu'elle est faible, la surface ou le point paraissent de *couleur sombre*, et *noirs* lorsque la réflexion est imperceptible. De même, on peut juger de la contexture de différentes surfaces par la quantité de lumière qu'elles réfléchissent, et d'après la manière dont elles la réfléchissent.

Les bornes de ce livre ne nous permettent pas de nous étendre plus longuement sur le sujet de la catoptrique; mais nous pouvons faire la remarque que toutes les apparences des corps opaques, abstraction faite de la couleur, et toutes les images des autres corps paraissant soit derrière, soit devant des miroirs ou surfaces réfléchissantes, que ces images soient des représentations réelles ou altérées, droites ou renversées, grossies ou amoindries, peuvent être rapportées à la loi des angles égaux, comme les effets de la perspective se rapportent à la loi du mouvement en ligne droite. En effet, la catoptrique est une science depuis longtemps complétée, et ses progrès ultérieurs appartiennent désormais à la déduction.

LXV. — Nous avons vu qu'en général une portion seulement de la lumière qui rencontre une surface est réfléchiée, et que le reste est absorbé ou transmis. Lorsqu'elle est absorbée, la substance est *opaque*, mais lorsque nous pouvons la suivre plus loin, la substance se nomme *transparente*. Lorsque la lumière passe d'un milieu dans un autre, à moins que sa direction ne soit perpendiculaire à la surface qui les sépare, cette direction subit un changement soudain qui se nomme *réfraction*. L'étude de cette propriété appartient à la troisième branche de l'optique, qui prend le nom de *dioptrique*. La nouvelle direction prise par le rayon est réglée par les lois suivantes : AA, fig. 25, représente la sur-

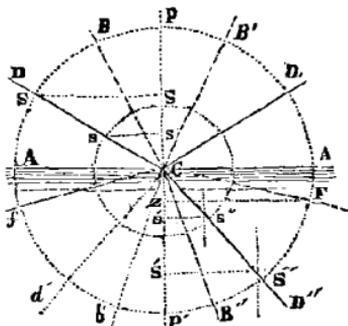


Fig. 25.

face d'une eau calme qui est nécessairement polie comme celle de tous les fluides doit l'être par l'opération des forces moléculaires. Aucune lumière ne passera à travers cette surface sans être réfractée, à moins qu'elle ne monte ou ne descende perpendiculairement, comme de P à P' ou de P' à P. Tout rayon qui tombe obliquement, comme B C, déviéra subitement dans la direction de CB'', et s'il arrive plus obliquement, comme DC, il déviéra plus encore et prendra la direction CD''. On verra que, dans les deux cas, la tendance de la réfraction est de rendre le rayon plus perpendiculaire à la surface qu'auparavant. Mais tout rayon qui va de l'eau dans l'air

subit un effet contraire, et est rendu *moins* perpendiculaire à la surface. Ainsi, un rayon montant dans la direction B''C prendra la direction CB, et un autre rayon, qui dans l'eau suivait la direction B''C, prendra dans l'air la direction CD; la déviation dans ce cas, comme dans le premier, étant d'autant plus grande que le rayon était plus oblique à la surface. De plus, c'est une loi dans la réfraction, comme dans la réflexion, que, quelle que soit la route par laquelle un rayon arrive d'un point à un autre, un autre rayon suivra la même route pour arriver du second point au premier.

L'œil, placé au point D'', verra donc l'objet D, non dans la direction D''D, mais dans la direction D''C, plus haut que sa véritable place; et un œil placé en D, verra l'objet D'' dans la direction DC, aussi plus haut que sa véritable place; ce dont chacun peut se convaincre avec un bassin d'eau. Un corps opaque placé en C cachera D, D'' l'un à l'autre, quoique n'étant pas en ligne droite avec eux; et s'il était en ligne droite, il ne les cacherait pas, car ils se voient l'un l'autre par un angle dont le sommet est en C. La loi de la réfraction fut pour la première fois établie d'une manière complète par Snell et Descartes, au commencement du dix-septième siècle. La première partie de cette loi est semblable à celle de la réflexion, c'est-à-dire que les angles d'incidence et de réfraction (les angles que les rayons incidents et réfractés font chacun avec la perpendiculaire ou normale à la surface, ou, dans le cas actuel, les angles PCD et P'CD'') sont tous les deux *dans le même plan*. Tout rayon rencontrant la surface

d'un nouveau milieu est divisé en deux rayons, l'un réfléchi et l'autre réfracté ; comme, par exemple, le rayon BC forme le rayon réfléchi CB', et le rayon réfracté CB'' ; ou DC forme les deux rayons CD' et CD''. De même, un rayon B''C sera en partie réfléchi dans la direction Cb', et en partie réfracté en CB ; ou D''C sera réfléchi en Cd', et réfracté en CD. Dans tous les cas, les trois rayons, incident, réfléchi et réfracté, seront tous dans un même plan, et ce plan perpendiculaire à la surface AA, sur laquelle le phénomène a lieu.

Les angles d'incidence et de réflexion ( tels que PCD et PCD' ) sont, comme nous l'avons déjà expliqué, invariablement égaux ; mais l'angle de réfraction ( dans le cas actuel P'CD'' ), est différent de l'un et de l'autre, mais est uni à eux par cette loi que, pour la même surface, les *sinus*<sup>1</sup> des angles d'incidence et de réfraction du même rayon sont dans un rapport constant, qui est toujours le même pour les deux mêmes *milieux*.

Par exemple en passant à travers la surface AA, à quelque degré que ce soit d'obliquité, et soit en haut,

<sup>1</sup> Le *sinus* d'un angle est une ligne abaissée, d'un point pris sur l'un de ses côtés perpendiculairement à l'autre ; il peut par conséquent avoir une longueur quelconque. Ainsi, le sinus de PCD (fig. 25) peut être soit SS, soit ss ou toute autre ligne parallèle à celles-là interceptée par les deux côtés de l'angle PC et CD. Le sinus à un rayon donné se trouve en décrivant un cercle avec ce rayon autour du sommet de l'angle comme centre et en abaissant du point d'intersection du cercle et de l'un des côtés une perpendiculaire sur l'autre. Il ne peut par conséquent avoir qu'une longueur, et, dans le même angle, il aura toujours le même rapport avec le rayon, quelle que soit la dimension de celui-ci. Ainsi le sinus de l'angle PCD rapporté au rayon CS est SS, mais son sinus rapporté au rayon Cc est ss.

de l'eau dans l'air, soit en bas, de l'air dans l'eau, un rayon se dirige invariablement de manière que l'angle qu'il forme avec la perpendiculaire  $PP'$  soit plus grand dans l'air que dans l'eau, et que les sinus des angles soient entre eux comme 4 est à 5, rapport qui a été déterminé par l'expérience. On trouvera toujours un rapport constant, qui variera seulement pour chaque milieu différent.

Si nous avons besoin de trouver la nouvelle direction de déviation imprimée à un rayon de lumière, tel que  $DC$ , par la surface  $AA$ , nous décrirons un cercle autour du point  $C$  avec un rayon quelconque  $CS$ , et nous trouverons que le sinus du rayon de lumière ( $CS$ ) dans l'air est  $SS$ . En conséquence le sinus dans l'eau sera les  $\frac{3}{4}$  de  $SS$ . Tirez une ligne parallèle à  $CP'$  à une distance égale à  $\frac{3}{4}$  de  $SS$ , c'est-à-dire à la distance  $S'S''$ , et comme cette ligne rencontre le cercle en  $S''$ , nous savons que le rayon réfracté doit passer par  $S''$  pour rendre son sinus dans l'eau ( $S'S''$ ), les  $\frac{3}{4}$  de son sinus dans l'air ( $SS$ ), tous les deux rapportés au même rayon ( $CS$  ou  $CS''$ ). Si tout autre rayon du cercle avait été choisi, comme  $Cs$ , il est évident que nous aurions obtenu le même résultat; car, par la propriété des triangles semblables ( $xxi$ ), si  $S'S''$  est les  $\frac{3}{4}$  de  $SS$ , alors  $s's''$  sera aussi les  $\frac{3}{4}$  de  $ss$ .

LXVI. — Si nous traçons la marche suivie par un rayon de lumière en partant du fond de l'eau, comme  $D''C$ , après avoir trouvé son sinus dans l'eau rapporté à un rayon fixe, nous obtiendrons son sinus dans l'air en y ajoutant  $\frac{1}{3}$ , parce que le sinus dans l'air est au sinus dans l'eau comme 4 : 3; et nous

trouverions ainsi que la nouvelle direction du rayon est CD.

Dans ce cas, un effet très-singulier aurait lieu si le rayon était très-oblique à la surface, comme FC. Nous remarquerons d'abord qu'*aucun* rayon passant de l'air dans l'eau, quelque obliquement que ce fût, ne pourrait jamais être réfracté dans la direction CF, par la raison que le sinus d'un angle ne peut être plus grand que le rayon; aucun angle, dans le cas actuel, ne peut donc avoir son sinus plus grand que CS. Mais le sinus dans l'eau n'est que les  $\frac{3}{4}$  de ce qu'il est dans l'air, et par conséquent il ne peut excéder  $\frac{5}{4}$  du rayon. Le sinus du rayon CF, c'est-à-dire Fz, est plus des  $\frac{5}{4}$  du rayon CS; par conséquent aucun degré d'obliquité du rayon dans l'air ne lui permettra de devenir dans l'eau aussi oblique que CF. Mais un rayon peut monter dans la direction FC aussi bien que dans toute autre; dans ce cas, son sinus dans l'air doit devenir de  $\frac{1}{3}$  plus grand que Fz; mais cela est impossible, car une ligne plus longue de  $\frac{1}{3}$  que Fz serait plus longue que le rayon CS, et par conséquent trop longue pour être le sinus d'aucun angle, rapporté à ce rayon; comme ce rayon ne peut donc être réfracté *conformément à la loi*, il n'est pas réfracté *du tout*, mais il est *réfléchi en totalité* dans la direction Cf, seul cas de réflexion totale, car aucun rayon de la lumière ne peut pénétrer la surface AA, qui est par le fait absolument *opaque* pour cette lumière. Ce phénomène de *réflexion totale* peut être observé en regardant par le côté d'un gobelet contenant de l'eau jusqu'à sa surface, dans quelque direction, comme

FC ; on verra alors que la surface est opaque et réfléchit plus exactement qu'aucun miroir, puis que les images y sont parfaitement égales en éclat aux objets eux-mêmes.

LXVII.— Nous avons dit que le rapport entre les sinus serait différent pour des milieux différents ; car, quoique toutes les surfaces réfléchissent également (en ce qui regarde la direction du rayon), toutes ne réfractent pas de même. Supposez que le rayon passe du *vide* dans l'*eau*, la raison serait plus grande que 3 : 4, savoir :: 1 : 1,335. En passant du *vide* dans l'air de la densité commune, la réfraction serait beaucoup moindre, et par conséquent les sinus beaucoup plus près d'être égaux, savoir, comme 1 : 1,000294. Si le sinus dans un milieu quelconque est 1, le sinus correspondant dans le *vide* se nomme *indice de réfraction* de ce milieu, et est *spécifique* pour chaque substance, ou aussi constant que sa densité, son expansibilité, sa chaleur spécifique, et autres qualités mesurables. Ainsi, l'indice de réfraction de l'*air* à la densité commune est 1,000294 ; celle de l'*eau* 1,335 ; du verre blanc 1,52 ; du verre à bouteilles 1,55.

Dans le cas, ci-dessus indiqué, de la réfraction de l'air dans l'eau et *vice versâ*, les sinus dans l'air et dans l'eau sont, strictement parlant, comme 1,335 : 1.000294 ; et généralement, les sinus de chaque côté d'une surface sont, en *raison inverse*, des indices de réfraction des deux milieux.

Les indices de réfraction d'un grand nombre de milieux ont été mesurés et disposés en tableaux. Lorsque la densité d'une substance augmente ou di-

minue, la puissance de réfraction augmente ou diminue également dans la même proportion.

LXVIII. — L'application des lois de la réfraction donne le secret des nombreux effets d'illusion qu'offre l'atmosphère, et qui sont compris dans le terme général de *mirage*. Le plus familier est la distorsion des objets vus à travers un courant d'air chaud qui, à cause de son peu de densité, a un pouvoir réfracteur plus faible que l'air froid environnant, et par conséquent fait dévier les rayons en diverses directions. Il est également reconnu que les rayons des corps célestes, venant de l'espace dans notre atmosphère, doivent être réfractés, et faire que les objets d'où ils viennent paraissent un peu *au-dessus* de leur véritable place, comme l'œil au point *d'*, dans la fig. 25, voit D dans la direction *d'C* un peu au-dessus de sa véritable place. Ce phénomène forme une des sources d'erreur dont il faut tenir compte dans toutes les observations astronomiques, et on a établi des tables pour calculer son importance, qui dépend de la hauteur apparente des objets et de l'état du baromètre et du thermomètre. Cependant, par suite du très-faible pouvoir réfracteur de l'air, cette erreur est à peine sensible lorsque l'objet est élevé, mais s'accroît rapidement vers l'horizon, où il atteint 33', ou un peu plus que le diamètre du soleil ou de la lune, de sorte que ces corps peuvent paraître juste au niveau de l'horizon, tandis qu'ils sont complètement au-dessus. Comme la densité de l'air diminue *graduellement* depuis la surface de la terre jusqu'aux couches les plus élevées, la réfraction atmosphérique n'est pas, comme celles que nous venons d'examiner, un chan-

gement *soudain* de direction ; mais le rayon décrit actuellement une *courbe*, étant réfracté de plus en plus à chaque degré ; et ceci s'applique également à la lumière d'un objet terrestre éloigné qui est ou plus bas ou plus haut que l'œil, parce qu'elle doit passer à travers un air dont la densité va constamment en augmentant ou en diminuant. Il faut donc tenir compte de cette réfraction en *nivelant*, ce que l'on fait en supposant que la lumière d'un objet éloigné nous arrive en ligne arquée ou courbe et dont le rayon est environ sept fois celui de la terre.

L'application de ces lois de dioptrique a aussi mené à comprendre le mécanisme de l'*œil*, et de là à l'imitation de cet organe par des *lentilles* qui offrent des remèdes pour les infirmités de longue et de courte vue, et a fait découvrir les merveilles du *télescope* et du *microscope*.

LXIX. — Pour comprendre l'action des lentilles, nous devons nous rappeler que, comme une lentille a nécessairement deux surfaces réfractantes, la direction prise par un rayon, après avoir passé à travers, doit dépendre principalement des inclinaisons relatives des deux surfaces, l'une par rapport à l'autre, aux points où il les traverse. Quelquefois une surface détruit en partie ou en totalité l'effet de l'autre, et quelquefois elle ajoute à cet effet.

Examinons donc en premier lieu la marche de la lumière à travers une surface de verre plane et d'égale épaisseur partout. AA et BB (fig. 26) représentent des parties des deux surfaces parallèles de ce verre, et un rayon tombe obliquement de R sur la surface AA au point *a*. Pour trouver la nouvelle direction

qu'il doit prendre, nous devons d'abord abaisser sur le point  $a$  la ligne  $pp$ , perpendiculaire à la surface réfractante  $AA$ . Par la première loi de la réfraction nous savons que le rayon réfracté sera dans le même plan que le rayon incident  $Ra$  et la perpendiculaire  $pp$ . Dans ce plan donc et avec un rayon quelconque nous décrivons un cercle autour du point  $a$  et nous trou-

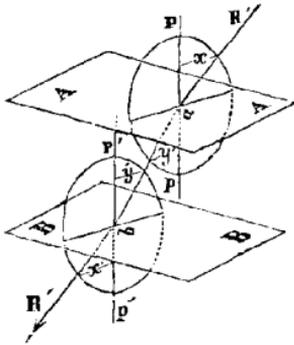


Fig. 26.

avons que le sinus d'incidence est  $x$ . Ensuite, en recourant aux tables, nous trouvons que l'indice de la réfraction du *verre* varie de 1,521 à 1,58, suivant l'*espèce* de verre. Mais pour plus de simplicité, nous pouvons supposer qu'elle est généralement d'environ  $1\frac{1}{2}$  fois celle de l'*air*. En conséquence les sinus de l'*air* et du verre seront comme 3 : 2; et en faisant que le sinus du verre (c'est-à-dire  $y$ ) égale  $\frac{2}{3}$  de  $x$ , nous trouvons que la nouvelle direction du rayon est  $ab$ , rencontrant la seconde surface  $BB$  en  $b$ . Ici nous élevons une nouvelle perpendiculaire  $p'p'$  et nous décrivons un nouveau cercle qui est évidemment dans le même plan que le cercle précédent décrit autour de  $a$ , et, en supposant les deux cercles égaux, il est clair que le sinus  $y$  dans le second cercle sera égal à  $y$  dans le premier. Or, le nouveau sinus dans l'*air*, c'est-à-dire  $x'$  doit être de  $1\frac{1}{2}$  fois de la longueur de  $y'$  ou  $y'$  et par conséquent égalera justement le sinus original  $x$ . Par là nous voyons que le rayon émer-

gent  $b' R'$  aura la même direction que le rayon incident primitif  $R a$ , quoique ne se trouvant pas sur la même ligne. Ainsi nous voyons qu'un rayon ne peut subir aucun changement permanent de *direction* en passant à travers un milieu dont les faces opposées sont parallèles, quoiqu'il subisse un faible déplacement latéral qui dépend de l'*épaisseur* du plateau. Ce déplacement peut facilement être constaté par le lecteur lui-même en regardant cette page à travers un verre *épais*.

LXX. Cette propriété des verres à faces parallèles par laquelle leur seconde surface détruit exactement l'effet réfracteur de la première, rend les verres de ce genre parfaitement propres pour les fenêtres. Mais par le même raisonnement qui nous montre que deux surfaces parallèles neutraliseront réciproquement leurs effets, nous verrons aussi que, pour produire cette compensation, les surfaces doivent être parallèles; de sorte que le verre d'une épaisseur inégale déplace et distord les objet. Tout verre ayant deux surfaces *planes* non parallèles se nomme *prisme* et altère d'une manière permanente la direction de tout rayon qui le traverse, le changement étant plus grand suivant que l'inclinaison des deux surfaces <sup>1</sup> est aussi plus grande. Tous les objets sont vus, à travers le prisme, en dehors de leur véritable place rapprochés de la *base* ou partie la plus *épaisse* du prisme, quel que soit le sens dans lequel celui-ci est placé.

LXXI. Mais quelque important changement que le prisme puisse apporter à la direction de chaque *fais-*

<sup>1</sup> En termes techniques l'*angle réfractant*.

*ceau* de lumière qui le traverse, il ne peut rien changer aux relations des divers rayons qui composent chaque faisceau. Ceux-ci, procédant tous d'un seul point, divergent nécessairement (LV); mais plus nous nous éloignons de leur point d'origine, moins chaque portion minime de ces rayons sera divergente; et lorsque le point est à une distance considérable comme dans l'un des corps célestes, tous les rayons de chaque faisceau peuvent être regardés comme parallèles, quoiqu'ils aient tous des directions différentes.

Aucune surface plane, ou combinaison de surfaces planes, ne peut jamais augmenter ou diminuer la divergence d'un faisceau passant à travers ces surfaces, et encore moins rendre un faisceau divergent parallèle, ou *vice versa*; et comme dans l'œil et dans tous les instruments d'optique il est nécessaire que cela ait lieu, et même que les rayons soient amenés à *converger* et à se rencontrer en un même point, pour diverger de nouveau de ce point comme d'une source nouvelle, on a recours à l'effet réfracteur des surfaces courbes des lentilles *convexes* et *concaves*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Lorsque les divers faisceaux venant d'un objet sont ainsi concentrés séparément dans différents foyers voisins, ces points forment évidemment une répétition ou image de l'objet, suspendue dans l'espace, et ne différant d'un objet réel qu'en ceci, que chaque point d'un objet réel rayonne en tout sens de manière à être vu dans toutes les directions, que l'œil soit en haut, en bas ou de côté, tandis que chaque point d'une image d'optique ne rayonne qu'un cône de lumière de manière à n'être vu que par un œil placé dans ce cône.

Cette image peut être ou plus grande ou plus petite que l'objet, et peut être rapprochée de nous autant que nous le désirons, de sorte que nous pouvons y examiner des détails invisibles dans l'objet réel à cause de sa distance. Une image de ce genre se forme dans les télescopes et dans

Il est évident qu'un faisceau de rayons parallèles rencontrant une surface courbe, ces rayons doivent avoir tous différentes inclinaisons sur cette surface, et conséquemment ils doivent subir différents degrés de réfraction, de sorte qu'ils ne peuvent plus être parallèles après avoir passé à travers la surface. Or, soit qu'ils entrent dans la surface, soit qu'ils en sortent, c'est-à-dire, qu'ils passent d'un milieu plus rare dans un milieu plus dense <sup>1</sup>, ou réciproquement, dans l'un et dans l'autre cas ils deviendront *divergents* si la surface du milieu plus dense est concave, et convergents si elle est convexe. Examinons plus avant les effets opposés produits par ces surfaces sur un *seul* faisceau de lumière, dont les rayons ne sont pas parallèles, mais sont ou divergents ou déjà rendus convergents par l'action de quelque autre surface.

*Primo.* Par les surfaces convexes tout faisceau déjà convergent le devient davantage. Ainsi les rayons B (fig. 27), pénétrant une surface convexe

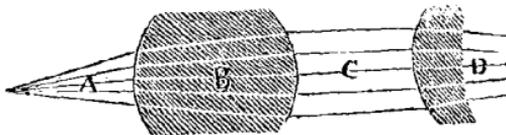


Fig. 27.

en A, convergent plus rapidement qu'auparavant, de les microscopes *composés*. Dans ces derniers, elle est plus *grande* que l'objet ; dans les *premiers*, incomparablement plus *petite* ; mais dans les uns et les autres elle est amenée très-près de l'œil, trop près pour être vue sans l'intermédiaire d'un lorgnon dont l'action est (en la combinant avec celle des lentilles de l'œil lui-même) de le rendre pour le moment artificiellement *myope*. Car en ajoutant d'autres lentilles aux siennes, l'œil peut voir à la distance d'un pouce, ou même d'un dixième de pouce, comme en se servant d'un microscope *simple*.

<sup>1</sup> On veut parler ici de la densité *optique* ou pouvoir réfracteur, qui

manière à se rencontrer plus tôt qu'ils ne l'auraient fait autrement. Quant aux rayons divergents, ils sont au moins rendus *moins* divergents en passant à travers une surface de ce genre. Ainsi la divergence des rayons A diminue en passant à travers B. Mais dans certains cas, c'est-à-dire lorsque la divergence primitive n'est pas trop grande, elle peut être tout à fait détruite et les rayons être rendus parallèles en passant, par exemple, de B en C; et si leur divergence avait été encore moindre, ou la surface plus convexe, ou le milieu doué d'une plus grande puissance de réfraction, ils pourraient devenir convergents. C'est ainsi que les rayons B, passant à travers *deux* surfaces convexes, deviennent convergents en D, effet qui aurait pu être produit par une seule surface si elle avait été suffisamment puissante.

*Secundo.* Par les surfaces concaves, au contraire, un faisceau divergent le devient encore davantage, comme celui qui passe de B en A (fig. 28), et un fais-

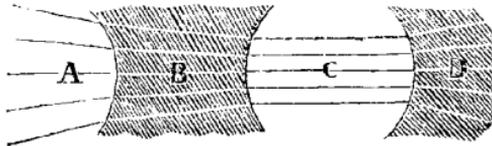


Fig. 28.

ceau convergent diminue de convergence comme de A à B, retardant ainsi la rencontre des rayons, ou bien même l'empêchant tout à fait parce que les rayons deviennent parallèles, comme lorsqu'ils pas-

n'est pas proportionnel à la densité mécanique dans différentes substances. Par exemple, l'huile est mécaniquement plus rare, mais optiquement plus dense, que l'eau.

sent de B en C ; ou si la surface est assez forte, le faisceau convergent devient divergent, comme par l'action réunie des deux surfaces B et D.

LXXII. — La *longueur focale* d'une surface ou lentille convexe est la distance à laquelle se réuniraient des rayons précédemment parallèles ou à laquelle elle formera sur un écran une peinture distincte de tout objet très-éloigné, comme par exemple, le soleil (p. 144, note). Telle est aussi la distance à laquelle doit être placée la source de tout faisceau divergent pour que la lentille le rende parallèle. La longueur focale d'une lentille concave sera égale à celle d'une lentille convexe capable de la neutraliser et de lui faire produire l'effet d'un verre plat : ou bien encore à sa distance du foyer d'un faisceau qu'elle rend parallèle.

LXXIII. — Quoique la réfraction soit une propriété générale de la lumière, toutes les espèces de lumière ne la possèdent pas au même degré. De même que les sons diffèrent sous beaucoup de rapports, quelle que soit d'ailleurs leur intensité; de même que la chaleur rayonnante (indépendamment de toute différence d'intensité) est différemment réfractée et absorbée par des milieux différents (LVI); de même aussi les rayons lumineux possèdent ces mêmes qualités à des degrés différents, indépendamment de la différence de leur éclat; et ces différences, en tant qu'elles peuvent être distinguées par l'œil, constituent la *couleur*. Les différences de qualité qui ne peuvent être distinguées par l'œil constituent la *polarisation* (LXXXV).

La loi de réfraction, en vertu de laquelle les sinus

d'incidence et de réfraction sont toujours dans le même rapport lorsqu'il s'agit de la même surface, n'est vraie qu'en ce qui regarde les rayons *de la même couleur* ou qui viennent d'objets de la même couleur. De plus, la lumière que nous nommons *incolor*, comme celle qui vient immédiatement du soleil, contient réellement des rayons de lumière de toutes les couleurs possibles, mêlés de manière à se neutraliser les uns les autres. Cette importante découverte fut faite par Newton de la manière suivante : Ayant fermé les fenêtres de son appartement, il fit un petit trou dans le volet, de manière à laisser pénétrer un rayon de soleil B (fig. 29), lequel, venant

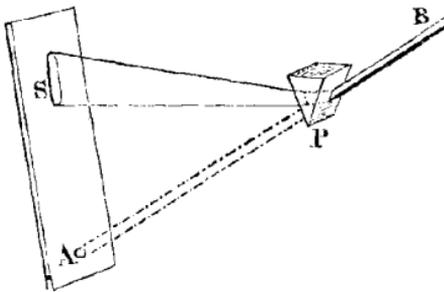


Fig. 29.

en ligne droite, éclaira un point A sur un écran placé pour le recevoir. Maintenant, avec un prisme qui, comme nous l'avons vu (LXX), opère un change-

ment permanent dans la direction de la lumière qui le traverse, nous pouvons détourner ce rayon dans toute direction. Ainsi, si la base du prisme est en bas, le rayon sera détourné vers le bas ; mais un prisme tourné la base en haut, comme en P, réfractera le rayon vers le haut, de sorte qu'il n'éclairera plus le point A, mais quelque point plus élevé comme S. Il est très-remarquable que ce point S, au lieu d'être semblable de forme au point A, est fortement allongé, sa largeur demeurant la même ; et tandis que

A était incolore, le point allongé S offre une gradation continue des couleurs les plus intenses, l'extrémité inférieure étant *rouge*, le degré suivant orange, le suivant jaune, puis vert, bleu, indigo et violet, nuance qui se trouve à l'extrémité supérieure. Les mêmes couleurs seront vues, et dans le même ordre, dans quelque sens que le prisme soit tourné ; car soit que le point S, nommé *spectre solaire*, se trouve au-dessus, au-dessous ou à côté de A, son extrémité rouge sera la plus *voisine* et son extrémité violette la plus *éloignée* du point A.

Nous voyons par là que les divers rayons composant le faisceau parallèle B ne demeurent pas parallèles après la réfraction à travers deux surfaces *planes*, contrairement à ce qui a été avancé (LXIX), et par conséquent que ces rayons doivent avoir subi différents degrés de déviation, quoique tombant sur le prisme dans des circonstances exactement semblables. On trouvera ce fait également vrai dans tout autre cas de réfraction, qu'il soit produit par un prisme ou par une surface simple, par le verre ou par tout autre milieu solide ou liquide. Les mêmes rayons qui dévient le plus en passant de l'air dans le verre, dévient aussi le plus en passant du verre dans l'air ou dans l'eau ou tout autre milieu, et on les nomme *les plus réfrangibles*.

En outre on voit que les rayons qui dévient le moins, sont toujours rouges, ceux qui dévient le plus, toujours violets, et les autres, de couleurs intermédiaires, quoique avant la séparation le faisceau fût incolore. Ces points établis, il se présentait une intéressante question ; il s'agissait de savoir si, réunis,

ils composeraient encore une lumière incolore, et Newton démontra l'affirmative par plusieurs expériences convaincantes, dont la plus complète peut-être consistait à recevoir le rayon divergent S sur une lentille convexe, et le foyer où tous les rayons colorés se rencontrèrent se trouva parfaitement incolore.

LXXIV. — Si toutefois, dans cette dernière expérience, la lentille n'est pas assez large pour renfermer le rayon coloré tout entier, ou si une partie en est interceptée à dessein, le foyer ne sera pas blanc, mais teint d'une nuance quelconque qui sera pâle s'il ne manque qu'une faible partie du spectre, mais qui sera d'autant plus tranchée que le spectre prendra moins de part à sa composition. Il n'est ni couleur, ni teinte, ni ombre, dans toute la sphère de la nature ou de l'art, qui ne puisse ainsi être exactement reproduite par un mélange d'une partie seulement des éléments qui composent la lumière blanche.

Ce fait important peut être encore démontré de la manière suivante : Si l'on regarde à travers un prisme un objet ou un point blanc de peu d'étendue sur un fond noir, on le verra non-seulement hors de sa place, mais allongé et coloré de toute la série des couleurs prismatiques formant un spectre complet dont l'extrémité rouge est le plus près de la véritable place du point. La même chose arrivera si le point est gris ou d'une teinte neutre, et démontrera que, quoiqu'il reflète moins de lumière que l'objet blanc dans les mêmes circonstances, cependant il réfléchit le même genre de lumière ou un mélange des mêmes couleurs. En effet, une bonne teinte neutre ne diffère nullement d'une teinte blanche moins éclairée, de

sorte qu'en réglant les intensités de la lumière, on peut les faire paraître exactement semblables. Mais si l'objet vu à travers le prisme est *coloré*, il ne s'allongera pas autant que l'objet blanc ou gris ; car une portion du spectre, soit une extrémité, soit les deux, soit le milieu, sera *perdue*, et la partie qui paraît montrera quelle partie du spectre complet, ou solaire, doit être séparée du reste, pour imiter la couleur de cet objet.

Si l'objet employé est d'une couleur très-pure et très-intense, telle que le vermillon ou l'outremer, il paraîtra à peine allongé ou modifié dans son aspect, ce qui prouve que tous les rayons qui en proviennent

 sont presque de la même espèce et également réfrangibles. Mais Newton a constaté les différentes réfrangibilités de ces deux couleurs par l'expérience suivante très-simple et très-concluante. Un petit rectangle de papier coloré moitié rouge, moitié bleu (comme BR, fig. 30),

 est placé sur un fond noir et regardé à travers un prisme. Le prisme étant placé de manière à voir le papier au-dessus de sa vraie place comme en B'R', la partie bleue apparaît un peu au-dessus de la partie rouge, comme cela est

 indiqué sur la figure, et si l'on renverse le prisme, la partie bleue paraîtra la plus abaissée, de sorte que, dans les deux cas, elle est déplacée davantage, c'est-à-dire que ses rayons sont plus réfractés que les rayons rouges.

Fig. 30.

Si on varie cette expérience en employant les deux couleurs en poudre fine et en les mêlant de manière que le mélange paraisse pourpre, et que l'œil ne

puisse distinguer les grains rouges ni les bleus, le prisme effectuera néanmoins leur *séparation* apparente complète; ainsi, si le point pourpre est petit, il paraîtra divisé en deux points distincts bleu et rouge, mais s'il est trop grand pour que les deux images se détachent, il paraîtra seulement frangé de rouge au bord supérieur et de bleu au bord inférieur, ou *vice versa*, le milieu restant pourpre. Nous pouvons donc, d'après ce principe, expliquer sans peine toutes les franges colorées que l'on aperçoit autour des objets vus à travers un prisme, une lentille ou autre verre d'épaisseur inégale. Tout cela est le résultat de la *décomposition de la lumière* par réfraction, les rayons ayant différents degrés de réfrangibilité et différentes couleurs.

Le rapport entre les sinus (LXVII) dans deux milieux étant différent pour les rayons de couleurs différentes, il s'ensuit que l'indice de réfraction donné dans les tables ci-dessus mentionnées (LXVII) pour chaque milieu ne s'applique qu'aux rayons d'une couleur particulière, c'est-à-dire à ceux d'une réfrangibilité moyenne ou couleur de milieu du spectre, telle que le vert. Ainsi l'indice de *l'eau* pour ces rayons est 1.355851, mais pour quelques-uns des rayons violets il est de plus de 1.344 et pour quelques uns des rouges moins de 1.330; enfin il existe des rayons ayant tous les indices possibles de réfraction entre ces deux extrêmes.

LXXV. — Une différence semblable, quoique non dans le même rapport (elle est généralement plus grande), existe entre les indices de réfraction de ces rayons à travers tout autre milieu; d'où Newton a

conclu que la longueur focale d'une surface courbe (LXXII) ou d'une lentille doit être différente pour les différentes couleurs, et que, comme la lumière de la plupart des objets contient des rayons de diverses réfrangibilités, elle ne peut être réellement réunie en un point par aucune lentille. Cette observation explique la confusion des couleurs qu'on voit aux bords de l'image formée dans un télescope. Cette confusion et le désordre qui en est la conséquence étaient à cette époque les plus grands obstacles aux progrès des découvertes astronomiques. Newton acquit la preuve de ce fait important par la simple expérience suivante, entre un grand nombre d'autres.

A et B (fig. 31) représentent deux chandelles et L L une lentille convexe placée à une égale distance des

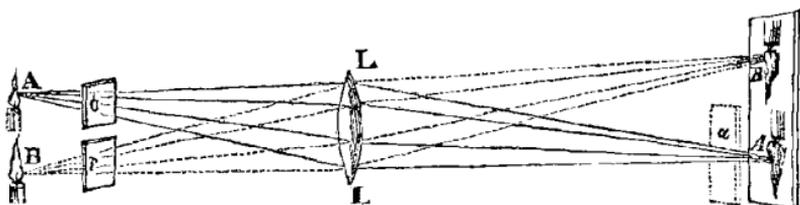


Fig. 31.

deux lumières, savoir : deux fois environ sa longueur focale ou un peu moins. Un faisceau de rayons partant de la chandelle A se réunira en un point A' où un écran blanc sera placé pour le recevoir, et un autre faisceau venant de B sera également concentré en B' sur le même écran. Par la même raison que ces foyers sont à des points différents, tous les innombrables faisceaux venant des différents points de chaque flamme seront concentrés sur différents points de l'écran, de manière à former une image exacte

de la chandelle, si l'écran se trouve placé au foyer de la lentille. Mais comme les rayons de la chandelle inférieure décrivent l'image supérieure, de même ceux du pied de chaque flamme vont au sommet de l'image, et *vice versa*, de sorte que les deux images sont renversées. Maintenant placez devant les deux chandelles un verre bleu et un verre rouge, comme *b* et *r*, les images prendront naturellement les mêmes couleurs; mais il sera impossible de placer l'écran dans une position telle que les deux images deviennent distinctes. Cela ne peut s'effectuer qu'en les recevant sur des écrans séparés, savoir : l'image bleue sur un écran *a* un peu plus près de la lentille que celui qui reçoit l'image rouge. Elles seront alors plus distinctes qu'elles ne pourraient jamais le devenir sans les verres de couleur.

Si nous pointons un télescope ordinaire non achromatique sur une affiche rouge et bleue à une courte distance, nous devons lui donner une plus grande longueur pour lire l'affiche rouge que pour lire l'affiche bleue. Mais avec cette précaution l'une et l'autre peuvent se lire à une plus grande distance qu'une affiche blanche. La même différence sera observée en regardant le soleil avec un verre assombrissant bleu ou rouge.

Pour la même raison, le foyer d'un verre ardent, qui dans le fait est une image optique du soleil, n'est jamais parfaitement clair, mais toujours trouble, avec un bord vert ou rouge, parce que les divers rayons colorés dont la lumière du soleil se compose ne se rencontrent pas tous au même foyer.

LXXVI. — Comme la même cause existe dans

tout milieu réfracteur dont on pouvait former une lentille, Newton a conclu qu'aucun bon télescope ne pouvait être basé sur les principes de dioptrique, et que le seul foyer parfait serait obtenu par la *réflexion* de miroirs, comme on l'a expliqué pour la chaleur (LVIII); car la loi de réflexion, contrairement à celle de réfraction, est la même pour tous les rayons, de quelque couleur qu'ils soient; il appliqua donc son attention à imaginer un *télescope* qui agirait par *réflexion*, et inventa bientôt l'instrument qui a servi aux dernières découvertes de Herschel et de lord Rosse, sans avoir subi d'autres modifications que celles de ses dimensions,

Mais nous devons cette grande invention à une erreur de Newton; car, aussitôt après sa mort, il fut reconnu, à la suite d'une étude plus attentive des phénomènes de la couleur par Euler et autres, que ce que Newton avait regardé comme impossible, la réfraction sans la dispersion des couleurs, pouvait cependant avoir lieu; et un autre Anglais, Dollond, eut le mérite de l'obtenir le premier par une application du même principe abstrait qui se montre dans le pendule compensateur, et qui peut trouver ainsi son explication: quoique nous ne puissions trouver aucun métal qui ne se dilate par la chaleur, de manière à n'être pas plus long en été qu'en hiver, cependant comme tous les métaux ne se dilatent pas suivant le même rapport, nous pouvons les combiner de manière à former un pendule dont la longueur ne variera jamais; car on peut faire que sa longueur dépende de la *différence* entre les longueurs de deux tiges de différents métaux, qui, quoi-

que de longueurs inégales, peuvent cependant se dilater également pour la même augmentation de température, de sorte que leur différence peut rester invariable.

De la même manière, quoique nous ne connaissions aucun solide ou liquide qui réfracte toutes les couleurs également, et quoique la même couleur qui est très-réfrangible par le verre soit aussi très-réfrangible par l'eau, l'huile, ou tout autre milieu, cependant comme le rapport entre les réfractions des rayons les *plus* ou les *moins* réfractés n'est pas le même pour tous les milieux (LXXV), nous avons le moyen de combiner deux milieux de manière qu'ils réfractent toutes les couleurs également. Par exemple on reconnaît qu'une certaine sorte de *verre plat* fait toujours dévier les rayons violets les plus réfrangibles de  $\frac{1}{30}$  de plus que les rayons rouges les moins réfrangibles. Ce fait s'exprime en disant que son *pouvoir de dispersion* est de  $\frac{1}{30}$ , ou 0,055... Supposons que nous ayons une espèce de verre à bouteille qui fasse dévier les rayons violets de  $\frac{1}{40}$  de plus que les rouges ; on aura un pouvoir de dispersion de 0,05. Il est clair que si nous faisons un prisme avec chacune de ces espèces de verre, en leur donnant à tous deux la forme nécessaire pour qu'ils fassent l'un et l'autre dévier les rayons également, de 50 degrés par exemple, tous les deux ne formeront pas des spectres d'une égale longueur, car l'un des spectres sera de  $\frac{1}{30}$  de toute la réfraction et aura 1° de longueur, tandis que l'autre sera de  $\frac{1}{40}$  et aura 1° 1/2 de longueur. Mais si les deux prismes ont des formes telles que tandis que l'un d'eux, celui du verre à bouteille,

réfracte le rayon à  $20^\circ$ , l'autre, le verre plat, le réfracte à  $30^\circ$ , l'un et l'autre produisent donc une dispersion égale de  $1^\circ$ . En conséquence, si les deux prismes sont placés de manière à réfracter dans des directions opposées, l'un à  $30^\circ$  à droite et l'autre à  $20^\circ$  à gauche, le second ne détruira pas l'effet réfractif du premier, mais laissera le rayon dévier encore de  $10^\circ$  à droite, et cependant leurs effets de dispersion, étant chacun de  $1^\circ$ , se compenseront entièrement l'un l'autre; de sorte qu'une réfraction de  $10^\circ$  sera produite sans aucune dispersion. Le même principe est applicable à tout autre instrument réfringent, tel qu'une lentille; et ainsi la lumière blanche ou un mélange d'autres couleurs peuvent être concentrés, sans séparer les couleurs qui les composent, et les lentilles donneront une image *achromatique*<sup>1</sup> aussi bien que les miroirs.

Des expériences et des calculs sans fin ont occupé les opticiens depuis cette découverte pour savoir quels matériaux et quelles courbures il faudrait employer pour les lentilles des télescopes, afin de les rendre le plus possible exempts d'erreurs chromatiques et autres. En somme, les télescopes à réfraction sont portés aujourd'hui à une plus grande perfection que ceux à réflexion, quoiqu'on ne puisse les faire aussi grands.

LXXVII. — Nous avons vu que les différentes qualités de la lumière que nous nommons *couleurs*, existent toutes dans la lumière solaire commune et en sont séparées grâce à différents degrés de ré-

<sup>1</sup> Achromatique (de  $\alpha$  privatif et de  $\chi\rho\omega\mu\alpha$  couleur), n'ayant pas d'autre couleur que les couleurs naturelles qui lui sont propres, exempte des franges de l'arc-en-ciel.

fraction et d'absorption des milieux matériels. L'ordre de leur réfrangibilité est le même dans tous, mais les qualités absorbantes diffèrent dans chaque milieu. Quelques-uns n'ont aucune préférence pour une qualité de lumière plus que pour une autre, mais ils les absorbent toutes également; on les nomme neutres ou incolores. La qualité de la *couleur* dans les corps est due à la préférence qu'ils ont pour la lumière possédant certaine réfrangibilité plus que pour d'autres; de sorte que les rayons les moins absorbables sont laissés, soit pour être réfléchis par la surface ou transmis à travers la substance à une plus grande profondeur que celle où les rayons absorbables peuvent pénétrer. Ainsi le verre rouge est ainsi nommé parce qu'il permet aux rayons rouges de le pénétrer à une plus grande épaisseur que les autres rayons; mais à une certaine épaisseur, les rayons rouges eux-mêmes seraient tous absorbés comme les autres, et le verre prendrait le nom de noir. Il en est de même pour les couleurs réfléchies des corps qui sont généralement, quoique pas toujours, semblables aux couleurs transmises<sup>1</sup>.

LXXVIII. --- Qu'aucun corps, à moins qu'il ne soit lumineux par lui-même, ne puisse paraître d'une couleur qui n'existe pas dans la lumière qu'il reçoit, c'est un fait qui sera prouvé abondamment par l'observation des apparences des corps colorés, éclairés seulement par les rayons du spectre solaire. On verra

<sup>1</sup> Il y a dans les boutiques une espèce de verre commun qui transmet la lumière *orange*, mais réfléchit la *verte*; et une autre dont la couleur transmise est le *jaune* et la couleur réfléchi, le *bleu*.

qu'aucun corps de ce genre ne peut paraître d'une couleur différente des rayons qui tombent sur lui, quoiqu'il puisse paraître d'une nuance quelconque de cette couleur même jusqu'au noir, s'il n'a pas la propriété de réfléchir une quantité sensible de lumière de cette espèce particulière. Ainsi la fleur d'un géranium écarlate, placée dans les rayons verts et ne recevant aucune autre lumière, ne peut être distinguée du velours noir.

De là, si une pièce est illuminée par une lumière d'une seule réfrangibilité, toute distinction de couleur dans cette pièce sera perdue, et les objets les plus brillants et aux couleurs les plus variées ne se distingueront plus que par les ombres, absolument comme dans un dessin. On peut obtenir une lumière de ce genre au moyen d'une lampe alimentée par une solution de sel commun dans l'alcool. Maintenant si dans une pièce ainsi éclairée on jette quelques rayons de lumière commune, comme, par exemple, d'une lanterne sourde percée de trous, les points sur lesquels ils tomberont apparaitront dans leurs couleurs naturelles, comme des points de couleurs brillantes répandus sur un dessin à l'encre de la Chine <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Dans une pareille lumière, l'absence de toute distinction de couleur n'empêche pas de remplir les fonctions les plus délicates de la vue, comme de lire, de travailler, de dessiner, ou d'ombrer un dessin; on comprend par là comment ces fonctions peuvent être accomplies par ceux qui ont la singulière infirmité de l'aveuglement aux couleurs c'est-à-dire qui sont insensibles aux différences des couleurs entre elles; le docteur Dalton, le célèbre chimiste, était en partie affecté de cette infirmité; il ne pouvait discerner le fruit d'un cerisier de ses feuilles qu'à la forme.

LXXIX. — Il est cependant douteux qu'une source de lumière quelconque émette des rayons d'une seule espèce ; en général, elle comprend des rayons de tous les degrés possibles de réfrangibilité dans certaines limites <sup>1</sup> ; mais dans les cas ci-dessus, ces limites sont très-étroites. Dans la lumière provenant d'autres sources artificielles, elles sont plus larges, ou les plus larges de toutes dans la lumière solaire, qui comprend non-seulement toutes les couleurs visibles à l'œil de l'homme, mais encore des rayons plus ou moins réfrangibles que ceux qui affectent notre nerf optique. Ces rayons sont invisibles pour nous, et n'ont été découverts que par leurs effets sur d'autres corps. Ceux qui sont plus réfrangibles que la lumière violette sont découverts par leur action sur les préparations *photographiques* et par la production d'autres changements chimiques, d'où on les appelle *rayons chimiques*. D'un autre côté, les rayons qui sont moins réfrangibles qu'aucuns rayons visibles, même que les rouges, ont toutes les propriétés de la *chaleur rayonnante* provenant de corps d'une température au-dessous de 800° Fahrenheit. Cette chaleur est moins réfrangible que la lumière rouge, et nous avons déjà vu que la chaleur rayonnante commune, comme la lumière commune, est un mélange de rayons de diverses réfrangibilités. Maintenant, si l'on élève la température d'un corps rayonnant, il

<sup>1</sup> La plus remarquable exception à cette règle vient de la lumière du soleil qui, soit qu'elle vienne directement du soleil, ou qu'elle soit réfléchié par les corps terrestres, par la lune ou par les planètes, manque toujours de certains rayons de différents degrés de réfrangibilité. On en compte environ 600 donnant naissance à ce que l'on appelle les lignes sombres du spectre solaire.

émettra, outre les rayons précédents, d'autres rayons d'une plus haute réfrangibilité, jusqu'à ce que, lorsqu'il atteint la température de 800°, quelques-uns de ses rayons deviennent aussi réfrangibles que les moins réfrangibles de la lumière, et par conséquent deviennent visibles comme ceux-ci, et nous frappent de la même couleur, de sorte que l'on dit alors que le corps rayonnant est rouge brûlant. Si on le chauffe davantage, il émet, outre les rayons rouges, des rayons encore plus réfrangibles, savoir des rayons orange ; à une plus haute température encore, des rayons jaunes, et ainsi de suite jusqu'à ce que le corps soit chauffé à blanc, point auquel il émet toutes les couleurs visibles pour nous ; et dans quelques cas (d'une chaleur très-intense), il émettra même les rayons chimiques invisibles et plus réfrangibles que le violet, quoiqu'en quantité moindre que dans les rayons solaires. Ainsi, la lumière semble n'être rien de plus que la chaleur visible, tandis que la chaleur serait la lumière invisible, la différence qui les sépare n'étant que dans le degré de certaines qualités, et dans ce fait que l'œil humain est apte à percevoir l'une et non l'autre, comme l'oreille peut apprécier des vibrations d'une rapidité de plus de 16 par seconde et non celles qui sont moins rapides.

LXXX. — Des divers rayons composant la lumière solaire, les plus visibles à l'œil humain sont les jaunes ; les plus chauds sont les moins rouges, ou plutôt les rayons invisibles qui sont un peu moins réfrangibles que les rouges. De là les corps qui absorbent les rayons rouges deviennent plus chauds par l'action du soleil que ceux qui les réfléchissent ; le drap bleu,

par exemple, devient plus tôt chaud que le drap rouge de la même épaisseur de teinte.

LXXXI. — Dans la grande majorité des corps colorés, chaque point réfléchit la même couleur dans toutes les directions; mais dans quelques cas, comme dans la nacre de perle, les bulles de savon, etc., chaque point peut réfléchir différentes couleurs suivant la direction, et alors la surface se nomme *irisée*. Or la doctrine de *l'absorption* est évidemment inapplicable à ces couleurs qui sont souvent vues (comme dans la bulle de savon) dans une parcelle de matière infiniment trop tenue pour montrer sa préférence pour quelques rayons sur d'autres, même si cette préférence existe, car il faut une épaisseur de plusieurs pieds d'eau pour que cette cause fasse ressortir une seule couleur. En outre les couleurs irisées sont plus prononcées à mesure que la parcelle est plus mince, et ne sont plus perceptibles lorsqu'elle excède une certaine épaisseur.

Nous avons déjà mentionné (xxv) les moyens à l'aide desquels Newton étudia ces couleurs et mesura l'épaisseur exactement nécessaire pour produire chacune d'elles. Il reconnut de plus qu'elles sont indépendantes de la matière de la parcelle, et se montrent même lorsque aucune matière n'existe, la seule condition essentielle étant l'approche de deux surfaces réfractantes à une certaine distance extrêmement petite.

En examinant les couleurs à travers un prisme il reconnut qu'elles n'étaient en aucun cas simples (ou possédant une réfrangibilité définie), mais que chaque

teinte irisée était un mélange de certains rayons du spectre; que ces rayons *seuls* étaient réfléchis par une parcelle de cette épaisseur particulière, les rayons restants étant *transmis* par elle; de sorte que la lumière transmise aussi bien que la lumière réfléchie est colorée, et les couleurs de l'une et de l'autre sont *complémentaires*, c'est-à-dire que chacune contient tout juste ce qui manque à l'autre pour constituer la lumière blanche. Tout changement dans l'épaisseur fait que quelques rayons qui auparavant étaient réfléchis sont transmis, et *vice versa*; de sorte que la question de savoir si les rayons d'une réfrangibilité définie passeront à travers la parcelle ou seront réfléchis dépend entièrement de son épaisseur.

Newton examina donc ces parcelles ou anneaux (fig. 11 et 12), tandis qu'ils étaient éclairés par les rayons d'une seule couleur, au lieu de la lumière commune mélangée, et il découvrit alors ces faits étonnants, savoir que si la lumière *rouge* d'une certaine réfrangibilité passe à travers deux surfaces dont la distance soit de  $\frac{1}{155000}$  de pouce ou de  $\frac{3}{155000}$  ou de  $\frac{5}{155000}$  ou de  $\frac{1001}{155000}$  de pouce, une grande quantité en sera réfléchie; mais si l'espace entre les deux surfaces est de  $\frac{2}{155000}$  ou  $\frac{4}{155000}$  ou  $\frac{6}{155000}$  ou  $\frac{1000}{155000}$  de pouce, aucune partie de cette lumière ne sera réfléchie; qu'en outre la lumière d'une autre réfrangibilité déterminée ne sera pas réfléchie lorsque les surfaces seront séparées par un intervalle de  $\frac{2}{160000}$ ,  $\frac{4}{160000}$ ,  $\frac{6}{160000}$ , etc., de pouce, et qu'elle le sera le plus lorsque l'intervalle sera de  $\frac{1}{160000}$ ,  $\frac{3}{160000}$ ,  $\frac{5}{160000}$  de pouce, ou tout autre nombre impair divisé par 160,000; et chaque

rayon du spectre sera très-fortement réfléchi par ces surfaces lorsqu'elles auront entre elles un certain intervalle appréciable, ou 3, 5, ou tout autre nombre *impair* de fois cet intervalle; mais il passera à travers les surfaces sans être réfléchi lorsqu'elles auront 2, 4, ou tout autre nombre *pair* de fois ce même intervalle; cet intervalle est le même pour tous les rayons de la même réfrangibilité, mais il diffère pour ceux qui sont doués de réfrangibilités différentes; il est toujours plus court pour le rayon le plus réfrangible. Il n'a pour les rayons violets les plus réfrangibles que les  $\frac{3}{5}$  de la longueur nécessaire pour les rayons rouges les moins réfrangibles.

LXXXII. — Une variété innombrable d'autres phénomènes, découverts depuis l'époque de Newton, ont tous concouru à établir ce fait merveilleux, la *périodicité* de la lumière; ou, en d'autres termes, que la marche de tout rayon de lumière à travers l'espace est accomplie par degrés égaux et réguliers, dont le nombre, dans un espace donné, est exactement mesurable, quoique pour différents rayons il y ait une différence, renfermée toutefois dans certaines limites. Nous pouvons, en conséquence, reconnaître tel rayon à la longueur de ses degrés. Par exemple, des 600 rayons définis qui échappent au spectre solaire (LXXIX, note), prenant les *sept* dont l'absence est plus particulièrement sensible l'un d'eux se trouve parmi les rayons rouges et fait 36,919 degrés, ou plutôt 36,919 *pas* dans un pouce; un autre est un rayon vert, et fait 48,289 pas par pouce; un autre est violet et en fait 64,631. Ce ne sont point là des points de théorie, mais bien des faits résultant d'expériences

concluantes. Quelle peut être l'action qui se produit ainsi à des intervalles réguliers dans la marche de la lumière? C'est ce que nous ignorons; mais ce que nous savons par la démonstration, c'est qu'une action d'une nature quelconque se répète à intervalles égaux 64,651 fois pendant le passage de ce rayon à travers un espace d'un pouce; mais nous savons aussi que cette action peut passer à travers un espace de 62,000 lieues dans une seconde (LXII). D'où l'on peut facilement calculer (et nous devons le croire, quoique nous le comprenions peu) que l'action en question se répète régulièrement 786 trillions de fois dans une seconde; que dans le rayon vert, une action semblable se produit 587 trillions de fois par seconde, et dans le rayon rouge, 449 trillions de fois; et que c'est en établissant une distinction entre ces différents degrés de vibration (car toute action régulièrement répétée peut se nommer vibration) que le nerf optique distingue les couleurs.

La vitesse de tous les rayons étant égale dans le vide<sup>1</sup>, il s'ensuit que la lumière blanche peut être comparée à une foule d'hommes et d'enfants tous courant avec la même vitesse, mais avec des pas de différentes longueurs, la *brièveté* des pas de la lumière violette étant compensée par leur *multiplicité*.

<sup>1</sup> Comme le son de toute qualité, de même la lumière de toute couleur voyage avec la même rapidité, du moins dans l'air. Autrement, l'*aberration* (LXII) étant différente pour chaque couleur, chaque étoile paraîtrait allongée en spectre dans la direction de son aberration. Cette égalité ne se borne pas à notre atmosphère, mais elle s'étend à tout le système solaire; autrement les satellites de Jupiter changeraient en bleu ou en rouge tout juste avant leurs éclipses et prendraient les couleurs opposées à leur réapparition.

Mais lorsqu'un rayon entre dans un milieu, le nombre de ses pas par pouce s'accroît dans le rapport de 1 à l'indice de réfraction de ce milieu pour ce rayon particulier. Ainsi, comme le *temps* mis à faire un pas doit rester invariable, tandis que la longueur du pas est diminuée, il s'ensuit que la marche du rayon doit être plus *lente* dans le milieu que dans le vide. En outre, les milieux qui réfractent les différents rayons inégalement doivent les *retarder* inégalement, de sorte que dans les solides et les liquides leur vitesse n'est pas tout à fait égale ; mais le rayon rouge voyage un peu plus vite, et le violet un peu plus doucement ; cette différence est plus grande dans les milieux qui *dispersent* le plus.

LXXXIII. — Il est prouvé, mathématiquement, que tous les effets de réfraction sont de simples conséquences de ce *retard* qui est une loi d'un ordre plus général, et de nombreux phénomènes qui n'offrent pas de réfraction sont tous conformes à cette loi. Tous les phénomènes des couleurs irisées ou *périodiques* ont été d'abord généralisés par le docteur Young, qui a prouvé par une expérience directe ce fait très-singulier, que lorsque deux rayons de lumière de la même réfrangibilité (ou longueur de pas) marchent ensemble ou tombent sur le même point du nerf optique, ils ne doublent pas réciproquement leur effet, à moins que leurs pas ne correspondent ; mais si (tandis qu'ils parcourent l'espace) leurs pas se confondent comme ceux de recrues mal exercées, s'ils sont d'une intensité égale, ils se *neutralisent* l'un l'autre, et une double lumière produit les ténèbres, tout comme un double son produit le silence

dans les phénomènes d'acoustique. Quelque contraire que cette assertion puisse paraître à l'expérience ordinaire, on reconnaît qu'elle est rigoureusement vraie en ce qui touche les *rayons simples*, qui ont une direction et une réfrangibilité déterminée, quoiqu'on les perde de vue dans le mélange hétérogène de toutes sortes de rayons et de faisceaux de rayons que nous rencontrons à chaque pas. La preuve directe de cette *interférence* de la lumière exige donc beaucoup de soin et d'exactitude ; mais elle se vérifie sans cesse par la manière parfaite dont elle explique tous les phénomènes de l'iris.

Comme nous avons deux fois fait allusion aux couleurs des plaques minces, nous choisirons en-

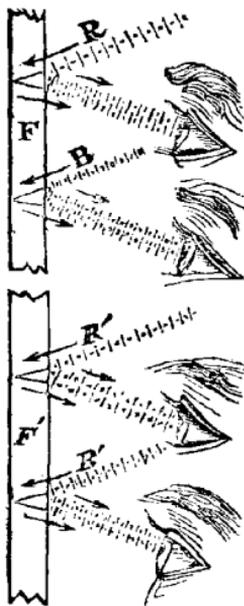


Fig. 52.

core cet exemple pour démontrer une des applications les plus simples du principe d'interférence. F (fig. 52) représente une particule de ce genre sur laquelle la lumière commune tombe dans la direction des lignes RB. Supposons que R soit un rayon de lumière *rouge*, et B un rayon de lumière *bleue*, les périodes ou pas du dernier étant plus courts que ceux du premier. Une portion de chaque rayon est réfléchi sans pénétrer la particule, le reste y entre, est réfléchi par la surface postérieure et sort de nouveau, et quoique réfractée deux fois par la

surface antérieure, la seconde partie du rayon sortira évidemment parallèle à la première; mais comme elle a perdu quelques pas en traversant deux fois la plaque, ses pas peuvent correspondre ou ne pas correspondre avec ceux de la première portion. Dans le cas du rayon R, ils ne correspondent pas, tandis qu'ils correspondent dans B, simplement parce que le dernier rayon a mis un nombre exact de pas pour traverser deux fois la particule, tandis que R y a mis un nombre impair de demi-pas. Ainsi, l'on voit qu'une particule de cette épaisseur paraîtra bleue, parce que tous les rayons rouges qui y sont réfléchis se détruisent les uns les autres, tandis que tous les rayons bleus se renforcent les uns les autres, du moins lorsqu'ils tombent sous un certain angle (et la couleur de ces particules varie avec l'angle de la vue aussi bien qu'avec leur épaisseur); mais par un très-léger changement d'épaisseur, comme en F', le contraire peut avoir lieu, le rayon rouge R' faisant un nombre pair et le rayon bleu B' un nombre impair de demi-pas en traversant deux fois la particule, de sorte que les premiers se *renforceront* et les derniers se détruiront les uns les autres et la couleur apparente de la plaque contiendra plus de rouge que de bleu.

LXXXIV. — Les phénomènes de l'interférence indiquent clairement que les actions qui constituent la lumière, périodiquement répétées, sont *alternativement* opposées l'une à l'autre, autrement elles ne pourraient effectuer leur mutuelle destruction. De là les intervalles d'espace auxquels ils se produisent sont nommés *vagues* de lumière, dans le même sens que l'on attache aux mots vagues du son (xv, xliv). Ce

qui n'implique nullement que l'action doive *ressembler* à celle du son, pas plus que celle-ci ne ressemble à l'ondulation de l'eau ou d'un champ de blé ou d'un tapis que l'on secoue, lesquelles constituent toutes des actions différentes, bien que toutes forment également des *vagues*. Ce nom s'applique généralement à tout mouvement alterne ou vibration propagée d'un point à un autre <sup>1</sup>.

Comme une *note de musique* peut être produite par la réflexion d'un *bruit* non isochrone sur un grand nombre de surfaces parallèles équidistantes (XLV), de même la couleur peut être produite par la réflexion d'une lumière *incolore* sur une série de surfaces analogues. Un treillis extrêmement fin ou une série de rainures parallèles ou autres lignes assez serrées pour ne pas renfermer un grand nombre de vagues de lumière produit des couleurs irisées. La naere de perle doit son aspect à cette cause; elle est composée de lames distinctes, et en la polissant on coupe ces lames obliquement, de telle sorte que leurs bords se présentent comme ceux des feuilles d'un livre ouvert et forment des lignes régulières qui s'élèvent à plusieurs milliers par pouce. On se convaincra facilement que ces couleurs dépendent de cette configuration de surface en en prenant l'empreinte en cire; celle-ci offrira les mêmes couleurs que l'original.

LXXXV. — Les limites de cet ouvrage ne nous permettent qu'un très-court aperçu sur la dernière propriété générale de la lumière, désignée sous le nom

<sup>1</sup> Ces faits sont tout à fait inintelligibles lorsque l'on suppose la lumière matérielle; car deux molécules de matière ne peuvent se détruire comme le font deux forces ou deux rayons lumineux.

de *polarisation*. Si un grêlon rond tombe sur le toit en pente d'une maison, il rebondira de la même manière, que la pente soit dans la direction du nord, du sud, de l'est ou de l'ouest; mais ce ne sera pas le cas pour une flèche dans les mêmes circonstances, parce que celle-ci a des *côtés* ou des *pôles* distincts, et son action variera suivant que le plan de ses plumes est parallèle à la corniche ou aux chevrons de la toiture ou incliné vers l'un ou vers l'autre. Une balle partant d'un fusil a aussi des *pôles*, parce qu'elle tourne sur un axe qui peut être vertical, horizontal ou incliné; mais si elle part d'une carabine, elle n'en aura pas, parce que, quoique tournant sur un axe, cet axe, par une disposition particulière, coïncide avec sa ligne de mouvement. Maintenant, si ces projectiles étaient trop petits ou trop rapides pour que nous pussions découvrir la raison de ces différences, nous pourrions encore observer ces différences elles-mêmes, et nous les exprimerions en disant que le mouvement de la flèche ou de la balle de fusil était *polarisé*, ce qui n'avait pas lieu pour le grêlon ou la balle de carabine. Le mot *polarisation* désigne donc un corps doué de pôles différents.

L'existence de cette propriété dans la lumière n'est peut-être pas un fait aussi merveilleux que la faculté qu'a eue l'homme de la découvrir. Une observation aussi délicate s'éloigne de l'observation ordinaire, et cependant on est parvenu à distinguer diverses variétés et à en étudier les lois. En effet, ce sont là les mystères les plus profonds de la physique, ce sont les secrets les plus cachés de la nature que l'homme est parvenu à lui arracher. Si les espaces *mesura-*

bles occupés par les *vagues* de lumière sont minimes, combien plus, suivant toute probabilité, doivent l'être ces espaces *non mesurables* qui servent de borne à ses vibrations, et qui, même dans le son, sont pour la plupart inappréciables, quoique les vagues occupent plusieurs pieds; et cependant c'est aux positions de ces vibrations inconcevablement petites que sont dues les différentes circonstances de polarisation<sup>1</sup>.

Ces différences ne sont pas sensibles à l'œil, mais

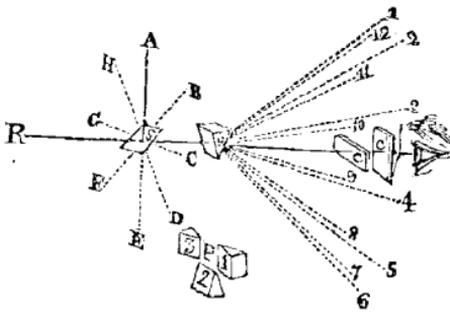


Fig. 33.

on y arrive par induction, comme dans l'exemple suivant. R (fig. 33) représente un rayon de lumière qui dans sa marche rencontre obliquement la surface S; une portion en sera trans-

mise et le reste réfléchi dans la direction SA. Maintenant, en faisant tourner S autour d'un axe coïncidant avec le rayon RS. nous pouvons évidemment le réfléchir en diverses directions successivement, telles que SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, toutes formant des angles égaux avec le rayon original RS; et si celui-ci est privé de polarité, il n'y a pas de raison pour qu'il se conduise différemment lorsqu'il est réfléchi dans ces directions différentes, et un rayon direct d'une source lumineuse ne le sera pas non

<sup>1</sup> Les différences d'intensité dépendent de leur étendue; les différences de couleur, de leur multiplicité; les différences de polarisation, de leur forme et de leur direction.

plus. Dans chaque cas, la lumière réfléchie offrira la même proportion avec la lumière transmise; de sorte que tous les rayons SA, SB, etc., auront une égale intensité. Mais si nous trouvons qu'ils sont *inégaux*, le rayon transmis étant plus *brillant* et le rayon réfléchi plus *faible*, lorsque ce dernier est tourné dans les directions SB et SF, par exemple, que dans les directions SD ou SH, nous avons une preuve distincte que cette lumière a des *pôles* ou est *polarisée*.

LXXXVI. — Supposons que nous fassions dévier le rayon par réfraction, à travers un prisme P. Faisons tourner ce prisme de manière à lui faire prendre successivement les positions P 1, 2, 3, indiquées dans la partie inférieure de la fig. 33. Nous pouvons facilement diriger le rayon en haut, en bas ou de côté dans toutes les directions *p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, p12*, la réfraction dans chaque cas restant la même. Maintenant, si le rayon se comporte différemment dans ces différentes circonstances; si, par exemple, il est doublement réfracté, ou séparé en *deux* rayons d'*égale* intensité, lorsqu'on le tourne en haut ou en bas, et en deux autres d'*inégaie* intensité lorsqu'il est tourné à droite ou à gauche; sa polarisation est ainsi manifeste.

LXXXVII. — Si l'œil reçoit ce rayon à travers une feuille de quelque substance transparente *c*, et si une plus grande quantité de lumière pénètre cette plaque lorsqu'elle est tenue droite comme en *c'* que lorsqu'elle est tenue obliquement comme en *c*, quoique dans les deux cas perpendiculaire au rayon, ce fait nous découvre clairement non-seulement la polarisation de la lumière, mais aussi celle de la substance *c*

qui doit évidemment posséder une certaine polarisation, une différence de propriétés dans des directions différentes.

Cette action de la lumière ne se produit que dans des corps *crystallisés*, c'est-à-dire dans des corps qui, par suite de l'action réciproque de leurs molécules, affectent une forme géométrique déterminée. La polarisation ne s'y manifeste que dans certaines directions, de même que la rupture n'est pas également facile dans tous les sens, de même que la dilatation provenant de la chaleur varie suivant la direction que l'on considère, etc., etc.

Les lois relatives à la polarisation de la lumière forment une science distincte, vaste et d'un haut intérêt. Cette propriété, découverte par Newton, n'a été soumise à des expériences que vers le commencement de ce siècle; mais dans un court espace de temps on est parvenu à faire des observations multipliées, et pas à pas on a pu en déduire des règles générales. Enfin un mathématicien français, Fresnel, rassemblant les données diverses qui lui étaient fournies par ses prédécesseurs, détermina les lois de ces phénomènes remarquables, montra qu'elles avaient pour base les règles de la mécanique, et en fit une magnifique théorie. Non-seulement ce savant expliqua les phénomènes déjà connus, mais il en indiqua beaucoup d'autres comme découlant de sa théorie, et jusqu'à présent ces résultats ont constamment subi avec bonheur l'épreuve de l'expérience.

LXXXVIII. — La loi peut-être la plus importante relativement à la polarisation consiste en ce que la lumière provenant directement d'une source pre-

mière, comme le soleil ou une bougie, n'a *jamais* cette propriété, tandis que la lumière réfléchie la possède *toujours* avec plus ou moins d'intensité. Il est remarquable qu'un rayon une fois polarisé conserve cette propriété dans toute l'étendue de sa course, quelque grande qu'elle soit. Cela est sans exception, que l'on compte la distance par pouces, par lieues, ou, si l'on veut, par millions de lieues. Ainsi, nous pouvons, sans autre appareil qu'un fragment de cristal, examiner les effets de polarisation qui se produisent sur la surface de Saturne aussi exactement que sur une feuille placée devant nous. Nous pouvons affirmer, en considérant une étoile reléguée dans les parties les plus éloignées de l'univers visible, si sa lumière nous parvient directement ou par réflexion. De cette manière Arago a prouvé que dans beaucoup de systèmes binaires les deux étoiles sont deux soleils, tandis que dans d'autres la plus petite est seulement une vaste planète réfléchissant la lumière de la plus grande étoile. Cette observation si belle nous entraîne à faire remarquer la disproportion très-grande qui existe quelquefois entre les moyens d'observation et les faits observés. On est d'ailleurs frappé de l'action universelle de la lumière qui se répand également dans les espaces célestes les plus reculés et dans les atomes des corps.

LXXXIX. — Les effets de la polarisation nous portent naturellement à considérer l'influence qu'exerce à cet égard la constitution intime de la matière. Il y a un principe général auquel semblent nous conduire toutes les expériences de physique. Nous avons exposé (LXXXVII) quelques-uns des modes sous les-

quels la polarisation se manifeste dans les cristaux. Les cristaux paraissent différer des autres corps en ce que leurs molécules sont disposées de manière à présenter une polarité semblable dans la même direction. Les recherches des lois concernant leurs formes, le clivage, la réfraction de la lumière, la polarisation et l'inégale dilatation par la chaleur dans des sens différents, présentent un champ très-vaste et ont beaucoup occupé les plus grands philosophes, tels que Huyghens et Newton.

XC. - - La polarisation semble liée de la manière la plus intime avec les phénomènes du *magnétisme* qui, par certains procédés, peuvent se développer dans le fer et dans l'acier sans altérer leurs autres propriétés.

La propriété de l'aimant la plus généralement connue, celle d'attirer le fer ordinaire, n'est pas répandue sur toute la surface, mais elle est plus intense aux deux extrémités et nulle au milieu. D'un autre côté, il y a une opposition entre les deux extrémités, de telle sorte que, bien qu'elles attirent toutes deux le fer, si on les présente à une aiguille aimantée, il y aura attraction ou répulsion suivant les extrémités qui seront mises en présence. Prenons deux aimants et marquons d'un trait les extrémités qui ont la même action sur l'aiguille, il y aura attraction entre une extrémité marquée et une extrémité non marquée. Il y aura répulsion entre les extrémités semblables.

XCI. — Cette loi est la plus importante du magnétisme, et c'est de là que dépendent tous les effets du magnétisme terrestre, ou la tendance de l'aiguille aimantée vers un point particulier de la terre, ten-

dance qui nous offre des applications si utiles. La terre se trouve agir comme un aimant considérable présentant deux *pôles* opposés ou centres d'attraction qui ne sont pas éloignés des pôles de rotation. Celui du nord se trouve voisin de la baie d'Hudson à un point que les voyageurs ont atteint, et celui du sud dans la Victoria, découverte récemment. Ces pôles magnétiques ne se confondant point avec les pôles de

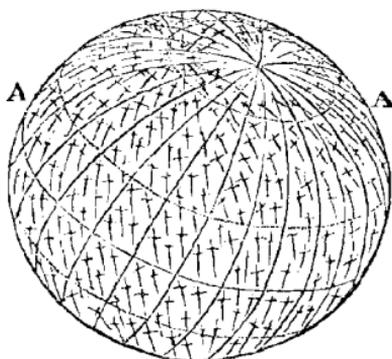


Fig. 34.

rotation, l'aiguille ne se dirige pas en général vers les pôles véritables, comme on le voit dans la fig. 34, qui représente l'aiguille en différents points du globe. Ainsi donc, la direction de l'aiguille diffère ordinairement du méridien, si ce n'est en quelques points,

comme en AA. Cette variation ou *déclinaison*, qui se présente ainsi avec une intensité variable, est à Londres, à l'époque actuelle, de 23° à l'ouest pour le nord (ou à l'est pour le sud). On conçoit qu'il importe pour la navigation de la déterminer exactement pour tous les points du globe. Vu la distribution irrégulière de la force magnétique dans la terre, on ne peut calculer la direction de l'aiguille d'après la position du lieu. Ainsi la ligne suivant laquelle il n'y a pas de déclinaison n'est pas, comme on pourrait le supposer, un cercle passant par le pôle vrai et par le pôle magnétique, mais une ligne irrégulière dont

la moitié à l'est passe par la Sibérie, la Chine et l'Australie, et l'autre partie à l'ouest traverse le Brésil, touche les îles de la Jamaïque et de Cuba et parvient par les États-Unis à la baie d'Hudson. La déclinaison sera d'autant plus forte que l'aiguille sera plus éloignée de cette ligne.

XCII. — Il est à observer que la position des pôles magnétiques n'est pas constante et qu'elle varie lentement. Ainsi la direction de l'aiguille varie graduellement, et la ligne sans déclinaison, ainsi que les pôles magnétiques, opèrent une révolution lente de l'est à l'ouest. En 1659, cette ligne traversait l'Angleterre et elle se trouve maintenant à 90° environ de longitude ou aussi éloignée que possible de l'Angleterre. Ainsi, la déclinaison qui, avant 1658, était orientale par rapport à la Grande-Bretagne, a toujours été occidentale depuis et a augmenté jusqu'en 1816. A partir de cette dernière époque, elle a constamment diminué, de telle sorte que nous nous trouvons plus rapprochés de la partie de la ligne qui traverse la Sibérie que de celle qui passe par l'Amérique.

XCIII. — L'aiguille fait ainsi des mouvements de peu d'étendue par jour, par mois et par an, pour lesquels on a dressé des observatoires où ces variations sont constamment notées. On a remarqué des variations brusques que l'on a appelées *orages magnétiques* et qui se correspondent en même temps dans toute l'étendue du globe.

XCIV. — Un autre effet du magnétisme terrestre consiste dans l'*inclinaison* de l'aiguille ou la tendance qu'elle a à s'abaisser à une de ses extrémités, quoique avant d'être aimantée elle fût en équilibre.

Chez nous l'extrémité nord s'incline d'environ  $68^\circ$  au dessous de l'horizontale. Cela tient à ce que l'attraction du pôle nord l'emporte sur celle du pôle sud, qui est plus éloigné. D'où l'on peut facilement conclure qu'une aiguille tournant librement sur un axe horizontal dans la direction de l'est et de l'ouest, se tiendrait debout lorsqu'elle serait portée à l'un des pôles magnétiques de la terre. L'extrémité dirigée vers le haut à l'un des pôles serait en bas à l'autre. Plus nous nous éloignons de l'un et de l'autre pôle, moins l'aiguille plonge, comme on voit fig. 35, où les

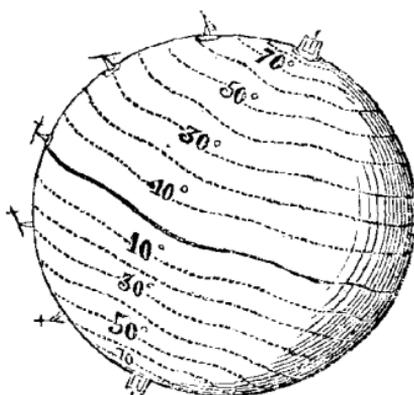


Fig. 35.

lignes pointées représentent les lignes de profondeur égale ou parallèles de latitude magnétique. L'équateur magnétique ou ligne sans profondeur, où l'aiguille balancée entre les actions des deux pôles repose horizontalement, ne coïncide

pas avec le véritable équateur, mais ne dévie nulle part de plus de  $12^\circ$  de celui-ci.

XCV. — L'intensité de la force magnétique est plus grande aux pôles et diminue vers l'équateur. La profondeur et l'intensité sont, comme la direction, sujettes à des variations journalières, mensuelles et annuelles, et à des orages soudains.

XCVI. — Le magnétisme n'est pas particulier au fer et à l'acier, quoique son action soit incomparable-

ment plus forte dans ces corps que dans d'autres. Il a été prouvé par Coulomb, et en dernier lieu confirmé par Faraday, qu'aucune substance dans la nature n'est tout à fait indifférente à l'influence d'un aimant très-puissant ; mais avec cette distinction que très-peu de corps, à l'exception du fer, offrent la *polarité* magnétique, c'est-à-dire à la fois l'attraction et la répulsion. La grande masse des substances obéit à l'*attraction seulement*, comme le fer non magnétisé, ou, ce qui est plus commun, à la *répulsion seulement* ; ils sont alors également repoussés ou attirés par les deux pôles de l'aimant. Les premiers ont été rangés par Faraday dans la classe des corps *magnétiques*, les autres dans celle des *diamagnétiques*. Ce grand physicien a aussi découvert que *l'action d'un aimant modifie la polarité de la lumière*.

XCVII. — Intimement unie au magnétisme, quoique par des liens inconnus, l'électricité jouit également de cette propriété d'avoir des pôles différents. Frottons vivement un long tube de verre avec un mouchoir de soie bien sec, et un léger petillement ne tardera pas à se produire. Dans l'obscurité, le tube paraîtra faiblement lumineux, et si on le touche du doigt on verra jaillir une petite étincelle avec un léger bruit. Cette apparence lumineuse est l'électricité, l'étincelle se nomme l'étincelle électrique, et l'on dit du tube qu'il est *électrisé*. Si l'on présente le tube électrisé à une couple de plumes légères suspendues aux extrémités d'un long fil de soie, elles seront attirées par le tube et viendront s'y attacher. Que l'on retire doucement le tube, elles ne seront plus attirées de la même manière qu'auparavant ; elles se *repous-*

*seront* l'une l'autre, et si on présente de nouveau le tube électrisé, elles seront repoussées avec plus de force encore; mais qu'on les laisse tranquilles quelque temps, et l'air leur enlèvera graduellement leur électricité; elles seront alors attirées comme en premier lieu.

Dans cette expérience, lorsque les plumes sont adhérentes au verre, elles lui enlèvent une partie de son électricité; par cette action elles deviennent similairement électrisées et se repoussent l'une l'autre. Le tube de verre, étant chargé de la même électricité que les plumes, les repousse également. Par là nous apprenons que *les corps similairement électrisés se repoussent l'un l'autre.*

XCVIII. — Si, au lieu de frotter un tube de verre avec de la soie, nous frottons un bâton de résine avec un morceau de flanelle sèche et chaude, nous obtiendrons des effets semblables; et il ne paraît pas par ces résultats qu'il y ait aucune différence entre l'électricité du verre et celle de la résine. Mais si, tandis que les plumes sont repoussées par le verre, nous les approchons du bâton de résine électrisé, elles ne sont plus repoussées, mais attirées. Ou si, tandis que les plumes sont repoussées par la résine, nous les approchons du tube de verre, celui-ci les attirera. Ce qui nous indique que l'électricité du verre doit avoir une propriété différente de celle de la résine, puisque l'une attire ce que l'autre repousse. Ces polarités contraires ont reçu les noms d'électricité *vitreuse* et *résineuse*, ou électricité *positive* et *negative*, l'une étant produite par le verre et les corps vitreux et l'autre par les corps résineux. Nous voyons aussi que *les corps*

*chargés d'électricité contraire s'attirent l'un l'autre.*

XCIX.—Examinons maintenant les substances employées pour électriser le verre et la résine. Lorsque les plumes sont repoussées par le verre, approchons d'elles le mouchoir de soie employé pour électriser le tube, les plumes seront attirées par la soie. Retirez la soie et présentez le tube de verre, et elles seront repoussées. Si, lorsque le tube vient d'être électrisé par la soie, nous présentons d'abord la soie aux plumes, elles seront d'abord attirées et ensuite repoussées. Si, dans cet état, nous les approchons du tube de verre, elles seront attirées par lui. Des résultats semblables peuvent être obtenus avec la résine et la flanelle. Nous voyons alors qu'en frottant le verre avec la soie ou la résine avec la flanelle, les deux espèces d'électricité sont développées; et il est démontré qu'une espèce de *polarité électrique ne peut être produite sans la production simultanée de l'autre espèce, soit dans une autre partie du même corps, soit dans un corps différent* <sup>1</sup>.

C. — Il est probable que le frottement pourrait produire des effets semblables sur tous les corps

<sup>1</sup> C'est par là que l'électricité ressemble au magnétisme et qu'elle en diffère également; elle lui ressemble parce qu'une espèce de polarité ne peut être produite sans que l'autre se produise en même temps; elle en diffère parce que les polarités magnétiques sont tellement inséparables que toutes deux doivent exister dans le même corps; à tel point que si nous brisons le bout d'un aimant, le morceau ne sera pas un simple fragment, mais un aimant parfait ayant deux pôles. Aucun corps magnétique, quelque petit qu'il soit, ne possède une polarité sans une égale intensité de l'autre; tandis que les polarités électriques peuvent être accumulées séparément en différents corps comme dans le verre et la soie ou la résine et la flanelle.

solides ; mais dans plusieurs substances l'électricité disparaît aussi vite qu'elle est formée. On ne pourrait pas, par exemple, électriser une barre de métal comme un tube de verre en la tenant entre les mains et en la frottant. Mais si la barre est munie d'un manche de verre, elle pourra conserver son électricité. Il s'ensuit que les corps sont rangés en deux classes, les conducteurs et les non-conducteurs. Les métaux sont les meilleurs conducteurs, parce qu'ils propagent l'électricité avec la plus grande facilité. Le tube de verre et le fil de soie sont nommés *mauvais conducteurs*, parce qu'ils communiquent péniblement l'électricité. Les corps électrisés se nomment *corps électriques*, et en général les meilleurs corps électriques sont les plus mauvais conducteurs, et *vice versa*.

CI. — L'électricité serait restée pour toujours inconnue, si ce n'était que l'air sec est un mauvais conducteur ; car la polarité électrique, de l'une et de l'autre espèce, a, comme la chaleur, une tendance constante à se répandre, et cela non pas lentement, mais *instantanément*, à moins qu'elle ne soit complètement entourée de corps isolants. En outre, les deux polarités sont capables, par leur union, de se neutraliser complètement l'une l'autre ; de sorte qu'une communication ouverte entre deux corps chargés d'électricité contraire les ramène tous deux à leur état d'électricité naturelle, tandis que, séparés par un corps tel que l'air, ils manifestent une tendance constante à se rapprocher, non-seulement par leur attraction mutuelle, mais parce que la polarité de chacun d'eux est concentrée avec intensité du côté

voisin de l'autre. Lorsqu'ils s'approchent à une certaine distance nommée *distance de percussion*, qui est plus ou moins grande selon leur intensité, l'isolair placé entre eux est à l'instant brisé ou violemment écarté avec une émission de chaleur, de lumière et de bruit qu'on appelle *décharge* ou *étincelle électrique*, et dans la nature *éclair* ou *tonnerre*. Si les deux corps sont bons conducteurs, cette décharge les rend à leur état naturel, ou, en d'autres termes, rétablit l'équilibre électrique.

CII. — Lorsque deux surfaces conductrices sont séparées par un corps isolant, l'accumulation de la polarité positive ou négative dans une surface développera la polarité contraire dans l'autre et à un degré d'autant plus fort que les surfaces sont plus rapprochées; cette action ne se produit qu'à travers des corps *non conducteurs*; et au lieu de tendre à rétablir l'équilibre, elle a précisément l'effet contraire; elle augmente la perturbation ou agrandit la différence entre les deux polarités en les rendant toutes deux plus intenses.

CIII. — L'instrument le plus usité pour accumuler l'électricité se nomme *bouteille de Leyde*. C'est une bouteille de verre revêtue à l'intérieur et à l'extérieur d'une feuille d'étain, à l'exception d'une partie du haut de la bouteille. Le goulot doit communiquer avec l'intérieur au moyen d'un conducteur métallique dont l'extrémité supérieure est munie d'une boule et dont l'extrémité inférieure se trouve en contact avec l'enduit métallique de la bouteille. Dans cet arrangement nous avons deux surfaces métalliques conductrices séparées l'une de l'autre par le verre non conducteur.

Il est évident que nous pouvons mettre en communication les deux enveloppes en plaçant un fil métallique en contact avec l'enveloppe extérieure et avec la boule du sommet de la bouteille : en présentant la boule à la machine électrique, des étincelles d'électricité vitreuse ou positive passeront dans la bouteille qui deviendra vitreuse ou positive, et par leur action à travers le verre elles rendront l'enveloppe extérieure résineuse ou négative. L'attraction mutuelle des deux polarités les retient dans les enveloppes extérieure et intérieure, ou plutôt sur les deux surfaces du verre qui les sépare, et la bouteille est alors ce qu'on nomme *chargée*. Si nous établissons une communication métallique entre elles, les deux électricités se neutraliseront à l'instant (ci). Une étincelle brillante de lumière passera entre la boule de la bouteille et le métal employé pour établir la communication. C'est la durée de cette étincelle et la rapidité de son passage que nous devons maintenant examiner; mais, afin d'arriver à une idée distincte du principe sur lequel se base cette merveilleuse évaluation, nous allons d'abord en étudier l'objet à l'aide d'une expérience familière.

CIV. — Chacun sait que lorsqu'on tourne rapidement une baguette allumée, l'effet produit sur l'œil est celui d'un cercle de feu continu. Supposons que le bout de la baguette décrive un cercle complet en  $\frac{1}{12}$  de seconde et que nous tenions l'œil fixé vers un point du cercle. Lorsque la baguette allumée arrivera en ce point, les rayons de lumière qui en proviennent formeront une image dans l'œil de l'observateur sur une certaine partie de la rétine. On

pourrait supposer qu'aussitôt que la baguette aura passé ce point, cette image sur la rétine disparaîtra et qu'une autre sera produite sur un point voisin correspondant à la nouvelle position de la baguette. Mais quoique la nouvelle image apparaisse, l'image précédente ne disparaît pas immédiatement, car la baguette a le temps de faire un tour entier et de retourner à sa première position pour reproduire l'image avant que la première sensation soit effacée. Il est donc évident qu'une impression lumineuse faite sur la rétine a une certaine persistance, et nous pouvons conclure de l'expérience ci-dessus qu'elle continue au moins pendant  $\frac{1}{10}$  de seconde après que la cause qui l'a produite a cessé. Si donc, un point lumineux se mouvant autour de la circonférence d'un cercle dans  $\frac{1}{10}$  de seconde produit sur l'œil l'effet d'un *cercle* parfait, il est évident qu'une ligne de lumière tournant autour d'une de ses extrémités comme autour d'un pivot, dix fois par seconde, apparaîtra comme un disque lumineux complet. Mais supposons qu'au lieu d'une ligne de lumière il y ait 10, 100 ou 200 rayons lumineux équidistants, il est évident que la vitesse de rotation pourra être de 10, 100 ou 200 fois moindre que dans le cas d'un seul rayon lumineux, ou, si une petite roue est formée de 100 rayons équidistants et éclairés par la lumière d'une lampe, cette roue n'a besoin que d'accomplir une révolution en dix secondes pour apparaître comme un disque lumineux complet.

Mais prenons une plus grande vitesse et supposons que les 100 rayons font une révolution complète dans un dixième de seconde, chaque rayon parcourra alors

l'espace qui sépare deux rayons en  $\frac{1}{100}$  de  $\frac{1}{10}$  de seconde; c'est-à-dire que chaque rayon passe à la place de son voisin qui le suit tous les  $\frac{1}{1000}$  de seconde. Ceci bien compris, supposons que la lumière qui éclaire la roue ne brille pas continuellement, mais qu'elle projette des lueurs à des intervalles de moins d'un millième de seconde. La roue ne peut alors apparaître comme un disque lumineux complet, parce que ses rayons n'ont pas le temps de se remplacer les uns les autres pendant leur illumination, de sorte que s'il existe 100 espaces obscurs, leur rapport avec toute l'étendue de la roue nous apprendra de combien la durée de la lueur est inférieure à  $\frac{1}{1000}$  de seconde. Si nous supposons que la lumière continue seulement pendant une très-petite fraction de  $\frac{1}{1000}$  de seconde, la durée du mouvement des rayons ne sera plus appréciable, et la roue apparaîtra exactement comme si elle était au repos, quoique l'impression sur la rétine ait la durée d'un  $\frac{1}{10}$  de seconde. C'est ce qui a lieu lorsque la roue tournante est illuminée par un éclair ou par la décharge d'une bouteille de Leyde; et quoique nous puissions augmenter le nombre des rayons de la roue ou la rapidité de sa rotation, la lumière est venue et partie avant que la roue ait eu le temps de tourner dans un espace sensible. Un disque tournant sur lequel est peint un objet quelconque paraît parfaitement stationnaire lorsqu'il est illuminé par l'explosion de la bouteille de Leyde. Des insectes qui volent semblent, par le même procédé, fixés dans l'air, et des ressorts en vibration paraissent en repos.

CV. — Le professeur Wheatstone, à qui ces belles

expériences sont dues, voyant qu'il ne pouvait par ce moyen obtenir une vitesse suffisante pour mesurer la durée d'un éclair, a inventé un miroir tournant,

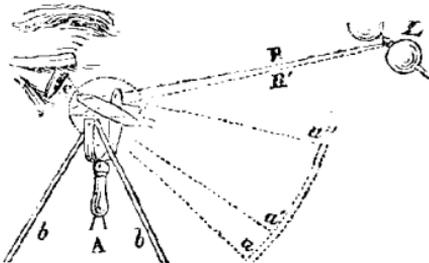


Fig. 36.

fig. 36, où A est un appui supportant un miroir plat tournant sur un axe horizontal, semblable à un petit miroir de toilette mobile et qui tourne rapi-

dement au moyen de la courroie sans fin  $bb$  enroulée autour d'une grande roue placée au-dessous. En regardant dans ce miroir tournant, nous recevons les rayons qu'il réfléchit d'une lumière fixe, comme une chandelle  $L$ , pendant une partie de sa révolution seulement, plus ou moins grande, suivant que l'œil est plus près ou plus loin du miroir. Supposons maintenant que, lorsque le miroir a la position indiquée dans la figure, nous voyons la lumière dans la direction  $e a$ ; lorsque le miroir a atteint la position indiquée par l'ovale pointé, nous verrons la même lumière dans la direction  $e a'$ , l'angle  $a e a'$  faisant deux fois celui dans lequel se meut le miroir. A mesure que le miroir tournera, nous verrons la lumière décrire en apparence l'arc  $a a' a''$ , dont la longueur apparente (ou l'angle  $a e a''$ ) dépend de la distance plus ou moins rapprochée où nous sommes du miroir. Supposons que nous soyons assez près pour que cet arc ait une longueur de  $40^\circ$ ; dans ce cas nous verrons la lumière pendant le mouvement du miroir sur une étendue de  $20^\circ$  ou  $\frac{1}{3}$  de révolution; et il est clair que si ce

mouvement occupe moins de  $\frac{1}{10}$  de seconde, nous verrons la lumière dans chaque partie de cet arc en même temps comme une bande de feu; et si le miroir fait une révolution en moins de  $\frac{1}{10}$  de seconde, cette bande de feu sera aperçue continuellement, quoique son image ne frappe l'œil que durant  $\frac{1}{8}$  de chaque révolution. Maintenant, supposons que la lumière L soit une lueur électrique; si elle dure moins de temps qu'il n'en faut au miroir pour se mouvoir dans  $20^\circ$ , nous ne pouvons naturellement voir tout l'arc de  $40^\circ$  *à à''*, car la lumière ne dure pas assez longtemps pour être vue successivement à chaque partie de cet arc. Moins elle dure donc, moins son image sera répandue sur la surface de l'arc, et en observant son allongement angulaire, nous pouvons d'un seul trait calculer sa durée, pourvu que nous sachions le degré de vitesse de la rotation du miroir. Ce point a été constaté par le professeur Wheatstone par les *notes d'une sirène*. Il a reconnu que lorsque le miroir tournait cinquante fois en une seconde, une étincelle électrique apparaissait par la réflexion exactement comme dans la réalité, ou n'était pas allongée d'une manière perceptible. Or, un allongement d'un demi-degré serait parfaitement perceptible (étant égal au diamètre apparent de la lune, ou à un pouce vu à dix pieds de distance), et indiquerait une durée égale au temps que met le miroir pour parcourir  $15'$ ; mais il a parcouru  $360^\circ$  en  $\frac{1}{50}$  de seconde, c'est-à-dire  $15'$  en  $\frac{1}{720000}$  de seconde, et la durée de l'étincelle a été *moindre* que cela.

Cependant, en augmentant la vitesse du miroir,

Wheatstone est quelquefois parvenu à faire paraître l'étincelle allongée à un point mesurable, et par la simple méthode de calcul ci-dessus exposée il a trouvé que, quoique sa durée varie considérablement sous diverses circonstances, elle *n'excède* cependant jamais *un millionième de seconde*.

CVI. — La découverte par le même moyen de la vitesse de la transmission de la force électrique à travers un fil de cuivre est encore plus surprenante. Le professeur Wheatstone a mis en communication les deux couches métalliques d'une bouteille de Leyde au moyen d'un fil d'un demi-mille de longueur et interrompu en trois endroits, savoir : près des deux extrémités et au centre. Il a disposé son appareil de manière que les étincelles fussent aperçues ensemble côte à côte. Naturellement, l'étincelle du centre devait se produire plus tard que les autres de tout le temps qu'il fallait à l'impulsion électrique pour parcourir  $\frac{1}{4}$  de mille dans le fil de cuivre. Examinées au miroir, ces étincelles parurent *également* allongées; jusqu'à ce qu'il eût fait tourner le miroir à la vitesse extrême de 800 *tours par seconde*, il ne put remarquer que l'étincelle centrale parût le moins du monde plus haut ou plus bas que les autres; sa base et son sommet paraissaient de niveau avec celles-ci comme si elle commençait et finissait au même instant qu'elles. Mais avec cette extrême vitesse il aperçut une légère différence beaucoup moindre que l'allongement des étincelles elles-mêmes, ce qui indiquait que leur durée était beaucoup plus longue que le passage le long du quart de mille de fil métallique, qui n'occupait pas plus d'un 2,304,000<sup>e</sup> de seconde.

C'est environ *trois fois* la vitesse de la lumière à travers l'espace planétaire.

CVII. — L'étude de l'électricité conduit nécessairement dans le domaine de la chimie, où nous ne voulons pas entrer. Il peut cependant être utile de se former une idée nette de la distinction qui existe entre la *physique* et la *chimie*. La distinction devient de jour en jour moins précise, car il n'est plus possible de diviser le livre de la nature en volumes, en sections et en chapitres, et de les donner à étudier à des personnes différentes. Le premier trouvera bientôt qu'il lui manque quelque chose qu'un autre a emporté, de sorte qu'ils seront obligés ou de travailler ensemble, ou bien d'avoir chacun leur exemplaire séparé et complet du livre et de se réunir de temps en temps pour expliquer et comparer les résultats de leurs travaux. Il est cependant certaines distinctions qui peuvent aider l'élève à comprendre l'objet que le philosophe de la nature a en vue en opposition avec le but du chimiste. Ces distinctions peuvent se résumer en trois points principaux :

*Premièrement*, il y a une *généralité* nécessaire dans les recherches physiques et une *spécialité* nécessaire dans celles de la chimie. Les propriétés physiques sont semblables dans différents corps ; les propriétés chimiques ne sont semblables que dans le même corps. Par exemple, les phénomènes de la pesanteur se produisent de la même manière dans tous les corps ; les corps sont tous affectés d'une manière analogue par la chaleur ; ils sont tous plus ou moins sonores, et tous obéissent aux lois de l'op-

tique, du magnétisme et de l'électricité. Les différences observées ne sont que des différences dans le degré. On dit que le verre est transparent, parce qu'il transmet la lumière avec facilité ; on dit que l'or est opaque, parce qu'il arrête le passage de la lumière ; mais le verre, s'il était assez épais, serait aussi opaque ; et en battant l'or en une feuille excessivement mince on le rend transparent, ou du moins translucide. Les corps ont été divisés en conducteurs et non conducteurs de l'électricité, en électriques et non électriques ; mais tous les corps conduisent l'électricité plus ou moins facilement et on peut par des opérations particulières faire que des corps appelés non électriques émettent de l'électricité.

Mais dans les différentes compositions et décompositions dont le chimiste a à s'occuper, les propriétés *spécifiques* se produisent à chaque instant, et elles varient non-seulement parmi les différentes substances élémentaires, mais aussi parmi les composés les plus analogues. Par exemple, l'air atmosphérique est composé essentiellement de deux gaz, l'oxygène et l'azote, qui sont *mécaniquement* mélangés dans la proportion de 4 volumes d'azote pour 1 d'oxygène, et avec cette constitution et dans cette proportion l'air atmosphérique est la base de la vie animale et végétale et de la combustion. Combinons ces gaz *chimiquement* (c'est-à-dire plus intimement que par un simple mélange), et en différentes proportions, et nous obtiendrons des corps totalement nouveaux. 14 parties de poids d'azote combinées avec 8 parties de poids d'oxygène produisent un gaz (l'oxyde nitreux) qui a une odeur faible et agréable ; il est absorbé par

l'eau froide dans la proportion d'environ les trois quarts de son volume; mêlé avec l'hydrogène et allumé, il fait explosion; les corps brûlent dans ce gaz avec une augmentation d'éclat, et lorsqu'il pénètre dans les poumons, il produit une sorte d'ivresse accompagnée de convulsions de rire. 14 parties d'azote avec 16 parties d'oxygène produisent un gaz, l'oxyde nitrique, qui a des propriétés chimiques toutes différentes. L'eau froide l'absorbe difficilement; mêlé avec l'hydrogène, il brûle avec une flamme verte; une bougie allumée ne brûlera pas dans ce gaz; si on le respirait on serait suffoqué, et lorsqu'on le répand dans l'air, il prend une couleur brun rougeâtre. 14 parties d'azote combinées avec 40 parties d'oxygène forment l'acide nitrique, poison corrosif et l'un des plus forts acides.

Il s'ensuit que la distinction entre l'union ou combinaison *mécanique* et l'union ou combinaison *chimique* consiste en ce que, dans la première, le composé a sous tous les rapports des propriétés intermédiaires entre celles de ses éléments; il est plus pesant que l'un et plus léger que l'autre (nous parlons de la pesanteur *spécifique*), plus transparent que l'un et plus opaque que l'autre, plus mou que l'un, etc., etc.; tandis qu'un composé *chimique* a des propriétés différentes; il peut être plus dur qu'eux, plus transparent, plus spécifiquement pesant, et souvent il n'a pas une seule propriété au degré qui aurait pu être calculé d'après les degrés de cette même propriété dans ses éléments, à l'exception de la *pesanteur absolue* (qui est invariable), et peut-être du *pouvoir réfracteur*. Toutes les fois, donc, qu'une

combinaison produit un changement de propriétés, le phénomène se rapporte à la chimie; toutes les fois qu'il n'y a pas de changement de ce genre, il est du domaine de la physique. C'est là la seule distinction.

Les différences physiques dans les corps sont toujours découvertes par les sens du *toucher*, de l'*ouïe* ou de la *vue*. La chimie ne connaît que des différences sensibles au *goût* ou à l'*odorat* ou par l'action des corps l'un sur l'autre. Une différence physique entre deux corps n'implique pas nécessairement une différence chimique, car la *glace* et l'*eau* ou le *charbon* et le *diamant*, quoique physiquement différents, sont chimiquement les mêmes; tandis que d'un autre côté le *strontium* et le *baryte*, l'*azote* et l'*oxyde carbonique* offrent des exemples de corps physiquement semblables mais chimiquement différents.

*Secondement*, l'ancienne distinction entre la philosophie naturelle et la chimie consistait en ce que les phénomènes étudiés par la première se rapportaient aux *masses* de la matière, et les phénomènes de la chimie aux *molécules*. Cette distinction est de peu de valeur, parce qu'un grand nombre de phénomènes physiques sont purement moléculaires, tels que la *cohésion*, l'*adhésion*, l'*élasticité* et les diverses sortes de *polarité*. En effet les phénomènes physiques observés dans les masses ne sont que les résultats sensibles des actions moléculaires qui, prises individuellement, seraient insensibles, eu égard aux moyens d'investigation placés à la disposition du philosophe de la nature. Mais une certaine masse ou volume de substance est également nécessaire pour la production des phénomènes chimiques; de sorte que la

distinction entre les masses et les molécules ne forme pas une distinction réelle entre la philosophie naturelle et la chimie. Il est souvent nécessaire, pour que les phénomènes chimiques se produisent, que les substances destinées à agir l'une sur l'autre soient considérablement divisées. Ainsi les métaux, tels que le fer, le cuivre et le plomb en masses, résistent à l'action de l'atmosphère. Ils sont légèrement ternis par des oxydes qui les protègent contre cette action ; mais à l'état de division, ils sont soumis à une action énergique et présentent souvent les phénomènes de la combustion par la simple exposition à l'air. Il est souvent nécessaire aussi, pour la production des phénomènes chimiques, que l'un des corps soit à l'état fluide. Les dissolutions dépendent en très-grande partie de cette condition, et ici encore un état de division nombreuse est important, uniquement parce qu'elle augmente la surface de contact entre le dissolvant et le corps qui doit être dissous, et offre ainsi un nombre immense de points où l'action peut s'exercer simultanément. Or chacun sait que, pour la production des phénomènes physiques proprement dits, il n'est jamais nécessaire qu'un corps soit broyé ou fondu.

La *troisième* et la plus importante distinction entre la philosophie naturelle et la chimie, c'est que dans les phénomènes physiques la constitution du corps ou le mode d'arrangement de ses particules peut être changé, quoiqu'en général le corps lui-même ne soit pas modifié. Cependant le mélange des particules avec le sucre peut être opéré sans altérer aucune propriété chimique, mais seulement la pro-

priété physique de la polarisation ; mais la nature ou la *composition* des molécules demeure inaltérable. Dans les phénomènes chimiques, au contraire, non-seulement il y a toujours un changement d'état à l'égard de l'un des corps soumis à examen, mais les actions réciproques de ces corps changent de nature, et c'est ce changement même qui constitue les phénomènes chimiques. Par exemple, un mélange de magnésie et d'eau ne produit presque aucun changement chimique ; leur combinaison est à peu près purement mécanique ; l'eau dissout moins d'une six-millième partie de cette terre, de sorte qu'en passant le mélange à travers un filtre, l'eau et la magnésie peuvent être séparées presque parfaitement. Mais si nous délayons de la magnésie dans l'acide sulfurique, une dissolution ou vraie combinaison chimique aura lieu. Vingt parties de magnésie se combinent avec 40 d'acide sulfurique et 63 d'eau pour former 123 parties de sulfate de magnésie, sel cristallin soluble dans son propre poids d'eau à 60° et d'un goût amer nauséabond. Nous obtenons, par le fait, un nouveau composé dont les propriétés chimiques sont tout à fait différentes de celles des parties qui le composent. L'acide est aigre et caustique à un degré intense, la terre est insipide et légèrement alcaline ; combinez les deux et vous obtenez le sel si connu sous le nom de sel d'Epsom.

Cet exemple nous conduit à une différence spécifique entre un phénomène mécanique ou physique et un phénomène chimique. Dans l'un nous avons la *moyenne* des propriétés des parties composantes ; dans l'autre nous trouvons des propriétés différentes.

Dans l'un nous reconnaissons encore les propriétés distinctives des deux corps réunis ; dans l'autre, nous avons à étudier les propriétés d'une troisième substance.

D'où il suit que si tous les phénomènes chimiques se trouvaient éventuellement dépendre d'agents physiques, il serait encore nécessairement vrai que dans un fait chimique il y aura toujours quelque chose de plus que dans un fait physique, à savoir un changement caractéristique dans la condition moléculaire du corps et par conséquent dans toutes ses propriétés. D'où il faut conclure que la *physique générale* est la science par laquelle nous étudions les propriétés des corps considérés d'une manière générale et constamment placés dans des circonstances susceptibles de conserver intacte la composition de leurs molécules, et même le plus souvent l'état de leur agrégation.

CVIII. — Si le lecteur qui nous a suivis dans cette rapide esquisse cherche en vain la morale de notre histoire, et demande « quel est l'usage de la philosophie naturelle ? » nous pourrions lui répondre en citant la réponse de Franklin à une question semblable, « quel est l'usage d'un enfant nouveau-né ? » Les germes de toute recherche scientifique contiennent des éléments de force et d'utilité pour l'avenir. Toutes nos connaissances se rapportent soit à la *spéculation*, soit à l'*action*, et par suite peuvent être divisées en *théoriques* et *pratiques*. Les premières constituent la base naturelle des secondes, et toutes les branches d'industrie ont tiré des avantages inestimables des théories scientifiques. Qui aurait pu sup-

poser que les anciens géomètres grecs, tandis qu'ils se livraient à des spéculations sur les propriétés des sections coniques, rendraient un service infini, après une longue série de siècles, en permettant de renouveler la science de l'astronomie et de porter l'art de la navigation à une perfection qu'il n'aurait probablement pas atteinte de nos jours sans les travaux purement théoriques d'Archimède et d'Apollonius ; ainsi, comme le dit si bien Condorcet, le marin qui a été préservé du naufrage par une observation exacte de la longitude doit la vie à une théorie conçue il y a deux mille ans par des hommes de génie qui n'avaient en vue que de simples spéculations géométriques. Nous ne devons donc jamais juger de la valeur des découvertes scientifiques par leur application pratique. Si elles ne sont pas applicables aujourd'hui, elles peuvent le devenir par la suite, comme le prouve toute l'histoire de la science. C'est assez pour nous que nos facultés intellectuelles les plus élevées soient exercées et satisfaites par l'étude des lois de la nature, parce que à proportion que nous en acquérons la connaissance nous gagnons de l'autorité sur l'univers matériel. Nos connaissances, il est vrai, progressent à pas lents et pénibles ; elles sont constamment obscurcies par l'erreur, le doute et la difficulté ; mais les études de ce genre sont accompagnées de cette considération consolante que, plus nous savons, moins nous avons à nous rappeler ; car à mesure que les connaissances sont recueillies et généralisées en lois ou principes, l'étude se simplifie de plus en plus ; plus nos connaissances se développent, plus notre puissance augmente, moins les principes sont nombreux, plus

chacun d'eux se généralise, et par conséquent plus leur application a d'étendue et plus aussi la connaissance qu'on en a donne de puissance et d'autorité. Il y a une telle propriété d'expansion dans ce qui est écrit au livre de la nature que, comme la parole de Dieu révélée, plus nous étudions et approfondissons son contenu, plus la vérité se montre au jour ; quelque chose que l'on n'avait pas vu auparavant commence à apparaître ; ce qui était obscur s'éclaircit, ce qui n'était que lumière devient d'une glorieuse splendeur. Le philosophe chrétien a donc toute espèce d'encouragement pour persévérer dans ses recherches, car si elles sont entreprises dans un esprit droit elles le conduiront à une communion plus intime avec son Créateur. Comme chrétien, il compte sur la bonté et la miséricorde de Dieu par les mérites de son Rédempteur ; comme philosophe, il se repose sur la constance des lois de la nature. Lorsque le saint roi David invite tous les ouvrages de la création à louer le Seigneur, il indique la stabilité de la nature comme un des motifs de ces louanges. Il dit : « Louez le nom du Seigneur : car il a commandé et les créatures furent créées. Il les a établies pour subsister éternellement et dans tous les siècles. Il leur a prescrit ses ordres qui ne manqueront pas de s'accomplir <sup>1</sup>. »

<sup>1</sup> Psalm. cXLVIII, 5, 6.

FIN.

# TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
INTRODUCTION.	
I. — Considérations générales sur la manière d'étudier.	1
II. — Le langage de la science. . . . .	2
DIVISION DE LA SCIENCE.	
III. — Divisions de la physique générale. . . . .	3
IV. — But des divisions et des classifications dans la science. . . . .	5
DÉFINITIONS.	
V. — Des hypothèses. — De l'induction. . . . .	7
VI. — Distinction entre les sciences physiques et mathématiques . . . . .	9
BUT DE LA SCIENCE.	
VII. . . . .	9
GRAVITATION UNIVERSELLE.	
VIII. . . . .	10
DÉFINITIONS.	
IX. — Problèmes que se propose la science physique. . . . .	13
X. — Analogie . . . . .	15
BAROMÈTRE.	
XI. — Valeur des hypothèses.—Découverte du baromètre.	16

	Pages.
PROGRÈS DE LA SCIENCE.	
XII. — Difficulté d'échapper aux hypothèses. . . . .	20
DES CAUSES.	
XIII. — Limites de la science. — Des causes. — Phéno- mène de la congélation de l'eau. . . . .	22
XIV. — Exceptions apparentes aux lois naturelles. . . . .	26
DU SON.	
XV. — Causes et effet. — Preuves tirées du son d'une cloche . . . . .	27
GÉOMÉTRIE.	
XVI. — Propriétés générales de la matière. . . . .	31
XVII. — Définitions géométriques. . . . .	31
DES CALCULS ASTRONOMIQUES.	
XVIII . . . . .	32
VERNIER.	
XIX. — Mesure des distances très-petites. . . . .	33
MESURE DES ANGLES.	
XX . . . . .	38
TRIANGULATION.	
XXI. . . . .	41
FORME DE LA TERRE.	
XXII. — Dimensions de la terre et de la lune. . . . .	43
DISTANCE DU SOLEIL.	
XXIII. — Dimensions du soleil observé à l'aide de la pla- nète de Vénus. . . . .	50
DISTANCE DES ÉTOILES.	
XXIV . . . . .	38

TABLE DES MATIÈRES.

201

Pages.

COULEURS DES PLAQUES MINCES.

XXV. . . . . 59

DIVISIBILITÉ DE LA MATIÈRE.

XXVI. . . . . 65

COHÉSION.

XXVII. . . . . 69

COMPRESSIBILITÉ.

XXVIII. — Exemples de compressibilité. . . . . 70

XXIX. — Diverses espèces d'élasticité. . . . . 72

LOIS DU MOUVEMENT.

XXX. — Moyens de comparer les quantités de matière. . . . . 74

XXXI. — Inertie. . . . . 75

XXXII. — Loi d'inertie. . . . . 78

XXXIII. — L'action est toujours égale à la réaction. . . . . 78

XXXIV. — Composition et décomposition des forces. . . . . 80

XXXV. — L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion. . . . . 81

XXXVI. — Composition des mouvements. . . . . 82

DES LIQUIDES.

XXXVII. — Pression dans les liquides. . . . . 84

XXXVIII. — Force d'adhésion. . . . . 85

XXXIX. — Capillarité. . . . . 86

XL. — Moyens de mesurer la pesanteur spécifique des corps à l'aide de l'eau. . . . . 89

DE L'ATMOSPÈRE.

XLI. — Pression atmosphérique. . . . . 90

XLII. — Élasticité de l'air. . . . . 92

XLIII. — Vitesse du son. . . . . 93

XLIV. — La vitesse du son varie suivant le milieu qui le transmet. . . . . 94

XLV. — Des échos. . . . . 95

	Pages.
<b>LA CHALEUR.</b>	
XLVI. — Considérations générales. . . . .	96
XLVII. — Définition du mot chaleur. — Chaleur latente.	97
XLVIII. — Changements de température. . . . .	99
XLIX. — Mesure de la température. — Thermomètre.	102
L. — État solide et liquide des corps. . . . .	106
LI. — Des gaz et de la vapeur. . . . .	108
LII. — Capacité pour la chaleur ou chaleurs spécifiques.	109
LIII. — Diffusion de la chaleur par le contact. . . . .	110
LIV. — Diffusion de la chaleur par courants. . . . .	111
LV. — Diffusion de la chaleur par rayonnement. . . . .	114
LVI. — Influence des surfaces sur le rayonnement. . . . .	117
LVII. — Absorption de la chaleur. . . . .	117
LVIII. — Réflexion de la chaleur.—Miroirs paraboliques.	118
LIX. — Rayonnement apparent du froid. — Rosée. . . . .	121
LX. — Vapeur d'eau dans l'air. — Formation des nuages.	
— Gelée blanche. . . . .	123
<b>LA LUMIÈRE.</b>	
LXI. — Ondulations de la lumière. . . . .	127
LXII. — Vitesse de la lumière. . . . .	127
LXIII. — Mouvement rectiligne de la lumière. . . . .	131
LXIV. — Réflexion de la lumière. . . . .	132
LXV. — Loi de la réfraction. . . . .	134
LXVI. — Phénomène de la réflexion totale. . . . .	137
LXVII. — La réfraction varie suivant les milieux. — In-	
— dice de réfraction. . . . .	139
LXVIII. — Exemples de réfraction. . . . .	140
LXIX. — Effet de la réfraction à travers deux surfaces	
— planes . . . . .	141
LXX. — Effet de la réfraction à travers un prisme. . . . .	143
LXXI. — Propriété des lentilles. . . . .	143
LXXII. — Longueur du foyer des substances convexes et	
— concaves. . . . .	147
LXXIII. — Décomposition de la lumière. . . . .	147

	Pages.
LXXIV. — Couleurs du spectre solaire. . . . .	150
LXXV. — Aberration chromatique. . . . .	152
LXXVI. — Principe du télescope achromatique. . . . .	154
LXXVII. — Absorption de la lumière. . . . .	157
LXXVIII. — Effets de la lumière d'une seule couleur. . . . .	158
LXXIX. — Rayons chimiques. . . . .	160
LXXX. — Chaleur des rayons . . . . .	161
LXXXI. — Iris. — Interférences . . . . .	162
LXXXII. — Périodicité de la lumière. . . . .	164
LXXXIII. — Preuve de l'interférence. . . . .	166
LXXXIV. — Des ondes de lumière. . . . .	168
LXXXV. — Polarisation de la lumière. . . . .	169
LXXXVI. — Preuves de la polarisation. . . . .	172
LXXXVII. — Polarisation de la matière . . . . .	172
LXXXVIII. — Usage de la polarisation en astronomie. . . . .	175
LXXXIX. — Causes de la polarisation de la matière. . . . .	174

## LE MAGNÉTISME.

XC. — Polarisation magnétique. . . . .	175
XCI. — Pôle magnétique. . . . .	175
XCII. — Variations magnétiques. . . . .	177
XCIII. — Orages magnétiques . . . . .	177
XCIV. — De l'aiguille magnétique. . . . .	177
XCv. — Intensité de l'aiguille. . . . .	178
XCVI. — Corps magnétiques. . . . .	178

## L'ÉLECTRICITÉ.

XCvII. — Attraction et répulsion . . . . .	179
XCvIII. — Diverses sortes d'électricité . . . . .	180
XCIX. — Effets de l'électricité. . . . .	181
C. — Corps conducteurs et isolants. . . . .	181
CI. — Décharges électriques. . . . .	182
CII. — Influence de l'électricité à distance . . . . .	183
CIII. — Bouteille de Leyde. . . . .	183
CIV. — Vitesse de l'électricité. . . . .	184
CV. — Expériences de Wheatstone . . . . .	186

	Pages.
CVI. — Vitesse de l'électricité à travers un fil de cuivre.	189
CONCLUSION.	
CVII. — Comparaison entre la physique générale et la chimie . . . . .	190
CVIII. — Valeur des investigations scientifiques. — Stabilité de la nature. . . . .	196

FIN DE LA TABLE.